



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ISABELA MENEZES MOTA NOGUEIRA

QUALIDADE DO EFLUENTE DOMÉSTICO TRATADO PARA
FINS DE REÚSO URBANO

RECIFE, 2016

ISABELA MENEZES MOTA NOGUEIRA

**QUALIDADE DO EFLUENTE DOMÉSTICO TRATADO PARA
FINS DE REÚSO URBANO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Pernambuco como parte dos
requisitos para aprovação na disciplina de Trabalho de
Conclusão de Curso 2.

Área de concentração: Saneamento Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Wanderli Rogério Moreira Leite

Coorientadora: Prof^ª. Dra. Maria de Lourdes Florêncio
dos Santos

RECIFE, 2016

Catálogo na fonte
Bibliotecária Valdicéa Alves, CRB-4 / 1260

N778q	Nogueira, Isabela Menezes Mota. Qualidade do efluente doméstico tratado para fins de reúso urbano. / Isabela Menezes Mota Nogueira. - 2016. 47folhas, Ils. e Tab. Orientador: Prof. Dr.. Wanderli Rogério Moreira Leite. Coorientadora: Profª Dra. Maria de Lourdes Florêncio dos Santos. TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Graduação em Engenharia Civil, 2016. Inclui Referências e Anexos. 1. Engenharia Civil. 2. Esgoto doméstico. 3. Esgoto sanitário em região urbanas. 4. Níveis de tratamento de esgoto doméstico. 5. Qualidade da água. I. Leite, Wanderli Rogério Moreira (Orientador). II. Santos, Maria de Lourdes Florêncio dos(Coordenador). III. Título. UFPE 624 CDD (22. ed.) BCTG/2017-39
-------	--



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
COORDENAÇÃO DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**ATA DA DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO PARA
CONCESSÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO CIVIL**

CANDIDATOS: 1 – Isabela Menezes Mota Nogueira

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Wanderli Rogério Moreira Leite

Examinador 1: Laise Alves Candido

Examinador 2: Gustavo Adolfo Batista Nogueira

TÍTULO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:

**QUALIDADE DO EFLUENTE DOMÉSTICO TRATADO PARA FINS DE REÚSO
URBANO**

LOCAL: UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

DATA: 19/12/2016 – **HORÁRIO DE INÍCIO:** 14:00

Em sessão pública, após exposição de cerca de 30 minutos, os candidatos foram arguidos oralmente pelos membros da banca com NOTA: _____ (deixar ‘Exame Final’, quando for o caso).

1) () aprovado(s) (nota $\geq 7,0$), pois foi demonstrado suficiência de conhecimento e capacidade de sistematização no tema da monografia e o texto do trabalho aceito.

As revisões observadas pela banca examinadora deverão ser corrigidas e verificadas pelo orientador no prazo máximo de 30 dias (o verso da folha da ata poderá ser utilizado para pontuar revisões).

O trabalho com nota no seguinte intervalo, $3,0 \leq \text{nota} < 7,0$, será reapresentado, gerando-se uma nota ata; sendo o trabalho aprovado na reapresentação, o aluno será considerado **aprovado com exame final**.

2) () reprovado(s). (nota $< 3,0$)

Na forma regulamentar foi lavrada a presente ata que é assinada pelos membros da banca e pelos candidatos.

Recife, 19 de dezembro de 2016.

Orientador:

Avaliador 1:

Avaliador 2:

Candidato 1:

Candidato 2:

AGRADECIMENTOS

Coordenação do Curso de Engenharia Civil-Dcivil
Rua Acadêmico Hélio Ramos s/nº. Cidade Universitária. Recife-PE CEP: 50740-530.
Fones: (081)2126.8220/8221 Fone/fax: (081)2126.8219.

Dedicatória

*Aos meus pais Alexandre e Sandra,
aos meus irmãos Alessandra e João Artur,
aos meus tios Alexandre e Fernando
e aos demais familiares.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente obrigada Deus por fazer parte de uma família maravilhosa, onde nunca me faltou apoio e aconchego nos momentos de angústia. Por ter amigos fiéis que me apoiaram em toda minha jornada na universidade. Sem eles, chegar até aqui seria muito mais difícil.

Em especial gostaria de agradecer aos meus pais Alexandre Nogueira e Sandra Nogueira por acreditarem em mim mais do que eu mesma acredito. Por me incentivarem, apontarem o melhor caminho, me apoiarem e nunca desistirem de mim.

Aos meus irmãos Alessandra e João Artur por dividirem comigo todos os meus problemas e tornarem tudo mais leve.

Ao meu tio Alexandre Menezes por nunca medir nenhum esforço para me ajudar na minha vida educacional, pela atenção de sempre ouvir minhas preocupações, mostrar seu ponto de vista e me dar os melhores conselhos.

Ao meu tio Fernando Arthur por ser um exemplo de engenheiro, me incentivar e apoiar nas minhas decisões.

Ao meu professor orientador Prof. Wanderli Rogério pela paciência, ensinamentos transmitidos e disponibilidade para encaminhar este trabalho.

Ao meu amor, Igor Livera, pela ajuda na elaboração do trabalho, por dividir minhas angústias, preocupações e me ajudar a pensar nas melhores soluções nesse momento apertado de conclusão de curso.

NOGUEIRA, I. M. M. (2016). Qualidade do efluente doméstico tratado para fins de reúso urbano. Trabalho de Conclusão do Curso, graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental (DECIV), Centro de Tecnologia e Geociências (CTG), Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Recife / PE.

RESUMO

A utilização da água residuária tratada é uma alternativa para minimizar desperdícios, além de representar uma alternativa de atenuação da poluição dos corpos hídricos receptores. O reúso urbano não potável envolve o manejo indireto da água em atividades associadas ao saneamento urbano, como lavagem de ruas, calçadas e irrigação de praças. Neste contexto, o presente estudo objetivou descrição da qualidade da água proveniente de sistemas de tratamento de esgotos domésticos requerida para fins de reúso urbano. Utilizou-se como estudo de caso o esgoto bruto afluente à Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Mangueira no Recife-PE para a proposição de níveis de tratamento de esgoto que atendam às exigências de qualidade da água de reúso. Foram compiladas informações e diretrizes técnicas nacionais e internacionais sobre a qualidade da água de reúso para fins de irrigação de áreas verdes urbanas, desobstrução de tubulação de rede de esgoto e recarga artificial de aquíferos. O reaproveitamento de efluentes para irrigação de áreas verdes urbanas demanda uma atenção especial quanto à concentração de DBO, DQO e coliformes fecais na água. A produção de água de reúso para fins de desobstrução de tubulações apresenta menor requisito qualitativo, assim uma ETE composta de unidade de tratamento preliminar, primário e desinfecção poderia satisfazer os requisitos desta demanda. A recarga de aquíferos utilizando água proveniente de estação de tratamento de esgoto demanda o controle de sólidos, nutrientes e organismos patogênicos, isto é, níveis de tratamento preliminar, secundário e terciário em uma ETE. Desta forma, ressalta-se que a reutilização de águas residuais tratadas pode representar uma possibilidade de redução do consumo de água potável proveniente dos mananciais superficiais e subterrâneos, podendo esta ser destinada apenas para usos mais nobres.

NOGUEIRA, I. M. M. (2016). Qualidade do efluente doméstico tratado para fins de reúso urbano. Trabalho de Conclusão do Curso, graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental (DECIV), Centro de Tecnologia e Geociências (CTG), Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Recife / PE.

ABSTRACT

The reuse of treated sewage is an alternative to minimize wastes, besides representing an alternative to attenuate the pollution of the receiving water bodies. Non-potable urban reuse involves the indirect management of water in activities associated with urban sanitation, such as street washing, sidewalks and squat irrigation. In this context, the present study aimed to describe the quality of the water coming from domestic sewage treatment systems required for urban reuse purposes. The raw sewage inflow to the Mangueira Sewage Treatment Station (ETE) in Recife-PE was used as a case study for the proposal of sewage treatment levels that meet the water quality requirements for reuse. national and international technical information and guidelines on the quality of reuse water were compiled for irrigation of urban green areas, unblocking of sewage piping and artificial recharge of aquifers. The reutilization of effluents for irrigation of urban green areas demands special attention regarding the concentration of BOD, COD and fecal coliforms in the water. The production of reuse water for the purpose of pipe clearing has a lower qualitative requirement, so an ETE composed of preliminary treatment unit, primary and disinfection unit could satisfy the requirements of this demand. The recharge of aquifers using water from a sewage treatment plant requires the control of solids, nutrients and pathogenic organisms, ie levels of primary, secondary and tertiary treatment in a TEE. In this way, it is emphasized that the re-use of treated wastewater can represent a possibility of reducing the consumption of drinking water from surface and underground water sources, which can only be used for more noble uses.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Metodologia adotada para o desenvolvimento do trabalho	17
Figura 2 – Parque da Jaqueira do Recife	18
Figura 3 – Processo de desobstrução de rede coletora de esgoto	18
Figura 4 - Estação de Tratamento de Esgoto Mangueira (Recife, PE) e áreas adjacentes contribuidoras do esgoto bruto afluente	20

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Quantidade de esgoto produzido por usuário	5
Tabela 2 – Principais partes integrantes da unidade de tratamento preliminar	7
Tabela 3 - Eficiência percentual de remoção da carga poluidora por nível de tratamento.....	9
Tabela 4 – Doenças de veiculação hídrica associadas às potenciais formas de reúso.....	12
Tabela 5 – Tipos de procedimentos para recarga artificial de aquíferos	16
Tabela 6 - Características do esgoto afluente da ETE-Mangueira	21
Tabela 7 – Características físico-química dos esgotos	21
Tabela 8 - Tabela resumo –água de reúso para irrigação de áreas verdes.....	24
Tabela 9 – Tabela resumo – água de reúso para desobstrução de tubulação de rede de esgoto	26

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABES - Associação Brasileira Sanitária e Ambiental

ANA - Agência Nacional de Águas

CEDAE - Companhia Estadual de Águas e Esgotos

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos

COMPESA - Companhia Pernambucana de Saneamento

DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO - Demanda Química de Oxigênio

ETE - Estação de Tratamento de Esgoto

FIESP - Federação das Indústrias do Estado de São Paulo

OMS - Organização Mundial de Saúde

SABESP - Companhia de Saneamento do Estado de São Paulo

SINDUSCON - Sindicato da Indústria da Construção Civil

TSA - Tratamento Solo Aquífero

USEPA - United States Environmental Protection Agency

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Justificativa e motivação	1
1.2	Objetivos gerais e específicos	3
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	4
2.1	Esgoto sanitário em regiões urbanas	4
2.1.1	Aspectos quantitativos e qualitativos do esgoto doméstico	4
2.2	Níveis de tratamento de esgoto doméstico	5
2.2.1	Tratamento preliminar	6
2.2.2	Tratamento primário	7
2.2.3	Tratamento secundário	8
2.2.4	Tratamento terciário	8
2.2.5	Eficiência na remoção de poluentes por nível de tratamento	9
2.3	Reúso de água residuária tratada	9
2.3.1	Reúso urbano	12
3	METODOLOGIA	17
3.1	Características relevantes ao trabalho da cidade do Recife	17
3.2	Levantamento bibliográfico e definição dos tipos de reúso estudados	19
3.3	Análise e seleção dos critérios de qualidade de interesse dos tipos de reúso	19
3.4	Proposição de níveis de tratamento para produção de água de reúso	20
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	21
4.1	Qualidade da água de esgoto para reúso urbano não potável	21
4.1.1	Características do esgoto doméstico da cidade do Recife	21
4.1.2	Qualidade da água de reúso para fins urbanos	23
4.2	Proposição de níveis de tratamento para fins de adequação do esgoto doméstico aos usos pretendidos	24
4.2.1	Qualidade da água de reúso para irrigação de áreas verdes	24
4.2.2	Qualidade da água de reúso destinada à desobstrução de rede de esgoto	26
4.2.3	Qualidade da água de reúso destinada à recarga artificial de aquíferos	27
5	CONCLUSÃO	29
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30
	ANEXO A - Padrões de qualidade da água de reúso segundo Tsutiyu, et al. (2001)	33
	ANEXO B - Valores de parâmetros indicativos de qualidade de água de reúso segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT/NBR 13.969/1997)	34
	ANEXO C - Padrões de reúso para irrigação de áreas verdes segundo a United States Environmental Protection Agency (USEPA) (2004)	35

ANEXO D - Parâmetros de água de reúso indicados pela Agência Nacional de Águas (ANA), Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP) e Sindicato da Indústria da Construção Civil (SINDUSCON) (2005)	36
ANEXO E - Qualidade de água de reúso segundo Guidelines for Water Use (1992).....	37
ANEXO F - Qualidade da água após o tratamento solo aquífero em estudo feito na cidade de Phoenix (2002).....	38

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso esgotável e fator determinante para o desenvolvimento urbano, industrial e agrícola de uma nação e para manutenção de milhares de seres vivos existentes no planeta. Devido à sua elevada significância, sua gestão deve ser planejada de tal forma que se diminua o máximo possível as perdas e desperdícios durante sua condução para abastecimento das cidades e sua preservação no meio ambiente.

Reutilizar a água consiste em conduzir águas cinzas e negras vindas de estabelecimentos domésticos e industriais para estações de tratamento as quais proporcionarão os devidos tratamentos de acordo com a finalidade de reúso. Investir nessas tecnologias geraria impactos positivos não só ao meio ambiente, como também em regiões onde existem problemas de disponibilidade hídrica. Segundo o Instituto Trata Brasil, a prática de reúso já foi adotada em alguns países do mundo que tiveram que enfrentar problemas com escassez de água doce e demonstraram que tal alternativa se mostra como um meio seguro e eficaz de gerir a água.

A adoção de tecnologias de reúso formula o conceito de substituir fontes de abastecimento. Portanto, a adoção de tal medida permite que água de qualidade inferior atenda a fins que exigem padrões de potabilidade menos nobres, enquanto que águas potáveis estariam destinadas apenas para fins onde a qualidade da água exigida é alta.

Tal prática ameniza a carga poluidora desejada nos corpos hídricos receptores e evita, por sua vez, que ocorram maiores impactos na biota aquática. Além disso, reutilizar água residuária tratada constitui parte do planejamento e gestão sustentável dos recursos hídricos de uma nação.

O presente trabalho tem como objetivo abordar o potencial de aplicação de reúso de efluente tratado em áreas urbanas, bem como a qualidade da água de reúso recomendada para atender aos possíveis usos.

Dentre as maneiras possíveis para a utilização de efluente tratado em meios urbanos, o trabalho será atento aos reúsos urbano não potáveis destinados à irrigação de áreas verdes urbanas, desobstrução de tubulações de rede de esgoto e recarga artificial de aquíferos.

1.1 Justificativa e motivação

O tema sobre reúso de água não é novo no mundo. A Grécia Antiga adotava a prática de reúso através do despejo de esgotos e sua utilização na irrigação. O desenvolvimento da

humanidade, o aumento populacional veio acompanhado da demanda crescente de água. Portanto, o reúso planejado de água promove que tal tema seja de grande importância. (FONSECA, *et. al.*, 2006)

Existem milhares de exemplos no mundo de países que demonstram problemas de gestão de seus recursos hídricos através do encolhimento dos lagos (devido ao abaixamento dos lençóis freáticos) e secagem de pântanos. Não são só apenas as regiões áridas e semiáridas que enfrentam problemas com escassez de água. Existem países que possuem grande disponibilidade de água doce, porém enfrentam tais problemas devido a sua má gestão (FONSECA *et al.*, 2006).

No Brasil, ocorreram conceituados eventos sobre o desenvolvimento sustentável e preservação do meio ambiente. Em 1992, ocorreu a Conferência Interparlamentar sobre Desenvolvimento e Meio Ambiente, realizada em Brasília, onde foi recomendado que se promovessem esforços, em nível nacional, para institucionalizar a reciclagem e reúso, sempre que possível, e promover o tratamento e disposição de esgotos de maneira a não poluir o meio ambiente (AGÊNCIA SENADO, 2015).

Em 1994, na Agenda 21 foi destacada a importância do reúso de água aos países participantes da ECO-92 como alternativa de desenvolvimento sustentável no país através da promoção de reciclagem e reutilização de águas residuais e dos resíduos sólidos (PLÍNIO THOMAZ, 2010).

A Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433 de 9 de janeiro de 1997) demonstra interesse para a institucionalização do reúso de águas cinzas e negras, apesar de ainda não existir legislação específica relativa ao tema.

Em 2003, uma minuta implementada pelo CNRH foi elaborada similarmente com a recomendação da OMS que incentiva a reciclagem de águas de qualidade inferior e estabelece critérios de qualidade da água para cada modalidade de reúso previsto. Tal resolução não entrou em vigor.

Em 2005, foi lançada a Resolução Nº 54 pela OMS que incentiva a execução de medidas de reúso de água, porém isenta de critérios e parâmetros exigidos para a água para atender a modalidade prevista.

Nota-se então que a ideia de adoção de medidas para efetuar o reúso de água é marcante no curso do desenvolvimento da humanidade, em grandes eventos mundiais sobre meio ambiente e legislações brasileiras. Por esse motivo, a escolha do tema para o desenvolvimento do presente trabalho de conclusão de curso concerne a destacar e descrever amplamente o

potencial de aplicação de reúso de água residuária tratada, bem como o incentivo a aceitação de tal medida pelos usuários nas áreas urbanas e rurais.

1.2 Objetivos gerais e específicos

O presente trabalho apresenta como objetivo geral a descrição da qualidade da água proveniente de sistemas de tratamento de esgotos domésticos requerida para fins de reúso urbano.

Os objetivos específicos para o presente trabalho são:

- Compilar informações obtidas na literatura especializada quanto às classes de água de reúso e os parâmetros de qualidade requeridos;
- Evidenciar a qualidade da água de reúso para irrigação de áreas verdes, desobstrução de tubulações e recarga artificial de aquíferos;
- Propor níveis de tratamento de esgoto necessários para atender aos requisitos de qualidade da água de reúso considerando o estudo de caso do esgoto afluyente da ETE-Mangueira da cidade do Recife.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Esgoto sanitário em regiões urbanas

O esgoto sanitário urbano é constituído por esgoto doméstico e industrial, água de infiltração e contribuição pluvial parasitária

A formação do esgoto doméstico é devido aos dejetos provenientes do uso da população da água fornecida pelas companhias de abastecimento da região para as residências, estabelecimentos comerciais, instituições, edifícios públicos, indústrias para fins de higiene pessoal, necessidades fisiológicas humanas, atividades domésticas, entre outras.

O esgoto industrial é proveniente dos processos industriais os quais devem respeitar os padrões de lançamento pré-estabelecidos. A água de infiltração é procedente da água existente no subsolo nas canalizações da rede coletora de esgoto devido a defeitos existentes, conexões, juntas ou paredes dos poços de visitas. A quantidade infiltrada na tubulação é função da extensão da rede coletora, diâmetro das tubulações, idade da rede, ligações irregulares, área servida, tipo de solo, profundidade do lençol freático e topografia (MELLO, 2007). A contribuição pluvial parasitária ocorre devido ao deflúvio superficial que é inevitavelmente absorvido pela rede coletora de esgoto.

A união de todas essas parcelas é consignada como esgoto para o dimensionamento da rede coletora, pois estas variam significativamente o valor da vazão de projeto.

O esgoto sanitário produzido na cidade é coletado pelas redes coletoras de esgoto e conduzidos para a ETE, responsável pelo seu tratamento e destinação. As quantidades de esgoto produzido por região, bem como seus aspectos qualitativos, são de extrema importância para o dimensionamento das tubulações das redes coletoras e das unidades de tratamento da ETE.

2.1.1 Aspectos quantitativos e qualitativos do esgoto doméstico

A quantidade de esgoto que chega à ETE e suas características físicas, químicas e biológicas variam segundo a região na qual ele é produzido. O regime pluviométrico da região, costumes da população residente, consumo *per capita*, densidade demográfica, entre outros fatores influenciam significativamente nesses fatores (FRATA, 2014).

A Tabela 1 apresenta a variação da quantidade de esgoto doméstico formado de acordo com o usuário e a atividade.

Tabela 1 – Quantidade de esgoto produzido por usuário

Atividade/Usuário	Unidade	Esgoto (L/dia)
Ocupantes Permanentes:		
- Residência		
Padrão Alto	Pessoa	160
Padrão Médio	Pessoa	130
Padrão Baixo	Pessoa	100
- Hotel	Pessoa	100
- Alojamento provisório	Pessoa	80
Ocupantes Temporários:		
Fábrica em geral	Pessoa	70
Escritório	Pessoa	50
Edifícios públicos ou comerciais	Pessoa	50
Escolas e locais de longa permanência	Pessoa	50
Bares	Pessoa	6
Restaurantes e similares	Refeição	25
Cinemas, teatros e locais de curta permanência	Lugar	2
Sanitários públicos	Bacia Sanitária	480

Fonte: Adaptado de NBR 7229/93

A quantidade de esgoto proveniente das indústrias é função do tipo e porte da indústria, grau de reciclagem, processo, adoção de práticas de conservação de água, existência de pré-tratamento, entre outros fatores. Sua quantidade produzida não varia ao longo do dia, como ocorre no esgoto doméstico (MELLO, 2007).

2.2 Níveis de tratamento de esgoto doméstico

As etapas de funcionamento de uma ETE são constituídas por mecanismos e processos que têm o objetivo de depurar a carga poluidora existente por meio da ação bioquímica de organismos vivos, eliminação de partículas físicas e reações físico-químicas.

A ETE é formada por operações unitárias onde ocorrem processos físicos, químicos e biológicos correspondentes à troca de gás, gradeamento, sedimentação, flotação, coagulação química, precipitação química, filtração, desinfecção, oxidação biológica, dentre outras. Esses processos ocorrem de maneira combinada nas unidades de tratamento. Cada etapa é classificada segundo o grau de remoção de sólidos suspensos e da demanda bioquímica de oxigênio (FRATA, 2014).

Os despejos domésticos possuem composição de 99,9% de água e 0,1% de impurezas. As impurezas são constituídas por sólidos suspensos e dissolvidos, matéria orgânica, nutrientes (nitrogênio e fósforo) e organismos patogênicos (vírus, bactérias, protozoários, helmintos, entre outros) (LIMA, 2013). A parcela de 0,1% de impurezas existentes no esgoto

doméstico é constituída por substâncias de natureza química e física e é responsável pela turbidez, cor, odor e alteração de temperatura do esgoto bruto.

As impurezas de natureza física são os sólidos grosseiros e em suspensão existente. Seu acúmulo no corpo receptor pode causar problemas de assoreamento (ReCESA, 2008).

Os compostos de natureza química são as substâncias orgânicas e inorgânicas solúveis no esgoto, representadas por gorduras, proteínas, carboidratos, fenóis, detergentes, defensivos agrícolas, nutrientes (nitrogênio e fósforo), enxofre, metais pesados e compostos tóxicos. Nos corpos d'água, a matéria orgânica biodegradável é estabilizada através da ação de microrganismos anaeróbios e anóxicos.. Os nutrientes são encontrados em grandes concentrações nas urinas e fezes. Sua descarga excessiva pode causar eutrofização das águas de superfície, por favorecer a proliferação de organismos aquáticos, especialmente as algas (ReCESA, 2008).

Os componentes de natureza biológica são bactérias, vírus, fungos, helmintos e protozoários encontrados nos dejetos humanos. Os organismos patogênicos presentes nesses compostos são responsáveis pela transmissão de doenças para o homem, tais como amebíase, giardíase, gastroenterite, febre tifoide e paratifoide, dentre outras doenças de veiculação hídrica (CETESB, 1988).

Em função do grau de redução da carga poluidora recomendada para atender determinado fim previsto, o efluente será submetido a níveis de tratamento na ETE os quais são:

- Nível de tratamento preliminar;
- Nível de tratamento primário;
- Nível de tratamento secundário;
- Nível de tratamento terciário.

2.2.1 Tratamento preliminar

Como o nome da unidade de tratamento sugere, o efluente é submetido preliminarmente uma unidade de tratamento que visa retirar materiais grosseiros, areia e gorduras existentes através de mecanismos físicos. O esgoto bruto escoar através de grades com espaçamentos e inclinação pré-determinadas para retenção de sólidos grosseiros e posteriormente é conduzido para caixa de areia para sedimentação das partículas de areia suspensas (ReCESA, 2008).

O tratamento preliminar geralmente está presente em todas as ETE. Nele é feito o preparo do efluente para ser submetido aos níveis de tratamento conseguintes, pois a retirada desses sólidos evita que as unidades de tratamento posteriores e materiais utilizados para a condução do esgoto no interior da ETE sejam obstruídos, os equipamentos eletromecânicos sejam danificados e o volume útil do reator biológico seja diminuído (OLIVEIRA, 2006).

As principais partes integrantes da unidade de tratamento preliminar e suas finalidades são descritas na Tabela 2.

Tabela 2 – Principais partes integrantes da unidade de tratamento preliminar

Parte Integrante	Finalidade
Gradeamento	Remoção de sólidos grosseiros, (Ex.: materiais plásticos, embalagens, galhos, folhas, etc.)
Desarenação	• Remoção de areia e de sólidos com características semelhantes às areias. • Evitar danos nos equipamentos constituintes da ETE (Ex.: abrasão e desobstrução nas tubulações, danificar o funcionamento das bombas centrífugas); • Evitar o assoreamento dos corpos receptores; • Facilitar o manuseio e transporte das fases líquida e sólida para as Unidades de Tratamento conseguintes.
Remoção de Gorduras	Remoção de óleos e gorduras;
Medidor de Vazão	Estimar se a unidade de tratamento está operando adequadamente Utilizada para o cálculo de detenção real dos tratamentos e da carga orgânica afluente.

Fonte: Adaptado de ReCESA, 2008.

Vale salientar que os medidores de vazão são indicados quando a demanda de vazão de formação de esgoto é consideravelmente grande. A equalização de vazões feita por esse dispositivo evita que ocorra grandes perdas de cargas durante o transporte do efluente entre as unidades.

2.2.2 Tratamento primário

O tratamento primário pode ocorrer no decantador primário ou alternativamente nos flotadores. Este último utilizado quando se deseja ter maior eficiência nessa etapa do tratamento.

Tal etapa visa à remoção de sólidos suspensos sedimentáveis existentes no efluente através para que ocorra sua deposição no fundo da unidade. Esses sólidos correspondem de 30 a 40% da DBO (Metcalf & Eddy, 2003).

A deposição dos sólidos forma o lodo ativado, material que pode ser reutilizado na agricultura na forma de biossólidos. Não há nessa unidade a remoção total do lodo. Portanto, é necessário que o efluente seja submetido a posteriores tratamentos antes de serem destinados para alguma finalidade.

2.2.3 Tratamento secundário

O nível de tratamento secundário tem como objetivo degradar a matéria orgânica carbonácea através de processos biológicos, convertendo compostos orgânicos complexos, como carboidratos, proteínas e lipídios, em substâncias mais simples (gás carbônico e metano) (McCarty, 2001).

A degradação química desses compostos ocorre em reatores biológicos constituídos por grande quantidade de bactérias e micro-organismos aeróbios.

Tal etapa é similar ao processo de autodepuração da água, realizado de maneira mais acelerada. Os métodos mais comuns para efetuar o tratamento secundário são:

- Tratamento anaeróbio;
- Disposição sobre o solo;
- Lagoas de estabilização;
- Lodos ativados;
- Filtros biológicos.

2.2.4 Tratamento terciário

O objetivo do nível de tratamento terciário pode existir nas ETE ou não. Tal etapa consiste em proporcionar tratamentos adicionais para aprimorar a água residuária tratada. Os poluentes removidos nessa etapa são nutrientes (fósforo e nitrogênio), organismos patogênicos, compostos não biodegradáveis, metais pesados, sólidos inorgânicos dissolvidos e sólidos em suspensão remanescente.

Geralmente, o nível de tratamento terciário é procedido por meio de lagoas de maturação, desinfecção, processos de remoção de nutrientes e filtração final. A lagoa de maturação é uma alternativa de menor custo comparada com a desinfecção por cloração. São removidos apenas organismos patogênicos nesse método. Pode-se proceder a desinfecção do efluente através de raios ultravioletas, cloração e ozonização. O método mais utilizado

comumente é o da cloração. As vantagens associadas a esse método consistem no controle do odor e maior facilidade de remover espuma em decantadores.

2.2.5 Eficiência na remoção de poluentes por nível de tratamento

Segundo a CETESB, as eficiências estimadas de remoção esperada dos níveis de tratamento são ilustradas na Tabela 3.

Tabela 3 - Eficiência percentual de remoção da carga poluidora por nível de tratamento

Nível de tratamento	Matéria orgânica (% DBO)	Sólidos em suspensão (%)	Nutrientes (%)		Coliformes totais (%)
			N	P	
Preliminar	0-5	5-20	0	0	0
Primário	30-40	40-70	10-25	10-20	30-40
Secundário	70-90	65-95	30-50	20-60	60-90
Terciário	97-99	80-99	95-99	95-99	>99

Fonte: Adaptado da CETESB (1998), Von Sperling (1996), Metcalf & Eddy (1991), Henze (1995), *apud* Phillipi Jr. (2005).

Nota-se que as unidades de tratamento são complementares no objetivo de remoção total da carga poluidora. Embora haja o alcance de até 99% de eficiência para remoção de poluentes no efluente, não é recomendado que essa água seja destinada para fins potáveis. Para atingir o padrão de potabilidade exigido para usos mais nobres, seria necessária a adoção de tecnologias adicionais mais avançadas. O custo demandado para essa tecnologia de tratamento é elevado, tornando, na maioria dos casos, sua aplicação inviável do ponto de vista econômico (FRATA, 2014).

No entanto, a água residuária tratada é capaz de atender fins não potáveis de tal forma que não cause impactos negativos no meio ambiente e na saúde pública.

2.3 Reúso de água residuária tratada

A ABES classifica o reúso de água em ambientes urbanos em duas esferas: reúso potável e não potável. O reúso potável subdivide-se nas categorias reúso potável direto e reúso potável indireto. A subdivisão varia segundo o contato que o usuário possuirá com a água residuária tratada. No reúso potável direto, o usuário utilizará a água de reúso para consumo. O esgoto, por sua vez, deverá ser submetido a tratamentos avançados para que a água seja pura o suficiente e apta para ser utilizada para o consumo humano sem que cause danos à saúde pública.

O reúso indireto ocorre quando a água residuária tratada é diluída à montante do corpo hídrico não poluído subterrâneo ou superficial (lagos, reservatórios ou aquífero subterrâneo, etc.). O corpo receptor será encarregado de estabilizar a matéria orgânica existente através do fenômeno da autodepuração. À jusante do corpo receptor, o usuário terá contato com a água residuária tratada (HESPANHOL, 2002). Nesse caso, geralmente o usuário não tem o conhecimento sobre a qualidade da água do manancial. Vale ressaltar que os problemas nessa modalidade de reúso são não só os problemas ambientais causados no corpo hídrico receptor, como também as possíveis doenças que podem ser transmitidas aos usuários desta água. Normalmente, esse tipo de reúso é feito em locais onde os usuários contam com sistemas de captação individualizados.

O reúso não potável não é voltado para o consumo humano. Logo, os níveis de tratamentos exigidos são mais simples e seu potencial de aplicação mais amplo, em relação ao reúso potável.

O exemplo de aplicação de reúso potável indireto no Brasil ocorre no estado de São Paulo por intermédio da SABESP. São utilizadas águas residuárias tratadas provenientes da Estação de Tratamento de Esgoto de Jesus Netto para atender as demandas não potáveis no município de Taubaté, onde são aproveitados 780 mil metros cúbicos de água por mês. A indústria de têxtil *Coast Corrent* foi pioneira na utilização de água residuária tratada proveniente da SABESP para beneficiamento dos fios, mercerização, alveamento, tingimento e lavagem de fios.

Algumas prefeituras de São Paulo efetuam limpeza de ruas, pátios, irrigação e rega de áreas verdes, desobstrução de tubulação de redes de esgoto e limpeza de veículos com água residuária tratada.

No estado do Rio de Janeiro, a aplicação do reúso ocorre através da CEDAE a qual oferece água de reúso para limpeza urbana e para as indústrias (LOPES, 2015).

Para efetuar o reúso da água residuária tratada é fundamental que sejam conhecidas não só as características físicas, químicas e biológicas dessas águas, como também das condições e fatores locais da região, como por exemplo: esquemas institucionais, decisão política, disponibilidade técnica e fatores econômicos, sociais e culturais para que sejam determinadas as formas de reúso. As condições locais são determinantes para a possibilidade da utilização dos possíveis potenciais reúsos de esgoto tratado, tanto na área urbana como na área rural (HESPANHOL 2002).

Ainda não existe legislação específica no Brasil e em diversos países do mundo que estabeleça normas e critérios necessários para a qualidade da água de reúso. Existem estudos que apontam os valores dos parâmetros indicadores de qualidade da água necessários para atender determinadas finalidades sem comprometer a saúde pública e o meio ambiente.

Esgotos provenientes das indústrias não são indicados para água de reúso devido à grande quantidade de composto de alto risco (micropoluentes orgânicos) existente. Além disso, mananciais que recebem os rejeitos industriais por longo período de tempo não são qualificados para a prática de reúso para fins potáveis (FILHO, 2012).

Segundo Plínio Thomaz (2010), as potenciais formas de reúso não potável são:

- Reúso agrícola;
- Reúso industrial;
- Reúso recreacional;
- Recarga de aquífero;
- Reúso urbano não potável;

A Tabela 4 descreve sucintamente os riscos à saúde relativos à transmissão de doenças de veiculação hídrica através de diferentes formas de reúso.

Tabela 4 – Doenças de veiculação hídrica associadas às potenciais formas de reúso

Forma de Reúso	Risco à Saúde
Agrícola	Contaminação de consumidores de alimentos contaminados com organismos patogênicos e/ou substâncias químicas tóxicas; Contaminação direta de trabalhadores; Contaminação do público por aerossóis; Contaminação de consumidores de animais que se alimentam de pastagens irrigadas, ou que sejam criados em lagoas contaminadas.
Industrial	Conexão cruzada entre sistemas de água potável e de reúso; Se utiliza como água de processo, pode haver contaminação de produtos comestíveis; Contaminação direta de trabalhadores.
Recreacional	Doença de veiculação hídrica, infecção nos olhos, ouvidos e nariz; Ingestão de contaminantes químicos ou irritação dos olhos e mucosas, devido aos efluentes industriais; Contaminação direta de trabalhadores.
Recarga de aquífero	Contaminação de aquíferos utilizados como fonte de água potável; Contaminação direta de trabalhadores.
Reúso urbano não potável	Conexão cruzada entre sistema de água potável e de reúso; Contado como água recuperada utilizada para irrigação de parques e jardins ou lavagem de ruas; Contaminação direta de trabalhadores.
Reúso potável	Ingestão de contaminantes biológicos e químicos; Contaminação direta de trabalhadores.

Fonte: Adaptado LAVRADOR, 1987.

2.3.1 Reúso urbano

A aplicação de reúso de esgoto tratado nas áreas urbanas possui potencial amplo e diversificado, podendo ser utilizado para fins potáveis e não potáveis. Cada categoria possui suas respectivas barreiras e benefícios para serem enfrentados (HESPANHOL, 2002).

Para o reúso urbano para fins potáveis a atenção para a qualidade da água de reúso deve ser dobrada. Nessa categoria, deve-se utilizar sistemas de reúso indireto, utilizar água de reúso proveniente exclusivamente de esgotos domésticos, empregar barreiras múltiplas nos sistemas de tratamento e conquistar aceitação pública (HESPANHOL, 2002).

O reúso de água residuária tratada em meios urbanos para fins não potáveis pode se proceder das seguintes maneiras:

- Lavagem de pisos, calçadas, ruas, quintais e veículos;
- Descargas sanitárias;
- Lagos artificiais ornamentais e/ou decorativos;
- Irrigação de campos de futebol, golf e centros esportivos;
- Irrigação de canteiros, jardins, parques e áreas verdes em geral;
- Limpeza de playgrounds e quadras esportivas;

- Reserva contra incêndio;
- Água de resfriamento e sistema de ar condicionado;
- Usos em construção civil;
- Recarga de aquíferos;

É possível inferir que todos os usos citados acima necessitam de água com qualidade inferior à água utilizada para consumo humano. Alguns dos cuidados que essa água de reúso deve apresentar é aspecto estético satisfatório, ou seja, possuir cor e turbidez o mais próximo possível da água potável e não apresentar odor objetável (FONSECA *et al.*, 2006).

Alguns dos problemas a serem enfrentados para efetuar o reúso urbano não potável consistem nos custos necessários para a implantação de rede dupla coletora de esgoto. Ou seja, a coleta de águas negras, provinda de urina e fezes, ser independente da coleta de águas cinzas, proveniente de chuveiros, lavatórios, etc. Este tipo de rede pode apresentar dificuldades operacionais e possíveis conexões cruzadas (HESPANHOL, 2002).

No panorama mundial, existem diversos países na Europa e países industrializados da Ásia que praticam o reúso urbano não potável. Por exemplo, em Fukuoka, cidade japonesa com aproximadamente 1,2 milhões de habitantes, há rede dupla de coleta de esgoto. A água residuária é tratada a nível terciário e é utilizada para descarga de banheiros em edifícios residenciais, irrigação de árvores urbanas, lavagem de gases e usos industriais (HESPANHOL, 2002).

O reúso urbano não potável possui menores riscos à saúde pública, pois apenas em alguns usos que a população terá contato com a água de reúso, como por exemplo, irrigação de áreas verdes, parques, centros esportivos e entre outros. Nesses casos, a água de reúso deverá apresentar qualidade superior do que os possíveis usos que a população não terá contato com a água, como por exemplo, desobstrução de tubulações de drenagem, recarga de aquíferos em regiões costeiras, água de resfriamento de ar condicionado, etc.

- *Reúso 1: irrigação de áreas verdes*

Segundo o Ministério do Meio Ambiente, entende-se por área verde no meio urbano como o conjunto de áreas intra-urbanas possuidoras de cobertura vegetal arbórea nativa ou introduzida, arbustiva ou rasteira que contribuam significativamente para manutenção do equilíbrio ambiental das cidades. Praças, parques urbanos, parques fluviais, parque balneário e esportivo, jardim botânico, jardim zoológico, alguns tipos de cemitérios, e faixas de ligação entre áreas verdes são exemplos de áreas verdes urbanas.

Periodicamente são feitas as regas das áreas verdes da cidade com o objetivo de preservar a estética da cidade, preservar o meio ambiente, entre outros. Em diversos lugares do mundo, a água utilizada para efetuar a rega dessas áreas possui padrão de qualidade elevado. Portanto, adotar a medida de efetuar irrigação com água residuária tratada evita que haja o desperdício de destinar águas nobres para desempenhar tal atividade.

Mas, para utilizar a água residuária tratada para efetuar a rega dessas áreas verdes urbanas é preciso estar atento que essa água terá contato com os habitantes da cidade, devido aos riscos à saúde descritos na Tabela 4.

- *Reúso 2: desobstrução de tubulações de redes coletoras de esgoto*

A rede coletora de esgoto de uma região é responsável pela coleta e condução do esgoto bruto para a ETE da região. Dentre as singularidades que compõe a rede coletora, a caixa de inspeção é a conexão da rede doméstica com a rede pública e é por onde são feitas as operações de manutenção e limpeza da rede.

Desobstruir tubulação consiste em retirar gorduras, lixos, plantas, entre outros materiais sólidos, que são carregados pelo esgoto bruto, prejudicando seu escoamento e trazendo impactos negativos à cidade, como extravasamento de esgotos nas vias, comprometendo o tráfego de veículos e pessoas e impactos negativos na saúde pública (ReCESA, 2008).

É possível desobstruir as tubulações com o jateamento de água, a um determinado valor de vazão, carreando os sólidos causadores da obstrução. Como essa água não terá contato com a população, muito menos será utilizada para o abastecimento da cidade, é desperdício utilizar água potável para efetuar tal processo.

Na Região Metropolitana do Recife, a COMPESA efetua a desobstrução de redes de esgotamento sanitário através de água residuária tratada. A ação é feita em parceria com a Odebrecht Ambiental através do Programa Cidade Saneada. A adoção de tal medida proporcionou economia de cerca de 100 mil litros de água potável por dia, equivalente ao consumo diário de aproximadamente 700 pessoas (COMPESA, 2016).

Apesar da água de reúso não exigir qualidade elevada, esta deve ser sanitariamente segura e ser submetida a certos níveis de tratamento com o objetivo de depurar sua carga poluidora. É recomendado que a água residuária tratada seja isenta de sólidos, submetida a tratamentos biológicos e decantação e de cloração (COMPESA, 2016).

- *Reúso 3: recarga artificial de aquíferos destinados a abastecimento humano*

Aquíferos são zonas possuidoras de água subterrânea, os quais são abastecidos por zonas ou áreas de recarga, por irrigação ou precipitação. Os aquíferos podem ser confinados, não confinados ou livres. Essas zonas são vulneráveis a poluição (HESPANHOL, 2002).

A vulnerabilidade dos aquíferos a poluição ocorre devido da taxa de exploração do aquífero ser superior à recarga natural. Esse fato dá origem a problemas de rebaixamento do lençol freático e redução de disponibilidade hídrica. As consequências associadas a esses problemas são respectivamente a subsidência do solo e intrusão salina (MOURA, 2004).

A subsidência do solo ocorre em regiões onde o bombeamento de água dos aquíferos é excessivo. A água intersticial retirada deixa vazios na estrutura do solo, instabilizando-a e, por sua vez, gerando recalques significativos (HESPANHOL, 2002).

A intrusão salina ocorre porque a pressão no interior do aquífero é inferior à pressão no seu exterior, acarretando que o aquífero seja abastecido por águas marinhas. Esse fenômeno compromete a qualidade da água subterrânea, prejudicando sua utilidade para atender demandas de abastecimento humano e usos que não admitem salinização na água (MOURA, 2004).

Segundo o Instituto Trata Brasil, a Califórnia (EUA) aplica recarga de aquíferos com água residuária tratada purificada, injetando-a no interior dos aquíferos, mitigando que a água do mar contamine o aquífero e auxilie na sua recarga.

A recarga artificial de aquífero pode se proceder das seguintes formas:

- Bacias de infiltração;
- Poços de injeção na zona vadosa;
- Poços de injeção direta.

Na Tabela 5 serão descritos sucintamente os procedimentos para recarga de aquífero citados.

Tabela 5 – Tipos de procedimentos para recarga artificial de aquíferos

Poços de Injeção Direta	Poços de Injeção na Zona Vadosa	Bacias de Infiltração
• Necessita de construção de poços projetados; • Injetado diretamente no aquífero, seja ele confinado ou não; • Alto custo de implantação; • Requer efluente com qualidade elevada.	• Similar ao processo de bacias de infiltração e poços de injeção direta; • Alternativa mais econômica quando o custo e sua implantação de bacias de infiltração é inviável; • Pode ser implementado próximo a sistemas de abastecimento de águas; • Menos perdas por evaporação; • Requer efluente de elevada qualidade.	• Requer solos permeáveis; • Topografia da região favorável; • Realização de Tratamento Solo Aquífero; • Empregado em vários países do mundo (EUA, Israel, Califórnia, Nevada, entre outros).

Fonte: Adaptado de Hespanhol (2002) e Moura (2004)

Os principais objetivos de utilizar água residuária tratada para efetuar a recarga artificial são:

- Manter o nível do lençol freático;
- Manter a reserva estratégica de água;
- Evitar a intrusão salina;
- Evitar a subsidência do solo;
- Evitar inundações.

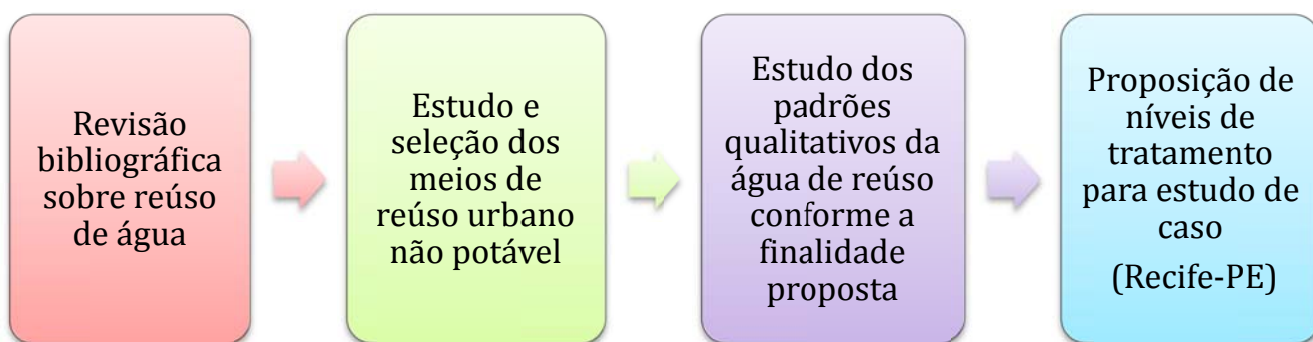
O método selecionado para efetuar a recarga do aquífero que servirá de análise para a qualidade da água exigida para efetuar a recarga artificial do aquífero para o presente trabalho será através de bacias de infiltração.

3 METODOLOGIA

O objetivo do presente trabalho foi direcionado para a proposição de níveis de tratamento necessários para o esgoto afluente a ETE-Mangueira da cidade do Recife-PE, o qual é monitorado há mais de 20 anos pelo Laboratório de Saneamento Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco (LSA/UFPE). Visando este atender a qualidade de água requerida para reúso urbanos não potáveis destinados à irrigação de áreas verdes urbanas, desobstrução de tubulação de rede coletora de esgoto e recarga artificial de aquíferos, sem que traga impactos negativos na saúde pública e no meio ambiente.

A metodologia para o desenvolvimento do trabalho se procedeu em etapas, as quais foram descritas na Figura 1.

Figura 1 - Metodologia adotada para o desenvolvimento do trabalho



Algumas considerações foram feitas para justificativa para o desenvolvimento do presente trabalho, descritas no seguinte item.

3.1 Características relevantes ao trabalho da cidade do Recife

A cidade do Recife possui aproximadamente 222,93 km² de área verde, o que corresponde a 45% do da área da cidade (JC ONLINE, 2012). Além de contar com 46,02 m² de área verde por habitante da cidade, segundo o Programa de Cidade Sustentáveis do ano de 2012. A Figura 2 ilustra alguma das áreas verdes do Recife.

Figura 2 – Parque da Jaqueira do Recife



Fonte: JC Online, 2012

A cidade conta com o Projeto Cidade Saneada, Parceria Público Privada entre a COMPESA e Odebrecht, como já mencionado anteriormente em outros capítulos. Abaixo ilustra a figura do processo de desobstrução de tubulações de rede de esgoto com efluente tratado.

Figura 3 – Processo de desobstrução de rede coletora de esgoto



Fonte: JC Online, 2015.

Os principais domínios hidrogeológicos da cidade do Recife são (BATISTA, 2015):

- Aquífero Fissural;
- Aquífero Beberibe;
- Sistema Aquífero Cabo;
- Aquífero Boa Viagem/

- Aquífero Barreiras.

Os aquíferos que são preferencialmente bombeados são os aquíferos Beberibe, Cabo e Boa Viagem.

Segundo o Diário de Pernambuco em matéria publicada no ano de 2015, o bairro de Boa Viagem apresenta problemas de afundamento do terreno da região com o passar dos anos devido ao consumo excessivo de água de poços artesianos da região.

Além disso, os aquíferos estão ameaçados a sofrer intrusão salina. A continuação de bombeamento da água do aquífero persistir os aquíferos poderão ser irremediavelmente perdidos por volta de 2035 (HIDRATA, 2015).

Para concluir qual a qualidade de água de reúso requerida para atender as finalidades descritas, foram feitas algumas considerações na busca de informações para o trabalho, descritas nos itens seguintes.

3.2 Levantamento bibliográfico e definição dos tipos de reúso estudados

Foram feitas pesquisas bibliográficas por meio de teses de mestrados, artigos científicos nacionais e internacionais, livros, entre outros, para escolha das alternativas de emprego de reúso urbano não potável para o presente trabalho.

Primeiramente foi necessário estudar marcos conceituais importantes acerca do tema de reúso de água, aprofundar os conhecimentos sobre reúso urbano não potável para as finalidades propostas, coletar informações disponíveis para padrões qualitativos da água de reúso, sumarizar as informações coletadas e por fim, propor níveis de tratamento para o esgoto bruto da cidade do Recife.

3.3 Análise e seleção dos critérios de qualidade de interesse dos tipos de reúso

Para a compilação de padrões de qualidade de água destinada para irrigação de áreas verdes, desobstrução de tubulação de rede de esgoto e recarga artificial de aquífero foram pesquisadas diferentes fontes bibliográficas. Uma análise descritiva dos padrões de qualidade para cada tipo de reúso será abordado no item 4.

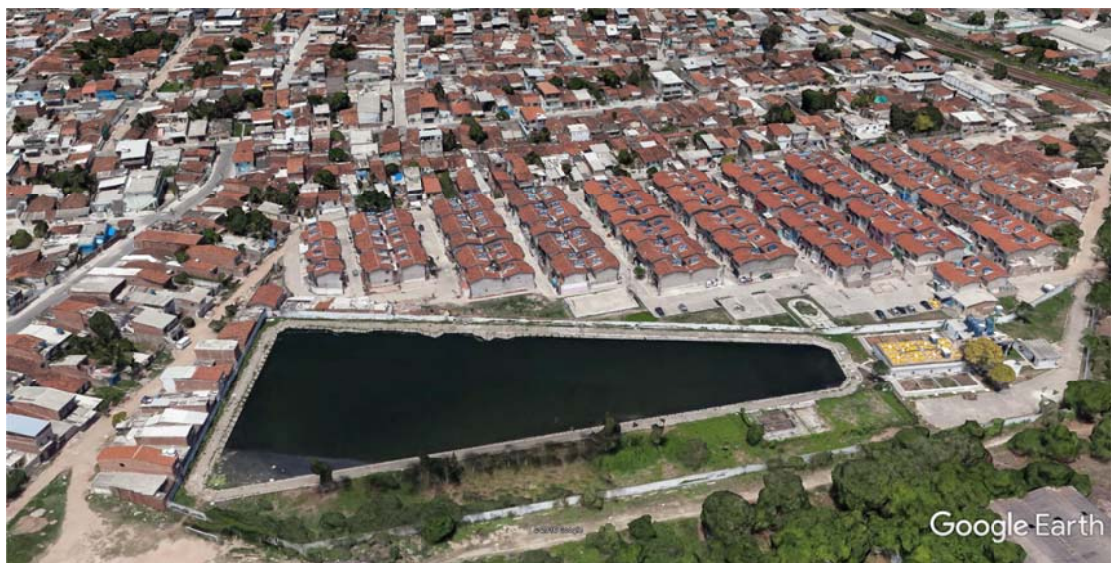
Houve a dificuldade de encontrar pesquisa científica ou na literatura descrição sobre a qualidade da água de reúso recomendada para desobstrução de tubulações de rede de esgoto. Para essa modalidade, então, foi realizada análise crítica de melhor enquadramento.

3.4 Proposição de níveis de tratamento para produção de água de reúso

A proposição dos níveis de tratamento existentes em uma ETE foi realizada considerando a característica de um esgoto real produzido na cidade de Recife proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto Mangueira (ETE-Mangueira).

A ETE Mangueira está situada no bairro da Mangueira, município do Recife e atende um equivalente populacional de 18 mil habitantes. A estação recebe esgotos sanitários proveniente dos bairros da Mangueira, San Martin e Mustardinha (Figura 4). O sistema de tratamento da fase líquida existente nesta ETE contempla operações unitárias de nível preliminar (gradeamento e caixa de areia) e nível secundário (reator UASB seguido de lagoa de polimento) (HOLANDA, 2002). O efluente tratado da ETE Mangueira é lançado no canal de drenagem, localizado nas proximidades da estação que deságua no rio Jiquiá, afluente do Rio Tejipió (MORAIS, 2011).

Figura 4 - Estação de Tratamento de Esgoto Mangueira (Recife, PE) e áreas adjacentes contribuidoras do esgoto bruto afluente



Fonte: Google Earth

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Qualidade da água de esgoto para reúso urbano não potável

4.1.1 Características do esgoto doméstico da cidade do Recife

As características qualitativas do esgoto bruto afluente a ETE-Mangueira estão descritas na Tabela 6.

Tabela 6 - Características do esgoto afluente da ETE-Mangueira

Variável	Valor médio ± DP
Oxigênio dissolvido (mg/L)	1,11 ± 0,87
pH	7,1 ± 0,26
Potencial redox (mV)	-119,45 ± 75,26
Condutividade (µs/cm)	763,99 ± 347,73
Alcalinidade total (mg/L CaCO ₃)	2576 ± 1453,54
Demanda Química de Oxigênio (DQO) (mgO ₂ /L)	240,8 ± 85,30
Nitrogênio total NTK (mg/L)	93 ± 27,66
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	61 ± 26,00
Fósforo Total (mg/L)	3,18 ± 1,17
Sólidos totais (mg/L)	624 ± 154,84
Sólidos voláteis (mg/L)	233,71 ± 74,00

Fonte: Acervo laboratorial do LSA/UFPE.

De acordo com Metcalf & Eddy, os esgotos podem ser classificados como forte, médio ou fraco, em função da concentração de algumas características qualitativas, conforme a Tabela 7.

Tabela 7 – Características físico-química dos esgotos

Característica	Forte	Médio	Fraco
DQO (mg/L)	1000	500	250
Nitrogênio Total - NTK (mg/L)	85	40	20
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	50	25	12
Fósforo Total (mg/L)	15	8	4
Óleos e graxas (mg/L)	150	100	50

Fonte: Metcalf & Eddy (1991)

Uma análise sucinta dos valores dos parâmetros do esgoto bruto apresentados em Tabela 6 e fazendo analogia com alguns deles que são apresentados na Tabela 7 será feita nos parágrafos seguintes.

O potencial hidrogeniônico (pH) indica se a água do esgoto é um meio alcalino, neutro ou ácido. Geralmente, os esgotos brutos apresentam o pH no intervalo de 6,5 a 7,5. Sabe-se que pH acima de 7 indica que o meio apresenta características alcalinas (FERNANDES, 1997). Como o valor do esgoto descrito é de 7,1, este confere um caráter ligeiramente alcalino.

O potencial redox, ou potencial de oxirredução, indica o potencial que uma espécie química possui em adquirir elétrons. Seu valor indica a quantidade de oxigênio dissolvido na água. O valor positivo desse parâmetro indica a ocorrência de reação de oxidação, ou seja, há o consumo de oxigênio dissolvido. Enquanto que valores negativos indicam reação de redução, então perda de oxigênio. O esgoto bruto em análise apresentou potencial redox de -119,45 mV. Então, pode-se inferir que há a existência de bactérias anaeróbias nesse esgoto (MIOZZO *et Al.* 2008).

A condutividade representa a capacidade da água de transmitir corrente elétrica. Indiretamente, tal parâmetro indica a quantidade de substâncias iônicas (sais) dissolvidas no esgoto (CETESB, 2009). Esse parâmetro se associa à quantidade de sólidos dissolvidos totais presentes na água. Águas doces naturais apresenta geralmente condutividade inferior à 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (ANA, 2011). Como o esgoto em análise apresenta valor de 763,99 $\mu\text{S}/\text{m}$, indica grau de poluição e abundância de sólidos dissolvidos totais.

A alcalinidade indica a capacidade do esgoto em neutralizar os ácidos existentes. Sua presença no esgoto ocorre devido aos ácidos fracos, bases e seus sais derivados. Além disso, ambientes com alcalinidade elevada favorecem a manutenção das condições de neutralidade do pH, favorecendo, por sua vez, o bom desempenho do tratamento biológico. O esgoto em questão apresenta esse parâmetro com o valor de 2576 mg/L, relativamente alto. Provavelmente, este valor alto está relacionado à presença dos ácidos orgânicos, amônia e íons bicarbonatos no esgoto (FERNANDES, 1997).

A Demanda Química de Oxigênio (DQO) é um método indireto para a determinação da matéria orgânica. Seu valor indica a quantidade de oxigênio requerida para estabilizar a matéria orgânica carbonácea. Comparando com a Tabela 7, sua concentração apresenta-se em baixa quantidade.

O nitrogênio e fósforo são nutrientes indispensáveis para a manutenção da vida dos microrganismos no tratamento biológico da ETE. Baixas concentrações desses parâmetros ou ausência no esgoto prejudicam o funcionamento dos reatores biológicos (GRASSI, 2014).

Comparando com a Tabela 7, indica que a concentração do fósforo é de fraca a média, e a de nitrogênio é elevada.

Os sólidos totais (ST) representam a fração sólida que pode ser separada através da evaporação da parte líquida. Sólidos Voláteis (SV) representam os sólidos que são volatizados durante a calcinação. Os resultados obtidos no esgoto do Recife apresentam concentrações elevadas de ST e SV.

4.1.2 Qualidade da água de reúso para fins urbanos

Foi realizada uma compilação de informações obtidas a partir de estudos feitos por 6 pesquisadores e instituições conceituadas as quais indicam os valores dos parâmetros de qualidade da água de reúso destinada para diferentes finalidades. Os dados obtidos a partir de Tsutiya, *et al.* (2001) foram organizados no Anexo A deste estudo. Os padrões de qualidade de água para reúso apontados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT/NBR 13.969/1997) podem ser verificados no Anexo B. A USEPA também define critérios de qualidade microbiológica para a água de reúso destinado apenas para irrigação de áreas verdes (Anexo C). A indicação da qualidade da água de reúso elaborada pela ANA, FIESP e SINDUSCON pode ser visualizada no Anexo D.

Ressalta-se que segundo Tsutiya *et al.* (2001), o reúso destinado à desobstrução de tubulação de drenagem urbana se enquadra na Categoria 1, irrigação em áreas verdes na Categoria 2 e recarga de aquífero na classe 3, ver anexo A.

Para a ABNT (1997), águas de reúso classificadas como classe 1 configuram o uso mais nobre enquanto que a classe 4 representa o tipo de reúso menos restritivo. A classificação realizada pela USEPA (2004) define critérios de qualidade microbiológica para a água de reúso destinado apenas para irrigação de áreas verdes, considerando, portanto, o contato da água de reúso com o público e a finalidade. A classificação das águas de reúso conforme a ANA, FIESP e SINDUSCON (2005) agrupa os usos da água em 3 classes, onde a classe 1 configura água destinadas ao contato com o público, classe 2 para construção civil e a classe 3 destinada apenas a irrigação de áreas verdes e jardins.

O Anexo E organiza as informações fornecidas pela *U.S. Environmental Protection Agency* e *The U.S. Agency for International Development by The Wash Project*, acerca da qualidade de água de reúso recomendada para fins não potáveis, onde contato com o público é restrito. As informações sugeridas não são só os níveis de tratamento pelo qual a água que

será destinada ao reúso deverá ser submetida, como também os intervalos de valores dos parâmetros indicativos de qualidade de água necessários para cada finalidade prevista.

O anexo F apresenta tabela com os resultados de um estudo feito na cidade de Phoenix na análise da eficiência do TSA com a utilização de efluente tratado a nível secundário para efetuar a recarga. É feito a comparação de valores dos parâmetros do efluente tratado a nível secundário antes e depois do TSA. Nota-se que há considerada eficiência na redução da concentração de DBO, DQO, organismos patogênicos (coliformes fecais, vírus, giárdia e criptosporídeos) e compostos inorgânicos (nitrogênio e metais pesados), pois estes ficam retidos na camada superficial do solo.

4.2 Proposição de níveis de tratamento para fins de adequação do esgoto doméstico aos usos pretendidos

4.2.1 Qualidade da água de reúso para irrigação de áreas verdes

A Tabela 8 sumariza e compila as informações presentes nos Anexos A ao D no que diz respeito à qualidade da água de reúso para fins de irrigação de áreas verdes.

Tabela 8 - Tabela resumo –água de reúso para irrigação de áreas verdes

Parâmetro	Tsutiya, <i>et al.</i>	ABNT	USEPA	ANA; FIESP; SINDUSCON
DBO (mg/L)	< 10 mg/L	-	< 10 mg/L	< 20 mg/L
Turbidez (uT)	< 2 uT	< 5 UNT	<= 2uT	< 5
Coliformes fecais	Ausente em 100 mL	Inferior a 500 NMP/100mL	ND	200/100 mL
Cloro residual livre (mg/L)	1 mg/L	> 0,5 mg/L	-	-
pH	Entre 6 e 9	-	Entre 6 e 9	Entre 6,0 e 9,0
Odor e aparência	Não declarado	Não declarado	Não declarado	-
Toxicidade por íons específicos	Irrigação superficial	Sódio (SAR)		Entre 3 e 9
		Cloretos (mg/L)		< 350 mg/L
		Cloro Residual (mg/L)		Máx. 1 mg/L
Toxicidade por íons específicos	Irrigação c/ aspersores	Sódio (SAR)		> ou = 3,0
		Cloretos (mg/L)		< 100 mg/L
		Cloro Residual (mg/L)		< 1,0 mg/L

Fonte: Adaptado de Tsutiya, *et al.* (2001), ABNT (1997), USEPA (2004), ANA, *et al.* (2005)

A partir dos valores de parâmetros sugeridos, podem-se indicar os níveis de tratamento os quais o esgoto bruto deverá ser submetido para atender a presente finalidade.

Apesar na Tabela 6 não apresentar valores de DBO, pode-se estimar quantidade de matéria orgânica existente nesse esgoto. A DQO do esgoto de Recife apresentou valor de 240,8 mg/L e OD de 1,11 mg/L. Ambos os parâmetros indicam que há a presença de matéria orgânica em elevada quantidade no esgoto. Para estabilizar a matéria orgânica, o esgoto deve ser submetido a tratamento anaeróbio.

A turbidez é o parâmetro físico que indica a presença de sólidos dissolvidos e suspensos na água. No esgoto em estudo, a quantidade de sólidos totais e voláteis é de 624 e 233,71 mg/L. Para fins de irrigação de área verde, deve-se remover a massa sólida suspensa e dissolvida do efluente até certo valor de concentração.

A presença de coliformes fecais está associado à contaminação por bactérias encontradas nas fezes humanas e animais. Apesar de não existir o valor desse parâmetro explícito na Tabela 6, pode-se inferir indiretamente sua existência através dos nutrientes que são encontrados nas fezes e urinas (Fósforo e Nitrogênio). Esse efluente deve ser, por sua vez, submetido à desinfecção. Leva-se em consideração para o processo de desinfecção que a concentração máxima recomendada de cloro residual livre na água de reúso é de 1 mg/L. Portanto, a desinfecção através da cloração deve respeitar tal recomendação.

O pH do esgoto bruto enquadra-se no intervalo de pH recomendado para irrigação de áreas verdes. Porém, como já mencionado anteriormente, é importante que o pH do esgoto seja mantido neutro para que ocorra o bom desempenho do tratamento biológico.

Portanto, os níveis de tratamento recomendados que água de esgoto para atingir a finalidade requerida deve ser submetido são os seguintes:

- Tratamento preliminar e primário: ambos atuando com a finalidade de eliminar os sólidos sedimentáveis e grosseiros que foram carregados pelo esgoto bruto;
- Tratamento secundário: com o objetivo de estabilizar a matéria orgânica com o objetivo de aprimorar a eficiência do tratamento de desinfecção por cloração conseguinte;
- Desinfecção: remoção de organismos patogênicos por meio de cloração para evitar que a população em contato com essa água adquira doenças de veiculação hídrica.

O tratamento terciário pode ser dispensado porque os nutrientes que seriam removidos nessa etapa (N e P) são minerais que nutrem as plantas que favorecem o seu crescimento e desenvolvimento. O nitrogênio é essencial para a formação de proteínas que fazem parte dos

tecidos dos vegetais. Enquanto que o fósforo atua na produção de energia e respiração da planta (PROFIGEN, 2013).

Atendendo todos os requisitos previstos, a água de esgoto tratada pode ser direcionada para tal fim sem que causem danos negativos na saúde pública e no desenvolvimento das plantas nessas áreas.

4.2.2 Qualidade da água de reúso destinada à desobstrução de rede de esgoto

São escassos os dados na literatura especializada sobre os requisitos da qualidade da água de reúso para desobstrução de tubulação de rede de esgoto, por se tratar, talvez, de uma alternativa técnica ainda não padronizada no cenário nacional e internacional. Portanto, para fins de estimativa da qualidade da água e dos níveis de tratamento demandados, foi utilizado como parâmetro para análise o uso que não é permitido contato com o público (Tabela 9).

Tabela 9 – Tabela resumo – água de reúso para desobstrução de tubulação de rede de esgoto

Parâmetro	Concentração média
DBO (mg/L)	≤ 30
Sólidos Suspensos (mg/L)	≤ 30
Coliformes fecais	$< 200/100 \text{ mL}$
Cloro residual livre (mg/L)	1 mg/L

Fonte: adaptado de Guidelines for Water Use (1992)

Sólidos grosseiros no esgoto podem comprometer o funcionamento de aparelhos hidromecânicos, bem como a obstrução de tubulações. Portanto, a água de reúso utilizada para desobstruir tubulações deve estar isenta de sólidos grosseiros. Existe considerada concentração de sólido total e volátil no esgoto do Recife (Tabela 6). Então, o esgoto deve ser submetido a tratamento que retire essa massa sólida e dissolvida.

A água para desobstrução da rede de esgoto deve apresentar concentração de DBO inferior a 30 mg/L. Portanto, essa água deve ser submetida a tratamentos secundários para estabilizar a matéria orgânica existente.

Apesar da água não ter contato direto com o público, há exigência para a concentração de coliformes fecais, apesar desta não ser tão rigorosa quanto para águas destinadas a uso potável. Porém, como a carga de coliformes fecais existente no esgoto do Recife é consideravelmente alta, é preciso, portanto, que o esgoto seja submetido ao tratamento de desinfecção por meio de cloração. Ademais, a concentração de cloro residual livre da água de reúso para esta finalidade não deve ser superior a 1 mg/L.

As etapas de tratamento necessárias que o esgoto bruto deve ser submetido para atingir a finalidade requerida são:

- Tratamento preliminar e primário: para a remoção de sólidos grosseiros e sedimentáveis, os quais prejudicam o processo da desobstrução da tubulação.
- Tratamento secundário: com o objetivo de depurar a carga poluidora com o objetivo de aprimorar a eficiência do tratamento de desinfecção por cloração;
- Desinfecção para a remoção de organismos patogênicos. Injetar água com concentração abundante de bactérias, há o aumento da concentração de vetores transmissíveis de doenças. O risco associado a esse problema consiste no fato de existir a possibilidade dos operários que executarão tal procedimento ter contato com a água de reúso. Portanto, a água não deve ser um veículo de transmissão de doenças.

4.2.3 Qualidade da água de reúso destinada à recarga artificial de aquíferos

Como destacado anteriormente, a análise de qualidade de água requerida para efetuar a recarga será para o método de recarga através de bacias de infiltração. Os dados encontrados para análise de tal tipo de infiltração são para os efluentes tratados previamente a nível secundário.

Através deste tipo de recarga, ocorre o TSA. Na medida em que a água percola ao longo da camada de solo, sólidos presentes na água são filtrados e retidos entre os grãos do material de cobertura do aquífero. Além disso, a retenção de partículas orgânicas e de umidade pode desencadear processos biológicos naturais que aprimoram a qualidade dessa água (HESPANHOL, 2002). Os resultados obtidos dos parâmetros qualitativos da água antes e depois do TSA encontram-se no Anexo 6.

Embora os resultados da qualidade da água no interior de um aquífero após o TSA serem satisfatórios para o abastecimento humano, é necessário que esta água não esteja contaminada com organismos patogênicos. Além disso, é importante destacar que a água de reúso destinada à recarga de aquífero deve apresentar elevado grau de qualidade, pois essa água poderá servir futuramente para abastecimento humano.

Existe também a preocupação dos contaminantes químicos e biológicos existentes na água de reúso comprometerem a qualidade da água subterrânea. Os componentes biológicos mais preocupantes para a contaminação da água do aquífero destinados ao abastecimento

humano são os retrovírus. Estes são capazes de transmitir doenças ao homem e não são detectados com facilidade. Portanto, níveis de tratamento primário e secundário não são suficientes para que a água seja compatível para executar tal finalidade, necessitando de filtração e cloração (ASANO, 1999).

Portanto, considerando o efluente bruto do município de Recife (Tabela 6) os níveis de tratamento propostos para sua adequação como água de reúso para recarga artificial de aquíferos são:

- Tratamento preliminar e primário: estes atuam na remoção dos sólidos grosseiros e dissolvidos para evitar a colmatação do solo.
- Tratamento secundário: atuando com o objetivo de depurar a carga poluidora;
- Desinfecção: remoção de organismos patogênicos (retrovírus e outros organismos patogênicos) que comprometem a qualidade da água do aquífero bem como a saúde pública da população.

5 CONCLUSÃO

O reúso urbano de esgotos domésticos tratados pode representar uma alternativa de redução do consumo de água potável proveniente dos mananciais superficiais e subterrâneos, podendo estas serem destinadas apenas para usos mais nobres.

O reúso de efluentes para irrigação de áreas verdes urbanas demanda uma atenção especial quanto à concentração de DBO, DQO e coliformes fecais na água. É importante o controle destas variáveis para evitar possíveis transmissões de doenças a população urbana. Assim, considerando o esgoto produzido na cidade de Recife, uma ETE composta por tratamento primário e desinfecção tem potencial de produção de um efluente apto para este tipo de reúso.

O mesmo raciocínio se aplica para a água destinada para desobstrução de tubulações de redes de esgoto. Embora a água usada nesta finalidade tenha baixo requisito qualitativo (ressalta-se a escassez de diretrizes técnicas disponíveis na literatura científica neste caso específico) uma ETE composta de unidade de tratamento preliminar, primária e desinfecção poderia produzir efluente adequado para reúso com esta finalidade no município de Recife.

O reúso de efluentes para recarga de aquíferos se enquadra como uma alternativa de elevado benefício em longo prazo, visto a possibilidade da água recarregar os mananciais subterrâneos para abastecimento público. Assim, torna-se necessário o controle de sólidos totais e dissolvidos, nitrogênio total, fósforo e organismos patogênicos que podem ser removidos através do uso de técnicas de tratamento preliminar, terciário e desinfecção. O TSA atua como a unidade de tratamento secundária de uma ETE convencional. Além disso, é importante destacar os benefícios associados ao aquífero com relação à capacidade de infiltração do solo e a sua proteção contra intrusão salina.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência FAPESP. **Aquíferos do Recife correm risco de salinização**. 2013. Disponível em: < http://agencia.fapesp.br/aquiferos_do_recife_correm_risco_de_salinizacao/18377/ >. Acesso em: 21 nov de. 2016.

Agência Senado. **Aprovado fundo para medidas de reutilização de água**. 2015. Disponível em: <<http://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2010/05/04/aprovado-fundo-para-medidas-de-reutilizacao-de-agua>>. Acesso em: 9 dez. 2016.

ANA, **Agência Nacional de Águas. Parâmetro de qualidade da água**. S.I. Maurrem Ramon Vieira 64. 2011. Curso de capacitação. Disponível em: http://capacitacao.ana.gov.br/Lists/Cursos_Anexos/Attachments/32/Par%C3%A2metros.pdf Acesso: 1 nov. de 2016

ARANTES, José Tadeu. **Mau uso da água subterrânea agrava crise hídrica**. 2016 Disponível em: < <http://exame.abril.com.br/tecnologia/mau-uso-da-agua-subterranea-agrava-a-crise-hidrica/>>. Acesso em: 13 nov de 2016.

ASANO, T.. **Groundwater recharge with reclaimed municipal wastewater - regulatory perspectives**. In: Proceedings of the International Symposium on Efficient Water Use in Urban Areas - Innovative Ways of Finding Water for Cities, Kobe, Japan, 8-10 June, 1999. Disponível em: . Acesso em dez. de 2002.

CARACIOLO, Patrícia Maria de Magalhães. **A prática de reúso de águas: possibilidade de estímulo pela política nacional de recursos hídricos e de instrumento adicional de gestão**. 2008. 188 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Ciências Geográficas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo. Significado Ambiental e Sanitário das variáveis das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem**. 2009

COMPESA. Companhia Pernambucana de Saneamento. **Cidade saneada adota prática que economiza quase 100 mil litros de água por dia**. 2016. Disponível em < <http://servicos.compesa.com.br/cidade-saneada-adota-pratica-que-economiza-quase-100-mil-litros-de-agua-por-dia/> > Acesso em 5 de dezembro de 2016.

DIÁRIO DE PERNAMBUCO. Bairros podem afundar se exploração de poços não for controlada, dizem especialistas. 2012. Disponível em: < <http://www.abas.org/noticia-211-bairros-podem-afundar-se-exploracao-de-pocos-nao-for-controlada-dizem-especialistas> > . Acesso em 10 nov de 2016

FERNANDES, Carlos. - **Esgotos Sanitários**, Ed. Univ./UFPB, João Pessoa, 1997, 435p. Reimpressão Jan/2000

FERNANDES, V. M. C. *et al* . **Padrões para Reúso de Águas Residuárias em Ambientes Urbanos**.

FONSECA, Adriel Ferreira da *et al* (Org.). **Reúso de águas de esgoto sanitário, inclusive desenvolvimento de tecnologias de tratamento para esse fim: Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. Recife: Programa de Pesquisas em Saneamento Básico Prosab, 2006. 427 p.

FRATA, Gustavo Almeida. **ELABORAÇÃO DE PLANO DIRETOR DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DA BACIA NOVO MUNDO SITUADA NO INTERIOR DE SÃO PAULO**. 2014. 118 f. Tese (Doutorado) - Curso de Mestrado Profissionalizante em Tecnologia Ambiental, Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnológicas, Universidade de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto, 2014.

HAANDEL, A. C.; LETTINGA, G. Tratamento Anaeróbio de Esgotos: Um manual para regiões de clima quente. (1994) p200.

HESPAHOL, I. **Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos**. In: MANCUSO, P. C. S., SANTOS, H. F. (ed.). Reúso de água. São Paulo: Manole, 2002. cap. 13, p. 37-95.

HOLANDA, j. ComuniCampus. **Esgoto tratado é reaproveitado**. 2002. Disponível em: <<https://www.ufpe.br/agencia/popups/cconline/022/opinioao.html>> . Acesso em 14 de dezembro de 2016.

JC ONLINE. **O mapa verde do Recife**. 2012 Disponível em: <<http://jconline.ne10.uol.com.br/canal/cidades/cienciamambiente/noticia/2012/03/18/o-mapa-verde-do-recife-36165.php>>. Acesso em: 10 nov 2016.

LAVRADOR, J. **Contribuição para o entendimento do Reúso Planejado de Água e Algumas Considerações sobre suas Possibilidades no Brasil**. São Paulo, 1987. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

LIMA, Antonio Inacio de. **Saiba a diferença entre esgoto sanitário e efluentes industriais**. 2013. Disponível em: <<http://www.teraambiental.com.br/blog-da-tera-ambiental/bid/314718/Saiba-a-diferen-a-entre-esgoto-sanit-rio-e-efluente-industrial>>. Acesso em: 21 nov. 2016.

LOPES, Veronica. **CEDAE oferece água de reúso para limpeza urbana**. 2015 Disponível em:< <http://www.rj.gov.br/web/imprensa/exibeconteudo?article-id=2359081>>. Acesso em: 16 nov 2016.

MELLO, Edson José Rezende de. **TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO: Avaliação da estação de tratamento de esgoto do Bairro Novo Horizonte na cidade de Araguari - MG**. 2007. 99 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Sanitária, Uniminas Pós-graduação Lato Sensu, Uberlândia, 2007.

METCALF E EDDY. **Wastewater engineering; treatment disposal reuse**, 3th ed. New York, Mc Graw Hill (1992).

MORAIS, Juliana Cardoso. **Avaliação da eficiência e dos problemas operacionais de uma estação de tratamento de esgotos ao longo de 13 anos de monitoramento**. 2011. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil, Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.

MOURA, André Negrão de. **Recarga Artificial de Aquíferos: os desafios e riscos para garantir o suprimento futuro de água subterrânea.** In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 12., 2004, São Paulo. SUPLEMENTO - XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas (2004). São Paulo: Águas Subterrâneas, 2004. p. 1 - 19.

OLIVEIRA, Aline da Silva. **Tratamento de esgoto pelo sistema de lodos ativados no município de Ribeirão Preto,** SP: Avaliação da remoção de metais pesados. 2006. 162 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Enfermagem em Saúde Pública, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2006.

PEREIRA, Heron da Silva. **Estudo da Caracterização do Efluente do Campus Universitário Capão do Leão e Possibilidade de Reúso.** 2014. 64 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2014.

POTENCIAL REDOX, Artigo de Ricardo Miozzo – publicado em: Qua Jul 02, 2008 21:52, disponível em: <http://gpaquarismo.mrforum.net/aquarismo-marinho-em-geralf2/potencial-redox-t221.htm>. Acesso: 15 nov. 2016.

PROFIGEN do Brasil Ltda. Nutrição das plantas. 2013. Disponível em < http://profigen.com.br/ler/1/377/337/nutricao_de_plantas > Acesso em 5 de dezembro de 2016.

REDE DE CAPACITAÇÃO E EXTENSÃO TECNOLÓGICA EM SANEAMENTO AMBIENTAL - RECESA, 2008, Brasília. Esgotamento sanitário: Operação e manutenção de redes coletoras de esgoto. Brasília: Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, 2008. 78 p.

RUBIM, Cristiane. **O trabalho de flotação e aeração.** 2013 Disponível em: < <http://www.meiofiltrante.com.br/internas.asp?id=14746&link=noticias> >. Acesso em: 18 nov 2016.

SILVA, Robson José. **Caracterização do esgoto tratado na ETE Mangueira e a viabilidade de seu uso em mudas de eucalipto.** 2011. 88 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.

TOMAZ, Plínio. **Água pague menos: 4 atitudes básicas para economizar água.** Guarulhos: Plinio Tomaz, 2010. 137 f. Livro eletrônico em A4, Word, Arial 10, 135p.

ANEXO A - Padrões de qualidade da água de reúso segundo Tsutiya, et al. (2001).

Padrão de qualidade da água de reúso	Mercado	Exemplo de aplicação
Categoria 1		
Filtração, desinfecção: DBO5 < 30mg/L; TSS < 30mg/L; Coliformes fecais: <200mL/100mL; Cloro residual livre: 1 mg/L; pH entre 6 e 9.	- Irrigação de áreas com acesso restrito ou controlado ao público; - Produção agrícola de produtos não destinados ao consumo humano ou consumidos após processamento que elimine patógenos; - Uso recreacional sem contato direto com a água; - Uso industrial.	Campo de golfe, cemitérios, reservas ecológicas pouco frequentadas, reflorestamento, pastos, produção de cereais e oleaginosas, rios e lagos não utilizados para natação.
Categoria 2		
Filtração, desinfecção: DBO5 < 10mg/L; Turbidez <2 uT; Coliformes fecais ausentes em 100mL; Cloro residual livre: 1 mg/L; pH entre 6 e 9	- Uso urbano sem restrições; - Produção agrícola de alimentos; - Uso recreacional sem restrições; - Melhoramento ambiental.	- Irrigação de parques, playgrounds e jardins escolares; - Água para sistemas de hidrantes, construção civil e fontes em praças públicas; - Usos residenciais: descarga de vasos sanitários, água para sistemas de ar condicionado; - Produtos agrícolas cultivados para consumo humano na forma crua ou sem cozimento; - Lagos e rios para uso recreacional sem limitação de contato com a água; - Alagados artificiais, perenização de rios e córregos em áreas urbanas.
Categoria 3		
Efluente de osmose reversa	Reúso Potável Indireto	- Reúso potável indireto; - Barreiras contra intrusão de águas salinas em aquíferos; - Maioria dos usos residenciais (banho, lavagem de roupa e utensílios de cozinhas, etc).
Categoria 4		
Água potável	Reúso Direto	Reúso potável

**ANEXO B - Valores de parâmetros indicativos de qualidade de água de reúso
segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT/NBR 13.969/1997)**

Classes	Parâmetros	Comentários
Classe 1 - Lavagem de carros e outros que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador incluindo chafarizes.	Turbidez: < 5 UNT; Coliforme fecal: inferior a 200 NMP/100 ml; Sólidos dissolvidos totais < 200 mg/L; pH entre 6.0 e 8.0; Cloro residual entre 0,5 mg/L e 1,5 mg/L.	Nesse nível, serão geralmente necessários tratamentos aeróbios (filtro aeróbio submerso ou LAB) seguidos por filtração convencional (areia e carvão ativado) e, finalmente, cloração. Pode-se substituir a filtração convencional por membrana filtrante.
Classe 2 - Lavagem de pisos, calçadas e irrigação de jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes.	Turbidez < 5 UNT; Coliforme fecal: inferior a 500 NMP/100 mL; Cloro residual: superior a 0,5 mg/L;	Nesse nível é satisfatório um tratamento biológico aeróbio (filtro aeróbio submerso ou LAB) seguido de filtração de areia e desinfecção. Pode-se também substituir a filtração por membranas filtrantes.
Classe 3 - Reúso nas descargas das bacias sanitárias.	Turbidez < 10 UNT; Coliforme fecal: inferior a 500 NMP/100 mL	Normalmente, as águas de enxágue das máquinas de lavar roupas satisfazem a este padrão, sendo necessária apenas uma cloração. Para casos gerais, o tratamento aeróbio seguido de filtração e desinfecção satisfaz a este padrão.
Classe 4 - Reúso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para fados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual.	Coliforme fecal: inferior a 5.000 NMP/100 mL; Oxigênio dissolvido: acima de 2,0 mg/L	As aplicações devem ser interrompidas pelo menos 10 dias antes da colheita.

ANEXO C - Padrões de reúso para irrigação de áreas verdes segundo a United States Environmental Protection Agency (USEPA) (2004)

Tipo de Reúso	Processo de tratamento	Qualidade do efluente
Usos urbanos irrestritos: irrigação (campos de esporte, parques, jardins e cemitérios, etc) e usos ornamentais e paisagísticos em áreas com acesso irrestrito ao público, descarga de toaletes, combate a incêndios, lavagem de veículos, limpeza de ruas e outros usos com exposição similar.	Secundário + filtração + desinfecção	• pH entre 6 a 9; • DBO menor do que 10mg/L; • Turbidez menor ou igual a 2 uT; • CRT maior do que 1 mg/L; • CTer ND; • Organismos patogênicos ND.
Usos urbanos restritos: irrigação (parques, canteiros de rodovias, etc) e usos ornamentais e paisagísticos em áreas com acesso controlado ou restrito ao público, abatimento de poeira em estradas vicinais, usos na construção (compactação do solo, abatimento de poeira, preparação de argamassa e concreto, etc.)	Secundário + desinfecção	• pH entre 6 a 9; • DBO menor do que 30mg/L; • SST menor do que 30 mg/L; • CRT maior do que 1mg/L; • CTer menor ou igual a 200 100/mL

ANEXO D - Parâmetros de água de reúso indicados pela Agência Nacional de Águas (ANA), Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP) e Sindicato da Indústria da Construção Civil (SINDUSCON) (2005)

Parâmetros	Classe 1	Classe 2	Classe 3
	Descargas em bacias sanitárias; Lavagem de pisos; Fins ornamentais; Lavagem de roupas; Lavagem de veículos.	Lavagem de agregados; Preparação de concreto; Compactação de solo; Controle de poeira.	Irrigação de áreas verdes e jardins.
Coliformes fecais	Não detectáveis	1000/mL	200/100 mL
Ph	Entre 6,0 e 9,0	Entre 6,0 e 9,0	Entre 6,0 e 9,0
Turbidez (UNT)	2	-	< 5
Odor e aparência	Não desagradáveis	Não desagradáveis	-
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) (mg/L)	10 mg/L	30 mg/L	< 20 mg/L
Compostos Orgânicos Voláteis	Ausentes	Ausentes	-
Nitrato (mg/L)	< 10 mg/L	-	-
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	20 mg/L	-	-
Nitrogênio Total (mg/L)	-	-	5-30 mg/L
Fósforo Total (mg/L)	0,1 mg/L	-	-
Sólido Suspenso Total SST	5 mg/L	30 mg/L	< 20 mg/L
Sólido Dissolvido Total SDT	500 mg/L	-	450 <S DT < 1500
Salinidade		-	0,7 < EC(dS/m) < 3,0
Toxicidade por Íons Específicos	Irrigação superficial	Sódio (SAR)	Entre 3 e 9
		Cloretos (mg/L)	< 350 mg/L
		Cloro Residual (mg/L)	Máx. de 1 mg/L
Toxicidade por Íons Específicos	Irrigação c/ aspersores	Sódio (SAR)	> ou = 3,0
		Cloretos (mg/L)	< 100 mg/L
		Cloro Residual (mg/L)	< 1,0 mg/L
Boro (mg/L)	Irrigação de culturas alimentícias		0,7 mg/L

ANEXO E - Qualidade de água de reúso segundo Guidelines for Water Use (1992)

Tipos de Reúso	Tratamento	Parâmetros de Qualidade da Água
Paisagístico Contato com o público não permitido	Secundário Desinfecção	DBO $\leq$ 30 mg/L SS $\leq$ 30 mb/L Coliformes fecais $<$ 200 mL/100 mL Cl2 Residual: 1mg/L
Construção Civil Compactação do solo; Controle de poeira; Formação do concreto.	Secundário Desinfecção	DBO $\leq$ 30 mg/L SS $\leq$ 30 mb/L Coliformes fecais $<$ 200 mL/100 mL Cl2 Residual: 1mg/L
Reúso Industrial	Secundário	pH: 6 - 9 DBO $\leq$ 30 mg/L Coliformes: 200mL/100mL Cl2: 1mg/L

ANEXO F - Qualidade da água após o tratamento solo aquífero em estudo feito na cidade de Phoenix (2002)

Parâmetros	Efluente Secundário (mg/L)	Amostras do Aquífero (mg/L)
Sólidos dissolvidos totais	750	790
Sólidos suspensos	11	1
Amônia	16	0,1
Nitrato	0,5	5
Nitrogênio orgânico	1,5	0,1
Fosfato	5,5	0,4
Fluoreto	1,2	0,7
Boro	0,6	0,6
DBO	12	1
TOC	12	1,9
Zinco	0,19	0,03
Cobre	0,12	0,016
Cádmio	0,008	0,007
Chumbo	0,082	0,066
Coliformes fecais/100 mL	3500	0,3
Vírus, ufp/100 mL	2118	1