

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS -
CÂMPUS GOIÂNIA
BACHARELADO EM QUÍMICA**

LUCAS RAFAEL F. MARES

**MÉTODOS ALTERNATIVOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS E
REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS CINZAS, UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA**



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Lucas Rafael Ferreira Mares

Matrícula: 20162011080049

Título do Trabalho: Métodos alternativos de tratamento de efluentes domésticos e reutilização de águas cinzas, uma revisão bibliográfica sistemática

Autorização - Marque uma das opções

1. ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. ☐ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. ☐ Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- ☐ O documento está sujeito a registro de patente.
☐ O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
☐ Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Goiânia, 07 / 08 / 2023.

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DE GOIÁS PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS**



Documento assinado digitalmente

LUCAS RAFAEL FERREIRA MARES

Data: 07/08/2023 10:31:47-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos
Autorais

LUCAS RAFAEL F. MARES

**MÉTODOS ALTERNATIVOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES
DOMÉSTICOS E REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS CINZAS, UMA REVISÃO
BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso,
apresentado(a) como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em Química
pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Goiás – Campus Goiânia, na
área de concentração de Química Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Hernane
Barcelos.

Goiânia, 20 de junho de 2023.

M325m Mares, Lucas Rafael F.

Métodos alternativos de tratamento de efluentes domésticos e reutilização de águas cinzas, uma revisão bibliográfica sistemática / Lucas Rafael F. Mares. – Goiânia: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, 2023.
47f.

Orientação: Prof. Dr. Hernane Barcelos.

TCC (Trabalho de Conclusão de Curso) – Curso de Bacharelado em Química, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

1. Tratamento de efluentes domésticos. 2. Reuso de água. I. Barcelos, Hernane (orientação). II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. III. Título.

CDD 628.162



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS GOIÂNIA

ATA Nº 04/2023

ATA DA SESSÃO PÚBLICA DE APRESENTAÇÃO E DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Ao vigésimo nono dia do mês de junho do ano de dois mil e vinte e três, às 17:30 horas, do Instituto Federal de Goiás, Campus Goiânia, situado à Rua 75, Setor Central da cidade de Goiânia, Estado de Goiás, foi realizada a sessão pública de apresentação e defesa do Trabalho de Conclusão de Curso do Graduando **Lucas Rafael Ferreira Mares (20162011080049)** do curso Bacharelado em Química, no primeiro semestre do ano de dois mil e vinte e três. A banca foi composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. Hernane de Toledo Barcelos, Prof. Dr. Joachim Werner Zang e Prof. Dr. Fernando Schimidt, sob a presidência do primeiro. O trabalho de conclusão de curso tem como título "**MÉTODOS ALTERNATIVOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS E REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS CINZAS, UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA**", da área de Química, sob orientação do Prof. Dr. Hernane de Toledo Barcelos. Após a apresentação do Trabalho de Conclusão de Curso, tendo sido o autor arguido pela Banca Examinadora, a nota final foi **9,5**.

Encerra-se a presente sessão às 18 horas e 45 minutos. Eu, Prof. Dr. Hernane de Toledo Barcelos, dato e assino a presente ata que segue assinada por todos os membros da Banca e pelo graduando.

(Assinado eletronicamente)
Prof. Dr. Hernane de Toledo Barcelos

(Assinado eletronicamente)
Prof. Dr. Joachim Werner Zang

(Assinado eletronicamente)
Prof. Dr. Fernando Schimidt

(Assinado eletronicamente)
Lucas Rafael Ferreira Mares
(Graduando)

Documento assinado eletronicamente por:

- Fernando Schimidt, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 05/07/2023 02:04:06.
- Lucas Rafael Ferreira Mares, 20162011080049 - Discente, em 03/07/2023 12:11:22.
- Joachim Werner Zang, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 30/06/2023 17:00:05.
- Hernane de Toledo Barcelos, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 29/06/2023 18:45:51.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 21/06/2023. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 422268
Código de Autenticação: 9deac9cbcb



AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família que sempre me apoiou em minhas decisões, mesmo quando elas não pareciam ser claras a eles. Obrigado mãe, pai e irmã, vocês são minha base para tudo.

Agradeço ao meu companheiro e amigo, obrigado por sempre me aconselhar e me incentivar a ir atrás dos meus sonhos, te agradeço imensamente e serei eternamente grato a você por tudo que temos aprendido nessa caminhada juntos. Agradeço em especial aos últimos conselhos e abraços de conforto quando eu chegava a pensar que não conseguiria atingir meus objetivos.

Agradeço a todos os meus sinceros e poucos amigos, alguns que inclusive conheci nessa instituição de ensino, vocês foram essenciais para que os piores e mais difíceis momentos do curso ficassem suportáveis e mais leves, muito obrigado.

Agradeço aos meus professores, ao meu orientador e a essa instituição e ensino que me acolheu, me respeitou e me transmitiu mais que apenas conhecimento técnico. Obrigado a todos os professores humanos, que se dedicaram para ir além e que certamente foram além, eu os admiro muito.

Agradeço a Deus pela sabedoria a mim confiada, pela saúde, pela paz e acalento em todos os momentos da minha vida. Te agradeço Deus pela sua presença e por caminhar ao meu lado, eu o sinto, Jesus, obrigado!

“A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo”. (Albert Einstein)

RESUMO

Em razão da grande disponibilidade por meio de um ciclo natural, era notório que a interpretação geral da humanidade sobre a disponibilidade de água, era de que ela seria um recurso inesgotável, porém, a realidade atual é de escassez de água em diversos países, inclusive no Brasil, que possui uma localização bastante privilegiada levando-se em conta a quantidade de reservas hídricas. Diante desses fatos e dados, essa percepção permite além de criar, aplicar novas tecnologias que possam auxiliar na racionalização do uso de água potável. A reutilização de águas cinzas oriundas de tratamentos de efluentes domésticos, dá à essa tentativa de economia, uma alternativa benéfica para a sociedade. Esse artigo reúne técnicas e estudos de tratamentos alternativos de efluentes em pequena e média escala com objetivo de comparar estudos que propõem novas alternativas de tratamento de efluentes domésticos e apontar o melhor estudo dentre os apresentados e ainda propõe o uso dessas águas tratadas em atividades que não demandam potabilidade de água, ou seja, técnicas de tratamento e reutilização de águas em residências. Além disso o artigo aponta e discute os resultados apresentados nas pesquisas e apresenta o tratamento biológico associado a um sistema de membranas, como principal alternativa de tratamento de efluentes domésticos, essa definição levou-se em consideração os resultados obtidos pelos autores e a facilidade de montagem do sistema de tratamento para uso e estudo na sociedade em geral.

PALAVRAS-CHAVE: Efluentes domésticos, tratamento de efluentes, águas cinzas.

ABSTRACT

Due to the great availability through a natural cycle, it was notorious that the general interpretation of humanity about the availability of water was that it would be an inexhaustible resource, however, the current reality is of water scarcity in several countries, including in Brazil, which has a very privileged location taking into account the amount of water reserves. Given these facts and data, this perception allows, in addition to creating, to apply new technologies that can help rationalize the use of drinking water. The reuse of gray water from the treatment of domestic effluents gives this attempt at economy a beneficial alternative for society. This article brings together techniques and studies of alternative treatment of effluents on a small and medium scale with the objective of comparing studies that propose new alternatives for the treatment of domestic effluents and pointing out the best study among those presented and also proposes the use of these treated waters in activities that do not require potable water, that is, techniques for treating and reusing water in homes. In addition, the article points out and discusses the results presented in the research and presents the biological treatment associated with a membrane system, as the main alternative for the treatment of domestic effluents, this definition took into account the results obtained by the authors and the ease of assembly. of the treatment system for use and study in society at large.

KEYWORDS: Domestic effluents, effluent treatment, greywater.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figuras

Figura 1- Esquema do protótipo	27
Figura 2- Fluxograma das etapas que compõem o tratamento	33
Figura 3- Sistema adaptado	36

Imagens

Imagem 1: Sistema de gradeamento.....	19
Imagem 2: Sistema de peneiramento rotativo.	20
Imagem 3: Exemplo de Desarenador.	20
Imagem 4: Sistema de lodos ativados.....	22
Imagem 5- Visão geral do protótipo do sistema (real e projeto simplificado).....	29
Imagem 6- Buraco usado para acondicionamento dos tubos de concreto	31
Imagem 7- Pedacos de bambu cortados em pedacos.....	31
Imagem 8- Montagem do sistema de tratamento	32
Imagem 9- Sistema de lodos ativados.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resultados dos parâmetros físico-químicos dos autores.....	39
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

mm- Milímetros

L- Litros

Hab- Habitantes

DBO- Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO- Demanda Química de Oxigênio

CAPES- Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

μ- Micrômetros

mL- Mililitros

h- Horas

cm- centímetros

PVC- Policloreto de vinil

Pt- Platina

FAU- Unidade de Atenuação de Formazina

UT- Unidades de Turbidez

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
2.1 Recursos hídricos.....	17
2.2 Efluentes domésticos	18
2.3 Tratamento convencional de efluentes domésticos.....	18
2.3.1 Tratamento preliminar	19
2.3.2 Tratamento primário	21
2.3.3 Tratamento secundário.....	22
2.3.4 Tratamento terciário	23
2.4 Usos finais de água em habitações.....	23
2.5 Parâmetros de lançamento de efluentes	24
3 METODOLOGIA.....	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
4.1 Avaliação de um equipamento protótipo para tratamento de águas cinzas com fins não potáveis.....	27
4.2 Prova de conceito e análise de desempenho em protótipo de sistema para o tratamento natural de efluentes domésticos.....	29
4.3 Avaliação de um sistema alternativo para tratamento de efluente doméstico e planejamento para conscientização da comunidade.....	30
4.4 Tratamento de efluente por reator biológico aeróbio com membrana visando o reúso de água.....	33
4.5 Construção e caracterização microbiológica de dois sistemas <i>wetlands</i> em escala piloto aplicados ao tratamento de efluente doméstico.....	35
4.6 Resultados e discussão: uma abordagem geral.....	37

5 CONCLUSÃO.....	41
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

1 INTRODUÇÃO

Á água existente no planeta pode estar apresentada de diferentes formas, contudo dentre todos os recursos e formas existentes, o que se têm de água doce no mundo é de somente 3%, onde destes, apenas 1% é de fato disponível, pois os outros 2% estão presos em forma de gelo em regiões polares ou ainda em aquíferos bastante profundos, não estando assim disponíveis ao uso. A maior parte das águas do mundo (97%), é formada por mares e gelos marítimos (PEREIRA, 1999).

Fatores como a aceleração do crescimento populacional e o uso não sustentável de recursos naturais têm provocado sérios problemas ambientais, dentre eles a poluição das águas doce no planeta (WOLKMER e PIMMEL, 2013).

O Atlas Esgotos, estudou as condições de esgoto doméstico em 5570 cidades no Brasil e avaliou o impacto que os lançamentos podem gerar nos lagos, rios e reservatórios. Como muitas cidades não possuem estações de tratamento de esgoto adequadas ou mesmo que atendem suas populações na sua totalidade, o lançamento direto de esgoto em corpos hídricos pode comprometer a qualidade da água, com efeitos prejudiciais à saúde pública e ao equilíbrio do meio ambiente (BRASIL, 2017).

Em termos de esgotamento sanitário, o Sistema Nacional de Informações em Saneamento (SNIS), a partir de pesquisas realizadas em 95% da população brasileira que equivale a 4.774 municípios, traz em 2021 que a média nacional de efluentes tratados é de 51,2% do total gerado. Essa porcentagem, de acordo com o SNIS atende 55,8% dos brasileiros, logo, 44,2% dos habitantes (aproximadamente 96 milhões), não possuem sistema de tratamento de efluentes que os atendam, limitando essa geração de efluentes às alternativas como lançamentos diretos em corpos hídricos e o uso de fossas sépticas ou negras (LEONETI *et al.*, 2011; SNIS, 2021;).

O uso de sistemas para lançamento de efluentes domésticos, como as fossas, contaminam as águas subterrâneas e o solo. Esses sistemas são construídos muitas vezes em superfícies localizadas sobre aquíferos, o que traz além da contaminação das águas localizadas naquela área, risco à saúde humana. Uma das principais enfermidades que podem acometer às pessoas que fazem ingestão de águas contaminadas pelo lançamento de efluentes em fossas, é o câncer de estômago e do

esôfago, que é resultado da formação de nitrosaminas carcinogênicas com o aumento das concentrações de nitrato e nitrito nas águas (COSTA, 2017).

As águas cinzas, são definidas como aquelas que são geradas em todas as fontes de uma residência com exceção do esgoto sanitário e que abastecem uma parcela de aproximadamente 75% das fossas negras. A caracterização desses efluentes se dá pela presença de uma carga orgânica elevada, e que por esse fator, as etapas e métodos de tratamento são específicos para a remoção de matéria orgânica (BATISTA, 2020; FIORI *et al.* 2026).

Apesar das tecnologias adotadas em estações de tratamento de efluentes apresentarem resultados bastante satisfatórios, elas não contemplam toda sociedade. As tecnologias usadas em estações de tratamento convencionais podem ser adotadas, ou combinadas com outras tecnologias que se aplicam a estações mais simples e baratas no que se referem ao projeto e aquisição de materiais para sua construção, proporcionando tratamento efetivo em efluentes e águas residuárias com qualidade suficiente para reutilização (BATISTA, 2020).

O presente trabalho objetiva reunir técnicas e estudos de tratamentos alternativos para efluentes residenciais, comparando os estudos apresentados, unificando e apontando as alternativas de fácil aplicação. Com isso, propiciar o reaproveitamento das águas cinzas com a finalidade de economizar água potável, que por vezes é utilizada em atividades que não requerem potabilidade.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Recursos hídricos

Diferente do passado, onde, por simplesmente ocupar dois terços superficial da terra, a água era considerada um recurso finito, hoje, a realidade se mostra totalmente invertida em relação a esse conceito. Essa mudança é resultado da maneira como a humanidade faz uso da água, provocando sua degradação e a cada dia mais a sua escassez. A repercussão da forma como a humanidade usa a água surge em uma série de impactos que afeta diversos aspectos na vida das pessoas diariamente, assim como na economia e na saúde humana. (GIACOMIN, 2017).

A crise da água é a decorrência de um conjunto de problemas ambientais unidos a problemas econômicos (MILLER, 2002). Entretanto para Rogers (2006), a escassez de água e a crise deste século estão mais relacionadas com a falta de gerenciamento do tema, que com a disponibilidade de água potável para uso.

2.2 Efluentes domésticos

Segundo a resolução 430/2011 do CONAMA, efluente é a palavra usada para identificar lançamentos de líquidos que foram usados em atividades ou processos industriais diversos. Já para o termo esgoto sanitário a resolução denomina como sendo os despejos líquidos residenciais ou comerciais que podem apresentar características de efluentes industriais ou efluentes não domésticos.

Efluentes líquidos em sua maioria, são constituídos de misturas demasiadamente complexas e que demandam bastante trabalho analítico em suas caracterizações, que podem ser de cunho qualitativo e quantitativo. Os efluentes domésticos e principalmente os industriais entram nessa complexidade, uma vez que as indústrias, independente do ramo da atividade geram efluentes de diversas áreas dos processos (abastecimento, processo e limpezas por exemplo). Em muitos casos, componentes antagônicos e sinérgicos fazem parte das suas constituições, o que torna ainda mais difícil a sua caracterização (GRUDITZ *et al.*, 1998).

A alta degradabilidade dos efluentes domésticos também sempre foi considerada uma preocupação, além disso, com todos os avanços da humanidade e mudanças de hábitos, as pessoas usam milhares de substâncias químicas diariamente, como itens de limpeza, fármacos, alimentos e cosméticos em geral. Com isso, estima-se que os efluentes domésticos podem alcançar a marca de 10 mil tipos de substâncias químicas diferentes (TERNES *et al.*, 2008).

2.3 Tratamento convencional de efluentes domésticos

Em tratamentos convencionais é comum a divisão de processos, são eles o processo preliminar, primário, secundário e terciário de níveis de tratamento. Nas etapas preliminares, onde geralmente o efluente é recebido nas estações, acontece a retirada dos materiais grosseiros, e em seguida são removidos os sólidos em suspensão já na fase primária de tratamento. O objetivo da próxima etapa de

tratamento é a remoção da matéria orgânica, que é realizada por processos biológicos na fase secundária, na última fase, ou fase terciária de tratamento, acontece a remoção de poluentes específicos de acordo com a caracterização ou necessidade de destino do efluente (JUNIOR, 2020).

2.3.1 Tratamento preliminar

Diversas técnicas são empregadas nessa etapa de tratamento de efluentes domésticos, entre elas se destaca a aeração que é denominada pela introdução de ar no efluente, objetivando a remoção de odores e sabor. Os processos de aeração de efluentes mais comumente utilizados, são os aeradores de queda por gravidade (ajudam na remoção de gás carbônico), os aeradores de repuxo (eficientes na troca de gases e substâncias voláteis) e ainda os aeradores por borbulhamento (JUNIOR, 2020).

Outra etapa indispensável no tratamento preliminar é a do gradeamento, nesta fase do processo preliminar acontece a retirada dos materiais sólidos grosseiros, ou seja, materiais com diâmetro maior que 10 mm que são veiculados à estação de tratamento por meio de arraste físico. Para essa remoção, são usados grades e dispositivos em ferro ou aço inoxidável que são capazes de aprisionar os materiais à medida que o efluente transcorre por eles. Uma consideração importante a fazer é a resistência à oxidação do material das grades que deverá ser avaliada em relação ao efluente que o transpõe. As grades usadas nos sistemas de gradeamento são classificadas de acordo com os diâmetros, que podem ser do tipo grosseiras (espaçamento entre barras de 4 a 10 cm), médias (espaçamento entre barras de 2 a 4 cm) e finas (espaçamento entre barras de a 2 cm) (SCHORR , 2022).

Imagem 1: Sistema de gradeamento.



Fonte: Marcondes (2012).

Com o mesmo objetivo do processo de gradeamento, o peneiramento faz uso de grandes peneiras com espaçamento que podem variar entre 0,5 e 2 mm de diâmetro para a retenção de materiais grosseiros e em suspensão. As peneiras mais comumente usadas são as do tipo rotativas que podem ter sistemas de limpeza mecanizada ou manual (SCHORR, 2022).

Imagem 2: Sistema de peneiramento rotativo.



Fonte: Aquasolution (2023).

Ainda fazendo parte dos processos preliminares em tratamentos convencionais de efluentes domésticos, tem-se a empregabilidade dos desarenadores ou mais popularmente conhecidos como caixas de areia, onde, acontece a separação e remoção de materiais sólidos que podem prejudicar o funcionamento das etapas sequenciais de tratamento do efluente, como por exemplo as bombas e dispositivos de controle de vazão. Os desarenadores podem ser projetados de diferentes formatos, sendo o formato retangular o mais utilizado nas estações, e são neles que ficam retidos grande parte de areia e particulados sólidos presentes inicialmente no efluente (MOURA e OLIVEIRA, 2018).

Imagem 3: Exemplo de Desarenador.



Fonte: SIGMA (2023).

2.3.2 Tratamento primário

Visando a remoção de sólidos em suspensão sedimentáveis e parte da matéria orgânica, o tratamento primário trabalha com mecanismos físicos e etapas de consumo de matéria orgânica por via anaeróbia. Dependendo das características físico-químicas e microbiológicas do efluente após essas etapas, muitos já podem ser devolvidos aos corpos receptores, ou então seguirão para as etapas de tratamento secundário (JUNIOR, 2020).

Algumas etapas do tratamento primário predominam as estações de tratamento de efluentes domésticos, entre elas se destacam a sedimentação e a etapa de floculação. Na sedimentação ou decantação ocorre outro processo físico de tratamento, que é constituído de grandes tanques por onde o efluente flui vagorosamente à medida que acontece a deposição de material sólido em suspensão. Com a adição de agentes coagulantes, provoca-se o agrupamento de partículas coloidais que serão removidas após serem depositadas ao fundo dos tanques de coagulação, essa etapa presente nos tratamentos primários é definida como floculação ou coagulação (MARINHO, 2017).

É comum em estações de tratamento primário a presença também de tanques de flotação. Nesta etapa acontece a inserção de microbolhas de ar atmosférico no meio líquido do efluente. À medida que as bolhas de ar fluem por ação da gravidade em meio ao efluente, levam consigo partículas que podem se aderir a essas bolhas,

que serão depositadas em uma espuma densa na superfície do tanque de flotação. A retirada da espuma acontece geralmente por raspadores automatizados (MARINHO, 2017).

2.3.3 Tratamento secundário

O tratamento secundário objetiva remover a matéria orgânica presente no efluente, transformando-a em gases, água e material biológico sedimentável, pela atividade biológica dos microrganismos presentes no efluente. Dentre as etapas que ocorrem essa transformação, tem-se o sistema de lodos ativados, que é capaz de elevar a qualidade do efluente tratado, através do processo biológico de oxidação de matéria orgânica pela ação de microrganismos. Os microrganismos que mais trazem eficiência aos processos secundários de tratamento, são as bactérias (MACHADO, 2019).

Imagem 4: Sistema de lodos ativados



Fonte: Cavalcanti (2020).

Entre os processos de tratamento secundário têm-se as lagoas de estabilização, sendo essas, fases de tratamentos que usam um grande tanque construído para a finalidade de tratar os efluentes. A estabilização dos efluentes nessas lagoas é uma ação realizada pelas algas e próprios microrganismos presentes no efluente, as algas ajudam com a disponibilização de oxigênio dissolvido através da fotossíntese, e as bactérias aproveitam desse oxigênio para realizar a decomposição da matéria orgânica presente no efluente. As lagoas facultativas se aplicam à ação

dos agentes de degradação de matéria orgânica citados, onde, é caracterizada por ser um dos sistemas mais simples e natural em uma estação de tratamento. As lagoas facultativas possuem duas zonas, sendo uma aeróbia, onde ocorrem mecanismos de oxidação aeróbia e de redução fotossintética, e a zona anaeróbia, responsável pelos processos de fermentação anaeróbia (SCHORR, 2022).

Os sistemas de lodos ativados é uma das etapas do tratamento secundário mais utilizadas, esse sistema consiste no princípio de fornecimento de oxigênio à microrganismos que transformam matéria orgânica em gás carbônico, água e flocos através da biodegradação. Os flocos gerados nesse processo são sedimentados e removidos em sistema de raspagem de lodos. Sistemas de lodos ativados podem ser classificados como convencionais ou contínuos (GIORDANO, 2004).

2.3.4 Tratamento terciário

Essa fase de tratamento não muito comum em todos os processos de tratamento de efluente e geralmente são adotadas quando as etapas anteriormente citadas não são capazes de remover alguns poluentes específicos como compostos não biodegradáveis, sólidos inorgânicos, poluentes patogênicos (MARINHO, 2017).

Dentre algumas tecnologias adotadas em indústrias para remoção de alguns poluentes específicos pode destacar o processo de cloração que é usado como forma de desinfecção da água tratada, o cloro age nos elementos vitais da célula e danificam o seu material genético provocando a morte de microrganismos presentes na água. Outros processos específicos do tratamento terciário são as remoções de fósforo e nitrogênio por exemplo, o fósforo é removido por coagulação após adição de sais com compostos férricos ou alumínio, que após reação com elemento fósforo formam fosfatos que se precipitam e são removidos por decantação, o nitrogênio é removido tradicionalmente por via microbiana, a primeira etapa do processo é a oxidação do amônio a nitrito e posteriormente a nitrato por ação de bactérias nitrificantes, numa segunda etapa o nitrato é reduzido a nitrito, e após isso a nitrogênio gasoso por meio de bactérias heterotróficas que removem o nitrogênio do meio (MARINHO, 2017).

2.4 Usos finais de água em habitações

Os estudos dos usos finais de água são de suma importância para a redução do consumo de água de uma residência, pois a partir desse estudo se faz

possível o desenvolvimento de estratégias que possam trazer resultados satisfatórios em relação ao uso de água. Logo, conhecendo as fontes de maior contribuição na elevação do indicador de consumo de água de uma casa, pode-se a partir daí desenvolver e priorizar tecnologias que gerem uma economia considerável (ROCHA *et al.*, 1998).

O consumo de água é variável de acordo com cada região ou população de cada país, dessa forma os estudos sobre o levantamento dos usos finais de água se tornam decisivos para estimar a demanda de água da região (INMAN; JEFREY, 2006).

A elevação da demanda de água de uma região pode ser consequência de um melhor cenário financeiro das populações de baixa renda, ou seja, populações que eram pobres e acabam aumentando os seus poderes aquisitivos. A partir de políticas públicas, o uso racional de água em habitações possui grande impacto na redução da demanda de sistemas públicos de água. Assim, sabendo como é o consumo de água nas habitações, é possível promover uma economia de água em grande escala (MARINOSKI, 2014).

Todavia, são poucos os estudos que trazem dados sobre os usos finais de água em residências de interesse social. Entretanto, foi avaliado por Cohim *et al.* (2009) os usos finais de água em dez residências de baixa renda (até dois salários-mínimos) em um núcleo em Salvador, Bahia no Brasil. Os resultados expressos em ordem decrescente de consumo foram: a) pia da cozinha (29%); b) vaso sanitário (23%); c) chuveiro (21%); d) lavanderia (17%); e) lavatório (10%). A média de consumo de água por habitante foi calculada e resultou em 80, 0L/hab.dia.

Outro estudo realizado em edifícios residenciais em Brasília, mostra que os usos finais de água que apresentam maior consumo são: o chuveiro (23%), seguido pela máquina de lavar (21,4%), depois a descarga sanitária (15,3%) e por último a pia da cozinha (15%) (SANTA'NA *et al.*, 2013).

2.5 Parâmetros de lançamento de efluentes

Dentre as diversas condições que a resolução 357/2005 do CONAMA traz para o lançamento de efluentes em corpos receptores, podem ser destacadas algumas como: a) pH de 6 a 9; b) temperatura máxima de 40°C; c) máximo de 1mL/L de materiais sedimentáveis; d) máximo 20mg/L para óleos e graxas; e) DBO com redução mínima de 60%; f) ausência de material flutuante; g) regime de lançamento

com vazão máxima de até 1,5 vez a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor, exceto nos casos permitidos pela autoridade competente. (CONAMA, 2011).

Além dos parâmetros acima descritos, na resolução 430/2011, o CONAMA dispõe e determina (na Tabela 1 adaptada) os parâmetros para o lançamento de efluentes em corpos hídricos de qualquer fonte poluidora.

Tabela 1 – Parâmetros para lançamento de efluentes

Parâmetros inorgânicos	Valores máximos
Arsênio total	0,5 mg/L
Bário total	5,0 mg/L
Boro total	5,0 mg/L
Cádmio total	0,2 mg/L
Chumbo total	0,5 mg/L
Cianeto total	1,0 mg/L
Cianeto livre	0,2 mg/L
Cobre dissolvido	1,0 mg/L
Cromo hexavalente	0,1 mg/L
Cromo trivalente	1,0 mg/L
Estanho total	4,0 mg/L
Ferro dissolvido	15,0 mg/L
Fluoreto total	10,0 mg/L
Manganês dissolvido	1,0 mg/L
Mercúrio total	0,01 mg/L
Níquel total	2,0 mg/L
Nitrogênio amoniacal total	20,0 mg/L
Prata total	0,1 mg/L
Selênio total	0,30 mg/L
Sulfeto	1,0 mg/L
Zinco total	5,0 mg/L

Parâmetros Orgânicos	Valores máximos
Benzeno	1,2 mg/L
Clorofórmio	1,0 mg/L
Dicloroetano	1,0 mg/L
Estireno	0,07 mg/L
Etilbenzeno	0,84 mg/L
fenóis totais	0,5 mg/L
Tetracloroeto de carbono	1,0 mg/L
Tricloroetano	1,0 mg/L
Tolueno	1,2 mg/L
Xileno	1,6 mg/L

Fonte: Adaptado do Conselho Nacional do Meio Ambiente (2011).

3 METODOLOGIA

A realização dessa pesquisa se deu pela metodologia de revisão bibliográfica sistemática da literatura, na qual se baseou em sua maioria em artigos científicos, teses e dissertações que citam tratamentos alternativos de efluentes de origem doméstica. Foram utilizadas as bases de dados disponíveis nas plataformas como Scielo, Periódicos CAPES e Google Scholar.

Alguns filtros e palavras-chave foram utilizados e os resultados foram selecionados de acordo com a familiaridade dos objetivos de cada pesquisa com o tema proposto nesse artigo. Foram delimitadas pesquisas entre os anos de 2015 até 2021 e as palavras-chave mais utilizadas foram “*water*”, “*wetlands*”, “*treatment*” e “*domestic effluents*”.

Seguindo a metodologia de pesquisa nas bases de dados informadas, os critérios de seleção dos artigos foram aqueles que tratavam sobre tratamentos convencionais de efluentes, tratamentos alternativos e tratamentos em pequena escala. Além disso, os critérios de exclusão de artigos foram adotados a todos os artigos e pesquisas que tratavam de tratamentos alternativos para efluentes

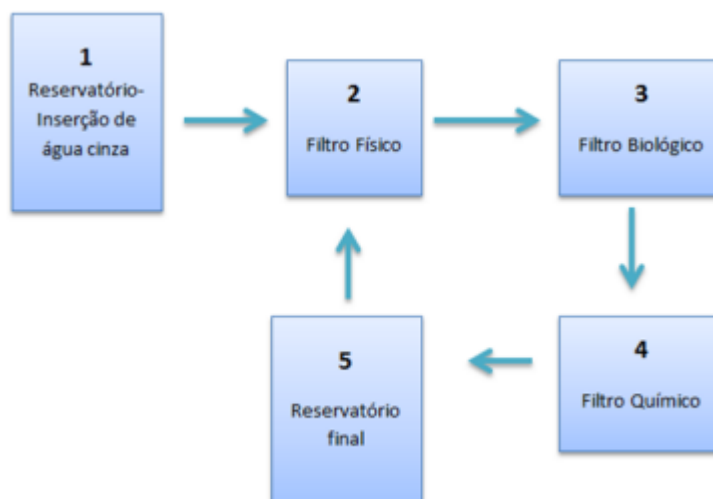
industriais, revisões bibliográficas de pesquisa de outros autores, e artigos que não apresentavam as fases de montagem e operação dos sistemas de tratamento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Avaliação de um equipamento protótipo para tratamento de águas cinzas com fins não potáveis

Costa *et al.* (2018) desenvolveram um protótipo de filtragem para tratamento de águas residenciais baseado na configuração de um tratamento misto agregado de etapas de filtração física, química e ainda um tratamento adicional com uma etapa biológica anaeróbica. O objetivo da pesquisa e da montagem do protótipo desses autores era de promover a alternativa de reutilização da água tratada no protótipo. O esquema abaixo desenvolvido pelos autores auxilia na compreensão das etapas definidas para o sistema:

Figura 1- Esquema do protótipo



Fonte: Costa (2018).

Eles utilizaram 5 recipientes para compor o protótipo, no recipiente de entrada da água cinza era realizada a etapa de tratamento físico por um filtro simples de areia e com a vazão de efluente reduzida, a qual permitia contato da água com o material filtrante por mais tempo, melhorando a eficiência dessa etapa. A água filtrada era recebida em um segundo recipiente que realizava a etapa final de filtração, onde, por meio de uma manta sintética acrílica essa etapa era capaz de reter partículas

maiores que 100 μ . A terceira etapa do tratamento era composta de pedras vulcânicas e partículas de materiais cerâmicos que tinham a finalidade de propiciar atmosfera ideal para o desenvolvimento de microrganismos que seriam capazes de degradar a matéria orgânica presente na água em tratamento. Ao passar pela etapa anterior a água era recebida em uma estação abastecida por um polímero sintético poroso, que tinha por objetivo de remover com eficiência o restante da matéria orgânica não consumida na etapa anterior, além gerar reações de retirada de metais pesados e outros químicos solúveis. O quinto e último recipiente tinha função de armazenamento da água tratada além de conter um pequeno dispositivo de bombeamento que dava a possibilidade de retorno da água para o tratamento.

Após montado, o sistema ficou em recirculação por uma semana com certa quantidade de água potável, solução de anticloro (tiosulfato de sódio) e ainda 10 mL de uma solução de concentrado de bactérias vivas, essa etapa tinha por objetivo a proliferação de bactérias. Após essa etapa os autores fizeram a inserção de 20 L de água cinza proveniente de resíduo de banho e da lavagem de roupas. O tratamento para o estudo se deu em 125 horas e foram estabelecidos intervalos de coleta de amostra, onde as mesmas foram enviadas para realização das análises físico-químicas e microbiológicas (COSTA *et al.*, 2018).

Ainda sobre Costa *et al.*, (2018) após as etapas de tratamento os autores citam a necessidade de adequação de acordo com os usos finais pretendidos, com isso os riscos à saúde pública podem diminuir além de promover uma maior aceitabilidade do público. Ao realizar comparação dos resultados obtidos nas etapas finais dos testes, com as amostras caracterizadas inicialmente, eles concluíram que os valores se apresentaram aceitáveis de acordo com os padrões estabelecidos.

Um dos padrões usados como referência por esses autores é o índice de qualidade de água (IQA), que é definido pela Agência Nacional das Águas (ANA) como principal índice de avaliação da qualidade da água bruta quando deseja-se o uso dessa água em abastecimento público. Para definição e conformação global da qualidade da água, o IQA foi composto de nove parâmetros de acordo com o grau de importância frente aos poluentes que cada um é capaz de indicar à qualidade da água analisada, dentre eles se destacam Oxigênio Dissolvido (OD), Coliformes termotolerantes, potencial hidrogeniônico (pH), temperatura da água e turbidez.

Considerando a redução de carga e poluentes presentes no efluente na faixa de 50% e concluindo um índice de qualidade de água na ordem de 62,10, que por

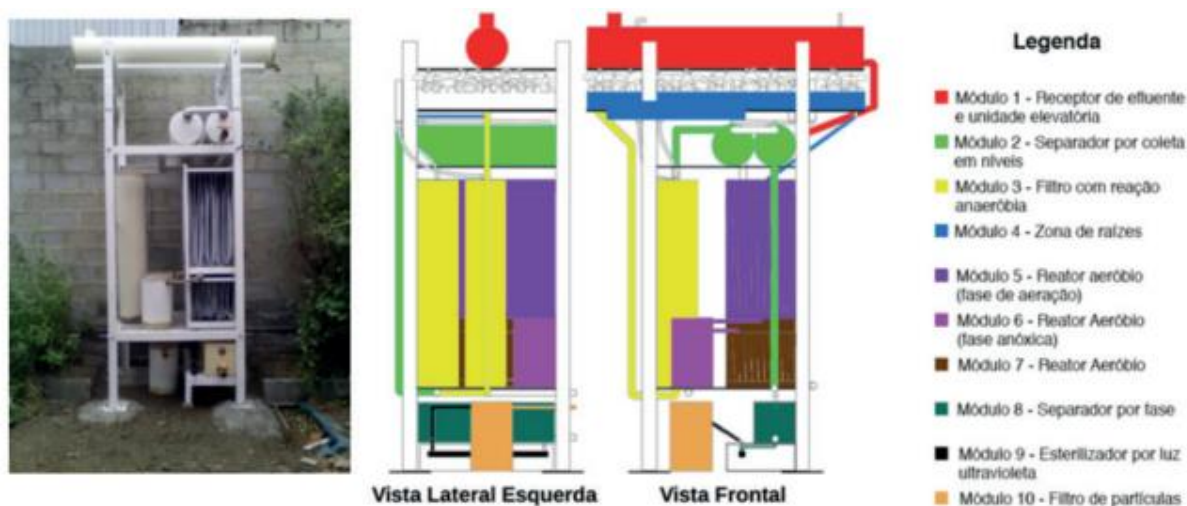
sua vez é considerado bom no estado de Goiás, por meio dessa constatação os pesquisadores deram maior ênfase e confiabilidade nos resultados inferindo assim que o sistema proposto seria uma boa alternativa para o tratamento de efluente doméstico.

4.2 Prova de conceito e análise de desempenho em protótipo de sistema para o tratamento natural de efluentes domésticos

Narcizo *et al.* (2019) tiveram como objetivo conceber um sistema de tratamento, reutilização e reciclagem da água de uma residência, no qual não tivesse a necessidade de adição de aditivos químicos, ou seja, o sistema de tratamento proposto faria o uso dos próprios microrganismos encontrados no efluente para a promoção do seu tratamento.

O sistema de tratamento desses autores possui divisão por módulos, onde foram instituídos 10 módulos com fases diferentes de tratamento e cada uma com seu objetivo específico, conforme esquema abaixo:

Imagem 5- Visão geral do protótipo do sistema (real e projeto simplificado)



Fonte: Narciso (2019).

O primeiro dos módulos é aquele chamado de receptor de efluente, onde, além de receber o efluente bruto ele atua como unidade elevatória, pois a partir desse módulo o sistema opera por ação da gravidade. No modulo 2 acontece a separação das partículas mais e menos densas que a água. A etapa de filtração anaeróbia é realizada no módulo 3, onde ficam retidos os microrganismos e matéria orgânica. A próxima etapa foi identificada pelos autores como “zona de raízes”, que é o módulo composto por plantas capazes de reduzir, por meio da absorção, a carga orgânica e

química do efluente. No módulo 5 é onde acontece a ativação do metabolismo dos microrganismos presentes no efluente, essa fase é chamada de fase de aeração.

A estimulação do metabolismo das bactérias continua no módulo 6, e nessa etapa nomeada como fase anóxica é promovida a suspensão da matéria orgânica e dos microrganismos presentes, em uma das etapas finais (módulo 7) acontece a reaeração do efluente em fluxo. Após a etapa de montagem, iniciaram uma série de testes e análises e os autores constaram algumas observações de melhoria em algumas fases do protótipo.

O protótipo montado e avaliado por Narcizo *et al* (2019) custou na faixa de R\$ 7 mil e essa informação se torna bastante relevante uma vez que de forma global os resultados esperados, não foram, em sua totalidade, alcançados pelos autores. Contudo o protótipo se mostrou como uma prova de conceito para o sistema, uma vez que separadamente em cada módulo de tratamento, os resultados de análises apontam que operando em conjunto o sistema será capaz de produzir água se acordo com o que se é esperado pela Resolução N 430 do Conselho Nacional do Meio Ambiente.

4.3 Avaliação de um sistema alternativo para tratamento de efluente doméstico e planejamento para conscientização da comunidade.

Objetivando a conscientização através da proposição de um tratamento alternativo para efluente doméstico, Silva *et al.* (2021) instalaram um protótipo em uma residência unifamiliar no município de Rio Fortuna em Santa Catarina. Para isso, os autores escolheram o processo de filtração com recheio de bambu, que além de propiciar economia e praticidade na aquisição dos materiais, foi fundamental para a inclusão da população na participação do projeto, promovendo assim o objetivo secundário que era a conscientização ambiental também almejado pelos autores.

Para a instalação, um buraco de aproximadamente 3 metros foi aberto no solo, onde no mesmo foram instalados 3 tubos de concreto de aproximadamente 80 cm de diâmetro. O bambu utilizado no recheio dos tanques de concreto foi cortado em pedaços de 15 cm, conforme imagens abaixo:

Imagem 6- Buraco usado para acondicionamento dos tubos de concreto



Fonte: Silva (2021).

Imagem 7- Pedacos de bambu cortados em pedaços



Fonte: Silva (2021).

Além desses materiais, foram utilizadas tubulações e conexões de PVC, para o transporte do fluido. Todos os tubos recebem o efluente pela parte inferior, nos dois primeiros tubos de concreto, utilizaram-se o recheio com os pedaços de bambu que servem para a retenção e alojamento das colônias de bactérias. No terceiro tubo, além da camada filtrante de pedaços de bambu, os autores adotaram o uso de uma camada de filtração de brita número 2 e outra camada fina de areia, sendo todas essas camadas separadas por uma tela fina que bloqueasse a mistura dos elementos filtrantes (SILVA, 2021).

Imagem 8- Montagem do sistema de tratamento

Fonte: Silva (2021).

Silva *et al.* (2021) apresentaram que os custos relacionados ao sistema filtração com pedaços de bambu se mostra 25% mais barato em relação aos custos com sistema convencional de filtração, ainda é apresentado a facilidade na montagem do sistema e o que torna a mão de obra também de fácil aquisição. Em relação aos resultados físico-químicos obtidos pelos autores, os valores médios foram: pH = 7,9, cor 165,85 cor/mg*L de Pt e turbidez = 58 FAU, comparando esses resultados com os obtidos em um filtro fossa convencional se destacamos valores de pH e turbidez que em ambos os tratamentos apresentaram resultados conformes de acordo com a Resolução do CONAMA N°357/2005 Artigo 34, parágrafo IV, que determina valores de pH para lançamento entre 5 e 9 e turbidez de até 100 FAU. Para o resultado de cor, ambos tratamentos não apresentaram resultados satisfatórios em relação ao mesmo item da Resolução que cita valores de cor de até 75mg/L de Pt.

Os resultados de DBO e DQO apresentados pelos pesquisadores mostram que um dos valores de DBO não foi satisfatório, mas fugindo dessa exceção os demais resultados de outras coletas se mostraram abaixo do limite de referência. Com os resultados apresentados é possível avaliar de forma holística que a relação de

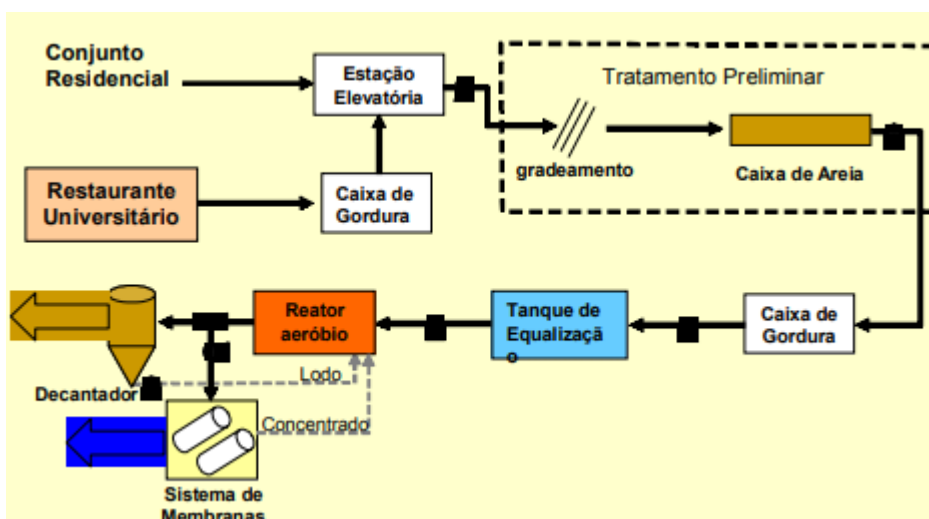
custo/benefício do tratamento alternativo se destaca a fim de continuação da pesquisa buscando alternativas que possam trazer melhores resultados àqueles que não atingiram os limites esperados.

4.4 Tratamento de efluente por reator biológico aeróbio com membrana visando o reuso de água

Costanzi *et al.* (2015) construíram um sistema de tratamento biológico aeróbico associado a um sistema de separação por membranas com a finalidade de análise de reutilização do efluente tratado. O esgoto usado nos testes dessa pesquisa é proveniente do Restaurante Universitário e do Conjunto Residencial da Universidade de São Paulo.

Conforme imagem figura abaixo, nas etapas do sistema construído, os autores adotaram inicialmente na caixa de entrada um extravasor que foi seguido por um gradeamento de limpeza automática e ainda dois canais com operação de limpeza manual, chamado de fase de desarenação. Na sequência de tratamento, o efluente passara para um reservatório de 500 L, onde foi bombeado para outro tanque de 1000 L, nesse último tanque citado acontecia a fase de decantação e separação de gordura contida no efluente, após essa etapa o efluente era recebido em um tanque de equalização.

Figura 2- Fluxograma das etapas que compõem o tratamento



Fonte: Costanzi (2015).

A fase seguinte do tratamento foi composta do sistema de lodos ativados, a mesma integrada por um reator aerado de capacidade de 850 L e o sistema de aeração foi constituído por um compressor de 350 L, além de um rotâmetro de ferro

galvanizado e de tubulações de fluxo do efluente. Foi adotado também um decantador de forma circular de fundo cônico de capacidade de 1000 L munido de um raspador com inversor de frequência. A etapa seguinte é a fase de separação por membranas, onde foi utilizado dois módulos tubulares com sete membranas de porosidade de média de $0,05\ \mu\text{m}$ e $0,5''$ de diâmetro. Os testes, coletas e análises realizadas se deram em relação ao efluente bruto, ao tratado no reator e ao efluente tratado e acoplado ao sistema de tratamento de membranas. A imagem abaixo mostra o sistema instalado formado pelo reator aerado (RA), decantador (DEC) e sistema de membranas (SM) (COSTANZI, 2015):

Imagem 9- Sistema de lodos ativados (reator aerado (RA), decantador (DEC) e sistema de membranas (SM)



Fonte: Costanzi (2015).

Com uma eficiência variando entre 85,8 e 90,3% para a remoção de gorduras na etapa inicial do processo, Costanzi *et al.* (2015) apresentaram uma série de resultados satisfatórios em relação à caracterização do efluente bruto e ao esperado no tratamento do efluente por reator biológico aeróbico acoplado a membrana. E apesar do resultado satisfatório já exposto acima, é importante destacar que altas concentrações de óleos e graxas podem prejudicar o sistema de membranas. Para os valores de sólidos suspensos totais eles obtiveram uma eficiência calculada na faixa de 74% na etapa de decantação primária e em média de 85,9% no decantador secundário. Os resultados dos testes analíticos para sólidos voláteis, DBO e DQO mostraram uma eficiência em relação ao efluente bruto em média de 85,2%, 82,7% e 80,2% respectivamente.

Relacionando o sistema convencional de lodos ativados ao sistema de reator biológico com membranas houve um aumento de 78% de remoção de DQO a

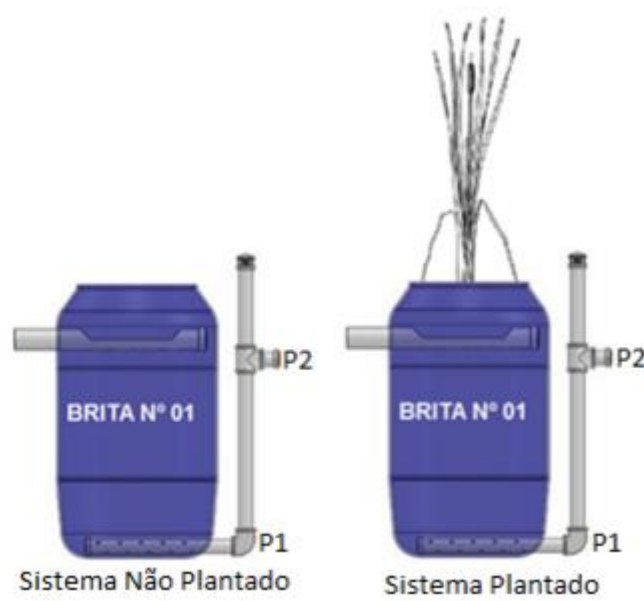
remoção de sólidos suspensos atingiu a ordem de aproximadamente 100%. Os autores afirmam que a possibilidade de reutilização da água tratada em atividades como lavagem de pisos, sistemas de combate a incêndio e alguns usos industriais que não demandam potabilidade é possível com a água produzida no tratamento proposto. O uso também pode se estender à sistemas de geração de vapor, bastante apenas de uma etapa final de remoção de sais e no caso de sistemas de resfriamento a quantidade de sais presentes é interpretada como uma condição vantajosa. Levando-se em consideração que a maioria das indústrias possuem sistemas de remoção de sais para tratamento de águas para uso em caldeiras, isso viabiliza a utilização dessa água em atividades industriais.

4.5 Construção e caracterização microbiológica de dois sistemas *wetlands* em escala piloto aplicados ao tratamento de efluente doméstico

Com intuito da caracterização microbiológica de dois sistemas *wetlands* pilotos, Nascimento *et al.* (2019), construíram os sistemas para atuarem no tratamento de um efluente doméstico sintético. Entre as características dos sistemas a única que se difere é a presente em um deles da espécie vegetal *Thypha sp.*, conhecida popularmente como Taboa.

Para a construção dos sistemas os autores optaram pela utilização de materiais de baixo custo, entre eles estão os reservatórios de sustentação do sistema com capacidades de 200 L cada, pedras britadas de tamanho nº1 e ainda canos de PVC de 20, 25 e 40 mm que foram usados na rede de encanamento, garantindo que o sistema operasse sempre na capacidade máxima. No sistema que iria operar com a presença da espécie de Taboa, recebeu, ainda, 6 mudas da planta, que foi coletada na faixa lateral próximo ao Parque Estadual do palmito na cidade de Paranaguá. Na figura abaixo é possível observar o sistema proposto por Nascimento *et al.* (2019):

Figura 3- Sistema adaptado



Fonte: Nascimento *et al.* (2019).

Figura 4 a 5: Sistema real em funcionamento



Fonte: Nascimento *et al.* (2019).

Como os autores optaram pela utilização de um efluente sintético, o mesmo era preparado de forma concentrada no laboratório de química do Instituto Federal do Paraná, sendo assim, antes da utilização fazia-se necessária a diluição dele em água. As análises microbiológicas alvo dos pesquisadores, consistia na metodologia de inoculação do efluente em meios de cultura, sendo assim possível a avaliação qualitativa e quantitativa dos microrganismos que ali se desenvolvessem (NASCIMENTO, 2019).

Nascimento *et al.* (2019) constataram que não foi possível observar um tratamento efetivo do efluente na maioria de seus resultados esperados, pois as observações do sistema com a presença da macrófita não surtiu grandes variações dos apontamentos realizados no sistema sem a Taboa. Algumas considerações a respeito das condições climática e ambientais foram levantadas como fatores de grande influência no crescimento da planta e consequentemente no desenvolvimento dos microrganismos.

Além disso os autores constatarem através de seus estudos que apesar da redução de matéria orgânica por microrganismos ser um tema bastante provado nos estudos atuais, eles alegam que para que haja um tratamento efetivo do efluente, o mesmo deve passar por etapas conjugadas de tratamento, ou seja, em sistemas unitários os resultados esperados serão menos satisfatórios que em tratamentos em conjunto.

4.6 Resultados e discussão: uma abordagem geral

Para fins comparativos entre os estudos dos autores, é importante elencar os principais fatores que trarão uma interpretação benéfica ou não de cada sistema de tratamento. Entre estes fatores, se destacam os parâmetros físico-químicos que cada pesquisa gerou, ao caracterizar suas amostras de efluente tratado. Além disso, os custos com a montagem e operação do sistema de tratamento e o volume de produção de água tratada, motivam essa discussão.

Para coliformes termotolerantes Costa *et al.* (2018) obtiveram um resultado negativo em relação ao que se espera desse parâmetro, que conforme a portaria nº 518 do Ministério da Saúde e a resolução nº 275 essa avaliação é qualitativa, ou seja, ou há ausência ou presença de coliformes, e o resultado obtido foi de $4,5 \times 10 \text{ NMP}/100 \text{ mL}$. Os autores apontaram a falta de cloração na etapa de

desinfecção como fator majoritário para que houvesse presença de coliformes. Porém, como a metodologia não previa a cloração do efluente tratado era de se esperar esse resultado para coliformes.

Os autores Narcizo *et al.* (2019) não citaram em sua pesquisa nenhum resultado analítico para caracterização do efluente tratado, mas, concluíram em análises realizadas posteriores à pesquisa que, mesmo com as ineficiências do protótipo, julgando a operação de todas as fases unificadas, que o mesmo alcançou resultados no efluente tratado próximos à atender a resolução Nº 430 do CONAMA. Para o protótipo de Costanzi *et al.* (2015) os autores não caracterizaram em suas amostras o parâmetro de coliformes, pois conforme os objetivos desses autores a água gerada no tratamento deveria ser usada em fins que não demandam esse grau de potabilidade como por exemplo em sistemas de combate a incêndio ou na lavagem de pisos. Ainda para coliformes termotolerantes e totais Nascimento *et al.* (2019) e Silva *et al.* (2019) não realizaram em suas caracterizações análises para quantificar/qualificar as amostras dos efluentes tratados em seus protótipos.

Avaliando os resultados de DBO e DQO das pesquisas que os caracterizaram, comparativamente, o quadro abaixo mostra os resultados obtidos pelos autores:

Quadro 1: Resultados de DBO e DQO dos autores.

Parâmetro	DBO	DQO
Especificação	Máx. 120 mg/L (CONAMA Nº. 430)	Máx. 150 mg/L (NBR 13969/97)
Protótipo 1 (Costa <i>et al.</i>)	34 mg/L	199,32 mg/L
Protótipo 2 (Costanzi <i>et al.</i>)	17 mg/L	34 mg/L

Fonte: Próprio autor, (2023).

Comparando os resultados dos dois autores, é possível citar os valores de DBO e DQO do protótipo 2 como melhores, uma vez que, além de ambos os resultados não ultrapassarem os limites das especificações que regulamentam esses parâmetros no Brasil, eles se apresentaram mais baixos que os resultados do efluente tratado no protótipo 1 em quantidades caracterizadas.

Os autores Silva *et al.* (2021) trouxeram a caracterização físico-química de DQO/DBO de 1,10, citando outros autores que apontam essa mesma relação em outras unidades de saneamento no Brasil que apresentam limites de DQO/DBO de no máximo 1,7. Contudo, levando se em conta que a pesquisa se trata de uma alternativa nova de tratamento que ainda pode ser bastante explorada e melhorada, esse

resultado mostra que essa relação pode ser facilmente alcançada nessa proposição de tratamento alternativo estudada pelos autores.

Os principais parâmetros físico-químicos avaliados pelos autores estão dispostos na tabela abaixo:

Tabela 1: Resultados dos parâmetros físico-químicos dos autores.

Parâmetros	Nitrato (mg/L)	Fosfato (mg/L)	pH	Turbidez (UT)	Sólidos Totais (mg/L)	Cor (mg/L de Pt)
Protótipo 1 (Costa <i>et al.</i>)	0,00	0,00	8,07	3,80	271	-
Protótipo 2 (Costanzi <i>et al.</i>)	-	1,4	5,06	0,201	390	150
Protótipo 3 (Silva <i>et al.</i>)	-	-	7,9	58	-	165,85

Fonte: Próprio autor, (2023).

Conforme tabela 1 acima, os únicos autores que caracterizam valores para nitratos foram Costanzi *et al.* (2015). Apesar dos autores não terem realizado caracterização de Nitrogênio amoniacal, segundo a Resolução Nº 357 do CONAMA, o limite máximo para Nitrogênio amoniacal total é de 20 mg/L e, uma vez que o valor de nitrito da amostra foi de 0,0, pode se inferir que esse o parâmetro de nitrogênio amoniacal foi atendido conforme limites da resolução citada.

Trazendo ainda as condições de lançamentos dispostas na Resolução Nº 357 do CONAMA, para pH (entre 5 a 9), os resultados na tabela 1 de todos os autores, atingiram limites aceitáveis e para fosfatos (máx. 0,020 mg/L), apenas os autores Costa *et al.* (2018), atingiram resultados satisfatórios para lançamento do efluente tratado em corpos de água.

O resultado de turbidez de uma amostra refere-se ao desvio de um feixe de luz ao atravessar uma amostra de água, esse grau de desvio está relacionado com a quantidade de sólidos suspensos presentes na amostra (SANTOS, 2019). Sendo assim, e partindo do pressuposto que sólidos suspensos em amostras de água se referem a impurezas ali presentes, quanto menores os resultados de unidades de turbidez em uma amostra de água/efluente, maior será o seu grau de qualidade e potabilidade. Conforme tabela 1 acima, comparando entre si, os autores Costanzi *et al.* (2015) obtiveram os melhores resultados de turbidez dentre os demais.

Conforme a resolução Nº 430 do CONAMA, para que o efluente seja devolvido aos corpos de água, é necessário que após a fase de desarenação, haja remoção de no mínimo 20% de sólidos totais. Comparando numericamente os resultados, apresentados na tabela 1, o protótipo 1, apresentou uma melhor média desse parâmetro, e ainda conforme os resultados de Costa *et al.* (2018), a eficiência de remoção de sólidos totais após 3 horas de tratamento foi de 61% em relação a carga suspensa do efluente cinza antes de ser tratado. Contudo, e apesar do resultado do protótipo 2 ter sido numericamente mais alto ao final da fase de decantação, conforme os resultados da pesquisa de Costanzi *et al.* (2015), a eficiência dessa etapa foi de 74%. Com isso pode se concluir que a carga de sólidos totais presente no efluente cinza tratada pelo protótipo 2 era mais elevada.

Em relação aos valores de cor, a resolução Nº 357 do CONAMA, não cita valores para lançamento de efluentes tratados em corpos de água, mas ela determina que em rios de classe II, ou seja, em águas que podem ser destinadas ao consumo humano, o valor de cor deve ser de no máximo 75mg/L de Pt, diante disso, ambos os resultados apresentados pelos protótipos 2 e 3 na tabela 1, não atingiram resultado positivo para esse parâmetro. Entretanto, a abordagem realizada pelos autores que caracterizaram esses resultados, foi de que a água tratada poderia ser utilizada em atividades que não demandam potabilidade de água, ou seja, não deveriam ser usadas para consumo, e sim em atividades como lavagem de carros e pisos por exemplo.

Em relação aos custos de cada sistema de tratamento, os únicos autores que expressaram os valores dos orçamentos/custos realizados/gastos para montagem e funcionamento do tratador de efluente, foram os autores Silva *et al.* (2021) e Narciso *et al.* (2018), os quais citaram valores de R\$1.094,24 e R\$7.000,00 respectivamente. Os demais autores fizeram referência ao uso de materiais acessíveis e de baixo custo para montagem dos seus protótipos. Com isso, não só os valores, mas também a eficiência e facilidade de operação devem ser consideradas para definir entre os estudos, o que pode ser mais viável para ser implementado, contudo é evidente que os custos podem variar bastante de estudo para estudo e que de acordo com as condições socioeconômicas da população, a melhor escolha deve ser baseada em soluções econômicas e acessíveis.

5 CONCLUSÃO

Dando ênfase a protótipos e pesquisas que podem ser mais facilmente compreendidas pelas sociedades de forma geral e ainda considerando de montagem e operação, o protótipo de Costanzi *et al.* (2015), se apresenta mais viável perante os desafios que podem ser encontrados à medida que essa avaliação é realizada. Ainda sobre a proposta de tratamento desses autores os resultados de efluentes tratados apresentados nessa revisão que mais se aproximaram da idealidade para reutilização em atividades domésticas, foram os resultados apresentados por esses autores.

Além disso, foi possível verificar que a pesquisa levantada por Silva *et al.* (2021) se mostrou eficiente em relação ao uso convencional de sistema de filtração de fossas, além da eficiência mostrada através dos resultados aqui apresentados, os custos e a facilidade na montagem com a alternativa de tratamento são de grande relevância e dão à pesquisa uma notoriedade significativa.

De acordo com os resultados e comparações obtidos até o presente momento, as pesquisas e dados apontam a continuidade da linha de pesquisa e sugerem melhorias nas análises, comparações e correlações, dos tratamentos alternativos apresentados nessa revisão e de outros tratamentos que não foram estudados até então. A continuidade nos estudos e unificação das tecnologias de tratamentos alternativos torna essa pesquisa de grande relevância no ambiente acadêmico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. Tanques sépticos - **Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos** - Projeto, construção e operação: NBR 13969. Rio de Janeiro, Set. 1997.

Batista, J.A., Costa, L.R., Oliveira, M.L. (2020), **Biorreator à membrana-nova: tecnologia para tratamento de efluentes**. Revista S&G 15, No. 1, 11-17. <https://revistasg.emnuvens.com.br/sg/article/view/1538>

BRASIL, Ministério do meio ambiente. **Resolução Conama nº 357 de 17 de março de 2005**. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso em: 20 jun, 2022.

Brasil, Ministério do meio ambiente. Resolução **Conama nº 430 de 13 de maio de 2011**. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646> Acesso em: 20 jun, 2022.

BRASIL: ATLAS ESGOTOS. In: **Despoluição de Bacias Hidrográficas**. [S. l.], 15 jun. 2017. Disponível em: <http://atlasesgotos.ana.gov.br/>. Acesso em: 20 jun. 2022.

CAVALCANTI, José Eduardo. **Instituto de Engenharia**. [S. l.], 15 out. 2020. Disponível em: <https://www.institutodeengenharia.org.br/site/2020/10/15/a-historia-do-processo-de-lodo-ativado/>. Acesso em: 5 maio 2023.

COHIM, E.; GARCIA, A. P. A.; KIPERSTOK, A.; DIAS, M. **Consumo de água em residências de baixa renda - estudo de caso**. In: 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2009, Recife. 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro - ABES.

COSTA, Lueny Santos da; OLIVEIRA, Luísa Rodrigues de; CASTRO, Rodrigo Martinez; CASTRO, Martha Nascimento; ALMEIDA, Luiz Felipe Ordones;

CARVALHO, Erick William Viais. **Avaliação de um equipamento protótipo para tratamento de águas cinzas com fins não potáveis**. Revista Internacional de Ciências, [s. l.], v. 8, ed. 2, p. 149-167, 28 dez. 2018. DOI 10.12957. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/ric/article/view/33196/26991>. Acesso em: 10 nov. 2022.

COSTA, Darleila Damasceno; KEMPKA, Anieli Pinto; SKORONSKI, Everton. A CONTAMINAÇÃO DE MANANCIAIS DE ABASTECIMENTO PELO NITRATO: O PANORAMA DO PROBLEMA NO BRASIL, SUAS CONSEQUÊNCIAS E AS SOLUÇÕES POTENCIAIS. **REDE - Revista Eletrônica do PRODEMA**, Fortaleza, v. 10, n. 2, mar. 2017. ISSN 1982-5528. Disponível em: <<http://www.revistarede.ufc.br/rede/article/view/338>>. Acesso em: 19 maio 2023.

COSTANZI, Ricardo N.; HESPANHOL, Ivanildo; ASADA, Lucia N; MARQUES, Adriana. **Tratamento de efluente por r o de efluente por reator biológico or biológico aeróbio com membrana visando o reúso de água aeróbio com membrana visando o reúso de água**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, [S. l.], p. 2017-2020, 15 jun. 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/v6vx7yVN3Z9fqjp8pPqnS7C/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 9 nov. 2022.

FIORI, Simone; FERNANDES, Vera Maria Cartana; PIZZO , Henrique. **Avaliação qualitativa e quantitativa do reúso de águas cinzas em edificações**. Ambiente Construído, Ambiente Construído, ano 2006, v. 6, n. 1, p. 19-21, 1 jan. 2006. Disponível em: <https://www.seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/3676/2042>. Acesso em: 29 abr. 2023

GIACOMIN, George Scarpato; OHNUMA, Alfredo Akira. **Estimativa da pegada hídrica de um grupo de alunos de uma instituição de ensino superior**. Revista Internacional de Ciências , Rio de Janeiro, ano 2017, v. 7, n. 1, p. 49-63, 2 jan. 2017. Disponível em: <http://www.e-publicacoes.uerj.br/ojs/index.php/ric>. Acesso em: 17 abr. 2022.

GIORDANO, Gandhi. **Tratamento e controle de efluentes industriais**. Revista ABES, v. 4, n. 76, p. 1-84, 2004.

GRUDITZ, C.; GUMAELIUS, L.; DALHAMMAR, G. **Comparison of inhibition assays using nitrogen removing bacteria: application to industrial wastewater**. *Water Research*, v.32, p 2.995-3.000, 1998.

INMAN, D.; JEFFREY, P. **A review of residential water conservation tool performance and influences on implementation effectiveness**. *Urban Water Journal*, v. 3, n. 3, p. 127-143, Taylor & Francis, 2006.

JÚNIOR, Nelson. **Sistemas de tratamento para águas e efluentes**. 1. ed. Biblioteca Virtual: Contentus, 2020. 55 p. v. 1. ISBN 9786557452837. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br/Leitor/Loader/184016/pdf>. Acesso em: 20 abr. 2023.

LEONETI, Alexandre Bevilacqua; PRADO, Eliana Leão do; OLIVEIRA, Sonia Valle Walter Borges de. **Saneamento básico no Brasil: considerações sobre investimentos e sustentabilidade para o século XXI**. *Revista de Administração Pública*, Rio de Janeiro, ano 2011, p. 331-348, 30 maio 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rap/a/KCkSKLRdQVCm5CwJLY5s9DS/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 2 maio 2023.

MARINOSKI, Ana Kelly; SILVA, Arthur Santos; VIEIRA, Abel Silva; Enedir, GHISI. **Usos finais de água em Habitações de Interesse Social no sul do Brasil**. ENTAC, Maceió, p. 2720-2723, 12 nov. 2014. Disponível em: https://www.resea.com.br/publication/300004375_Usos_finais_de_agua_em_Habitacoes_de_Interesse_Social_no_sul_do_Brasil/links/58057fdd08aef87fbf3bbfea/Usos-finais-de-agua-em-Habitacoes-de-Interesse-Social-no-sul-do-Brasil.pdf. Acesso em: 18 maio 2022.

MARINHO, Isabela Queiroz. **Tratamento de efluentes da indústria alimentícia**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, 2017. Disponível em: [https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/20544/1/TratamentoEfluentesInd%
%ba%80ria.pdf](https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/20544/1/TratamentoEfluentesInd%c3%ba%80ria.pdf). Acesso em: 21 abr. 2023.

MARCONDES, Josiane Gasparini. **Tratamento de efluentes**. Orientador: Dra. Silvia Maria Batista de Souza. 2012. 49 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado) - Faculdade Educacional do Município de Assis, Assis, 2012. Disponível em: <https://cepein.femanet.com.br/BDigital/arqTccs/0911290473.pdf>. Acesso em: 9 maio 2023.

Miller, R. W. (2002). The World's Water, 2000-2001: **The Biennial Report on Freshwater Resources**. *Electronic Green Journal*, 16. <http://dx.doi.org/10.5070/G311610468> Retrieved from <https://escholarship.org/uc/item/9rv5b294>

MOURA, Bárbara Nascimento da Silva; OLIVEIRA, Vanesa Ferreira de. **Reúso da areia do desarenador de Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) na fabricação de concreto**. 2018. 27 f. Artigo (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2018.

NARCIZO, R. B.; MARTINS, A. P.; CARDOSO, R.; TAMMELA, I.; MADEIRA, H. S. **Prova de Conceito e Análise de Desempenho em Protótipo de Sistema para o Tratamento Natural de Efluentes Domésticos**. GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas, v. 14, n.3, p. 59 - 72, 2019. DOI: 10.15675/gepros.v14i3.2602

NASCIMENTO, Lucas Matheus; ZABLONSKY, Joana Rupprecht; SILVA, Davi Paula da; MARCONDES, Naiury da Silva; SOUZA, Barbara Lizandra Perini de. **Construção e caracterização microbiológica de dois sistemas wetlands em escala piloto aplicados ao tratamento de efluente doméstico**. RevistaMundi Saúde e Biológicas, [S. l.], v. 4, p. 1-26, 15 fev. 2019. Disponível em: <file:///C:/Users/Lucas/Downloads/709-4587-1-PB.pdf>. Acesso em: 2 nov. 2022.

ROCHA, A.L.; BARRETO, D.; IOSHIMOTO, E. **Caracterização e monitoramento do consumo predial de água**. Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água - Documento Técnico de Apoio Nº E1. Brasília: Ministério do Planejamento e Orçamento, 1998.

SANTOS, André Bezerra; KIPERSTOK, Asher; CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos. **Caracterização, Tratamento e Gerenciamento de Subprodutos de Correntes de Esgotos Segregadas e Não Segregadas em Empreendimentos Habitacionais.** Fortaleza: Impreco, 2019. Disponível em: http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/06_11_2019_ProSab_Tratamento_de_Esgoto.pdf. Acesso em 15/04/2023.

SANT'ANA, Daniel; BOEGER, Louise; MONTEIRO, Lilian. **Aproveitamento de águas pluviais e o reuso de águas cinzas em edifícios residenciais de Brasília - parte 1: reduções no consumo de água.** Paranoá: cadernos de arquitetura e urbanismo, Brasília, v. 10, n. 10, p. 77-84, 2013. DOI: <https://doi.org/10.18830/issn.1679-0944.n10.2013.12125>. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/paranoa/article/view/10637>. Acesso em: 2 jun. 2022.

SILVA, Heloisa Regina Turatti; EGERT, Paola; WILLEMANN, Maria Izabel. **Avaliação De Um Sistema Alternativo Para Tratamento De Efluente Doméstico E Planejamento Para Conscientização Da Comunidade.** MIX Sustentável, [S.l.], v. 7, n. 2, p. 67-78, abr. 2021. ISSN 24473073. Disponível em: <http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>. Acesso em: 27 set. 2022.

SIGMA – **Tratamento de águas.** Desanadores. Disponível em: <http://sigma.ind.br/produto/desarenadores> Acesso em 20/04/2023.

SCHORR, Adriano de Souza. **Tratamento de Águas e efluentes.** Biblioteca Virtual: Freitas Bastos, 2022. v. 1. ISBN 9786556751115. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br/Leitor/Publicacao/202010/pdf/0?code=ZVJqdcGXex9xrxP6u5yw+el7LrCC3Vv9f8ZxO6runHIOkVS9ZWxZzchjlttISJperVN9IXDucUpq2PjPxHWjgg==>. Acesso em: 25 abr. 2023.

SNIS (SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES EM SANEAMENTO). Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis/painel/es>. Acesso em: 16 mai. 2023.

TERNES, T.; JOSS, A.; SIEGRIST, H. **Emerging Contaminants - New Challenges in UrbanWater Management**. 5th IWA Leading-Edge Conference. Suíça, 2008.