

## TRATAMENTO DE PERCOLADO DE ATERROS SANITÁRIOS: UMA REVISÃO NA LITERATURA

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/congea.13.22.IX-019>

Camila Maria Alves da Silva, Mauro César Brito de Sousa, Ana Carolina Chaves Fortes  
Instituto Federal do Piauí, camilaangelo3015@gmail.com.

### RESUMO

Os aterros sanitários possuem a disposição de resíduos ao solo, gerando o líquido percolado. Diante do exposto o trabalho analisou na literatura os tipos de tratamentos aplicados ao percolado. Utilizando o método de revisão sistemática integrativa da literatura, resgatados na linha temporal de 5 anos, os 11 artigos mostram que os tratamentos aplicados tiveram resultados satisfatórios. Podendo ser observado que a utilização de técnicas complementares foram agregadas aos estudos, a fim de obter mais eficácia na remoção de substâncias tóxicas. Por fim, este estudo mostra que, os tratamentos biológicos possuem uma certa eficácia na remoção da toxicidade, porém precisam de tratamentos sofisticados para alcançar a remoção de parâmetros exigidos por lei.

**PALAVRAS-CHAVE:** Aterro Sanitário; Tratamentos Aplicados; *Líquido Percolado*.

### INTRODUÇÃO

No Panorama dos Resíduos Sólidos 2018/2019, produzido pela Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública - ABRELPE, no ano de 2018 foram gerados no Brasil 79 milhões de toneladas de resíduos, dessas toneladas o total 92% foram coletados, desses resíduos em 2018 59,5% receberam destinação adequada nos aterros sanitários (ABRELPE, 2020).

Os aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos consistem, segundo o disposto na NBR 8419/1992 da ABNT (ABNT, 1992), em uma técnica de disposição de resíduos sólidos no solo, que não cause prejuízos à saúde pública e com redução dos impactos ambientais.

Para ABNT (1992; p. 01), os princípios de engenharia são aplicados para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário.

Estas estruturas são consideradas uma das técnicas mais eficientes e seguras de destinação de resíduos sólidos, pois permite controle do processo de estabilização dos resíduos e, quase sempre, apresenta a melhor relação custo-benefício. O aterro sanitário comporta-se como um reator dinâmico, porque produz através de reações químicas e biológicas emissões como o biogás de aterro, efluentes líquidos como os chorumes, e resíduos mineralizados (húmus) a partir da decomposição da matéria orgânica (MMA, 2007).

O chorume ou sumeiro, tecnicamente chamado de lixiviado ou líquido percolado, trata-se de um líquido escuro e de odor forte, gerado durante a decomposição dos resíduos depositados em aterros. Este líquido possui altas concentrações de compostos orgânicos e inorgânicos. Sua composição físico-química depende de aspectos como o período de disposição, condições pluviométricas locais, características do próprio lixo e da influência da temperatura, pois contém altas concentrações de sólidos suspensos, metais pesados e compostos orgânicos que escorrem, gerando a degradação de substâncias que são metabolizadas, como por exemplo: os carboidratos, as proteínas e as gorduras (DINIZ, 2016).

De acordo com PGIRS (2013), quanto maior o tempo que a matéria orgânica ficar aterrada, maior a complexidade química do chorume. Com o incremento de tempo e dificuldade de tratamento, o percolado passa a necessitar de tecnologias mais avançadas para que atenda a padrões normativos adequados.

A premissa básica do estudo é que o tratamento biológico acaba sendo o processo mais utilizado devido ao custo de implementação da tecnologia. Entretanto, a sua eficiência de remoção de contaminantes químicos não possui garantias significativas de acordo com padrões normativos, necessitando de técnicas complementares.

Isso posto, a base de estudo é formada por estudos publicados no Brasil nos últimos 5 (cinco) anos (de 2015 a 2020), e busca responder qual o grau de eficácia em termos percentuais da remoção de contaminantes segundo os tipos de tecnologias comumente aplicadas em solo nacional. Considerando que o líquido percolado resultante da estabilização de resíduos dos aterros é um componente com potencial tóxico e perigoso a pergunta de pesquisa é: Quais os tipos de tratamento convencionalmente aplicados a estes? Eles demonstram eficácia na remoção de contaminantes?

## JUSTIFICATIVA

O lixiviado é um líquido de alto teor de poluição que é resultante da degradação física, biológica e química de matéria orgânica que se faz presente nos resíduos sólidos. Esse líquido também conhecido como chorume é desencadeado através de processos naturais que ocorrem na decomposição agregadamente com as águas pluviais, apresentando cor escura, odor e alta Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), que pode desencadear danos ao meio ambiente quando não tratado de forma adequada (COUTINHO, 2020).

Morais (2005) destaca que os efeitos do líquido percolado podem ser observados no solo, na biota, e que por este entre outros motivos se faz necessário programar um sistema de coleta e tratamento essencial. Segundo França e Ruaro (2009), no Brasil, o tipo de tratamento mais utilizado nos aterros sanitários é o biológico, que é quando ocorre a deposição controlada de resíduos sólidos no solo e sua posterior cobertura diária. Uma vez depositados, os resíduos sólidos degradam naturalmente por via biológica até a mineração da matéria biodegradável, em condição fundamentalmente anaeróbia, gerando o líquido percolado, que devido sua toxicidade se faz necessário captar e tratá-lo.

Em função dos diversos sistemas de controle, o custo para efetivação desses aterros sanitários é bastante elevado, mas o custo ambiental e social que a decomposição de resíduos em lixões a céu aberto provoca é muito mais grave, pois não existe separação dos resíduos sólidos, o acondicionamento é precário, tendo em vista que é despejado a céu aberto, contaminando o ambiente que normalmente conta com a presença de pessoas e animais (FRANÇA e RUARO, 2009).

De acordo com Ribeiro et.al (2015), o uso de sistemas biológicos puros pode acarretar uma ineficiência no processo de tratamento, em função da alta carga orgânica a ser removida e da variabilidade de sua composição. Segundo Dias (2012), alguns autores já evidenciaram que o tratamento biológico aplicado ao líquido percolado tem limitações devido à toxicidade deste, sendo necessário haver a conjugação dos processos físico-químicos aos processos biológicos para complementar o tratamento do efluente e reduzir seus impactos. Tais processos físico-químicos podem ser: adsorção, air stripping, filtração por membrana, coagulação/floculação, troca iônica, métodos de oxidação química e eletroquímica, e precipitação química (Dias, 2012).

Tendo em vista, o estudo se torna relevante não somente para a minimização dos impactos ambientais que o percolado causa ao solo, fauna e flora, mas também à saúde humana, geração exacerbada de resíduos e a busca por técnicas eficazes e de baixo custo. Assim, o presente trabalho tem como objetivo analisar na literatura os tipos de tratamentos aplicados ao líquido percolado em aterros sanitários, com intuito de compor um quadro informativo que permita visualizar e apontar as técnicas mais eficazes na redução de toxicidade do líquido percolado.

## REFERENCIAL TEÓRICO

### GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS E ATERROS SANITÁRIOS

O Brasil é um dos países que mais gera resíduos sólidos, entre eles estão alguns mais complexos como os de construção civil, hospitalares, radioativos, agrícolas, industriais e de mineração, mas também os domiciliares, oriundos de atividades domésticas em residências urbanas, e os de limpeza urbana, originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas, classificados como resíduos sólidos urbanos (RSU) (IPEA, 2020). Segundo Carvalho (2015), em levantamentos realizados pela Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública (ABRELPE), verificou-se que em 2018 os resíduos que foram despejados inadequadamente em lixões ou aterros controlados equivalem a 40,5% do total que foi coletado, ou seja, um montante de 29,5 milhões de toneladas de resíduos.

Por isso, a PNRS propõe diretrizes para os gestores públicos, maneiras adequadas de encaminhar seus resíduos sólidos como acondicionamento, coleta, transporte, tratamento e destinação final ou disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos que tem como intuito melhorar a qualidade socioambiental, assim sendo encaminhados para o aterro sanitário (CARVALHO, 2015).

A disposição de resíduos em aterros sanitários é a técnica mais utilizada mundialmente, devido à decomposição dos resíduos sob o solo e a junção das águas principalmente das chuvas, gerando o líquido percolado que possui alto teor de toxicidade. Com isso, as técnicas de coleta e tratamento disponibilizadas nos aterros sanitários, colaboram para que após o processo haja a destinação final adequada deste líquido e redução do efeito tóxico (PAULINO, 2011).

### LÍQUIDO PERCOLADO: ASPECTOS GERAIS

## DEFINIÇÃO E CARACTERÍSTICAS

O chorume pode ser definido, de acordo com NBR 8419/1992 da ABNT (ABNT, 1992; P.2), como líquido produzido pela decomposição de substâncias contidas nos resíduos sólidos que tem como características a cor escura, o mau cheiro e a elevada DBO (demanda bioquímica de oxigênio). Este líquido tem sido também chamado de percolado, sumério ou lixiviado.

Percolado é todo líquido que passa através de um meio poroso. No caso de aterros de resíduos, as águas de infiltração, ao percolar no meio, carregam consigo os produtos da decomposição orgânica ou disponíveis, podendo vir a contaminar as águas subterrâneas de menor profundidade, que são exploradas com o uso de poços rasos por populações periféricas dos grandes centros urbanos (CARVALHO, 2001).

De acordo com Pascolato (2000), os líquidos percolados são efluentes gerados em locais de disposição de rejeito, que por vezes também são denominados de forma inadequada por alguns autores como chorume. O mesmo autor ressalta que o chorume, essencialmente, é o resultado da ação enzimática dos microrganismos do sistema e dos produtos resultantes da biodegradação.

O lixiviado de aterro sanitário pode ser definido como uma mistura de líquidos proveniente da umidade natural que ocorre dentro e fora da pilha de resíduos, da água presente nos materiais depositados, da atividade microbiana e da água de infiltração, acrescentando-se os materiais dissolvidos ou suspensos que foram carregados no processo de lixiviação (Sá et al., 2012).

As características físicas, químicas e biológicas dos lixiviados dependem do tipo de resíduo aterrado, do grau de decomposição, do clima, da estação do ano, da idade do aterro, da profundidade do resíduo aterrado, do tipo de operação do aterro, entre outros fatores. Logo, pode-se afirmar que a composição dos lixiviados pode variar consideravelmente de um local para outro, como também em um mesmo local e entre épocas do ano (Sá et al., 2012).

Considerado uma matriz de alta complexidade o líquido percolado é composto por matéria orgânica dissolvida (compostos orgânicos xenobióticos, macros componentes inorgânicos e metais potencialmente tóxicos). Ademais, os parâmetros físico-químicos são comumente utilizados para caracterizar estes líquidos em aterros (REINHART; GROSH, 1998; MORAES, 2003).

De acordo com Lôbo (2003) a Demanda Química de Oxigênio (DQO) mede a quantidade de matéria orgânica que pode ser oxidada quimicamente. Esse parâmetro também pode ser considerado como um indicador da degradação do resíduo ao longo do tempo, onde altos valores de DQO são encontrados em resíduos novos e baixos valores em resíduo antigo.

Assim, através da relação DBO/DQO, pode-se determinar o estágio de decomposição em que o aterro se encontra, considerando que à medida que a idade do aterro aumenta e os resíduos são degradados, as concentrações de DBO e DQO decrescem (LÔBO, 2003; PAES, 2003).

A alcalinidade é a medida da capacidade dos íons presentes em um meio de neutralizar ácidos resistindo a possíveis oscilações do pH. Existe uma correlação entre pH, alcalinidade e teor de ácidos voláteis que determina o sistema ácido/base, devendo esta relação ser mantida dentro de certos limites para que um equilíbrio químico satisfatório entre os microrganismos atuantes na degradação biológica seja alcançado e preservado (MARRA, 2016).

O pH é um parâmetro que indica o processo de decomposição biológica da matéria orgânica. Em processos de biodegradação anaeróbia, o desenvolvimento dos microrganismos está relacionado diretamente às faixas predominantes de pH. Os ácidos orgânicos voláteis são excelentes indicadores do grau de degradabilidade e do andamento dos processos anaeróbios, pois são gerados na fase ácida (aterros jovens) e consumidos na fase metanogênica (LÔBO, 2016).

Outro elemento utilizado para caracterizar o líquido percolado em aterros são os metais pesados. Para Marra (2016), a grande variabilidade de embalagens (ferrosas ou não) dispostas no pós-uso em aterros sanitários é a principal fonte de metais posteriormente encontrados nos lixiviados. Atenção também deve ser dada aos materiais de cobertura empregados, os quais podem ser eventuais fontes dessas substâncias.

As cargas contaminantes do lixiviado se constituem de muitas substâncias diferentes, entre as quais pode se destacar: substâncias orgânicas em forma de nitrogênio amoniacal, nitratos, nitritos e amônia; halogênios inorgânicos, carbonatos, cloretos, sulfatos, íons sódio, potássio, cálcio; metais como ferro, zinco, manganês, níquel, cobre etc (ALVES E TEIXEIRA, 2004).

**Quadro 1. Íons encontrados no líquido percolado e suas possíveis origens. Fonte: SEGATO, 2000, p.4.**

| Íons   | Provável origem   |
|--|---|
| Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup>                       | Material orgânico, entulhos de construção, cascas de ovos.                            |
| PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> | Material orgânico.  |
| Cu <sup>+2</sup> , Fe <sup>+2</sup> , Sn <sup>+2</sup>                                       | Material eletrônico, latas, tampas de garrafas.                                       |
| Hg <sup>+2</sup> , Mn <sup>+2</sup>  | Pilhas comuns e alcalinas, lâmpadas fluorescentes.                                    |
| .Ni <sup>+2</sup> , Cd <sup>+2</sup> , Pb <sup>+2</sup>                                      | Baterias recarregáveis (celular, telefone sem fio, automóveis).                       |
| Al <sup>+3</sup>   | Latas descartáveis, utensílios domésticos, cosméticos, embalagens laminadas em geral. |
| Cl <sup>-</sup> , Br <sup>-</sup> , Ag <sup>+</sup>  | Tubos de PVC, negativos de filmes de raio-x.  |
| As <sup>+3</sup> , Sb <sup>+3</sup> , Cr <sup>+3</sup>                                       | Embalagens de tintas, vernizes, solventes orgânicos.                                  |

No que se refere às características microbiológicas, a maioria dos microrganismos presentes no chorume é de heterotróficos, mesófilos e até termófilos com capacidade para sobreviver sob amplas faixas de temperatura. Dentre os microrganismos presentes no aterro, estão os patogênicos, ali depositados com o lixo doméstico através dos papéis higiênicos usados, fraldas descartáveis, resíduos fecais de animais domésticos, animais mortos e lodos de estações de tratamento de esgotos. Estes microrganismos patogênicos são geralmente do trato entéricos ou patógenos oportunistas presentes em diferentes locais do corpo humano e até no próprio ambiente (PAES, 2003).

As características do chorume são afetadas também pela idade do aterro. Um aterro jovem está na chamada fase ácida, e possui concentrações de DQO (demanda química de oxigênio), DBO (demanda bioquímica de oxigênio) e COT (carbono orgânico total) muito altas. A segunda fase ocorre entre o primeiro e o quarto ano e é chamada de metanogênica, nesta fase são produzidas maiores concentrações de gás metano e o pH vai aumentando à medida que ocorre a redução da concentração de carbono orgânico. Ocorre aumento nos níveis de nitrogênio, redução da complexação dos metais presentes e conseqüentemente aumento da recalcitrância do chorume (DE SOUZA, 2015).

De acordo com Gomes (2009) o processo de geração do lixiviado pode também ser influenciado por fatores climáticos (precipitação pluviométrica, evapotranspiração e temperatura), hidrogeológicos (escoamento superficial, infiltração, topografia, geologia e recirculação do lixiviado), pelas características da camada de cobertura (umidade, vegetação, declividade), características dos resíduos (composição gravimétrica, compactação, permeabilidade, granulometria, peso específico, etc.) e pelo método de impermeabilização do local.

Paes (2003) afirma que dentre os diversos fatores que contribuem para a qualidade e a quantidade do percolado, a precipitação pluviométrica é o mais importante. Nos meses de alto índice pluviométrico, observa-se um aumento considerável na quantidade dos líquidos percolados, sendo a água o principal fator de sua formação, entretanto, em locais onde a evapotranspiração supera a precipitação pouco ou nenhum líquido percolado será formado.

O material de cobertura também exerce influência sobre o percolado, uma vez que os compostos químicos presentes no percolado podem sofrer uma série de reações de conversão e destruição quando percolados através do solo. A capacidade de cada tipo de solo em atenuar esse líquido é diferente, por exemplo, solos argilosos apresentam maior capacidade de remover metais, já os solos arenosos apresentam melhor resultado na remoção da matéria orgânica. Alguns testes demonstram que o solo apresenta capacidade limitada de remover certas substâncias químicas do percolado. A partir do momento que esta capacidade é excedida, estes compostos químicos já não são mais afetados pelo solo (CARVALHO, 2001).

## IMPACTOS AMBIENTAIS E À SAÚDE RELACIONADOS AO LÍQUIDO PERCOLADO NÃO TRATADO

Segundo Cherubini (2008), a disposição inadequada dos Resíduos Sólidos Urbanos – (RSU), está diretamente relacionada com os problemas causados por estes resíduos no solo, nas águas e no ar. O impacto produzido pelo chorume no meio ambiente é bastante acentuado. Estudos recentes demonstram que efeitos adversos podem ser observados no solo, mesmo a distâncias superiores a 100m do aterro, assim como alterações na biota aquática (BAUN et al., 2003; CHRISTENSEN et al. 2001). Quando há a contaminação das águas subterrâneas, não existe nenhuma possibilidade de autopurificação, sendo que a diluição se torna a única saída para a atenuação da contaminação. Nesses casos, e em consequência das altas concentrações de matéria orgânica, amônia e sais, os usos dos poços freáticos na área de influência dos lixões ou aterros, podem ficar totalmente inviabilizados (PASCHOALATO, 2000).

No estudo realizado por Celere et. al (2007), evidencia-se que devido a presença de metais em níveis elevados, além do tratamento do percolado é necessário também o seu monitoramento devido os níveis de metais existentes no percolado, para que a haja a manutenção ou a melhoria da qualidade de vida da população, quando não se tem o controle e tratamento do percolado acarreta no sistema de disposição de resíduos sólidos a presença de vetores de doenças, causando sua proliferação e consequentemente a má qualidade do meio ambiente e da saúde pública.

Para isso temos a Associação Brasileira de Normas Técnicas (8419/1992), que apresenta os Projetos de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos. Nesta norma está descrito desde a definição de aterros sanitários como o tipo de resíduos que recebe e em destaque de acordo com o tema do estudo, abordado em seu item 5.1.6.3 Sistema de tratamento do percolado.

No Decreto estadual 8468/76 em seu artigo 18, é citado os valores padrões adequados dos efluentes de qualquer fonte poluidora. Para que possa ser lançado direta ou indiretamente do corpo d'água. Em seu artigo 19 é informado os padrões adequados de lançamento ao esgoto sendo efluente de qualquer fonte poluidora, parâmetros estes que são: pH, temperatura, materiais sedimentáveis, óleos e graxas e várias outras substâncias solúveis.

Gouveia e Padro (2010), contam que há existência de riscos à saúde em áreas próximas a aterros. Para aterros em funcionamento encontrou-se risco aumentado para câncer de bexiga, fígado e para mortes por malformações congênitas, porém, sem significância estatística. Ressaltou também a necessidade do controle e gerenciamento dos resíduos sólidos em áreas urbanas, de forma a reduzir também a exposição de populações vizinhas a essas áreas.

Diante do exposto temos a Lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos – nº 12.365 de 02/08/2010, lei esta que em descrição possui 15 objetivos sendo alguns deles:

- a proteção da saúde pública e da qualidade ambiental;
- redução do volume e da periculosidade dos resíduos perigosos;
- 3R's e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos

rejeitos;

Com isso fazendo necessária a busca por tratamentos que tornassem descarte final adequado ambientalmente. Tratamentos este que será detalhado a seguir.

## TRATAMENTO DE LÍQUIDO PERCOLADO EM ATERROS SANITÁRIOS

Segundo Alves e Teixeira (2004), devido às características do chorume, este deve ser tratado antes de ser lançado no meio ambiente, evitando-se assim maiores riscos de contaminação do solo, das águas subterrâneas e superficiais. De acordo com Ferreira (2014) para que seja alcançada a estabilização da matéria são necessários mecanismos que agem diretamente na atividade metabólica de microrganismos nas lagoas, como algas e bactérias (VON SPERLING, 2005). As lagoas de estabilização são unidades construídas especialmente para efetuar o tratamento de efluentes por processos biológicos naturais, controlados e aprimorados (DIAS, 2012). Tem como desvantagem a necessidade de extensas áreas para a sua efetiva instalação (TELLES et. al, 2010).

Segundo Leite et. al (2017), o percolado de aterro sanitário pode ser tratado por meio de lagoa de estabilização conjugado com os esgotos domésticos. Combinando o lixiviado de aterro sanitário in natura (1%) e esgoto doméstico (99%), submetidos a uma série de quatro lagoas de estabilização com profundidade média de 0,5 m, sendo uma lagoa facultativa, seguida de três lagoas de maturação, os pesquisadores observaram a eficiência média de remoção de DQO total, DQO filtrada, DBO<sub>5</sub>, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e coliformes termotolerantes foi de 49,0%, 48,0%, 69,0%, 86,0% e 99,8%,

respectivamente. Ao final, apontaram como vantagens deste procedimento a remoção de material carbonáceo, material nitrogenado, coliformes termotolerantes e ovos de helmintos.

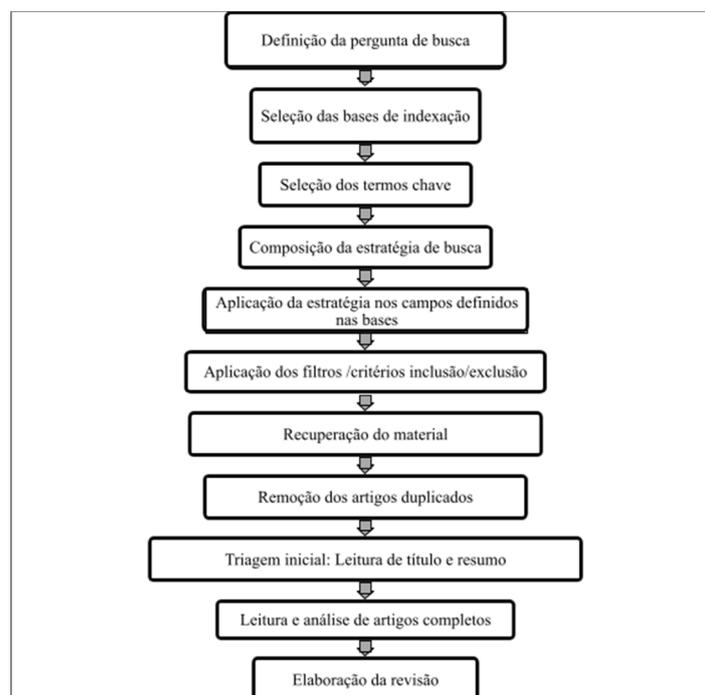
Já o processo oxidativos avançados que de acordo com Araújo et. al (2016) é onde ocorre a transformação de poluentes em espécies simples como dióxido de carbono, água, substâncias menos tóxicas e de fácil degradação por técnicas comuns, mas isso só é possível se houver a presença do radical hidroxila (HO●), pois ele é o responsável pela ocorrência de reações em cadeias entre os intermediários, isso ocorre na presença da radiação UV ou na utilização de ozônio ou peróxido de hidrogênio.

Os processos de lodos ativados de acordo com Dias (2017), serve para remover matérias orgânicas solúveis que estão em suspensão no efluente e transformam em flocos onde podem ser separados através do método gravitacional, isso é possível com a utilização de reator e são mantidos em suspensão. Já no tanque que de sedimentação é realizada a separação da fase líquida e sólida, no sistema de recirculação de lodo é onde ocorre o retorno do lodo para o reator. Neste processo o método mais utilizado é convencional, logo após utiliza-se o processo de batelada e aeração prolongada, possibilitam alta remoção da matéria orgânica e possui baixo custo, caso não se utilize o valor ideal de lixiviado podem ocorrer impactos negativos.

## METODOLOGIA

A pesquisa caracteriza-se do tipo descritiva, exploratória e bibliográfica. Quanto ao método, trata-se de uma revisão sistemática integrativa da literatura. Este método possui o intuito de organizar e sintetizar de forma sistemática as informações sobre certa temática que já possui estudos produzidos, assim sendo possível se ter uma compreensão sobre o problema estudado (Marini et. al, 2017). Para que fosse possível verificar as informações necessárias para o preenchimento das lacunas do trabalho, criamos etapas como mostra na Figura 1, a fim de que respondessem à pergunta norteadora.

Figura 1. Etapas da revisão sistemática. Fonte: Autora, 2020.



## SELEÇÃO DAS BASES DE INDEXAÇÃO

A base de indexação selecionada foi através do Portal Periódico da CAPES, o periódico escolhido foi a Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental e nela há contribuições técnicas e científicas originais relacionadas com as áreas de saneamento e meio ambiente, bem como suas interfaces. A revista é online, gratuita e de acesso aberto, o conteúdo da revista é licenciado sob uma atribuição Creative Common tipo BY, exceto os que possuem identificação.

## DEFINIÇÃO DE TERMOS E OPERADORES BOOLEANOS

Para a recuperação de trabalhos que atendam ao objetivo da pesquisa utilizou-se as palavras chaves: treatment e leachate. Os termos selecionados foram combinados em uma estratégia de busca por meio dos operadores booleanos AND. O operador selecionado para compor string de busca AND, permite encontrar documentos que contenham um e outro assunto, ampliando a busca (OLIVEIRA, 2014, p.39-41).

## CRITÉRIOS ADOTADOS PARA A INCLUSÃO DOS ESTUDOS SELECIONADOS NAS BASES

A busca teve como período temporal de 5 anos de 2015 a 2020, sendo realizada através do Portal Periódico da CAPES. O periódico escolhido foi a Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, baseado na Biblioteca Eletrônica Scielo, onde se realizou a busca por artigos aplicando os termos: “treatment” e “leachate”, juntamente com o uso do operador booleano, AND. Os referidos termos foram aplicados em todos os índices. Na busca foram recuperados 11 artigos para análise de conteúdo.

Após a leitura completa dos 11 selecionados, constatou-se a sua adequabilidade aos critérios exigidos para a composição de informações da categoria de análise.

## LEITURA E ANÁLISE DOS DADOS

O material recuperado foi lido na íntegra, e analisado criticamente. A análise do material recuperado envolveu tanto os elementos quantitativos com uso de estatística descritiva básica e à luz da bibliometria, como aspectos qualitativos. Para avaliar a qualidade do material recuperado, foram definidas categorias de análise que foram devidamente alimentadas em planilha do Excel, e depois foram discutidas.

Inicialmente, foram apontadas como categorias de análise e informações a serem sistematizadas: título, tipo de produção, autor(es), ano de publicação, palavras-chaves, instituição, local do estudo, objetivo do estudo, tipo de tratamento, eficácia do tratamento, condução do estudo, parâmetros analisados, vantagens, desvantagens, resultados e observações.

Foi realizado também o resgate dos anos que mais se obteve publicações de trabalhos e as intuições que mais realizaram estudos sobre o tema abordado neste trabalho, a fim de demonstrar a evolução de buscas por tratamentos eficazes no decorrer dos anos e instituições.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

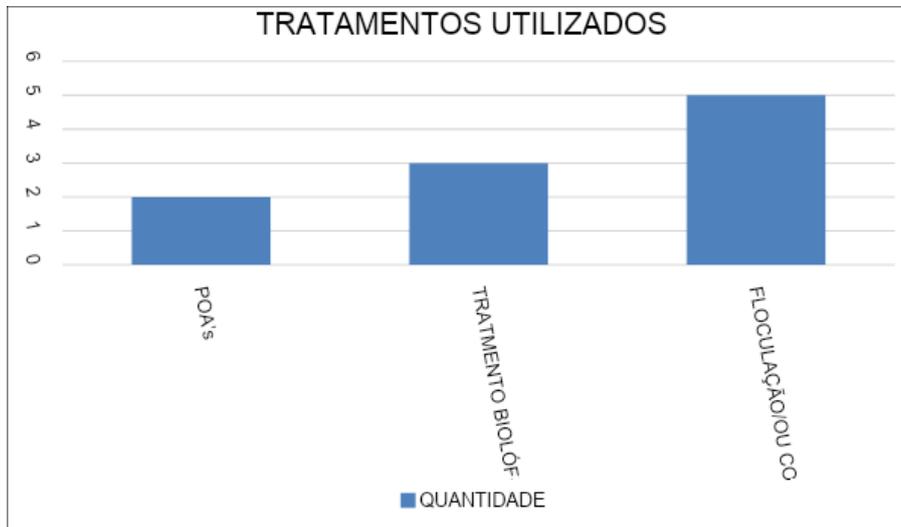
A recuperação do material resultou em 13 estudos, dos quais dois não obtiveram resultados satisfatórios. As análises realizadas que levaram a exclusão desses artigos foram as do objetivo e métodos utilizados.

No trabalho de Fonseca (2019) que teve como objetivo implementar e utilizar o método da solução semianalítica da camada contaminante equivalente (CCE) que possui o intuito de utilizar os parâmetros de coeficientes de difusão realizada através de ensaios experimentais no solo. Onde os autores utilizaram os dados obtidos por Ritter (1998) que utilizou solo hipotético em seu estudo, para que fosse possível identificar o comportamento dos contaminantes no solo estudado, assim sendo possível encontrar uma forma de mitigar e ou remediar os impactos. Por fim, não se enquadrando em nossa linha de pesquisa, pois o mesmo não aponta tipos de tratamentos para o lixiviado de aterro sanitário e sim de contemplar a eficácia do método semianalítico CCE aplicada ao solo.

O segundo trabalho foi dos autores Carrilho e Carvalho (2016) foi excluído, pois objetivava avaliar os efeitos dos lodos de fossa e tanque séptico (LFTS) com o intuito de apontar as interferências que possam ser causados em lagoas de estabilização para tratamentos de lixiviados de aterros sanitários e conseqüentemente na qualidade do efluente gerado pelo sistema. Mostrando que o respectivo trabalho não se enquadra nesta pesquisa por não trazer nenhuma análise de tratamentos que possam ser aplicados ao percolado de aterro sanitário.

Sendo assim, somente 11 artigos atenderam à pergunta da pesquisa, para que seja possível alcançar o objetivo do trabalho. Após serem analisados verificou-se que dos trabalhos recuperados, foram utilizados mais lagoas e processos complementares como: coagulação/floculação e complementos como adsorção e sedimentação, Fenton e lodos. A Figura 2 mostra a distribuição do levantamento realizado.

Figura 2. Gráfico demonstrativo dos tipos de tratamentos ao percolado utilizados nos Aterros Sanitários, dos artigos analisados. Fonte: Autora, 2021.



A Figura 2 mostra os processos de tratamentos mais utilizados nos trabalhos analisados, assim verificou-se que o tratamento por lagoas obteve mais utilização, possuindo técnicas complementares. De acordo com Fujii et al (2019), os tratamentos biológicos necessitam de processos complementares de pós-tratamento físico-químico de lixiviado de aterro sanitário e têm sido estudadas algumas delas sendo: coagulação-floculação-sedimentação, processos oxidativos avançados e adsorptivos, precipitação química, filtração em membrana, entre outros para que haja a remoção da matéria orgânica recalcitrante.

As vantagens e desvantagens de cada trabalho estão demonstradas no Quadro 2 em que é possível ressaltar a relação dos custos e benefícios avaliados para o sistema ou processo que será utilizado.

Quadro 2 - Processos utilizados nos trabalhos recuperados e suas Vantagens e Desvantagens. Fonte: Autora, 2021.

| Processos utilizados   | Vantagens   | Desvantagens  |
|--|---|---|
| Sistema de tratamentos simulado utilizando o Activated Sludge Model -ASM1 foi o de uma lagoa aerada.   | Viável para atividades em potencial, como sistemas reais e suporte operacional de estação de tratamento de esgoto (ETE) recebendo lixiviado, sendo necessária modificação na estrutura do modelo para abranger os processos adicionais. | Deficiências analíticas no monitoramento da estação de tratamento de esgoto (ETE) sob essas condições e conseqüentes os riscos da aplicação do ASM1 como cotratamento para o corporeceptor.   |
| Tratamento combinado de lixiviado e lodos de fossas que utilizam geobag, que é um retentor de sólidos em suspensão totais e, para aprimorar o seu desempenho, aplicando floculante à mistura de lodo de fossa e lixiviado. | Decréscimo nos valores dos parâmetros sólidos em suspensão, COD, N-amoniaco de maior interesse. Gerando um efluente final muito mais apto a utilização de outras técnicas complementares.   | O tratamento pode ser prejudicado devido os parâmetros físico-químicos e a toxicidade do lixiviado de aterro e do lodo de fossa apresentaram grande variação e com isso dificultar a análise do seu desempenho. Sendo preciso utilizar técnicas mais sofisticadas como permeação por membranas ou processos |

|   |  |   |
|---|--|---|
|   |  | oxidativos, para finalizar o processo.  |
| Processo de adsorção de carvão ativado (AC)   | Mostra que a concentração de amônia sofre redução acentuada desde o início ao minuto 60 do experimento, baixo custo e por serem provenientes de fontes renováveis e permitir seu reaproveitamento. | Caso sejam utilizadas maiores cargas do adsorvente pode ocorrer a diminuição da área e aumento do percurso de difusão devido o aumento da agregação de partículas.  |
| Combinação dos processos de coagulação/floculação e adsorção.   | Custo, simplicidade no processo, melhores resultados na diminuição dos poluentes potenciais e utilização de resíduos descartados (conchas de ostra) como adsorventes.                              | Necessidade de um tratamento para as conchas de ostra por não apresentarem uma boa redução de cor.  |
| Tratamento biológico com aplicação da técnica de stripping de amônia aplicado ao lixiviado, onde é realizada sequência de bateladas em reatores e   | Técnica viável para pós-tratamento de lixiviados estabilizados, para aterros de médio e grande porte.  | O experimento não destaca outros poluentes como cloretos, metais pesados e especiações da matéria orgânica recalcitrante. Dificuldade do tratamento   |
| logo após direcionado ao pós-tratamento por coagulação.   |  | aplicado, onde apresenta uma máxima de 20% de diluição desse lixiviado pré-tratado em uma estação de tratamento de esgoto.  |
| Composição do material granular mais adequada para o filtro ascendente aplicado ao pós-tratamento   | Fácil controle e possibilitando sua adequação aos níveis desejados.  | Necessidade de continuação de estudo que aborde sobrepoluentes remanescentes, tais como cloretos, metais pesados e especiações da matéria orgânica recalcitrante.   |
| Processo foto-Fenton solar ( $H_2O_2/Fe^{2+}/UV$ ) onde é realizado a fotocatalise solar devido sua alta eficiência na geração de radicais hidroxila por meio da decomposição do peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) tendo bons resultados na remoção da DQO de lixiviados de aterro sanitário, remoção da DQO de lixiviados de aterro sanitário. | Processo de curta duração, com duração aproximada de 3 horas de fotocatalise com remoções superiores a 70%.  | A grande dificuldade na otimização do processo foto-Fenton é a variabilidade do lixiviado, com isso, recomendou-se que seja realizado um novo planejamento o de fosse adotado razões maiores do que o nível máximo estudado nesta pesquisa. |



|   |   |   |
|---|---|---|
| <p>Para representar as áreas alagadas, utilizou-se um reservatório com a utilização de macrófitas como relativa, <i>P. stratiotes</i>, <i>E. polystachya</i> e <i>E. crassipes</i>. A fim de se mostrar suas eficácias no processo de redução dos parâmetros do lixiviado</p>   | <p>Obtenção de informações sobre o uso de áreas alagadas para o pós-tratamento de lixiviado, além de indicarem o papel das macrófitas nesse processo.</p>   | <p><i>Angusti P. stratiotes</i> não sobreviveu na presença do lixiviado proveniente do tratamento convencional sem diluição, o mesmo que foi aplicado no sistema. A baixa eficiência de <i>E. crassipes</i> no sistema pode estar relacionada à alta concentração de Fontes de Nitrogênio Mineral (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) e ao fato dessa macrófita apresentar sinais de injúria, como clorose (machucado na planta com perda da coloração, que podem causar sua morte), comprovada pelo baixo teor de clorofila total encontrado.</p> |
| <p>Tratamento de lixiviados constituído por 2 lagoas anaeróbia (LAs) operadas em série; sendo bombeado</p>  | <p>Alcançou bons resultados para remoção de frações de matéria orgânica e compostos nitrogenados.</p>   | <p>O efluente obtido não cumpriu as exigências da legislação brasileira e, portanto, o tratamento biológico foi considerado insuficiente.</p>   |
| <p>para o sistema de lodo ativado (SLOA) composto por 2 reatores de fluxo contínuo e aeração prolongada e umdecantador secundário, cujo efluente segue para uma lagoa facultativa (LF).</p>   |   |   |
| <p>O aterro sanitário estudado possui uma estação de tratamento do lixiviado, denominada ETLix, composto por lagoa anaeróbia e lagoas facultativas. Foram utilizados dois tipos de lixiviado: bruto, proveniente da entrada da ETLix; e tratado por lagoas, procedente da saída da ETLix. Assim, pode-se testar a eficiência do sistema de tratamento (O<sub>3</sub> e O<sub>3</sub> +H<sub>2</sub> O<sub>2</sub>) como pré e pós-tratamento de</p> | <p>O Processos Oxidativos Avançados(POA) com adição de ozônio / ozônio + peróxido de hidrogênio (O<sub>3</sub> /O<sub>3</sub> +H<sub>2</sub> O<sub>2</sub>) foi mais eficiente no tratamento de lixiviados que tiveram as menores concentrações iniciais dos parâmetros, independentemente de ser bruto ou tratado.</p> | <p>Houve um grande aumento na temperatura do lixiviado, em média 15°C. Isso pode ter ocorrido por reações exotérmicas, que liberam calor e podem elevar sua temperatura, isso ocorreu devido o uso de H<sub>2</sub> O<sub>2</sub> com O<sub>3</sub>. Onde se não torna indicado adição do O<sub>3</sub> nesse processo.</p>   |

|  |  |  |
|--|--|--|
| lixiviado de aterro sanitário.   |  |  |
| Método 2120. C possui a capacidade de obter os valores de cor da mistura e do efluente tratado. Onde essas amostras têm o pH ajustado para $\approx 7,6$ realizando em seguida à filtração a vácuo para a remoção de turbidez. Tendo a análise realizada através do espectrofotômetro Hach DR3900. | Alta remoção de matéria orgânica e baixo custo de Operação | O lodo é sedimentado muito lentamente, demorando por volta de 20 horas para estabilizar, o que pode tornar o processo inviável quando aplicado em escala real. |

O<sub>3</sub> - Ozônio

H<sub>2</sub> O<sub>2</sub> - Peróxido de Hidrogênio

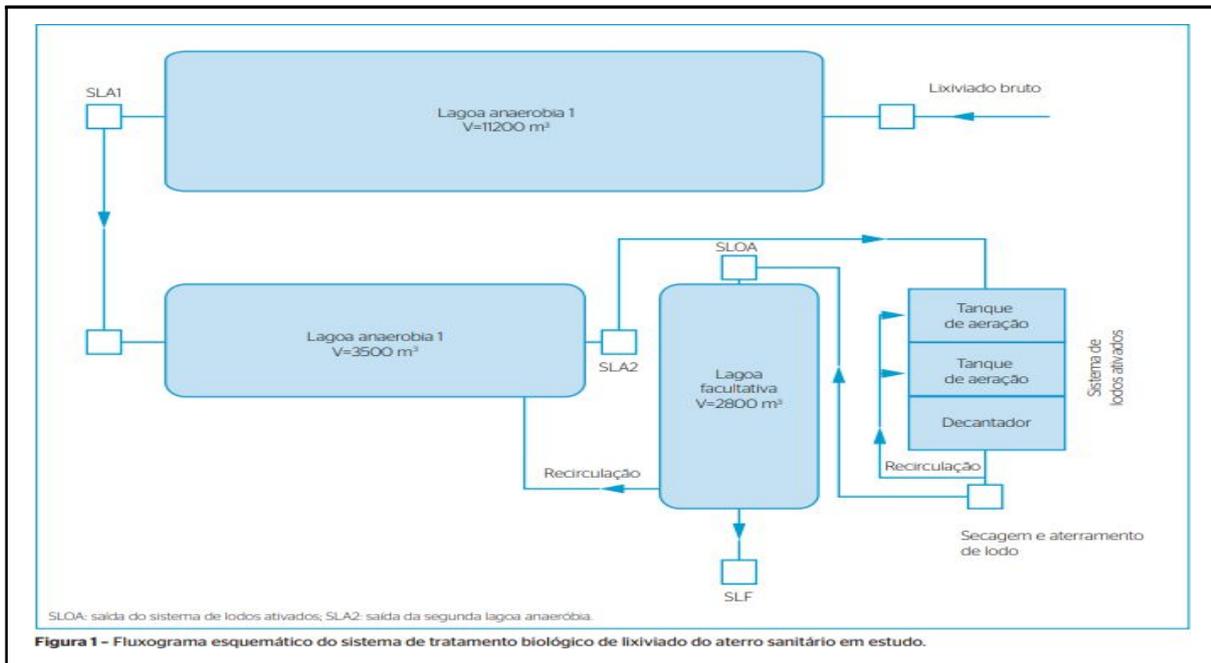
A eficácia de cada tratamento se dá pela porcentagem de remoção dos parâmetros analisados em seus trabalhos. Neste sentido, para melhor discussão sobre a eficácia, os tipos de tratamentos foram agrupados aos que obtiveram o mesmo processo, como está descrito no Quadro 3 abaixo dos grupos.

**Quadro 3 - Demonstrativos separados por grupos de acordo com as técnicas aplicadas nos trabalhos recuperados e autores que as utilizaram. Fonte: Autora, 2021.**

| Grupos por Técnicas utilizadas               | Autores de cada trabalho que utilizaram as técnicas citadas ao lado.                  |
|--|---|
| Grupo 1 - Lodos (ativados e fossas sépticas) | Maia et. al (2015); Souza et. al (2019); Welber et. al (2018); Salles e Souza (2020). |
| Grupo 2 - Resíduos (ostras e café)           | Chavez et. al (2019) e Sobrinho et. al (2019).  |
| Grupo 3 – Pós-tratamento                     | Fujii et. al (2019) e Amorim et. al (2018).   |
| Grupo 4 – POA's                              | Bou et. a (2018); Gomes e Schoenell (2018) e Lucena et. al (2018).                    |

O Grupo 1- composto de estudos que trabalharam com lodos sendo eles de fossas sépticas ou ativados. O trabalho de campo de Maia et. al (2015), teve como objetivo avaliar a eficiência do sistema biológico por meio do monitoramento de variáveis físico-químicas e ensaios de toxicidade, para isso foi realizado em frequência quinzenal nos meses de março de 2012 a julho de 2013. O monitoramento do sistema biológico foi composto por duas lagoas anaeróbias, que operaram em série e bombeando para o sistema de lodo ativado com dois reatores, programados para o fluxo contínuo e aeração prolongada para o decantador secundário trapezoidal, onde o efluente segue para a lagoa facultativa, como mostra a Figura 03.

**Figura 1 - Figura ilustrativa da sequência utilizada para o monitoramento do sistema biológico aplicado para o método deste tratamento. Fonte: Maia et. Al, 2015.**



Para este estudo as remoções dos parâmetros foram de 80% para carbono orgânico dissolvido (COD), 68% de demanda química de oxigênio (DQO) e 85% para demanda bioquímica de oxigênio (DBO) tendo valores residuais médios de 259, 1.086 e 246 mg.L-1, respectivamente. Já nitrogênio amoniacal obteve remoção de 83% e nitrogênio total Kjeldahl de 82%, com valores médios de concentração final de 240 mg.L-1 (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) e 300 mg.L-1 (NTK), e a remoção para fósforo total de 80%, com dados médios na saída do sistema de 7 mg.L-1.

O trabalho de Souza et. al (2019) teve como objetivo quantificar o desempenho do processo de geobag que é um retentor de sólidos em suspensão totais, utilizando a combinação de lixiviado de aterro sanitário com lodos de fossa séptica. Para isso, foram realizados um estudo de bancada e um estudo de campo. O estudo de bancada alimentou o geobag (na forma de saco com dimensões horizontal de 42 × 54 cm) manualmente com mistura de lodo de fossa e lixiviado, onde o mesmo foi submetido previamente à floculação em recipiente apropriado, utilizando um biofiltro que operou por recirculação por 24h em modo batelada. O estudo teve duração de 6 meses, de segunda-feira a sábado.

O de campo durou 16 meses e utilizou 11 amostras colhidas na saída da lagoa de lixiviado e de mistura, no geobag, nas lagoas de estabilização e wetland e foram acondicionadas em um refrigerador em temperatura inferior 4°C, até serem transportadas para o laboratório de análise. A partir dos resultados das análises, obteve-se a taxa de remoção de 53% para Carbono Orgânico Dissolvido (COD) no estudo de campo e 18% no estudo realizado em escala de bancada. Na unidade de campo os tratamentos realizados, somente a lagoa de estabilização e wetland não contribuíram para o aumento da remoção, já na unidade de laboratório realizado com a utilização do biofiltro obteve 18,6% de remoção. A remoção para N-amoniaco obteve remoção de 67% tanto para o geobag quanto para o biofiltro em laboratório. O tratamento utilizado resulta em redução da toxicidade do lixiviado, porém para uma melhor qualidade final necessita de outros procedimentos mais sofisticados: processos oxidativos ou permeação por membranas.

Os autores Salles e Souza (2020) avaliaram aplicação do modelo Activated Sludge Model (ASM1), utilizando seis cenários diferentes de simulação de sistema de lagoas aeradas, com um tempo de detenção hidráulico igual a três dias (180 dias). Para que assim fosse possível englobar todos os cenários nos períodos dinâmicos, quanto estado estacionário de cada um. Somente um cenário recebeu somente esgoto sanitário (cenário 1), nos cinco cenários restantes, incluiu-se lixiviado ao esgoto sanitário nas seguintes proporções: 2% (cenário 2), 4% (cenário 3), 6% (cenário 4), 8% (cenário 5) e 10% (cenário 6). A remoção foi de 86,7% da DQO no tratamento biológico para esgoto sanitário e, com adição de 10% de lixiviado, a remoção foi de 46,5%. Ou seja, quanto maior a sua adição, maior a sua influência negativa no tratamento. Assim, conclui-se que o processo estudado foi positivo no sistema de adaptação das comunidades microbianas, tornando possível a utilização de lixiviado nas ETE desde que haja o monitoramento ao receber o efluente.

Welber et. al (2018) em seu trabalho avaliou uma combinação de tratamentos, incluindo processos físico-químicos como Coagulação/floculação-C/F utilizado como o processo primário a fim de analisar a remoção da matéria orgânica

recalcitrante, como substâncias húmicas, devido o teor elevado da cor. O air stripping utilizado para verificar a eficiência do ensaio de arraste na remoção de nitrogênio amoniacal, já o processo de ozonização utilizou-se o processador Multivácuo, modelo MV06 onde recorreu ao ozônio derivado de oxigênio, aplicando esse ozônio antes do processo biológico, com o intuito de reduzir a Demanda Química de Oxigênio-DQO. O teste de Toxicidade serviu para indicar a redução da toxicidade atingida através dos processos de tratamentos utilizados, os lodos ativados foram empregados para avaliar se com a utilização do esgoto sanitário e seria possível obter um lixiviado com os níveis adequados de DQO e nitrogênio amoniacal para o seu descarte. O estudo relata eficácia nas remoções onde o processo Coagulação/floculação-C/F reduziu 60% da Demanda Química de Oxigênio-DQO, já em air stripping apresentou níveis almejados, a ozonização aumentou na biodegradabilidade e reduziu a toxicidade tornando não tóxicos. Os processos biológicos removeram 90,6% de Demanda Química de Oxigênio-DQO, o lodo ativado mostrou eficiência com 81,5% de remoção.

Conclui-se que se fazem necessários outros estudos que analisem o impacto que o lixiviado causa no pré-tratamento. Os processos realizados pelo o Grupo 1 conseguiram remover significativamente os valores dos parâmetros que analisaram, porém necessitam de estudos complementares como o uso de técnicas de processos oxidativos ou permeação por membrana sugeridos por Maia et. al (2015). Permeação por membrana é um processo capaz de reter simultaneamente produtos ou espécies que passam através da membrana semipermeável (Pertile, 2013).

O Grupo 2 contém trabalhos realizados com a utilização de resíduos; o trabalho de Chávez et. al (2019), avaliou o potencial de carvão ativado (CA) obtido de resíduos de café usando diferentes reagentes de ativação, cargas adsorventes, e tempos de tratamento de adsorção para depurar o lixiviado tratado (LL), a fim de reduzir concentração de ferro, cobre, amônia, Demanda Química de Oxigênio-DQO e cloreto neste tipo de água. Para iniciar a ativação do Carvão Ativado-CA acrescentou-se diferentes reagentes como:  $\text{HCl}$ ;  $\text{HCl} + \text{H}_2\text{O}_2$ ;  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ;  $\text{H}_3\text{PO}_4 + \text{H}_2\text{O} + 2$ . Para o experimento realizado as melhores remoções dos parâmetros estudados foram os que o Carvão Ativado-AC, utilizou ácido fosfórico- $\text{H}_3\text{PO}_4$  removendo 51,3% para Demanda química de oxigênio-COD, 46,9% para amônia, 66,2% para cloro, bromo de 81% e remoção de 97,5% para Conferência das partes da convenção - cop- total.

Já para Sobrinho et. al (2019) que avaliou o uso do pó de ostra como adsorvente, onde o ensaio de adsorção foi realizado em bateladas por meio de dois planejamentos ambientais, logo após realizou-se estudos cinéticos e de equilíbrio (tempo de 40m) e uma avaliação de cada etapa. A combinação dos processos de coagulação/floculação e adsorção foi eficiente com remoções de 95% para Demanda Bioquímica de oxigênio- DBO, 40% para Demanda química de oxigênio- DQO e 70% da cor do lixiviado.

No Grupo 2, os processos abordados foram eficazes, mostrando que utilizar resíduos no processo de adsorção reduz os parâmetros do lixiviado tornando-o menos agressivo, ao contrário do que se viu no Grupo 1, onde somente uma técnica Activated Sludge Model-ASM1 que utiliza lodo ativados, foi eficaz e atendeu a legislação, como já apontado por Araújo et. al (2016) e Dias (2017).

No Grupo 3 temos trabalhos que utilizaram o pós-tratamento em campo e análise em laboratório para testar a eficiência objetivada e concluir qual dos dois terá o procedimento com êxito.

Assim Fujii et. al (2019) tiveram como objetivo estabelecer a composição adequada da matéria granular para o filtro ascendente aplicado ao pós- tratamento, utilizando reatores volumetricamente com capacidade de  $1\text{m}^2$  conjugado a técnica de stripping de amônia através de bateladas, conseguindo remover aproximadamente 50% da N-amoniacal, em seguida realizou o tratamento biológico por lodos ativados de fase aeróbia em reator com capacidade de  $2\text{m}^3$ , logo após utilizou o pós-tratamento um sistema com alimentação de lixiviado que teve o foco de recalcar o efluente tratado e transferido para a câmara de mistura rápida (CMR) para ser transferido ao sistema de filtração ascendente por pedregulho e sistema de descarga e lavagem do filtro. Os melhores resultados de remoção se deram no ensaio IV sendo acrescentado na mistura rápida (CMR) mais 30 cm de área fina (tipo 4 com espessura total de 210) na última camada, assim impedindo o transporte do líquido, onde teve 22,6 horas sem transpasse. Obtendo remoção de 82,4% de Demanda química de oxigênio-DQO, 98,8% para cor verdadeira e 94,3% para Carbono orgânico total-COT.

Amorim et. al (2018) propuseram um sistema piloto que foi constituído por duas caixas d'água a primeira com 5000L onde foram plantadas cinco estacas de *E. polystachya* e a segunda de 3000L colocado 95 exemplares de *E. crassipes* ambas receberam 450 L de lixiviado. Com o intuito de avaliar a eficiência desse sistema piloto para analisar o papel das macrófitas nesse processo, utilizando áreas alagadas, para o pós-tratamento do lixiviado gerado no Aterro Sanitário de Curitiba. O sistema operou em bateladas durante 7 dias, onde o efluente foi coletado para verificação da eficiência do processo de tratamento. As remoções apresentadas foram de 72% para DBO, 30% DQO, 76% para fósforo total e inorgânico, 33% para nitrato e nitrito, 58% para nitrato amoniacal, 44% para nitrogênio orgânico e 13% para zinco.

Neste grupo observa-se a utilização de técnica de pós-tratamento onde, Fujii et. al (2019) orienta a continuação de estudos para que seja verificada a eficácia do processo para a redução da toxicidade e os parâmetros analisados nos estudos sejam satisfatórios. Nota-se que ao contrário do Grupo 3, o Grupo 2 obteve os melhores resultados obtidos utilizando processos com insumos complementares no processo de adsorção realizados pelo e no Grupo 1 se deu pelo Activated Sludge Model (ASM1), onde se tem essa simulação como complementar dos processos que foram utilizados. Já para Amorim et. al (2018) os parâmetros analisados também atenderam a legislação e indicam estudos sobre a mesma técnica utilizada, para analisar por um tempo mais longo no crescimento e desenvolvimentos das macrófitas.

O Grupo 4 que aborda a utilização de Processos Oxidativos Avançados-POA 's, ao contrário dos demais analisados, foi o único em que todos os estudos realizados obtiveram êxito em seus resultados, mostrando a eficiência da junção desses processos utilizados por essa técnica.

Bou et. al (2018) propôs em seu trabalho obter o ajuste que representa a remoção de cor, através de análises realizadas pelo o método 2120 – C dividindo em 2 grupos cada uma com 8 reatores, totalizando 16 com diferentes tipos de CAP (carvão ativado em pó) com lixiviado de aterro sanitário, que receberam por duas semanas a mistura de esgoto doméstico sintético. Foi separado o reator R1, com base de controle contendo somente carvão ativado em pó-CAP e lixiviado. Os melhores resultados se deram dos reatores que receberam lixiviado com adição de CAP com remoções de quase 80% onde o reator recebeu 5% de lixiviado e 4 g.L de CAP. O pior resultado recebeu a proporção de 10% e sem CAP onde não atingiu 20% de eficiência. Concluindo que para bons resultados é necessária a adição de CAP. Já o processo utilizado por Gomes e Schoenell (2018) objetivou avaliar o uso de Ozônio-O<sub>3</sub> e de Peróxido de Hidrogênio-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> como Processo Oxidativo Avançado-POA, visando à remoção de compostos recalcitrantes em lixiviados de aterro sanitário. Para isso realizaram ensaios onde foram tratados 460L de lixiviado, que duraram 4 dias, ou seja, 96 horas de segunda-feira a sexta-feira. A concentração de Ozônio-O<sub>3</sub> utilizada foi de 29 mg.O<sub>3</sub>L-1, já para o ensaio de Peróxido de Hidrogênio-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> usou-se 100 mg.L. A remoção para a cor aparente foi acima de 90% com ou sem utilização de Peróxido de Hidrogênio-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, já a remoção para Demanda Química de Oxigênio-DQO de até 80% e para Carbono Orgânico Total-COT de 66%. De acordo com o trabalho realizado, a utilização de Peróxido de Hidrogênio-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, não influenciou significativamente para a remoção dos valores.

O trabalho de Lucena et. al (2018) objetivou otimizar o processo foto-Fenton solar (utilizado: Peróxido de Hidrogênio-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/ Ferro-Fe<sup>2+</sup>/ Radiação ultravioleta- UV) aplicado ao tratamento de lixiviados de aterros sanitários, com vistas a maximizar a remoção de matéria orgânica. Para os valores da remoção de Demanda Química de Oxigênio-DQO que foi calculada pela a diferença percentual entre os valores da triplicata entre as amostras brutas e tratadas, a interferência do H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sofreu redução através de aquecimento em banho-maria por 30 min. Obtendo remoção superior a 70% da carga orgânica do lixiviado, o modelo apresentou apenas um desvio de 3,11%, entre a resposta do experimento e o ensaio de validação após o processo de fotocatalise com duração de 3 horas ocorreu remoções superiores a 70% da carga orgânica do lixiviado, demonstrando que a otimização do processo foto-Fenton solar é válida.

Assim se confirmando que os processos de POA 's possuem uma grande eficácia de remoção através das técnicas utilizadas por esse grupo de processo como aponta Araújo et. al (2016).

**Quadro 4 - Tratamentos citados e autores. Fonte: Autora, 2021.**

| Tratamento Aplicado  | Parâmetros Removidos e Percentual de Remoção   | Autor(es)          |
|--|--|--------------------|
| Sistema biológico por meio do monitoramento de variáveis físico-químicas e ensaios de toxicidade | Carbono orgânico dissolvido (COD) remoção de 80%.<br>Demanda química de oxigênio (DQO) remoção de 68%.<br>Demanda bioquímica de oxigênio (DBO) remoção de 85%.<br>Nitrogênio amoniacal obteve remoção de 83%.<br>Nitrogênio total Kjeldahl de 82%. | Maia et. al (2015) |
|  |  |                    |

|  |   |                        |
|--|---|------------------------|
| Activated Sludge Model (ASM1)  | Remoção de 86,7% da DQO no tratamento biológico para esgoto sanitário e, com adição de 10% delixiviado a remoção foi de 46,5%.  | Salles e Souza (2020)  |
| processos físico-químicos como Coagulação/floculação-C/F, <i>air stripping</i> , ozonização e lodo ativado | Demanda Química de Oxigênio-DQO remoção de 60% Demanda Química de Oxigênio-DQO remoção de 90,6%, já o lodo ativado mostrou eficiência com 81,5% de remoção.   | Welber et. al (2018)   |
| Tratamento de adsorção por carvão ativado (CA) obtido de resíduos de café                                  | Removendo 51,3% para Demanda química de oxigênio-COD, 46,9% para amônia, 66,2% para cloro, bromo de 81% e remoção de 97,5% para Conferência das partes da convenção - cop- total.   | Chávez et. al (2019)   |
| Adsorção com a utilização de pó de ostra como adsorvente   | Remoção de 95% para Demanda Bioquímica de oxigênio- DBO, remoção de 40% para Demanda química de oxigênio- DQO e remoção de 70% da cordo lixiviado.  | Sobrinho et. al (2019) |
| Matéria granular para o filtro ascendente aplicado ao pós-tratamento                                       | Remoção de 50% do N-amoniacal, remoção de 82,4% de Demanda química de oxigênio-DQO, remoção de 98,8% para cor verdadeira e remoção de 94,3% para Carbono orgânico total-COT.  | Fujii et. al (2019)    |
| Avaliar a eficiência das macrófitas nesse processo em áreas alagadas, para o pós-tratamento do lixiviado.  | Remoção de 72% para DBO, remoção de 30% DQO, remoção de 76% para fósforo total e inorgânico, remoção de 33% para nitrato e nitrito, remoção de 58% para nitrato amoniacal, remoção de 44% para nitrogênio orgânico e remoção de 13% para zinco. | Amorim et. al (2018)   |

|  |  |                          |
|--|--|--------------------------|
| Remoção de cor através de análises realizadas pelo o método 2120   | Obtendo remoções de quase 80% da cor   | Bou et. al (2018)        |
| Processo Oxidativo Avançado-POA utilizando Ozônio-O <sub>3</sub> e de Peróxido de Hidrogênio-H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> | Demanda química de Oxigênio-DQO de até 80% e para Carbono Orgânico Total-COT de 66%. | Gomes e Schoenell (2018) |

Com isso é possível verificar que os tratamentos que foram aplicados, analisaram o percentual de remoção e os parâmetros analisados com mais frequência e melhores percentuais de remoções, foram de Demanda química de Oxigênio-DQO, Demanda Bioquímica de Oxigênio-DBO e Carbono Orgânico Total-COT.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho utilizou o método onde organiza e sintetiza de forma sistemática as informações coletadas para o trabalho.

Dessa forma verificamos que a hipótese deste trabalho se confirma e o tratamento biológico possui qualidade ao tratar do percolado, porém para que haja eficácia, atenda aos valores exigidos pela legislação se faz necessária a utilização de outros tratamentos juntamente com adição complementar, assim sendo possível alcançar a média de valores exigidos pela a normativa.

Este trabalho também demonstra a necessidade da evolução de estudos voltados para a melhoria desses tipos de tratamentos, levando em conta que nem todos os lixiviados possuem as mesmas características. Considerando que os futuros estudos realizados façam levantamentos das vantagens e desvantagens dos tratamentos referentes ao custo-benefício visando que os municípios de pequeno porte também precisam ter uma melhor alternativa de tratamento de seus efluentes e também abranjam demais parâmetro que estão elencados na toxicidade do líquido.

Com tudo levando em consideração ao exposto, é preciso que os estudos realizados abranjam os demais parâmetros que alteram as características do lixiviado, fazendo com que o mesmo se torne muito mais perigoso à saúde socioambiental.

## REFERÊNCIAS

1. ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8849: **Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**. Rio de Janeiro, 1992. Disponível em: <http://licenciadorambiental.com.br/wp-content/uploads/2015/01/NBR-8.419-NB-843-Apresen-tac%C3%A3o-de-Projetos-de-Aterros-Sanitarios-RSU.pdf>. Acessado em: 07 de outubro de 2020.
2. ABRELPE- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. Disponível em : <https://abrelpe.org.br/brasil-produz-mais-lixo-mas-nao-avanca-em-coleta-seletiva/> . Acessado em: 04 de outubro de 2020.
3. ALVES. D. C; TEIXEIRA. R. M. **Estudo comparativo das técnicas de tratamento do chorume utilizadas em alguns aterros sanitários**. ICTR – CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM RESÍDUOS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL Costão do Santinho – Florianópolis – Santa Catarina. p. 4806- 4815, 2004.
4. AMORIM, A. M. P. B; CAVALHEIRO, T. L; PRESSULER, K. H; MIELKE, E. C; CUBAS, S. A; MARANHO, L. T. **Eficiência de um sistema piloto utilizando áreas alagadas no pós-tratamento do lixiviado gerado no Aterro Sanitário de Curitiba**, Curitiba, Paraná, Brasil. 2018.

5. BAHÉ, J. M. C. F., 2008, **Estudo da evaporação de lixiviados de aterros sanitários como alternativa tecnológica de tratamento: testes em Bancada**. Dissertação de M.Sc. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil.
6. BAUN, A. ET et al. Contam. Hydrol. 2003, 2, 1916. CHRISTENSEN, T. H. et al. Biochemistry of landfill leachate plumes. Applied Geochemistry. v.16, p. 659-718, 2001.
7. BERNARD, C. et al. **Estimation of the hazard of landfills through toxicity testing of leachates: Determination of leachate toxicity with a battery of acute tests**. Chemosphere, v.33, p. 2303-2307, 1996.
8. BERTAZZOLI, R.; PELEGRINI, R. **Descoloração e degradação de poluentes orgânicos em soluções aquosas através do processo foto eletroquímico**. Química Nova, v. 25, p. 470-476, 2002.
9. BIOLCHINNI, J. et al. **Systematic review in software engineering**. Rio de Janeiro, 2005. (Report).
10. BIALOWIEC, A.; BARYLA, I. W.; AGOPSOWICZ, M. 2007. **“The efficiency of**
11. **evapotranspiration of landfill leachate in the soil–plant system with willow Salix amygdalina L.”**, Waste Management, v. 30, pp 356-361.
12. BOLAÑO, C.; KOBASHI, N.; SANTOS, R. **A lógica econômica da edição científica certificada**. Encontros Bibli: Revista Eletrônica de Biblioteconomia e Ciência da Informação, Florianópolis, n. esp., 1ºsem.2006. Disponível em: < <http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/eb/article/view/349/397> > .
13. BOU, A. S. F; PEREIRA, B. C; SILVA, L. D. B; FERREIRA, J. A; CAMPOS, J. C; NASCENTES, A. L. **Remoção da cor no tratamento combinado de lixiviado de aterro sanitário e esgoto doméstico via processo PACT®**. 2018.
14. CARVALHO, A L. (2001) **Contaminação de águas subsuperficiais em área de disposição de resíduos sólidos urbanos - o caso do antigo lixão de viçosa (mg)**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa.
15. CARRILHO, S. M. A. V; CARVALHO, E. H. Avaliação da disposição de lodos de fossa e tanque sépticos em lagoas de estabilização que tratam lixiviados de aterro sanitário. 2016.
16. CASTRO, A. P; YAMASHITA, F; SILVA, S. M. C. P. **Adição de polieletrólito ao processo de floculação no pós-tratamento de lixiviado por coagulação-floculação-sedimentação**. 2012.
17. Celere MS, Oliveira AS, Trevilato TMB, Segura-Muñoz SI. **Metais pesados presentes no chorume coletado no aterro sanitário de Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil, e sua relevância para saúde pública**. Cad Saude Publica. 2007;23(4):939-47.
18. COUTO, M. C. L; BRAGA, F. S; LANGE, L. C. **Tratamento de lixiviado por infiltração rápida como alternativa para cidades de pequeno porte**. 2013.
19. CHAVEZ, R. P; PIZARRO, E. C; GALIANO, Y. L. **Landfill leachate treatment using activated carbon obtained from coffee waste**.2019.
20. DIAS, A. L. S. **Análise de desempenho de lagoas de estabilização empregadas para tratamento de lixiviados de aterros sanitários**. Orientador: Liséte Celina Lange. 2012. 185 f. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.
21. De-la-Torre-Ugarte-Guanilo, M. C., Takahashi, R. T., & Bertolozzi, M. R. (2011). **Revisão sistemática: noções gerais**. Revista Escola de Enfermagem, 45(5), 1255-1261. doi: 10.1590/S0080-62342011000500033.
22. DE SOUSA, Márcia Cristina et al. **Processos de tratamento do chorume e reaproveitamento: Uma revisão**. Blucher Chemistry Proceedings, v. 3, n. 1, p. 655-664, 2015.
23. EL-FADEL, M. et al. **Temporal variation of leachate quality from pre-sorted and baled municipal solid waste with high organic and moisture content**. Waste management , v.22, p.269-282, 2002.
24. França RG, Ruaro ECR. **Diagnóstico da disposição final dos resíduos sólidos urbanos na região da Associação dos Municípios do Alto Irani (AMAI), Santa Catarina**. Ciênc. Saúde Coletiva. 2009;14(6):2191-7.
25. FELICI, E. M; KURODA, E. K; YAMASHITA, F; SILVA, S. M. C. P. **Remoção de carga orgânica recalcitrante de lixiviado de resíduo sólidos urbanos pré-tratado biologicamente por coagulação química-floculação-sedimentação**. 2013.
26. FERREIRA, João Alberto; GIORDANO, Gandhi; RITTER, Elisabeth et al. **Uma revisão das técnicas de tratamento de chorume e a realidade do estado do Rio de Janeiro**. In: 21º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. Anais. João Pessoa, 2001. p.1-10.
27. FIEIRA, C. (2014) **Avaliação da eficiência das lagoas de tratamento do aterro municipal de Francisco Beltrão**. (Trabalho de Conclusão de Curso. Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão. Disponível em: <[http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2079/1/FB\\_COEAM\\_2013\\_2\\_07.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2079/1/FB_COEAM_2013_2_07.pdf)> Acessado em: 15de outubro de 2020.
28. FONSECA, c. m; ritter, e. cavalcante, a. l. b. **Aplicação de solução semianalítica para modelagem de ensaios de sorção e difusão pura com lixiviado**.2019.
29. FUJII, E. H; GALVÃO, R. B; ROSA, J. L; FERNANDES, F; KURODA, E. K. **Composição granulométrica do filtro ascendente para pós-tratamento de lixiviado de aterro sanitário**. 2019.
30. FUJITA, M. S. L. **A identificação de conceitos no processo de análise de assunto para indexação**. Revista Digital de Biblioteconomia e Ciência da Informação, Campinas, v. 1, n. 1, p. 60-90, jul./dez. 2003. Disponível em: < <http://www.sbu.unicamp.br/seer/ojs/viewarticle.php?id=9&layout=abstract>>.

31. GOMES, L. P; SCHOENELL, E. K. **Aplicação de ozônio e de ozônio + peróxido de hidrogênio para remoção de compostos recalcitrantes em lixiviados de aterros sanitários.** 2018.
32. GOVEIA, Nelson; PRADO, Rogerio Rescitto. **Riscos à saúde em áreas próximas a aterros de resíduos sólidos urbanos.** Rev. Saúde Pública vol.44 no.5 São Paulo Oct. 2010. Epub Sep 03, 2010.
33. IPEA, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Resíduos sólidos urbanos no Brasil: desafios tecnológicos, políticos e econômicos.** Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/artigos/artigos/217-residuos-solidos-urbanos-no-brasil-desafios-tecnologicos-politicos-e-economicos>. Acessado em 08 de dezembro de 2020.
34. JUNIOR, A. B. C; DALASSO, R. L; ROHERS, F. **Pré-tratamento de lixiviados de aterros sanitários por filtração direta ascendente e coluna de carvão ativado.** 2010.
35. Kawahigashi, F; MENDES, B. M; JUNIOR, V. G. A; GOMES, V. H; FERNANDES, F; HIROOKA, E. Y; KURODA, E. K. **Pós-tratamento de lixiviado de aterro sanitário com carvão ativado.** 2014.
36. KAYOMBO, S.; MBWETTE, T.S.A.; MAYO, A.W.; KATIMA, J.H.Y.; JOGENSEN, S.E. **Waste Stabilisation Ponds and Constructed Wetlands: design manual.** United Nations Environment Programme, 2005. 59 p.
37. LANGE, L. C.; ALVES, J. F; AMARAL, M. C. S; JUNIOR, W. R. M. **Tratamento de lixiviado de aterro sanitário por processo oxidativo avançado empregando reagente de fenton.** 2006.
38. LEITE, V. D.; OLIVEIRA, A. G.; CAMPOS, A. R. C.; SOUSA, J. T. ; LOPES, W. S. ; OLIVEIRA, E. G. . **Tratamento Conjugado de Lixiviado de Aterro Sanitário e Esgoto Doméstico em Lagoas de Estabilização.** Revista DAE, 65(207), p. 77-93, 2017.
39. LI, X. Z. ZHAO, Q.L.; HAO, X.D. **Ammonium removal from landfill leachate by chemical precipitation.** Waste Management, vol. 19, p. 409-415, 1999.
40. LÔBO, E, M, P dos Santos. **Estudo Comparativo das Características dos Líquidos Percolados Gerados no Aterro Metropolitano – PB e no Aterro da Muribeca – PE.** Dissertação de Mestrado - Universidade federal de Pernambuco centro de tecnologia e geociências departamento de engenharia civil programa de pós-graduação em engenharia civil. Recife. Junho/2006.
41. MANNARINO, Camille Ferreira; MOREIRA, Josino Costa; FERREIRA, João Alberto e ARIAS, Ana Rosa Linde. **Avaliação de impactos do efluente do tratamento combinado de lixiviado de aterro de resíduos sólidos urbanos e esgoto doméstico sobre a biota aquática.** Ciênc. saúde coletiva [online]. 2013, vol.18, n.11, pp.3235-3243. ISSN 1413-8123. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-81232013001100014>. Acessado em: 15 de outubro de 2020.
42. LUCENA, L. G; ROCHA, E. M. R; SILVA, F. L. H.; CAHINO, A. M. **Otimização**
43. **multivariada do processo foto-Fenton solar na remoção da demanda química de oxigênio em lixiviados de aterros sanitários.** 2018.
44. MAIA, I. S; RESTREPO, J. J. B; JUNIOR, A. B. C; FRANCO, D. **Avaliação do tratamento biológico de lixiviado de aterro sanitário em escala real na Região Sul do Brasil.** 2015.
45. MANARINNO, C. F; FERREIRA, J. A; CAMPOS, J. C; RITTER, E. **Wetlands para tratamento de lixiviados de aterros sanitários – experiências no aterro sanitário de pirai e no aterro metropolitano de gramacho (rj).** 2006.
46. MARTINS, C. L; JUNIOR, A. B. C; COSTA, R. H. R. **Desempenho de sistema de tratamento de lixiviado de aterro sanitário com recirculação do efluente.** 2010.
47. McBEAN, E.A.; ROVERS, F.A.; e FARQUHAR, G.J. **Solid Waste Landfill Engineering and Design, USA:** Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, 1995. 521p.
48. MMA- Ministério do Meio Ambiente. **Mecanismo de desenvolvimento limpo aplicado a resíduos sólidos - Redução de emissões na disposição final.** Disponível em: [https://www.mma.gov.br/estruturas/srhu\\_urbano/\\_publicacao/125\\_publicacao1203200902391\\_8.pdf](https://www.mma.gov.br/estruturas/srhu_urbano/_publicacao/125_publicacao1203200902391_8.pdf). Acessado em: 03 de outubro de 2020.
49. MORAIS, J. L. de; SIRTORI, C.; ZAMORA, P. P. **Tratamento de chorume de aterro sanitário por fotocatalise heterogênea integrada a processo biológico convencional.** Química Nova, v. 29, n. 1, p. 20-23, 2005.
50. MORAIS, Josmaria Lopes de; SIRTORI, Carla and PERALTA-ZAMORA, Patricio G.. **Tratamento de chorume de aterro sanitário por fotocatalise heterogênea integrada a processo biológico convencional.** Quím. Nova[online]. vol.29, n.1, p.20-23, 2006, ISSN 0100- 4042. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422006000100005>.
51. MONTEIRO, José Enrique Penido et al. **Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos.** Rio de Janeiro: IBAM, 2001.
52. NASCIMENTO FILHO, Irajá do. **Estudo de Compostos Orgânicos em Lixiviado de Aterro Sanitário.** Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre, RS, 2002.
53. OLIVEIRA, Débora Aparecida Lentini de. **Práticas clínicas baseadas em evidências.** Especialização em Saúde da Família. Módulo Pedagógico. 2014, p.39-41. Disponível em: < [https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/19/o/Praticas\\_clnicas\\_baseadas\\_em\\_evidencias.pdf](https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/19/o/Praticas_clnicas_baseadas_em_evidencias.pdf)>. Acesso em: 15 de outubro de 2020.
54. OTHMAN, E.; YUSOFF, M.S.; AZIZ, H.A.; ADLAN, M.N.; BASHIR, M.J.K.; HUNG, Y.T. **The Effectiveness of Silica Sand in Semi-Aerobic Stabilized Landfill Leachate Treatment.** Water, v.2, 904-915, 2010.

55. PAES, R. F. C. **Caracterização do Chorume Produzido no Aterro da Muribeca-PE**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, p. 150. 2003.
56. PACHECO, J. R.; ZAMORA, P. G. P. **Integração de processos físico-químicos e oxidativos avançados (para remediação de percolato de aterro sanitário chorume)**. 2004.
57. PALMA, L. D.; FERRANTELLI, P.; CARLO M.; PETRUCCI, E. 2002. “Treatment of industrial landfill leachate by means of evaporation and reverse osmosis”. Waste Management, v. 22, pp 951-955.
58. PASCHOALATO, C. F. P. R. **Caracterização dos Líquidos Percolados Gerados por Disposição de Lixo Urbano em Diferentes Sistemas de Aterramento**. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. 97p. 2000.
59. PERIODICO CAPES. Disponível em: [https://www.periodicos.capes.gov.br/?option=com\\_collection&mn=70&smn=79&cid=81](https://www.periodicos.capes.gov.br/?option=com_collection&mn=70&smn=79&cid=81). Acessado em: 19 de outubro de 2020.
60. PGIRS - PLANO DE GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS. Prefeitura
61. Municipal de Ponta Grossa. Secretaria Municipal de Agricultura, Abastecimento e Meio Ambiente. Ponta Grossa – PR, p. 26-32, 2013.
62. QASIM, Syed R. Wastewater treatment plants: planning, design, and operation. Lancaster: Technomic, 1994. 726p.
63. QUEIROZ, L. M.; AMARAL, S. M.; MARITA, M. D.; YABROUDI, S. C.; SOBRINHO, P. A. **Aplicação de processos físico-químicos como alternativa de pré e pós-tratamento de lixiviados de aterros sanitários**. 2011.
64. RENOU, S.; GIVAUDAN, J.G.; POULAIN, S.; DIRASSOUYAN, F.; MOULIN, P, 2008. “Landfill leachate treatment: Review and opportunity”. Journal of Hazardous Materials, v. 150, pp 468-493.
65. REVISTA BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL). Av. Beira Mar, 216 - 13º Andar – Castelo 20021-060 Rio de Janeiro - RJ Brasil. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_serial&pid=1413-4152&lng=en&nrm=iso](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_serial&pid=1413-4152&lng=en&nrm=iso). Acessado em: 09 de janeiro de 2021.
66. RIBEIRO, E. F.; BUSS, M. V.; MENESE, J. C. S. S. **Tratamento do chorume de aterro de resíduos Sólidos urbanos utilizando o coagulante a base de tanino, tratamento biológico e ozonização**. Revista de Engenharia Civil IMED, v. 2, n. 2, p. 37-42, 2015.
67. SALLES, N. A.; SOUZA, T. S. O. **Aplicabilidade do Activated Sludge Model No. 1 (ASM 1) para simulação do co-tratamento de esgoto sanitário e lixiviado de aterro sanitário em lagoas aeradas**. 2020.
68. SANTOS. Ana Silvia Pereira. **Aspectos técnicos e econômicos do tratamento combinado de lixiviado de aterro sanitário com esgoto doméstico em lagoas de estabilização**. 2010 200 f. Tese de Doutorado Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil - COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
69. SÁ, L. F.; JUCÁ, F. T.; SOBRINHO, M. A. M. **Tratamento do lixiviado de aterro sanitário usando destilador solar**. Revista Ambiente & Água, v.07, n.1, 2012. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.81>
70. SPERLING, M. von. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos: princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Belo Horizonte: UFMG, 1996 a. 134p.
71. SPERLING, Marcos Von. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2ed. Belo Horizonte: UFMG, 1996.
72. SILVA, S.W. **Fotoeletrooxidação na degradação de nonilfenol etoxilado em águas residuárias**. 2013. 90 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais. Porto Alegre, 2013.
73. SOBRINHO, M. A. M.; PAULINO, P. M.; OLIVEIRA, D. E. B. **Pós-tratamento de lixiviados coagulados por adsorção em resíduos da ostreicultura**. 2019.
74. SOUZA, D. T.; Coutinho, T. C.; Junior, G. L. S.; Nascente, L. N.; Ferreira, A. J; Bila, D. M. **Tratamento combinado de lixiviado de aterro sanitário e lodo de fossa séptica com emprego de geobag: estudo de laboratório e de campo**. 2019.
75. TCHOBANOGLOUS, G.; BURTON, F. L.; STENSEL, H. D. Wasterwater Engineering, Treatment and reuse. 4 ed. New York: McGraw-Hill, 2004.
76. TCHOBANOGLOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL S. A. **Integrated solid waste management: engineering principles and management issues**. New York: McGraw-Hill International Editions, 1993. 978 p.
77. WEBLEY, AND; MAHLER, CF; DEZOTTI, M. **Tratamento de lixiviado por processos combinados: coagulação/floculação, air stripping, ozonização e lodo ativado**. 2018.