

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA

Aline Rafaela Rodrigues Souto

**ESTUDO DO CAPIM VETIVER (*CHRYSOPOGON ZIZANIOIDES* (L.) ROBERTY)  
NA ÁREA AMBIENTAL: REVISANDO APLICAÇÕES**

Buri - SP

2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA

Aline Rafaela Rodrigues Souto

**ESTUDO DO CAPIM VETIVER (*CHRYSOPOGON ZIZANIOIDES* (L.) ROBERTY)  
NA ÁREA AMBIENTAL: REVISANDO APLICAÇÕES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
como exigência parcial para a obtenção do grau  
de Bacharel em Engenharia Ambiental na  
Universidade Federal de São Carlos.

Orientação: Prof.<sup>a</sup>. Dra. Anne Alessandra  
Cardoso Neves

Coorientador: Prof. Dr. Ubaldo Martins Neves

Buri - SP

2022

Souto, Aline Rafaela Rodrigues

Estudo do Capim Vetiver (*Chrysopogon Zizanioides* (L.)  
Roberty) na área ambiental: revisando aplicações / Aline  
Rafaela Rodrigues Souto -- 2022.  
57f.

TCC (Graduação) - Universidade Federal de São Carlos,  
campus Lagoa do Sino, Buri

Orientador (a): Anne Alessandra Cardoso Neves

Banca Examinadora: Ubaldo Martins Neves, Thales  
Augusto de Miranda Medeiros

Bibliografia

1. Impacto ambiental negativo. 2. Fitorremediação. 3.  
Capim Vetiver. I. Souto, Aline Rafaela Rodrigues. II.  
Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática  
(SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Lissandra Pinhatelli de Britto - CRB/8 7539

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

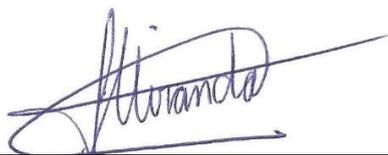
**Folha de Aprovação**

Assinatura dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Trabalho de Conclusão de Curso da candidata **Aline Rafaela Rodrigues Souto**, realizada em 12/04/2022:

Documento assinado digitalmente  
 ANNE ALESSANDRA CARDOSO NEVES  
Data: 13/04/2022 18:40:39-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

---

Dr<sup>a</sup> Anne Alessandra Cardoso Neves – Orientadora  
Centro de Ciências da Natureza – UFSCar – Campus Lagoa do Sino.



---

Dr. Thales Augusto de Miranda Medeiros  
Centro de Ciências da Natureza – UFSCar – Campus Lagoa do Sino



---

Dr. Ubaldo Martins Neves  
Centro de Ciências da Natureza – UFSCar – Campus Lagoa do Sino

Dedico este trabalho aos meus avós Pedro Rodrigues, Jandira de Oliveira e Paulo Souto (in memoriam), que mesmo sem estar presente fisicamente, iluminaram os meus passos e continuam me enviando todo o amor e força para minha caminhada.

## AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus, por toda sabedoria, discernimento e força para superar as dificuldades encontradas ao longo do caminho e por fim me permitir alcançar esta etapa tão importante em minha vida.

Aos meus pais e ao meu irmão, que sempre estiveram ao meu lado me dando forças, me incentivando e se desdobrando para que eu pudesse me dedicar aos estudos e viver de forma confortável, mesmo longe de casa durante os cinco anos. Obrigada por tudo que fizeram por mim, por me compreender nos momentos de estresse, pelos choros ao telefone que me fizeram encerrar as ligações mais aliviada e por toda paciência comigo. Gratidão eterna por ter vocês em minha vida.

À minha prima Thalia Mendes, que mesmo de longe sempre se fez presente, me reerguendo nos momentos complicados, acreditando em mim e me apoiando em cada decisão. Muito obrigada por me ajudar a me tornar a mulher em que sou hoje e por sempre confiar no meu processo.

Ao meu time, Ana Godoy, Cintia Tesser, Rafael Tozzi e Teresa Xavier, deixo os meus agradecimentos por nossa rede de apoio, que de alguma forma, entre estudos, cafés e brigadeiros, tornaram esses cinco anos mais leves de serem vividos.

Aos meus amigos inesquecíveis, Guilherme Euphrosino e Diego Siqueira, por todos conselhos, apoio e momentos compartilhados, que levarei para sempre comigo.

À professora Dra. Anne Alessandra Cardoso Neves, minha querida orientadora de estágio e de trabalho de conclusão de curso, pela sua amizade, apoio e acolhimento durante esses anos. Sua presença em minha jornada acadêmica foi essencial para me tornar a profissional que serei daqui em diante.

Ao professor Dr. Ubaldo Martins Neves, pelo auxílio dado para a elaboração do trabalho.

E por fim, não menos importante, agradeço ao meu namorado, Pedro Vinicius, que esteve comigo nesta reta final da faculdade, sempre muito paciente, me dando as melhores palavras de calma e incentivo.

“Não fui eu que ordenei a você? Seja forte e corajoso! Não se apavore nem desanime, pois o Senhor, o seu Deus, estará com você por onde você andar". Josué 1:9

## RESUMO

SOUTO, Aline Rafaela Rodrigues. **Estudo do capim Vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty) na área ambiental:** revisando aplicações. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de São Carlos, *campus* Lagoa do Sino, Buri, 2022.

Diante do crescimento populacional e do desenvolvimento da sociedade, o número de atividades realizadas que geram impactos negativos ao meio ambiente cresceu. O descarte incorreto de resíduos sólidos e resíduos líquidos é responsável por contaminar água e solo, desencadeando uma série de problemas ambientais, econômicos e sociais. Tais resíduos dependendo da sua origem, como as águas residuárias industriais e resíduos eletroeletrônicos, podem conter metais pesados, sendo os mesmos prejudiciais para o equilíbrio ambiental. Já as águas residuárias domésticas possuem alta carga de matéria orgânica, que quando em excesso, gera a queda do oxigênio disponível para as espécies aquáticas. Com o crescimento e desenvolvimento da sociedade, além dos recursos naturais serem impactados negativamente, os mesmos são utilizados de forma intensa, como por exemplo, a exploração do solo, e que conseqüentemente ocorrem perdas de nutrientes e características importantes do mesmo. Atualmente, no campo da pesquisa, técnicas vêm sendo estudadas e analisadas a fim de remediar impactos negativos ao ambiente. A biotecnologia vem como forma de fornecer técnicas com custo-benefício positivo, uma vez que são ambientalmente adequadas e de baixo custo quando comparadas a outras técnicas tradicionais. No campo da biotecnologia tem-se a fitorremediação, técnica que utiliza plantas a fim de realizar a recuperação ambiental, reduzindo ou eliminando a toxicidade dos contaminantes do meio ambiente. Uma das plantas utilizadas é o capim Vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty), conhecida pelas suas características fisiológicas, morfológicas e ecológicas importantes para tal aplicação. A presente pesquisa teve como objetivo principal analisar as diferentes aplicações da espécie na área ambiental. Os resultados obtidos no estudo foram de uma ampla área de pesquisa do uso do capim Vetiver no processo de fitorremediação, tanto para o tratamento de água e solo contaminado por metais pesados, como também para remoção de nitrogênio e fósforo do esgoto doméstico e na proteção de solo e taludes. Foi possível constatar a eficiência da espécie na remoção dos contaminantes quando comparados com outras espécies, bem como papel do Vetiver na proteção do solo e taludes, além de outras aplicações promissoras da espécie na área ambiental, sendo a eficiência do uso da planta relacionada às características da mesma. Conclui-se que a espécie estudada no processo de fitorremediação apresentou eficiência significativa na remoção de metais pesados em corpos hídricos e no solo. Ainda, se mostrou eficiente na remoção de nitrogênio (N) de esgoto doméstico e também de fósforo (P). A proteção do solo e de taludes pela espécie se mostrou eficiente com o aumento da resistência ao cisalhamento do solo. Outras aplicações se mostraram positivas para a utilização da planta, dando abertura para estudos futuros da técnica utilizando o capim Vetiver.

**Palavras-chave:** Impacto ambiental negativo. Fitorremediação. Capim Vetiver.

## ABSTRACT

Due population growth and society development, the number of activities carried out that generate negative impacts on the environment has increased. Incorrect disposal of solid waste and liquid waste is responsible for contaminating water and soil, triggering a number of environmental, economic and social problems. Such residues depending on their origin, such as industrial wastewater and electronic waste, may contain heavy metals, which are harmful to environmental balance. Domestic wastewater, on the other hand, has a high load of organic matter, which, in excess, generates decrease of the oxygen available for aquatic species. With the growth and development of society, in addition to natural resources being negatively impacted, they are used intensely, such as soil exploration, and consequently there are losses of nutrients and important characteristics of it. Currently, in the field of research, techniques have been studied and analyzed in order to remedy negative impacts on the environment. Biotechnology comes as a way to provide cost-effective positive techniques, since they are environmentally appropriate and low cost when compared to other traditional techniques. In the field of biotechnology there is phytoremediation, a technique that uses plants in order to perform environmental recovery, reducing or eliminating the toxicity of contaminants from the environment. One plant used is Vetiver grass (*Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty), which known for its physiological, morphological and ecological characteristics important for such application. The present research had as main objective to analyze different applications of species in environmental area. Results obtained in the study were a broad area of research of Vetiver grass use in phytoremediation process, both for water and soil contaminated treatment by heavy metals, as well as for removal of nitrogen and phosphorus from domestic sewage and in soil and slopes protection. It was possible to verify the efficiency of the species in removal of contaminants when compared with other species, as well as role of Vetiver in protection of soil and slopes in addition to other promising applications of species in environmental area, being efficiency of use of plant related to characteristics of the same. It was concluded that the specie studied in phytoremediation process showed significant efficiency in removal of heavy metals in water bodies and soil. Furthermore, it proved to be efficient in removal of nitrogen (N) from domestic sewage and also phosphorus (P). Soil and slopes protection by species proved to be efficient with increasing soil shear resistance. Other applications proved positive for use of plant, giving openness to future studies of technique using Vetiver grass.

**Keywords:** Negative environmental impact. Phytoremediation. Vetiver Grass.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Vantagens e limitações da biorremediação.....	25
Figura 2 - Raízes de Vetiver no solo .....	28
Figura 3 - Planta de capim Vetiver ( <i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty).....	28
Figura 4 - Comparativo das medidas das raízes em 3 períodos (15, 20 e 30 dias após o plantio) .....	34
Figura 5 - Comparativo das medidas das folhas em 3 períodos (15, 20 e 30 dias após o plantio) .....	34
Figura 6 - Teores de nitrogênio na parte aérea dos capins em função dos cortes efetuados.	38
Figura 7 - Plantio de capim Vetiver próximo com a formação de uma cobertura densa	41
Figura 8 - Parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo em amostras de solo (0 - 30 cm) com e sem a presença de capim vetiver ( <i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty) ou estilozantes ( <i>Stylosanthes guianensis</i> (AUBL) SW. CV "COOK").....	42
Figura 9 - Médias de entrada e saída do sistema de alagado construído dos parâmetros físico- químicos, eficiência de remoção média dos parâmetros, em porcentagem (%), e seus respectivos desvios padrões (DP).....	43

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
AEA	Agência Europeia Ambiental
As	Arsênio
BBC	British Broadcasting Corporation
BVSMS	Biblioteca Virtual em Saúde MS
Cd	Cádmio
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
Cr	Cromo
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FBP	Filtros Biológicos Percoladores
FT	Fator de Translocação
Hg	Mercúrio
K	Potássio
Mn	Manganês
N	Nitrogênio
Na	Sódio
NBR	Norma Brasileira
NH <sub>3</sub>	Nitrogênio Amoniacal

Ni	Níquel
NO <sub>2</sub>	Nitrito
NO <sub>3</sub>	Nitrato
NTK	Nitrogênio total Kjeldahl
N-total	Nitrogênio total
OD	Oxigênio Dissolvido
P	Fósforo
Pb	Chumbo
pH	Potencial Hidrogeniônico
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
P-total	Fósforo total
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SAC	Sistemas Alagados Construídos
SAC-EHSS	Sistemas Alagados Construídos de Escoamento Horizontal Subsuperficial
Se	Selênio
SP	Sólidos Sedimentáveis
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
Zn	Zinco

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>17</b>
2.1 USO INTENSIVO E IMPACTOS ASSOCIADOS À EXPLORAÇÃO DO SOLO .....	17
2.1.1 Uso e ocupação do solo .....	17
2.1.2 Impactos negativos relacionados ao uso intensivo do solo .....	18
2.2 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS E ÁGUAS RESIDUÁRIAS .....	19
2.2.1 Resíduos Sólidos .....	19
2.2.2 Águas Residuárias .....	20
2.2.2.1 Águas residuárias industriais.....	20
2.2.2.2 Águas residuárias domésticas.....	21
2.2.3 Problemas ambientais relacionados aos metais pesados .....	22
2.3 MÉTODOS DE TRATAMENTOS BIOTECNOLÓGICOS .....	23
2.3.1 Fitorremediação.....	26
2.3.2 Capim Vetiver .....	27
<b>3 OBJETIVOS .....</b>	<b>30</b>
3.1 GERAL.....	30
3.2 ESPECÍFICOS.....	30
<b>4 METODOLOGIA.....</b>	<b>31</b>
4.1 TIPO DE ESTUDO .....	31
4.2 COLETA DE DADOS .....	31
4.3 ANÁLISE E APRESENTAÇÃO DOS DADOS .....	32
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>33</b>
5.1 ESTUDO DO CAPIM VETIVER NO TRATAMENTO DE SOLO CONTAMINADO E ÁGUA CONTAMINADA POR METAIS PESADOS .....	33
5.1.1 Zinco (Zn).....	33
5.1.2 Chumbo (Pb) .....	36
5.1.3 Cádmio (Cd).....	36
5.1.4 Outros metais pesados .....	37
5.2 USO DO CAPIM VETIVER NA REMOÇÃO DE NITROGÊNIO (N) E FÓSFORO (P) DO ESGOTO DOMÉSTICO .....	37
5.3 USO DO CAPIM VETIVER PARA PROTEÇÃO DE SOLO E TALUDE.....	40
5.4 OUTRAS APLICAÇÕES DO CAPIM VETIVER NA ÁREA AMBIENTAL .....	42
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>45</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>47</b>
<b>APENDICE A - ARTIGOS ESCOLHIDOS COMO BASE PARA A ESCRITA DO TRABALHO .....</b>	<b>56</b>
<b>APENDICE B – CONTINUAÇÃO ARTIGOS ESCOLHIDOS COMO BASE PARA A ESCRITA DO TRABALHO .....</b>	<b>57</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos foi possível observar um intenso desenvolvimento da economia mundial em decorrência do processo de industrialização, urbanização, crescimento populacional e modernização de ferramentas. À medida que tais processos evoluíram e tomaram novas formas, novos caminhos para discussões ambientais foram ampliados na sociedade, como questões relacionadas ao consumo mundial e geração de resíduos (MOTA e GAZONI, 2010).

Em um cenário de crescimento populacional, o consumo mundial passou a aumentar e conseqüentemente para suprir as necessidades da sociedade os recursos naturais começaram a ser utilizados de forma intensa (MOTA e GAZONI, 2010). A exploração dos recursos naturais a uma velocidade maior do que a regeneração natural acarreta a problemática do déficit de tais recursos e conseqüentemente impactos ambientais negativos, como por exemplo, a degradação do solo, extinção de habitats e alteração na biodiversidade (LISBÔA *et al.*, 2021; IBERDROLA, s.d.).

Ainda assim, levando em conta o aumento do consumo mundial atrelado ao crescimento populacional e a uma condição cultural e comportamental, houve além da exploração dos recursos naturais, o aumento da geração de resíduos sólidos no Brasil e no mundo. Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) (2018) estima-se que no Brasil, no ano de 2018, foram geradas cerca de 79 milhões de toneladas de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), sendo que 40,5% desse total não receberam destinação adequada. Dentre os resíduos gerados na sociedade como consequência do consumo mundial, encontram-se os resíduos eletrodomésticos e eletrônicos, que são resíduos classificados como perigosos, por possuírem componentes prejudiciais ao meio ambiente e à saúde humana (ABNT, 2004).

Outro tipo de resíduo gerado pelo aumento da população e pela industrialização acelerada, é o resíduo líquido. A geração de águas residuárias aumentou de forma expressiva e ganhou destaque nos impactos ambientais negativos. Segundo a Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO) (2017) a nível global, mais de 80% das águas residuárias chegam aos corpos hídricos sem tratamento, acarretando assim diversos problemas ambientais e sociais, uma vez que o mesmo pode possuir componentes tóxicos para o ambiente, como metais pesados e alta taxa de matéria orgânica, dependendo da atividade de origem (ESTRELA, CHAVES e SILVA, 2018; JESUS, 2016).

Os impactos negativos relacionados à disposição incorreta dos resíduos acarretam degradação do solo pela contaminação com elementos tóxicos que podem ocasionar a alteração da estrutura do solo, fazendo com que o solo tenha sua porosidade, estabilidade e infiltração diminuída, bem como o aumento da absorção de substâncias que prejudicam o solo e contaminam águas subterrâneas (FERREIRA, JOCA e BROETTO, 2019). Tais impactos podem gerar problemas quanto ao empobrecimento dos ecossistemas aquáticos, poluição da cadeia alimentar, escassez de água potável e disseminação de doenças hídricas (IBERDROLA, s.d.).

Levando em consideração os impactos ambientais relacionado ao aumento das atividades da sociedade, pode-se definir como impacto ambiental segundo a Resolução CONAMA nº1, de 23 janeiro de 1986, como sendo:

Art. 1º - Para efeito desta Resolução, considera-se impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

- I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- II - as atividades sociais e econômicas;
- III - a biota;
- IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;
- V - a qualidade dos recursos ambientais.

Frente a tais impactos negativos e contínuo crescimento das atividades da sociedade, houve o aumento na busca e uso de ferramentas e técnicas para mitigação e remediação dos mesmos. Dessa forma, o interesse por tratamentos biotecnológicos vem crescendo e busca encontrar alternativas de processos que visem um tratamento mais econômico e eficiente, além de uma menor geração de resíduos ao final do processo de tratamento, tendo então uma alternativa mais ambientalmente viável e adequada (ARAÚJO *et al.*, 2019).

Entre os processos biotecnológicos, tem-se a biorremediação, um processo biotecnológico que ocorre de forma natural e que consiste basicamente na ação de plantas e de microrganismos, como bactérias e fungos. Os organismos utilizam os contaminantes em seus processos metabólicos a fim de eliminar e/ou reduzir os mesmos (LACERDA, NAVONI e AMARAL, 2019).

Existem dois tipos de biorremediação, sendo a biorremediação *in situ* (tratamento ocorre no local contaminado) e *ex situ* (tratamento ocorre fora do local contaminado). Consiste em diferentes técnicas como a biorremediação natural, bioestimulação e bioaumentação, que são técnicas *in situ* e técnicas como compostagem, biorreatores e *landfarming* que são técnicas classificadas como *ex situ*. Além de tais técnicas citadas, tem-se fitorremediação que consiste

no uso de plantas como agentes responsáveis pela biorremediação (LACERDA, NAVONI e AMARAL, 2019).

A fitorremediação consiste em um tratamento que utiliza plantas para remover, conter, transferir e/ou estabilizar metais pesados, tóxicos e compostos orgânicos (TAVARES, 2009). Dentre tais processos biotecnológicos, tem-se o uso também de plantas na recuperação de solos que foram degradados a partir da ação erosiva, uma vez que as plantas são ótimas aliadas para a redução do escoamento superficial, aumento na taxa de infiltração da água ao longo da profundidade do solo e na melhoria da estrutura do solo (CARDOSO *et al.*, 2013).

Entre as espécies utilizadas em processos de tratamento ou recuperação, a espécie vegetal *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty, também conhecida como capim Vetiver, tem sido muito relatada na literatura por sua eficiência na descontaminação de poluentes orgânicos e inorgânicos em solos e corpos d'água, e também em processos como de proteção do solo. A espécie possui sistema radicular profundo, alta rusticidade e facilidade em adaptabilidade a várias condições climáticas e do solo (CHAVES e ANDRADE, 2013; JESUS, 2016).

O capim Vetiver é ainda capaz de auxiliar na amenização do escoamento superficial, estabilização de taludes e conseqüentemente no controle da erosão, sendo assim de alta eficiência na proteção e melhoria das propriedades do solo, bem como no tratamento de esgoto sanitários contendo contaminantes e compostos orgânicos, e no tratamento de águas residuárias contendo metais pesados (CHAVES e ANDRADE, 2013; JESUS, 2016).

Dessa forma, frente aos impactos ambientais negativos como consequência das atividades humanas, torna-se necessário estabelecer um equilíbrio entre: população, recursos naturais e geração de resíduos (sólidos e líquidos). Com isso surge a necessidade do desenvolvimento de ferramentas e técnicas que visem à mitigação ou remediação de tais impactos. Assim, a presente pesquisa visa proporcionar um levantamento de diferentes aplicações do capim Vetiver, para que o mesmo seja uma alternativa econômica e ambientalmente positiva, no uso nos processos de mitigação e remediação. A pesquisa ainda pode servir como base para estudos futuros.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 Uso intensivo e impactos associados à exploração do solo**

#### **2.1.1 Uso e ocupação do solo**

Com os processos de desenvolvimento e transformações das indústrias durante a Revolução Industrial, a interação do homem com a natureza foi fortemente afetada, pois a sociedade passou a utilizar os recursos naturais disponíveis para suprir suas necessidades, cada vez maiores. Nesse contexto histórico, com o crescimento das indústrias abriu-se espaço para o desenvolvimento do capitalismo, onde a visão de lucro era umas das questões prioritárias, utilizando cada vez mais os recursos naturais de forma desenfreada, sem nenhuma preocupação com danos futuros referentes ao uso dos mesmos (RODRIGUES *et al.*, 2019).

Entende-se como recursos naturais elementos encontrados na natureza, como água, fauna, flora e solo, além de outros componentes, que possibilitam a sobrevivência das espécies no planeta. Esses recursos podem ser classificados como recursos renováveis, que são todos aqueles que conseguem se regenerar e estar disponível depois de um curto espaço de tempo, e recursos não renováveis, que são os recursos que possuem um limite, ou seja, que são finitos e requerem um tempo geológico para a regeneração (DULLEY, 2004; BURMANN, 2010).

O solo é um dos recursos naturais não renováveis mais utilizados atualmente e as modificações referentes aos padrões de uso do mesmo tem despertado muita atenção nas últimas décadas, uma vez que as mudanças estão fortemente ligadas aos impactos ambientais negativos desde o nível local até global (RODRIGUES, VIEGAS e FEITOSA, 2010; EMBRAPA, 2015).

A utilização do solo para as atividades como a agricultura e exploração florestal, tem ocasionado alterações nas paisagens naturais, nos ecossistemas e no ambiente, uma vez que toda a dinâmica natural do solo é modificada. A partir do momento em que o solo começa ser utilizado de forma intensa e incorreta, há o surgimento de impactos que desencadeiam outras problemáticas, como alterações climáticas; perda da biodiversidade; poluição do solo e da água; processos erosivos (erosão) e desertificação (AEA, 2016).

Atualmente os principais responsáveis pela degradação do solo são as atividades de exploração do solo associadas a mudanças climáticas que ocasiona erosão, compactação, perda de matéria orgânica e desequilíbrio de nutrientes. A compactação, o desequilíbrio de nutrientes e perda de matéria orgânica são impactos negativos responsáveis por afetar cerca de um terço das terras do planeta. Segundo um estudo realizado envolvendo pesquisadores de 60 países,

mais de 30% dos solos do mundo estão degradados e as perspectivas futuras são negativas, já que para cenários futuros a situação tende a se agravar (EMBRAPA, 2016).

### 2.1.2 Impactos negativos relacionados ao uso intensivo do solo

O empobrecimento vegetal da cobertura do solo intensifica o desgaste do solo de forma intensa. A partir do momento que ocorre a retirada da cobertura verde, retira-se a proteção do solo e prejudica a vida de espécies importantes para a manutenção do ecossistema local. A cobertura vegetal serve como um piso florestal, constituído de resíduos vegetais como galhos, folhas e outros componentes vegetais, que proporciona um ambiente de menor escoamento superficial, favorece a infiltração, dissipa a energia das gotas da chuva e diminui o transporte de sedimentos (RANZINI e ARCOVA, 2015; MARTINS *et al.*, 2017). Na Ásia e na África, a diminuição de cobertura verde é responsável pelos 280.000km<sup>2</sup> de solo compactado, sendo uma área maior que o território da Nova Zelândia (EMBRAPA, 2016).

Segundo Loureiro *et al.*, (2016) a cobertura vegetal tem um forte papel na proteção dos solos, uma vez que a retirada da mesma facilita a degradação da cobertura do solo, ocasionando menor infiltração no solo, maior velocidade de escoamento e de transporte de sedimentos, em que durante o transporte de sedimentos, pode ocorrer um grande deslocamento de elementos nutricionais, húmus e microrganismos, gerando impactos negativos ao solo.

Com a exposição do solo, processos erosivos ocorrem com maior intensidade gerando impactos negativos a nível econômico, ambiental e social. A erosão é um processo que pode ocorrer de forma natural a partir da ação das chuvas (erosão hídrica) ou do vento (erosão eólica), e resumidamente pode ser definido como sendo um desgaste, transporte e deposição das partículas do solo. Tal processo erosivo vem sendo intensificado por conta da retirada da cobertura vegetal e por conta dos problemas relacionados aos manejos das atividades da agricultura e silvicultura, que faz com que o solo passe a estar exposto à degradação acelerada, por falta de proteção e perda de nutrientes do solo (HERNANI e SALTON, 2001; AEA, 2016).

A perda dos nutrientes e dos sedimentos do solo, que são transportados pelo processo erosivo, acarreta outros tipos de problemas como o assoreamento e poluição de corpos d'água, redução da penetração das raízes, redução do armazenamento de água, aumento dos problemas relacionados a enchentes e diminuição da potencialidade das áreas para agricultura, fazendo com que produtos químicos, como fertilizantes, por exemplo, sejam utilizados com maior frequência (GUERRA e JORGE, 2013).

Nas lavouras agrícolas, por exemplo, uma das técnicas utilizadas é o revolvimento do solo, técnica responsável por gerar uma exposição do mesmo. Com tal exposição o solo fica

suscetível a sofrer as ações do vento, da água e da radiação solar, perdendo assim suas estruturas importantes (DENARDIN *et al.*, 2012). Com a perda da estrutura ocasionada pela erosão, as perdas anuais de culturas agrícolas tendem a aumentar, chegando em mais de 10% de perdas agrícolas até 2050, fazendo com que aumente a demanda pelo uso de fertilizantes para reposição de nutrientes (EMBRAPA, 2016).

Os impactos negativos ocasionados pelo uso intensivo de fertilizantes se dão aos níveis econômicos e ambientais, uma vez que o custo anual para a reposição de nutrientes com uso de fertilizantes chega a US\$ 150 bilhões, e o custo ambiental é a contaminação do solo, dos recursos hídricos e aumento de gases de efeito estufa na atmosfera (EMBRAPA, 2016).

## **2.2 Caracterização dos resíduos sólidos e águas residuárias**

### **2.2.1 Resíduos Sólidos**

No Brasil, são mais de 200 milhões de habitantes consumindo todos os dias diversos tipos de produtos, e como consequência desse consumo tem-se a geração de diversos tipos de resíduos sólidos, que na maioria das vezes não possuem um descarte ou disposição adequada (SZIGETHY e ANTENOR, 2020).

Segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (2010), os resíduos sólidos podem ser definidos como sendo “todo material, substância, objeto, ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade”, como por exemplo, os resíduos domiciliares; resíduos agrossilvopastoris; resíduos sólidos urbanos, resíduos industriais e de serviços públicos de saneamento básico.

Segundo a ABNT NBR10004:2004 os resíduos sólidos podem possuir 2 diferentes tipos de classificações quanto à periculosidade, sendo eles de: resíduos perigosos - classe I, que são aqueles que possuem algum risco à saúde pública e ao ambiente e os resíduos não perigosos - classe II, aqueles que não apresentam riscos e que se subdividem em classe II A de característica não inerte e classe II B de característica inerte.

A grande problemática que norteia a questão dos resíduos sólidos é ainda o despejo incorreto e a falta de coleta dos mesmos, uma vez que são dispostos em céu aberto, queimados e lançados na rede pública de esgotos, acarretando uma série de problemas (SZIGETHY e ANTENOR, 2020). No caso dos RSU, que são resíduos provenientes de atividades domésticas e de limpeza urbana, tem-se além do descarte incorreto também a falta de recursos para a gestão dos resíduos, consequentemente gerando impactos negativos, como a proliferação de doenças de veiculação hídrica, ficando claro que a sociedade possui um grande problema a ser solucionado (SOUZA, 2019).

Dentre a problemática da destinação incorreta dos resíduos sólidos, tem-se a destinação dos resíduos classificados como perigosos. Os mesmos possuem características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, sendo que tais características apresentam riscos à saúde pública e também podem vir a alterar a qualidade ambiental (ABNT, 2004).

Um dos tipos de resíduos sólidos classificados como perigosos e que possuem componentes prejudiciais ao meio ambiente, são os resíduos eletrodomésticos e eletrônicos, ou chamados de eletroeletrônicos, por exemplo. Tais resíduos são considerados perigosos por possuírem componentes, conhecidos como metais pesados, como mercúrio (Hg), chumbo (Pb), cádmio (Cd) e cromo (Cr), que causam impactos negativos à saúde e ao meio ambiente, comprometendo assim solo, ar e água (WILLIAMS, 2008; ABNT, 2004).

### 2.2.2 Águas Residuárias

As águas residuárias, chamadas também de residuais, são águas geradas pelos processos que requerem o uso de água e são resultantes de processos como atividades domésticas e industriais. As mesmas possuem materiais em sua composição que são considerados poluentes, e que quando despejados sem tratamento diretamente ao corpo hídrico podem comprometer a qualidade da água (CETESB, s.d.).

O lançamento de efluentes nos corpos hídricos são regidos por padrões de lançamento de efluentes, em que os mesmos precisam se enquadrar a padrões estabelecidos por lei. Atualmente, a resolução vigente relacionada ao enquadramento e padrões de lançamento de efluente é a Resolução CONAMA N°357 de 17 de março de 2005, que “Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências”.

Trata-se de uma importante ferramenta para a classificação dos corpos de água, bem como na determinação do tratamento de efluentes, uma vez que o processo precisará seguir parâmetros estabelecidos pelas classes para que se ocorra o descarte correto das águas residuárias, geradas pela sociedade aos corpos hídricos.

#### 2.2.2.1 Águas residuárias industriais

Águas residuárias industriais são resultantes de processos industriais, tendo suas características a partir do tipo de indústria, bem como das matérias-primas utilizadas no processo e das etapas de transformações realizadas. Em um processo industrial, diversas etapas são realizadas a fim de chegar a um produto final, resultando assim em um efluente complexo

de características poluentes, formado por compostos orgânicos e/ou inorgânicos (CAMMAROTA, 2011).

A composição química apresentada das águas residuárias industriais se difere tal como os poluentes se apresentam, podendo os mesmos serem solúveis ou suspensos na fase aquosa. O material poluente em suspensão pode ser removido por processos físico-químicos, em que ao final do processo é gerado um produto final chamado de lodo, e os poluentes solúveis removidos por métodos físico-químicos ou biológicos (CAMMAROTA, 2011).

Segundo Almeida (2004) diversos setores industriais da sociedade geram efluentes em seus processos, como a indústria de papel, indústria têxtil e indústria farmacêutica. Vale ressaltar, que a indústria têxtil é um dos setores que mais contribui para contaminação ambiental, uma vez que utiliza em seus processos um alto volume de água e compostos químicos, como por exemplo, os metais pesados e corantes têxteis. Sendo assim, gera efluentes com alta carga de toxicidade que comprometem o meio ambiente (FIOROTTO, s.d).

De acordo com a BBC Brasil (2017) a indústria têxtil é a segunda maior poluidora mundial, ficando atrás somente do setor petroquímico, levantando assim a preocupação acerca do descarte de tal efluente e reafirmando a necessidade do tratamento desse.

#### 2.2.2.2 Águas residuárias domésticas

Segundo a CETESB (s.d.) as águas residuárias domésticas podem ser definidas como sendo todas as águas provenientes de banhos, cozinhas e de lavagens de pavimentos domésticos, ou seja, são provenientes de atividades domésticas. Podem ainda ser compostas também por restos de comidas, sabão, detergentes e de excretas, sendo as excretas compostas por alta carga de componentes orgânicos e inorgânicos (BVSMS, 2009).

O esgoto doméstico possui características físicas, como presença de matéria sólida, temperatura, odor, cor e turbidez, sendo que cada característica varia de acordo com a composição. Além das características físicas, tem-se as características químicas, compostas pelas matérias orgânicas e inorgânicas. As matérias orgânicas são as proteínas e os carboidratos, enquanto as matérias inorgânicas são substâncias minerais dissolvidas no esgoto. As características biológicas que compõem o esgoto sanitário, são os microrganismos, como bactérias, fungos, vírus, protozoários e algas, também os indicadores de poluição, como os organismos do grupo coliforme, grupo de bactérias que compõem a microbiota intestinal do homem, que serve como indicador de protozoários presentes no esgoto doméstico (BVSMS, 2009).

Dessa forma, considerando a composição das águas residuais domésticas, quando as mesmas não são tratadas de forma adequadas e são despejadas diretamente em corpos receptores, o impacto ambiental negativo é significativo, levantando assim a problemática ambiental de contaminação da água e a necessidade do tratamento do esgoto doméstico (SECO *et al.*, 2008).

Segundo Damázio, Soares e Souza (2016) em um estudo realizado em uma área rural no município de São Mateus, Espírito Santo, que não possui esgotamento sanitário adequado, foi possível obter resultados de índice de parasitas intestinais veiculados pelo corpo hídrico contaminado. Através do estudo, foi possível identificar um elevado número de indivíduos contaminados por protozoários presentes em água e solo contaminados pelo esgoto sanitário. A falta de esgotamento atrelado à falta de conhecimento e informações pelos moradores referentes aos riscos de contaminação, fazem com que situações como essas sejam frequentes em áreas rurais.

Além dos riscos relacionados à saúde humana, têm-se os riscos ligados à contaminação de água e solo, que podem comprometer de forma negativa a vida aquática. Levando em consideração que o esgoto doméstico possui matéria orgânica e que a mesma necessita de oxigênio em sua decomposição, o alto índice de matéria orgânica pode gerar a queda do oxigênio dissolvido para a manutenção da vida de espécies aquáticas, gerando assim mortandade das espécies em larga escala (CETESB, s.d.).

### 2.2.3 Problemas ambientais relacionados aos metais pesados

Os metais pesados, como Chumbo (Pb), Cádmiio (Cd), Mercúrio (Hg), Cromo (Cr), Zinco (Zn), Manganês (Mn) e Níquel (Ni), Arsênio (As) e Selênio (Se), compõem grande parte dos resíduos eletroeletrônicos e de efluentes industriais. Embora os metais pesados sejam importantes para a manutenção do ecossistema, o seu acúmulo e aumento da concentração geram poluição do solo, ar, sistema aquáticos e intoxicação de espécies, ficando evidente a preocupação da destinação correta dos resíduos e tratamento eficiente de ambientes contaminados por tais componentes (AVILA-CAMPOS, s.d.; BARROCO *et al.*, 2018; (TRUONG, VAN e PINNERS, 2008).

A presença de metais pesados no solo, pode gerar acúmulo dos mesmos em plantas e animais, uma vez que há tanto o uso do solo para atividades de produção de alimentos, como também para a agricultura e também para atividades da pecuária. Outros impactos negativos que podem ser citados, são desequilíbrio da atividade e comunidade microbiana, alteração da composição do solo e da água (COSTA E QUEIROZ, 2020; SANTOS, 2019).

Os impactos negativos gerados no corpo hídrico por contaminação com metais pesados, são resultados das interações que os componentes metálicos podem realizar com outros constituintes da água, sendo esses constituintes orgânicos e inorgânicos, resultando assim em outros componentes ainda mais tóxicos. Os impactos ocasionam riscos para as comunidades aquáticas e também ao homem que possui acesso ao corpo hídrico, gerando um processo também de bioacumulação no organismo (BARROCO *et al.*, 2018).

### **2.3 Métodos de tratamentos biotecnológicos**

Frente aos problemas ambientais relacionados ao uso irracional dos recursos hídricos e à contaminação ambiental, fica evidente a necessidade de estabelecer metas que estejam de acordo com o desenvolvimento sustentável. Sendo assim, há o surgimento de diversas tecnologias a fim de contribuir para tal desenvolvimento. A técnica alinhada à questão ambiental, se chama biotecnologia e possui um amplo campo de atuação em vários setores da sociedade, como na produção de alimentos, geração de energia, poluição ambiental e biorremediação (SCHENBERG, 2010).

A biotecnologia pode ser definida como sendo uma área que utiliza conceitos importantes da ciência e tecnologia, além de conhecimentos multidisciplinares que utilizam agentes biológicos, como organismos, células e moléculas, a fim de obter produtos mais ambientalmente adequados e/ou obter mecanismos de resolução de problemas. É considerada uma área de inovação, embora as técnicas desenvolvidas já tenham sido trabalhadas há milhares de anos atrás, mesmo sem entendimento dos conceitos da biologia (BRUNO, HORN e LANDGRAF, 2014).

Diversos setores na sociedade utilizam a biotecnologia para a obtenção de produtos ou no desenvolvimento de processos. No setor do meio ambiente, por exemplo, utiliza-se a técnica no tratamento de águas e eliminação de poluentes; em agentes biológicos na degradação de contaminantes; desenvolvimento de produtos biodegradáveis e tratamento eficiente de efluentes e resíduos (BRUNO, HORN e LANDGRAF, 2014).

Atualmente, existe o Decreto nº 6.041 de 8 de fevereiro de 2007, que “institui a Política de Desenvolvimento da Biotecnologia, cria o Comitê Nacional da Biotecnologia e dá outras providências”. O decreto ainda define critérios importantes para o desenvolvimento da biotecnologia, como áreas que devem ser priorizadas e suas diretrizes e vertentes, dando ainda mais o reforço necessário para a importância que tal técnica possui para o desenvolvimento de novos processos e produtos, visando à sustentabilidade (BRASIL, 2007).

Uma das técnicas que se enquadram como sendo de desenvolvimento biotecnológico aplicada à contaminação e poluição de ambientes é a biorremediação, que consiste em um processo que utiliza microrganismos e plantas para a eliminação ou redução de compostos tóxicos no meio ambiente. A biorremediação pode ser aplicada no local em que ocorre a poluição ou contaminação, chamada de tratamento *in situ*, ou seja, a técnica é aplicada sem precisar de qualquer movimentação do contaminante ou poluente, diferente da técnica chamada de *ex situ*, que é um tipo de biorremediação que ocorre fora do local de contaminação ou poluição, ou seja, nesta técnica há a necessidade de retirar o material contaminado para que seja tratado em outro ambiente (LACERDA, NAVONI e AMARAL, 2019).

A biorremediação *in situ* apresenta diversas técnicas específicas, que ao final do processo produzem como produtos finais água e gás carbônico. A biorremediação natural consiste em uma técnica baseada nos processos naturais de remoção ou redução de contaminantes e/ou poluentes, sendo a redução dos riscos de contaminação e poluição ambiental a alternativa que se sobressai em relação ao tratamento. A bioestimulação, consiste na aplicação de nutrientes, como Nitrogênio (N) e Fósforo (P), a fim de estimular atividade microbiana. Outros compostos também podem ser adicionados, como surfactantes, que auxiliam na biodisponibilidade e conseqüentemente na biodegradação dos contaminantes e/ou poluidores do meio ambiente. Por fim, a bioaumentação, é uma técnica baseada na inserção de microrganismos selecionados ou em consórcios microbianos a fim de realizar biodegradação do contaminante e/ou poluentes (LACERDA, NAVONI e AMARAL, 2019).

A técnica de biorremediação *ex situ* é uma alternativa quando o local contaminado apresenta altas concentrações de contaminantes e/ou poluentes prejudiciais ao ambiente e às pessoas, sendo assim tendo a necessidade de o tratamento ocorrer em outro local. Uma das técnicas é a compostagem, processo biológico que gera compostos que podem ser utilizados como adubos naturais, a partir de resíduos orgânicos. A técnica possui vantagens como o aumento da disponibilidade de nutrientes para o ecossistema e fornece uma destinação adequada e reaproveitamento dos resíduos orgânicos, reduzindo assim a contaminação ou poluição do meio ambiente e a proliferação de doenças ocasionadas pela decomposição da matéria orgânica (LACERDA, NAVONI e AMARAL, 2019).

Os Biorreatores, são tratamentos *ex situ*, que consiste na inserção do inóculo contaminado em um reator, a fim de formar biofilmes responsáveis pela biodegradação do contaminante. O inóculo é misturado com água e introduzido no reator juntamente com outros materiais que compõem o biorreator, como o carvão, plástico ou terra diatomácea, que auxilia

na rápida formação de biofilmes, já que há o aumento da área superficial e conseqüentemente a biodegradação do contaminante (LACERDA, NAVONI e AMARAL, 2019).

E por fim a técnica *landfarming*, consiste na aplicação e incorporação de resíduos contaminantes e/ou poluentes diretamente na camada superior do solo, os resíduos contaminantes podem estar na forma líquida ou sólida e os mesmos são dispersos no solo por meio das técnicas de aração e gradagem, que garantem uma mistura uniforme do material contaminante, com o objetivo de realizar a biodegradação pelas atividades biológicas. (LACERDA, NAVONI e AMARAL, 2019).

Para a biorremediação acontecer de forma eficiente, a técnica precisa gerar produtos finais seguros e utilizar-se de ambientes que favoreçam a atividade microbiana a fim de que o contaminante seja transformado metabolicamente pelos microrganismos, para que o custo-benefício do processo possa ser viável. Existem vantagens e limitações relacionadas à aplicação da biorremediação, como apresentada na Figura 1.

Figura 1 - Vantagens e limitações da biorremediação

<b>VANTAGENS</b>
Capacidade de microrganismos biodegradarem substâncias nocivas em vez de transferir o contaminante de um meio a outro;
Baixo custo, quando comparado a outras técnicas de remediação;
Elevada diversidade de ação, permitindo a incorporação dessa técnica a uma variedade de agentes contaminantes e poluentes;
Capacidade de degradar substâncias perigosas em vez de apenas transferir o contaminante de um meio para outro;
Produtos utilizados não apresentam risco ao meio ambiente e não são tóxicos;
Uso em áreas de proteção ambiental.
<b>LIMITAÇÕES</b>
Necessidade de um melhor entendimento em relação à ação microbiológica sobre os resíduos a serem biorremediados;
Método em evolução no Brasil;
Necessidade de acompanhamento durante o processo;
Muitas moléculas não são biodegradáveis;
Substâncias tóxicas ao microorganismo inviabilizam o tratamento.

Fonte: LACERDA, NAVONI e AMARAL, 2019.

Entre as limitações tem-se a presença de substâncias tóxicas que podem comprometer os microrganismos e inviabilizar o processo de tratamento. Diferente da fitorremediação, técnica que consiste no uso de plantas no processo de biorremediação.

### 2.3.1 Fitorremediação

A fitorremediação consiste em uma tecnologia que utiliza plantas a fim de realizar processos de recuperação ambiental, reduzindo ou eliminando a toxicidade dos contaminantes. É considerada uma técnica ambientalmente adequada e de baixo custo. Possui diversas vantagens quanto à aplicação no controle de vegetais, desenvolvimento dos organismos e também na proteção do solo em que a técnica é realizada (RODRIGUES e ORLANDELLI, 2018).

A técnica de fitorremediação possui diferentes mecanismos que podem ser empregados nos processos de descontaminação da água e do solo, fazendo com que os contaminantes sejam extraídos e armazenados nos tecidos das plantas ou metabolizados, podendo convertê-los em produtos finais menos tóxicos. Diversos estudos realizados obtiveram resultados promissores para metais pesados, agrotóxicos e resíduos tóxicos da indústria (ANSELMO e JONES, 2005).

A fitorremediação apresenta diversas vantagens que se sobressaem em relação às outras técnicas de remediação de contaminantes, como por exemplo, do solo. Dentre as vantagens, estão o baixo custo da operação, a possibilidade de tratamento *in situ*, uma maior facilidade de controle das plantas quando comparado ao uso de microrganismos, aplicação em extensas áreas e tratamento de diversos poluentes orgânicos e inorgânicos (ANSELMO e JONES, 2005).

Para aplicação da técnica, inicialmente devem ser identificadas as características químicas do contaminante, bem como avaliar a planta a ser utilizada, levando em consideração o clima, e a definição da técnica a ser colocada em prática, uma vez que caso não sejam pensados em pontos como estes citados, o processo pode trazer desvantagens na aplicação (EMBRAPA, 2010; ANSELMO e JONES, 2005).

Os mecanismos da fitorremediação se dividem em fitoextração, fitovolatilização, fitoestabilização, fitotransformação ou fitodegradação e fitoestimulação ou rizodegradação (RODRIGUES e ORLANDELLI, 2018).

A fitoextração consiste na técnica em que a planta é capaz de absorver o contaminante, armazená-lo em suas raízes ou tecidos, para realização do descarte pós processo. Para tal técnica são priorizadas a utilização de espécies de plantas chamadas hiperacumuladoras, que possuem a capacidade de armazenar em altas concentrações o contaminante (ANSELMO e JONES, 2005; TAVARES, 2009).

A fitovolatilização, ocorre como técnica após as plantas absorverem os contaminantes, transformando os mesmos em compostos voláteis, sendo a liberação do contaminante absorvido

pela espécie para a atmosfera de forma original ou transformada (ANSELMO e JONES, 2005; TAVARES, 2009).

A fitoestabilização refere-se à capacidade das plantas possuírem o poder de reduzir a mobilidade e disponibilidade dos contaminantes. A técnica age imobilizando os compostos tóxicos nos seus tecidos vegetais (ANSELMO e JONES, 2005; TAVARES, 2009).

A fitotransformação ou fitodegradação, consiste na técnica em que as plantas realizam a degradação ou conversão dos contaminantes orgânicos para formas menos tóxicas, podendo ser utilizados os novos compostos para o desenvolvimento da planta (ANSELMO e JONES, 2005; TAVARES, 2009).

Por fim, a fitoestimulação ou rizodegradação, utiliza as raízes da planta para realizar a estimulação da biodegradação microbiana do contaminante presente no solo e água, cedendo condições satisfatórias para o desenvolvimento dos microrganismos (ANSELMO e JONES, 2005; TAVARES, 2009).

Outros estudos também são realizados utilizando a planta como sendo um fator importante para a proteção do solo, bem como na estabilização de taludes e no controle dos processos erosivos. Considerada uma técnica de baixo custo, o uso de gramíneas para o processo dos solos trás várias vantagens importantes, como manutenção da umidade do solo; aumento da estabilidade do talude; aumento da infiltração da água no solo e diminuição do escoamento superficial, reduzindo assim o desgaste do mesmo (GOMES *et al.*, 2020).

Uma das plantas que pode ser citada, dentro da variedade de espécies aplicadas na fitorremediação em ambientes aquáticos e no solo, é o vegetal *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty, popularmente conhecido como capim Vetiver (COSTA E QUEIROZ, 2020; TEIXEIRA, 2018). O capim também pode ser utilizado no processo de recuperação e proteção do solo, por possuir características fisiológicas importantes e necessárias para tal tipo de atividade (GOMES *et al.*, 2020).

### 2.3.2 Capim Vetiver

O capim Vetiver, possui o nome científico *Vetivera zizanioides* (L.) Nash, e que recentemente foi reclassificado como *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty, gênero com mais de 40 espécies identificadas, possui origem asiática e diversas características importantes que fazem com que a planta seja uma ótima espécie para aplicações em áreas ambientais (CHAVES e ANDRADE, 2013). O capim Vetiver pertence à família *Poaceae* (ant. *Gramineae*), possui sistema radicular profundo, crescimento rápido e boa resistência mecânica. Seu sistema radicular maciço pode chegar até 5 metros de profundidade (figura 2), e seu crescimento aéreo

até aproximadamente 2 metros de altura (figura 3) (TORRÃO *et al.*, 2011; TRUONG, VAN e PINNERS, 2008; CHAVES e ANDRADE, 2013).

Figura 2 - Raízes de Vetiver no solo



Fonte: TRUONG, VAN e PINNERS, 2008.

Figura 3 - Planta de capim Vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty)



Fonte: CHAVES e ANDRADE, 2013.

As características morfológicas, fisiológicas e ecológicas da planta acarretam em sua classificação como uma ótima espécie indicada às questões ambientais. A mesma possui alta resistência às pragas e doenças; possui tolerância às extremas variações de climas, como em situações de secas, inundações e temperaturas extremas, em que a temperatura variam desde –

15°C a +55°C; possui ótima resiliência em suas características fisiológicas, podendo ter habilidades em adaptações em adversidades; possui tolerância à ampla diferença de potencial hidrogeniônico (pH) do solo que vai de 3,3 a 12,5; eficiência na absorção de nutrientes como fósforo e nitrogênio, bem como metais pesados como: Pb, Cd, Hg, Cr, Zn, Mn, Ni, As e Se (TRUONG, VAN e PINNERS, 2008; CHAVES e ANDRADE, 2013).

O sistema capim Vetiver, quando plantado, possui manutenção simples e de baixo custo, sendo um excelente meio de conservação do solo, controle de sedimentos, estabilização do solo e em fitorremediação de águas e solos contaminados. Seu sistema radicular profundo confere ao capim uma alta resistência ao fluxo de água no solo, redução de erosão e estabilização de encostas e taludes. Diversos estudos vêm sendo realizados com a aplicação do Vetiver na recuperação de áreas degradadas (GOMES *et al.*, 2020; CHAVES e ANDRADE, 2013); de solos tropicais contaminados por chorume (SANTOS *et al.*, 2020); no tratamento de esgoto sanitário em sistemas alagados construídos (JESUS, 2016); na fitorremediação de águas contaminadas e solos contaminados por metais pesados, como chumbo (COSTA E QUEIROZ, 2020) e entre outras aplicações.

Outras aplicações podem ser atribuídas ao uso do capim Vetiver na área ambiental, além dos citados anteriormente, como por exemplo, no processo de erosão (CHAVES e ANDRADE, 2013); tratamento de águas residuárias da agropecuária (MELO, 2017) e aplicação do capim Vetiver no plantio direto para a agricultura familiar (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Geral**

O objetivo deste estudo é analisar as diferentes aplicações da espécie *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty (capim Vetiver) na área ambiental.

#### **3.2 Específicos**

- a) Analisar a aplicação do capim Vetiver na remoção de metais pesados;
- b) Estudo do tratamento de esgoto utilizando capim Vetiver;
- c) Levantar dados referentes ao uso do capim Vetiver em processos de proteção do solo;
- d) Discutir eficiência e características importantes da espécie;
- e) Apresentar diferentes aplicações que atualmente utilizam o capim Vetiver na área ambiental.

## **4 METODOLOGIA**

### **4.1 Tipo de estudo**

O trabalho desenvolvido seguiu os preceitos de uma pesquisa bibliográfica, de leitura exploratória e seletiva. Segundo Gil (2002) a pesquisa bibliográfica pode ser definida como sendo uma pesquisa com base em material já existente, constituído de livros e artigos científicos, relacionado ao tema escolhido.

### **4.2 Coleta de dados**

Para a coleta de dados foram realizados procedimentos de inclusão e exclusão de documentos, a fim de refinar os resultados em busca de obter de fato publicações que seriam relevantes para a pesquisa. A pesquisa bibliográfica foi realizada entre o mês de outubro/2021 ao mês de março/2022, com coleta de dados entre o mês de dezembro/2021 ao mês de março/2022.

Os procedimentos metodológicos se deram na escolha dos dados, em que foram utilizadas ferramentas da internet como *Web of Science* e Google Acadêmico. Para a coleta de dados foi definido estratégias de buscas como delimitação de um período de preferência em que as publicações e trabalhos foram realizados, entre 2016 a 2022. A delimitação do período teve como finalidade analisar publicações mais recentes reforçando assim a atualidade do tema escolhido. Embora o tema escolhido já seja uma temática estudada por anos anteriores ao de 2016, o fato de ser publicação recente demonstra a expansão do tema como técnica para os problemas ambientais recentes gerados ao meio ambiente.

Não foi delimitado idioma, a fim de aproveitar diferentes fontes de pesquisas, mas foi possível detectar que publicações em português eram as que mais apareciam como resultados de pesquisas.

Documentos relacionados à aplicação do capim Vetiver na área ambiental muito diferentes das aplicações estabelecidas como objetivo específico, foram descartados para a pesquisa realizada. Além disso, documentos que não possuíam o assunto de forma aprofundada; que abrangia outros assuntos dentro do mesmo trabalho; sem sites de origem e sem autores identificados, também não foram contempladas para o uso.

Foram diversos documentos acessados, com uma diversidade de fontes, como artigos, teses, livros, relatórios, leis governamentais, artigos de periódicos e de jornais científicos, dissertações, entre outros. Levando em consideração os critérios de exclusão foram escolhidas 13 publicações para servirem como base de pesquisa e que estavam de acordo com os objetivos

específicos do estudo. Vale ressaltar que os arquivos serviram como base, abrindo espaços para que outros arquivos também fossem acessados e aproveitados durante os estudos.

Os artigos bases utilizados para a escrita dos resultados a fim de descrever a utilização do capim Vetiver na área ambiental estão dispostos no Apêndice A e B.

### **4.3 Análise e apresentação dos dados**

A partir da seleção dos materiais através dos critérios de inclusão e exclusão, foi realizada leitura analítica tendo como finalidade ordenar e apresentar de forma escrita as informações contidas nos documentos selecionados, a fim de obter resultados para contemplação dos objetivos específicos determinados.

Inicialmente foram acessados documentos referentes ao uso do capim Vetiver no tratamento de solo contaminado e água contaminada por metais pesados. Tendo um documento como base, outros documentos também foram acessados conforme era realizada a leitura, e que juntamente com a leitura, a escrita interpretativa também era elaborada. O mesmo método foi utilizado para as seguintes discussões do uso do capim Vetiver, como na remoção de N e P, proteção do solo e aplicação da planta em outras áreas.

A escrita interpretativa na sequência apresentada a partir das leituras se deu com o objetivo de agrupar a discussão em uma sequência lógica, analisando e apresentando os dados que faziam sentido com a discussão proposta. Buscou realizar discussões em um mesmo tópico com diferentes dados e fontes, a fim de agregar, evidenciar a eficácia e características do capim Vetiver na aplicação ambiental.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Estudo do capim Vetiver no tratamento de solo contaminado e água contaminada por metais pesados

O capim Vetiver, vem sendo utilizado como uma das espécies principais para o processo de fitorremediação de solos contaminados e águas contaminadas por metais pesados. Metais como Chumbo, Cádmio, Mercúrio, Cromo, Zinco, Manganês, Níquel, Arsênio e Selênio. Considerados metais pesados e, portanto, prejudiciais ao meio ambiente (TRUONG, VAN e PINNERS, 2008).

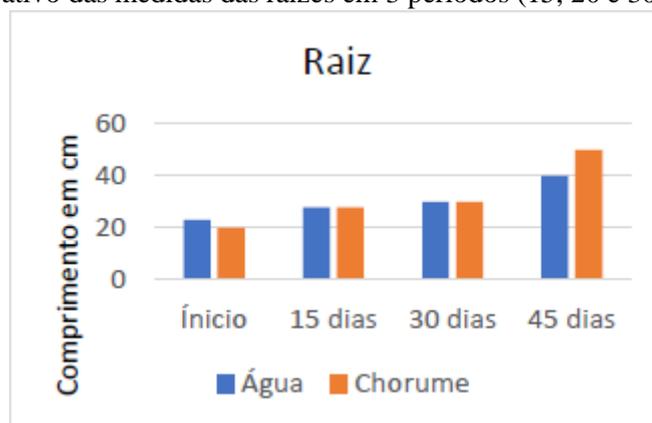
#### 5.1.1 Zinco (Zn)

O primeiro artigo utilizado como base para a escrita dos resultados a fim de descrever a utilização do capim Vetiver na remoção de metais pesados em solo contaminado, é de Santos *et al.*, (2020) intitulado: “Aplicação do processo de fitorremediação utilizando Vetiver (*Vetiveria Zizanioides* (L.) Nash.) na descontaminação de solos tropicais contaminados por chorume”.

O artigo aborda a questão do solo contaminado por chorume, um resíduo líquido de características significativas, de cor escura e forte odor, composto por matéria orgânica, bem como outros componentes, como os metais pesados, por exemplo, o Zn. Um dos objetivos do estudo foi analisar os parâmetros de Zn em amostras de raízes, folhagens e solo utilizado para o plantio do Vetiver.

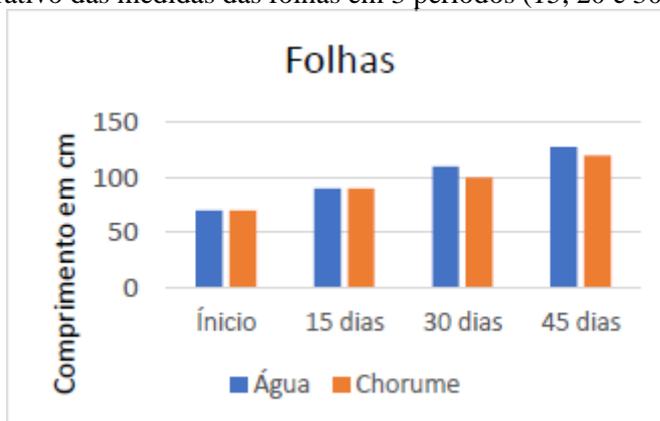
Inicialmente, foi analisado o desenvolvimento das folhas e raízes do capim Vetiver, em solo contaminado por chorume, sendo o mesmo comparado com solo isento de contaminação, em um período de 45 dias, tendo comparativos e análises quinzenais. Segundo Santos *et al.*, (2020) no presente estudo foi possível observar os seguintes resultados apresentados na figura 4 e 5, sobre o desenvolvimento da raiz e folhas.

Figura 4 - Comparativo das medidas das raízes em 3 períodos (15, 20 e 30 dias após o plantio)



Fonte: SANTOS *et al.*, 2020.

Figura 5 - Comparativo das medidas das folhas em 3 períodos (15, 20 e 30 dias após o plantio)



Fonte: SANTOS *et al.*, 2020.

Em análise das imagens foi possível observar que o desenvolvimento das raízes e folhas do capim Vetiver em solo contaminado por chorume, quando comparado com solo isento de contaminação, apresentou características similares nos ambos cenários de estudo. Analisando especificamente o desenvolvimento das raízes, nos primeiros 30 dias é possível notar que os cenários não apresentam características significativas, no entanto quando o desenvolvimento das raízes atinge 45 dias, é possível então notar o maior desenvolvimento em relação ao tamanho do capim Vetiver quando o mesmo está presente no solo contaminado por chorume, reforçando a definição de Truong, Van e Pinnars (2008) em que o capim Vetiver possui a função de captar componentes para o seu desenvolvimento, sendo o chorume, nesse caso, uma solução nutritiva para a espécie e para o desenvolvimento do sistema radicular (SANTOS *et al.*, 2020).

Quanto ao crescimento das folhas, o sistema composto somente por água apresentou ao final dos 45 dias um crescimento maior quando comparado com o sistema contaminado, sendo que nos primeiros 15 dias é possível notar o comprimento foliar entre os ambos os cenários

como sendo iguais e que a partir do 30º dia de análise a diferença entre os cenários começam a ser evidenciadas, mesmo não sendo uma diferença expressiva (SANTOS *et al.*, 2020).

Quanto à avaliação dos metais pesados, mais especificamente o Zn, foi possível analisar o desenvolvimento também ao longo de 45 dias em solo contaminado e não contaminado. Vale ressaltar que o contaminante chorume utilizado para a pesquisa não é chorume bruto e sim uma concentração corrigida, tendo a justificativa que o valor bruto de concentração poderia ser letal às plantas (SANTOS *et al.*, 2020).

Os resultados obtidos por Santos *et al.*, (2020) trazem uma discussão importante para a técnica de fitorremediação, que é a diferença entre a técnica aplicada em solo e em água. Através do sistema criado, em que houve a plantação do capim Vetiver em solo contaminado periodicamente por chorume, indicaram que a espécie se apresentou como uma ótima alternativa no tratamento de solo contaminado, principalmente na remoção do metal pesado Zn.

Segundo Truong, Van e Pinnars (2008) em seu estudo observou que o Vetiver, absorveu nos brotos e raízes 40% da concentração total de Zn, indicando que a espécie apresenta alta resistência ao sistema contaminado. Quanto ao estudo de Santos *et al.*, (2020), em que as amostras foram avaliadas via espectroscopia de absorção atômica, o capim Vetiver removeu do sistema 39,29% do Zn introduzido inicialmente no sistema de avaliação, corroborando assim em ambas as pesquisas a eficiência da espécie para a remoção de tal metal. Em um ambiente aquático a eficiência de remoção do capim Vetiver pode ser o equivalente a 93%, sendo o estudo realizado por um período relativamente curto, de 10 dias. Durante o período foi possível analisar a maior concentração de Zn nas raízes do capim Vetiver, o que pode ser explicado pelo curto período de tempo que não proporcionou a translocação do metal ao longo da planta, fazendo com que o metal estivesse em maior concentração nas raízes (PEIXOTO E ALMEIDA, 2011).

No estudo de Santos *et al.*, (2020) os resultados obtidos foram inversos aos de Peixoto e Almeida (2011) já que por se tratar do solo e por um período maior de estudo, a menor concentração do metal presente foi nas raízes. O tempo de 45 dias de exposição ao contaminante permitiu que pudesse ocorrer a translocação do metal pesado das raízes até as folhas do capim Vetiver, sendo que esse processo pode ser influenciado pelo ambiente em que a espécie se encontra, sendo seco ou alagado, por exemplo.

O mesmo ocorreu no estudo de Assunção (2012) durante a seleção de plantas para a fitorremediação de Pb, Cd e Zn, foi possível observar que o Vetiver está entre as espécies que mais acumularam o Zn, em suas folhas.

### 5.1.2 Chumbo (Pb)

As características das espécies vegetais para o processo de fitorremediação é essencial, bem como o metal presente, sistema de acúmulo e das estratégias de tolerância e resistência. Segundo Leal *et al.*, (2013) o capim Vetiver apresentou produção de biomassa de raiz em uma maior escala, quando comparado ao Feijão de porco (*Canavalia ensiformis* (L.)) e ao Singônio (*Syngonium angustatum*), quando submetidos a solo contaminados por Pb. A diferença também foi destacada na biomassa da parte aérea, em que a concentração de Pb na parte aérea do Vetiver, ganhou destaque quando comparada às outras espécies vegetais em estudo.

O responsável por essa concentração maior em sua parte aérea, pode ser o Fator de Translocação (FT), em que na amostra de solo contaminado e não contaminado, o capim Vetiver apresentou eficiência de translocação do Pb  $\geq 1,00$ , sendo este um valor de referência desejável para a seleção de plantas que podem ser utilizadas no processo de fitorremediação (LEAL *et al.*, 2013).

A fitorremediação de ambientes contaminados por Pb, utilizando o capim Vetiver vem recebendo destaque. Segundo Assunção (2013) comparando diferentes espécies inseridas ao solo contaminados pelos metais pesados, o capim Vetiver se sobressai entre as herbáceas na concentração de Pb nas folhas, quando comparado com a média, ficando evidente, como já citado por Leal *et al.*, (2013) que o Vetiver possui relevante fator de translocação, fazendo com que os metais pesados se apresentem acumulados na folha da espécie.

Quando comparado com outras espécies como jureminha (*Desmanthus virgatus* (L.) Willd) e algaroba (*Prosopis juliflora* (SW) DC) em solução nutritiva, foi possível identificar através de experimento realizado em estufa e aplicação de doses crescente de Pb por 45 dias, em que o Vetiver foi a espécie com melhor Fator de Translocação, fazendo com que o Pb passe do sistema radicular para o sistema aéreo (ALVES *et al.*, 2008).

Em fitorremediação de chumbo em ambientes aquáticos, segundo Peixoto e Almeida (2011) em período de 28 dias de experimento e de análise de curvas de sorção ao longo do tempo, foi possível observar a variação de concentração de Pb de 7,46 mgPb/L para 0,18 mgPb/L, tendo uma eficiência de remoção de 97,6% do chumbo pelo capim Vetiver, ficando evidente o quão promissora a espécie é para ser utilizada no processo de fitorremediação.

### 5.1.3 Cádmio (Cd)

O capim Vetiver, possui em suas características a facilidade em acumular contaminantes, entre eles os metais pesados. Cd, é considerado um dos metais pesados que causam problemas ambientais e sociais. Sendo assim, a técnica de fitorremediação com o uso

do Vetiver vem sendo avaliada, a fim de tratar solos e águas que apresentam em sua composição tal contaminante (PEIXOTO E ALMEIDA, 2011).

Peixoto e Almeida (2011) em seu estudo, avaliou o potencial do Vetiver no processo de fitorremediação de metais como Cd, Pb, Cr, Ni e Zn, presentes na água. Ao final do período de 28 dias, foi possível observar que houve uma redução na concentração do Cádmio de 2,6 mgCd/L para <0,02 mgCd/L, tendo assim uma remoção do Cd de 99%. Observa-se que a maior concentração do metal no sistema da planta foi nas raízes e não na folha, diferente do que ocorreu nos experimentos com Zn e Pb. No entanto, ainda foi possível visualizar uma lenta translocação do metal ao longo do caule e para as folhas (LEAL *et al.*, 2013; ASSUNÇÃO, 2012).

Assunção (2012) em seu estudo de seleção de espécies promissoras para a fitorremediação de metais pesados como, Pb, Cd e Zn no solo, observou que após 34 dias de estudo o Vetiver apresentou um aumento de concentração do Cd no caule e nas folhas, quando comparado com as suas concentrações iniciais, diferente do que foi relatado por Peixoto e Almeida (2011) podendo ser justificado tal diferença pelo ambiente analisado e pelo o tempo de estudo, já que são fatores que podem influenciar na avaliação.

#### 5.1.4 Outros metais pesados

Avaliações quanto à fitorremediação de outros metais pesados também vem sendo avaliada, como já discutido por Truong, Van e Pinnars (2008). Segundo Santos (2019) a aplicação do capim Vetiver na fitorremediação de Cu em solos contaminados, garantiu a redução da quantidade de Cu no solo.

Outras análises quanto a outros metais pesados foram realizadas por Peixoto e Almeida (2011) em que se avaliou a fitorremediação de Cr e Ni. A concentração inicial do Ni no início do estudo era de 11,3 mgNi/L e ao final do experimento (período de 28 dias) era de 1,18 mgNi/L, tendo em média uma redução do contaminante na água de 89,55%. O Cr, obteve uma eficiência de remoção de 99%, já que o mesmo iniciou o estudo em uma concentração de 4,1 mgCr/L e ao final de 28 dias obteve uma concentração final < 0,02 mgCr/L.

#### **5.2 Uso do capim Vetiver na remoção de nitrogênio (N) e fósforo (P) do esgoto doméstico**

Outras aplicações do capim Vetiver, vem sendo analisadas e testadas a fim de ser utilizado no processo no tratamento de esgotos. O estudo de Jesus (2016) buscou avaliar o desempenho do capim Vetiver comparado ao desempenho do capim tifton 85 (*Cynodon sp.*), em sistemas alagados construídos de escoamento horizontal subsuperficial (SAC-EHSS). Avaliando assim os parâmetros como condutividade elétrica, turbidez, Potencial

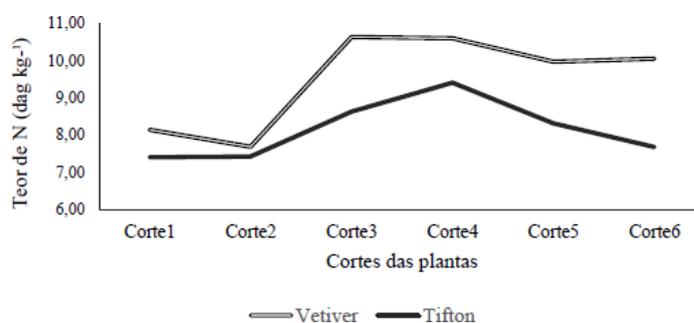
Hidrogeniônico (pH), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Nitrogênio total (N-total), Fósforo total (P-total), Potássio (K) e Sódio (Na). Inicialmente foi realizada a análise de desenvolvimento, produtividade e capacidade extratora do capim Vetiver, bem como do capim Tifton 85. Para a análise da produtividade do Vetiver, foi analisada a produtividade da matéria seca da parte aérea da espécie, sendo realizado cortes periódicos ao longo das estações, observando assim a maior produtividade do capim, associados às altas temperaturas durante a primavera (JESUS, 2016).

O teor de nitrogênio e de fósforo no tecido vegetal da parte aérea dos capins foram influenciados pela estação climática em que o experimento ocorreu, tendo a maior ocorrência de N na parte aérea durante a primavera. Levando em consideração a diferença entre a capacidade extratora de nitrogênio, pode se analisar que os teores de N encontrados por Jesus (2016) indicam que são maiores quando comparados aos valores observados na literatura.

A diferença ocorre pela carga aplicada de N e também pela frequência de cortes da planta, uma vez que a retirada da parte aérea com uma maior frequência resulta em uma menor produtividade de matéria seca e maior teor nutritivo, o que pode ser explicado pela menor absorção da planta em fases mais avançadas de seu crescimento (JESUS, 2016).

Na figura 6, pode ser analisado o teor de N na parte aérea do capim Vetiver e do capim Tifton 85, sendo possível analisar a influência do corte dos capins no teor do N. Nos três primeiros cortes já foi possível analisar uma tendência de aumento no teor de nitrogênio, já quando comparado ao capim Tifton-85, o teor de nitrogênio apresentou aumento nos quatro primeiros cortes.

Figura 6 - Teores de nitrogênio na parte aérea dos capins em função dos cortes efetuados.



Fonte: JESUS, 2016.

No fator estação, pode-se analisar remoção de N-total pelo capim Vetiver no período de inverno e primavera, onde pode-se obter resultados que quando analisados é possível identificar que a remoção é maior no período de primavera, chegando a  $1,33 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  em uma faixa de dias de 30 dias, enquanto no período de inverno e de 30 dias a remoção é de  $0,58 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ . O

capim Vetiver, quando comparado ao capim Tifton 85 na remoção de nitrogênio, pode-se analisar que em um período de primavera, o Tifton 85 foi de  $1,08 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  e no período de inverno de  $0,50 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  (JESUS, 2016).

A remoção do fósforo em águas residuárias é uma técnica que possui maiores dificuldades no tratamento. Segundo Vymazal (2007), a remoção do P em sistema alagados construídos geralmente é baixa, variando entre 40% a 60% ficando ainda mais questionável a escolha de qual capim será mais eficiente.

Os valores de remoção de P-total pelo capim Vetiver no período de inverno foi de  $110 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  e de primavera  $120 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ . Quanto aos valores de remoção nos dois períodos analisados, não houve diferença significativas (JESUS 2016).

Foi realizado a caracterização dos efluentes dos sistemas alagados construídos cultivados com capim Tifton 85, capim Vetiver e não cultivado com nenhuma espécie, no qual permitiu analisar a remoção do N-total e P-total (JESUS, 2016).

As eficiências analisadas da remoção N-total e P-total, são valores não corrigidos e corrigidos, no qual levou em consideração as perdas de água por evaporação/evapotranspiração. Comparando os valores de concentração do afluente e do efluente, segundo Jesus (2016) o SAC cultivado com o capim Vetiver, obteve uma eficiência de remoção corrigida (%) de 37,6% quanto ao SAC sem cultivo a eficiência de remoção corrigida (%) de 34,1%, não sendo uma diferença significativa entre os dois sistemas (JESUS, 2016). Os valores obtidos estão dentro da faixa de valores encontrados por Miranda-Santos (2012) em que no seu estudo a remoção de nitrogênio total variou de 19% a 94%.

Em relação a remoção do P-total, as perdas hídricas também foram consideradas, obtendo valores de remoção corrigidas. Quando comparado o valor de remoção do SAC cultivado com Vetiver, que foi de 40,9%, com a remoção do sistema não cultivado, que foi de 37,8%, pode-se analisar que os valores também não possuem diferença significativa. No entanto, quando comparado com o capim Tifton 85 é possível observar que o valor de remoção do SAC cultivado com Vetiver obteve maior eficiência quando comparado com SAC cultivado com Tifton 85, que foi para o N-total 36,1%, mas que ainda sim não houve diferença significativa (JESUS, 2016).

Segundo Miranda-Santos (2012) em seu estudo da avaliação do desenvolvimento e da eficiência do capim Vetiver em sistemas híbridos e alagados construídos, a remoção de P-total variou de 17% a 54%.

Os resultados obtidos ao longo dos estudos corroboram com o que foi estudado por Truong, Van e Pinnars (2008) em que o capim Vetiver é uma espécie altamente eficiente na absorção de nutrientes como N e P.

### **5.3 Uso do capim Vetiver para proteção de solo e talude**

A utilização de plantas para a proteção do solo vem sendo uma ótima técnica para evitar a desagregação do solo e como consequência a diminuição da erosão. O capim Vetiver, é uma das plantas utilizadas no processo de proteção do solo, formando cordões vegetativos. O mesmo é considerado uma das espécies mais eficientes para esse tipo de aplicação (CHAVES e ANDRADE, 2013).

As características da espécie como seu sistema radicular profundo, alta rusticidade e sua adaptabilidade às diferentes condições de solo e clima, garantem redução do escoamento superficial, tolerância à seca, retenção de sedimentos, estabilização de taludes e encostas, proteção das margens de cursos d'água e juntamente com outras espécies de plantas, pode garantir melhoria nas propriedades do solo (CHAVES e ANDRADE, 2013).

Segundo Chaves e Andrade (2013) a aplicação do capim Vetiver é através de formação de cordões de vegetação permanente, ou seja, é através de fileiras de capim Vetiver plantado em contorno, a fim de formar uma barreira viva (ZONTA *et al.*, 2012). O plantio deve ser realizado de acordo com a necessidade da situação, isto é, se o terreno possui inclinação ou não, o tipo de solo, índice de precipitação do local e/ou a presença ou não de vegetação. O espaçamento entre as plantas deve ser cada vez menor, quando a declividade do terreno for de maior intensidade (CHAVES e ANDRADE, 2013).

Segundo Truong, Van e Pinnars (2008) o plantio do capim Vetiver em uma união próxima forma uma cobertura densa (figura 7) que serve como um filtro de sedimentos, que reduz a velocidade do fluxo de água e cria um mecanismo de disposição igualitária e eficiente de água, fazendo com que a água possua um maior tempo para penetrar no solo.

Figura 7 - Plantio de capim Vetiver próximo com a formação de uma cobertura densa.



Fonte: TRUONG, VAN e PINNERS, 2008.

O capim Vetiver, não é só utilizado para a remediação de impactos negativos ambientais, mas também é uma espécie utilizada para prevenir, ou melhor, evitar impactos negativos considerados desastres naturais, como desabamentos, deslizamentos de terra, instabilidade de rupturas nas estradas, erosões e rupturas em barragens. A aplicação do capim Vetiver, é uma ferramenta natural da bioengenharia que possui alta vantagem de custo-benefício (TRUONG, VAN e PINNERS, 2008).

Truong, Van e Pinnars (2008) traz em seu estudo as vantagens e desvantagens da aplicação do capim Vetiver. Como mencionado anteriormente, a aplicação do Vetiver é de alta eficiência e de baixo custo, tendo economia em sua aplicação em estabilização de taludes. Na China, por exemplo, a economia é de cerca de 85 a 90% e na Austrália de 64 a 72%, além disso, depois de estabelecido o plantio os custos com manutenção são reduzidos de forma significativa. Vale ressaltar que a técnica utilizada com capim Vetiver tem custo de 30% das ferramentas da engenharia tradicionais para a estabilização de taludes.

Em desvantagem, o Vetiver é intolerante às sombras, tendo sua fase de estabelecimento comprometida, além de retardar seu crescimento, a sua capacidade em competir com outras espécies também é afetada. O sistema é eficaz quando há o estabelecimento do sistema Vetiver no ambiente em que foi plantado, sendo assim o sombreamento é umas das condições que devem ser revistas e repensadas (TRUONG, VAN e PINNERS, 2008).

Gomes *et al.*, (2020) em seu estudo “Efeito do capim Vetiver e dos Estilosantes nos Parâmetros de Resistência do Solo ao Cisalhamento”, objetivou determinar parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo em amostras de solo cultivado com capim Vetiver e com estilosantes, os mesmos foram comparados ao solo não cultivado com nenhuma espécie. A classe do solo é Latossolo e as análises foram realizadas em laboratório.

Quando plantados em conjunto com outras espécies, nesse caso o estilozantes (*Stylosanthes guianensis* (AUBL) SW. CV "COOK"), ambas as espécies apresentaram características importantes de desenvolvimento. O desenvolvimento considerável das raízes do capim Vetiver passou de 35cm no segundo mês para 80cm no sexto mês, ou seja, apresentou desenvolvimento maior que o dobro do tamanho quando comparado com a primeira análise. Juntamente com o crescimento das raízes, o sistema apresentou formação de uma rede densa de capim, o que é evidenciado na literatura (Gomes *et al.*, 2020).

Ensaio de cisalhamento foi realizado nas amostras de solo e os parâmetros de resistência ao cisalhamento apresentaram significativas variações nas amostras com a presença de capim Vetiver (figura 8).

Figura 8 - Parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo em amostras de solo (0 - 30 cm) com e sem a presença de capim vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty) ou estilozantes (*Stylosanthes guianensis* (AUBL) SW. CV "COOK").

Tratamento	Ângulo de atrito interno (°)	Intercepto de coesão (kPa)	Coefficiente de Determinação
Sem raízes	0,63°	1,0463	12,34%
Capim Vetiver	1,02°	2,4133	57,33%
Estilozantes	1,85°	1,1916	42,06%

Fonte: GOMES *et al.*, 2020

Analisando os dados da figura 8, é possível verificar o aumento da coesão e do ângulo de atrito interno do solo com a presença do capim Vetiver, quando comparado com o solo sem nenhum tipo de cultivo. As variações indicaram o aumento da resistência ao cisalhamento de solos, uma vez que o ângulo de atrito apresentou aumento de 38,23% e coesão de 56,64%. Os dados obtidos em ensaio, corroboram com os dados obtidos em taludes analisados em Santana dos Montes (MG), em que as análises de solo apresentaram aumento na resistência do solo após três anos de cultivo, obtendo resultado muito positivo na estabilização de taludes (BARBOSA e LIMA, 2013).

#### 5.4 Outras aplicações do capim Vetiver na área ambiental

O capim Vetiver, possui diversas aplicações e dessa forma outras aplicações vêm sendo estudadas além das quais já foram citadas anteriormente. Martins (2016) buscou avaliar o desempenho de Filtros Biológicos Percoladores (FBPs) com o cultivo de capim Vetiver. O meio suporte de análise, era constituído de brita e argila expandida, sendo quatro FBPs de diferentes cenários.

A pesquisa foi desenvolvida entre os meses de março, abril e maio de 2015 e em quatro tipos de FBPs, sendo o FBPAV (argila expandida como substrato, cultivada com vetiver); FBPA (argila expandida como substrato, sem o cultivo de vetiver); FBPBV (brita nº1 como substrato, cultivado com vetiver); e FBPB (brita nº1 como substrato, sem o cultivo de vetiver) (MARTINS, 2016).

Os filtros analisados se comportaram de maneira distinta obtendo resultados significativos para sólidos sedimentáveis (SP), oxigênio dissolvido (OD), DBO e série nitrogenada. O filtro contendo argila e vetiver resultou em um destaque maior na concentração de OD, enquanto FBP contendo brita e vetiver, resultou em melhores valores para SP e DBO. No entanto, os filtros sem cultivo de vetiver, também desempenharam papel significativo, sendo assim o incremento vegetativo uma tecnologia viável e que quando utilizada melhora o tratamento de esgoto, dependendo das variáveis analisadas e materiais escolhidos para compor o filtro (MARTINS, 2016).

Melo (2017) em sua dissertação teve como objetivo avaliar o desempenho de um sistema alagado construído de fluxo horizontal subsuperficial, cultivado com capim Vetiver no tratamento da água residuária de bovinocultura de leite. As análises foram realizadas a partir dos parâmetros físico-químicos do afluente e efluente, além do comportamento do capim Vetiver, em relação a produção de massa e altura da vegetação (figura 9).

Figura 9 - Médias de entrada e saída do sistema de alagado construído dos parâmetros físico-químicos, eficiência de remoção média dos parâmetros, em porcentagem (%), e seus respectivos desvios padrões (DP).

Parâmetros	Entrada		Saída		Eficiência (%)
	Média	DP	Média	DP	
DBO <sub>5,20</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	277,81	64,6	202,46	71,84	27,12
DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	557,76	151,81	455,86	114,98	18,27
NH <sub>3</sub> - N (mg.L <sup>-1</sup> )	161,03	97,07	108,84	50,49	32,41
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> - N (mg.L <sup>-1</sup> )	0,26	0,09	0,19	0,12	26,92
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N (mg.L <sup>-1</sup> )	3,07	0,87	2,79	1,08	9,12
NTK (mg.L <sup>-1</sup> )	99,18	34,89	87,84	26,05	11,43
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> - P (mg.L <sup>-1</sup> )	43,34	7,86	42,47	9,52	2,00
SST (mg.L <sup>-1</sup> )	58,19	33,87	42,15	37,89	27,56
Turbidez (FTU)	122,58	33,19	85,19	24,64	30,50
Cor (PtCo)	2936,29	652,23	2346,64	797,13	20,08
CE (dS.m <sup>-1</sup> )	3,26	1,26	2,87	0,92	-
OD (mg.L <sup>-1</sup> )	0,59	0,19	0,75	0,35	-
pH	7,04	0,34	7,03	0,30	-

Fonte: MELO, 2017.

Analisando os valores dos nutrientes (N e P), é possível analisar a eficiência da remoção do nitrogênio em suas diferentes formulações, sendo o nitrogênio amoniacal ( $\text{NH}_3$ ), nitrito ( $\text{NO}_2$ ), nitrato ( $\text{NO}_3$ ) e nitrogênio total Kjeldahl (NTK). A eficiência de remoção do nitrogênio amoniacal pelo sistema cultivado com Vetiver, foi de 32,41%, sendo o maior valor de eficiência de remoção dentre os parâmetros analisados. Quanto ao nitrito, a redução foi de 26,92% e nitrato foi de 9,12%, sendo o nitrato o qual apresentou menor porcentagem de remoção. O NTK apresentou remoção de 11,43% e por fim o fósforo, foi o parâmetro que menor apresentou eficiência de remoção, sendo somente de 2% (MELO, 2017). Corroborando assim com Vymazal (2007) em que a remoção do fósforo em águas residuárias é uma técnica que possui maiores dificuldades.

Outra aplicação do capim Vetiver foi relatada por Oliveira *et al.*, (2018) sobre uma nova tecnologia ao meio rural, que é a utilização do capim Vetiver no sistema de plantio. Suas características morfológicas e ecológicas, propicia um ambiente favorável para o desenvolvimento das culturas, através da grande quantidade de biomassa e conseqüentemente traz benefícios para o solo.

O plantio direto é uma prática de manejo que vem apresentando eficiência, alto lucro e possui uma visão altamente sustentável. O plantio direto sobre a palha, gera um ambiente protegido e de alta disponibilidade de nutrientes, neste cenário o Vetiver se apresenta como uma ótima alternativa para ser utilizado como palhada, pelas suas características de densa biomassa, sua adaptabilidade e resistência (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

A permanência da cobertura do Vetiver sob o solo, minimiza o risco de erosão, preserva a cobertura e estabelece um equilíbrio físico e químico. Isso faz com que a agricultura familiar receba benefícios econômicos e ambientais, fortalecendo suas técnicas, como a não utilização de materiais transgênicos e fertilizantes químicos (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base no desenvolvimento da presente pesquisa, pode-se concluir que a técnica de fitorremediação utilizando a espécie capim Vetiver, se apresenta como uma ótima alternativa para a área ambiental, tanto no tratamento de águas residuárias domésticas e industriais, como na proteção do solo e de taludes.

No tratamento de solo contaminado por metais pesados, o capim Vetiver se mostrou eficiente e adaptável na presença de chorume contendo zinco em sua composição, apresentando ainda uma ótima eficiência de remoção do metal do solo. Foi possível evidenciar a diferença da técnica em água e solo, sendo a técnica em água obtendo a maior eficiência na remoção do metal. Ainda assim, pode-se observar o fator de translocação do metal pesado das raízes até as folhas do capim Vetiver, e como o tempo de exposição e ambiente influenciam, sendo maior o tempo a maior translocação.

Na remoção do chumbo, a espécie se mostrou eficiente na remoção de tal metal do solo, bem como na presença do contaminante na parte aérea do capim quando comparado com as espécies Feijão de porco, Singônio, Jureminha e Algaroba, sendo o fator de translocação se sobressaindo em eficiência para acúmulo de chumbo nas folhas. A eficiência da espécie se mostrou significativa também na remoção do metal pesado em água.

Para os resultados de remoção do cádmio, foi possível obter uma remoção com alta eficiência quando comparada com o fator de translocação, fazendo com que a concentração do metal pesado seja maior nas raízes. No entanto, com uma faixa de tempo maior, é possível analisar um aumento na concentração do cádmio no caule e nas folhas, podendo-se concluir que o tempo é um dos fatores influenciadores na translocação. Para o cromo e níquel a espécie também se mostrou positiva na remoção destes metais pesados.

Para o tratamento do esgoto doméstico, a espécie resultou em dados significativos na remoção de nutrientes como o nitrogênio, tendo como fator influenciador a estação climática e número de cortes da planta, quanto maior o número de cortes e período de estação da primavera, maior a eficiência de remoção. No entanto, para a remoção de fósforo a remoção não apresentou eficiência significativa, mas ainda assim a espécie se apresentou como melhor alternativa quando comparado com o capim Tifton 85.

Na proteção do solo e talude, o capim Vetiver se apresenta como espécie com alto potencial de uso. Ainda caracterizado pelo baixo custo de aplicação, o Vetiver traz impactos positivos quanto a economia da técnica de fitorremediação. Na estrutura do solo a espécie proporcionou aumento na resistência ao cisalhamento do solo, além de apresentar outras

eficiências de aplicações na área ambiental, como em Filtros Biológicos Percoladores (FBP), Sistema Alagado Construído (SAC) e em sistema de plantio direto.

Por fim, com base nestas considerações, é possível concluir que a fitorremediação utilizando capim Vetiver é uma ferramenta da biotecnologia que supera em vantagens, quando comparada com outras espécies, e que se apresenta com importantes características fisiológicas, ecológicas e morfológicas, para o seu uso na área ambiental, apresentando diversidade de aplicações. A espécie apresenta como uma ótima alternativa para o tratamento de contaminantes que atualmente possuem dificuldades em seu tratamento, seja pela composição ou quantidade gerada. Ainda, fornece um cenário propício para estudo futuros aplicados à área ambiental, que futuramente podem vir a substituir técnicas tradicionais.

## REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. Disponível em: <https://analiticaqmcresiduos.paginas.ufsc.br/files/2014/07/Nbr-10004-2004-Classificacao-De-Residuos-Solidos.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2022.
- ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2018/2019**. 2019. Disponível em: [https://www.migalhas.com.br/arquivos/2020/1/492DD855EA0272\\_PanoramaAbrelpe\\_-2018\\_2019.pdf](https://www.migalhas.com.br/arquivos/2020/1/492DD855EA0272_PanoramaAbrelpe_-2018_2019.pdf). Acesso em: 07 mar. 2022.
- AEA – AGÊNCIA EUROPÉIA AMBIENTAL. **Sobre a utilização dos solos**. 2016. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/pt/themes/landuse/about-land-use>. Acesso em: 09 mar. 2022.
- ALMEIDA, Edna *et al.* Tratamento de efluentes industriais por processos oxidativos na presença de ozônio. **Química Nova**, v. 27, n. 5, p. 818-824, 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/CmxcjrRtynjFk7tKwsp5gfH/?lang=pt>. Acesso em: 11 jan. 2022.
- ALVES, Jailson do Carmo *et al.* Absorção e distribuição de chumbo em plantas de vetiver, jureminha e algaroba. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 3, p. 1329-1336, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/LxgvWPpLXrDD4BbKVB8jZyn/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 24 jan. 2022.
- ANSELMO, André Luis Faustino; JONES, Cleveland Maximino. Fitorremediação de solos contaminados—O estado da arte. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, XXV., 2005, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre: PUCRS, 2005. p. 5273-5280. Disponível em: [http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGETP2005\\_Enegep1005\\_0558.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGETP2005_Enegep1005_0558.pdf). Acesso em: 02 mar. 2022.
- ARAÚJO, Lennon Alonso *et al.* Processos biotecnológicos na remoção de metais pesados. **Saber Científico**, v. 8, n. 2, p. 135-145, 2019. Disponível em: <http://revista.saolucas.edu.br/index.php/resc/article/view/1180/pdf>. Acesso em: 05 jan. 2022.
- ASSUNÇÃO, Sara Julliane Ribeiro. **Seleção de plantas para fitorremediação de chumbo, cádmio e zinco de uma área contaminada na Bacia do Rio Subaé**. 2012. Dissertação (Pós-Graduação em Solos e Qualidade de Ecossistemas), Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2012. Disponível em: <https://silo.tips/download/universidade-federal-do-reconcavo-da-bahia-centro-de-ciencias-agrarias-ambientai-4>. Acesso em: 24 jan. 2022.
- AVILA-CAMPOS, Mario Julio; NAKANO, Viviane. **Metais Pesados: Um Perigo Eminente**. s.d. Disponível em: [http://www.icb.usp.br/bmm/mariojac/index.php?option=com\\_content&view=article&id=33%3Ametais-pesados-um-perigo-eminente&catid=13%3Atemas-de-interesse&Itemid=56&lang=br](http://www.icb.usp.br/bmm/mariojac/index.php?option=com_content&view=article&id=33%3Ametais-pesados-um-perigo-eminente&catid=13%3Atemas-de-interesse&Itemid=56&lang=br). Acesso em: 10 mar. 2022.

BARBOSA, Michele Cristina Rufino; LIMA, Hernani Mota de. Resistência ao cisalhamento de solos e taludes vegetados com capim vetiver. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 1, p. 113-120, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/VQX487Bhc5JtsvVfVrLv9dC/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 17 fev. 2022.

BARROCO, Isabelly Sette *et al.* Impactos ambientais de metais pesados de pilhas na tríade água-ar-solo. **Revista Scientiarum Historia**, v. 1, n. 1, p. 1-10, 2018. Disponível em: <http://revistas.hcte.ufrj.br/index.php/RevistaSH/article/view/234/184>. Acesso em: 12 jan. 2022.

BBC Brasil - BRITISH BROADCASTING CORPORATION - BRASIL. Qual é a indústria que mais polui o meio ambiente depois do setor do petróleo?. **BBC NEWS**, Brasil, 13 mar. 2017. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/geral-39253994>. Acesso em: 10 mar. 2022.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da República Federativa do Brasil, [2010]. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm#:~:text=LEI%20N%C2%BA%2012.305%2C%20DE%20%20DE%20AGOSTO%20DE%202010.&text=Institui%20a%20Pol%C3%ADtica%20Nacional%20de,1998%3B%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%A2ncias.&text=Art.&text=%C2%A7%20o%20Esta%20Lei,s%C3%A3o%20regulados%20por%20legisla%C3%A7%C3%A3o%20espec%C3%ADfica](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm#:~:text=LEI%20N%C2%BA%2012.305%2C%20DE%20%20DE%20AGOSTO%20DE%202010.&text=Institui%20a%20Pol%C3%ADtica%20Nacional%20de,1998%3B%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%A2ncias.&text=Art.&text=%C2%A7%20o%20Esta%20Lei,s%C3%A3o%20regulados%20por%20legisla%C3%A7%C3%A3o%20espec%C3%ADfica). Acesso em: 10 jan. 2022.

BRASIL. **Lei nº6.041, de 8 de fevereiro de 2007**. Institui a Política de Desenvolvimento da Biotecnologia, cria o Comitê Nacional de Biotecnologia e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da República Federativa do Brasil, [2007]. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/decreto/d6041.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/decreto/d6041.htm). Acesso em: 17 jan. 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). (1986). **Resolução nº1, de 23 de janeiro de 1986**. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. Publicada no DOU, de 17 de fevereiro de 1986, Seção 1, p. 2448-2549. Disponível em: <http://www.ima.al.gov.br/wizard/docs/RESOLU%C3%87%C3%83O%20CONAMA%20N%C2%BA001.1986.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). (2005). **Resolução nº357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Publicada no DOU, de 17 de março de 2005. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=2747>. Acesso em: 11 fev. 2022.

BRUNO, Alessandra Nejar; HORN, Ângelo Cássio Magalhães; LANDGRAF, Sharon Schilling. Introdução à Biotecnologia. *In*: BRUNO, A.; N. (org.). **Biotecnologia I: Princípios**

e Métodos. Rio Grande do Sul: Artmed, 2014. p. 1-11. Disponível em: <https://statics-americanas.b2w.io/sherlock/books/firstChapter/50095565.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2022.

BURMANN, Larissa Lauda. **Recursos naturais e sustentabilidade: a responsabilidade social, ambiental e jurídica das empresas.** 2010. Dissertação (Pós-Graduação em Direito, Área de Concentração: Direito Ambiental e Novos Direitos), Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2010. Disponível em: <https://repositorio.ucs.br/xmlui/bitstream/handle/11338/507/Dissertacao%20Larissa%20Lauda%20Burmann.pdf?sequence=1>. Acesso em: 06 jan. 2022.

BVSMMS – BIBLIOTECA VIRTUAL EM SAÚDE MS. **Manual de Saneamento.** Manual de Saneamento. 3 ed. Fundação Nacional de Saúde, 2004. Disponível em: [https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manual\\_saneamento\\_3ed\\_rev\\_p1.pdf](https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manual_saneamento_3ed_rev_p1.pdf). Acesso em: 12 jan. 2022.

CAMMAROTA, Magali Christe. **Tratamento de Efluentes Líquidos.** 2011. Disponível em: <http://www.eq.ufrj.br/docentes/magalicammarota/2013/eqb485.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2022.

CARDOSO, Dione Pereira *et al.* Atributos fitotécnicos de plantas de cobertura para a proteção do solo. **Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável**, v. 8, n. 1, p. 19-24, 2013. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/79513/1/cnpasa.pdf>. Acesso em: 05 jan. 2022.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Matéria orgânica e nutrientes.** s.d. Disponível em: [https://cetesb.sp.gov.br/mortandade-peixes/alteracoes-fisicas-e-quimicas/materia-organica-e-nutrientes\\_](https://cetesb.sp.gov.br/mortandade-peixes/alteracoes-fisicas-e-quimicas/materia-organica-e-nutrientes_). Acesso em: 07 mar. 2022.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Tipos de águas.** s.d. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/informacoes-basicas/tpos-de-agua/>. Acesso em: 07 mar. 2022.

CHAVES, Tiago de Andrade; ANRADE, Aluísio Granato. **Capim Vetiver (*Vetiveria zizanioides*):** Produção de mudas e uso no controle da erosão e na recuperação de áreas degradadas. Manual Técnico, 39. Niterói – RJ: Programa Rio Rural, 2013. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/981190/capim-vetiver-producao-de-mudas-e-uso-no-controle-da-erosao-e-na-recuperacao-de-areas-degradadas>. Acesso em: 15 fev. 2022.

COSTA E QUEIROZ, Aristides. Fitorremediação de solo contaminado por chumbo utilizando espécies metalófitas. *In: CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, VII., 2020, Maceió. Anais [...].* Maceió: UFRB, 2020. p. 1-12. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/68619>. Acesso em: 06 jan. 2022.

DAMÁZIO, Schayra Minine; SOARES, Aparecida Rios; SOUZA, Marco Antônio Andrade de. Perfil parasitológico de escolares da localidade de santa maria, zona rural do município de São Mateus/ES, Brasil. **Revista de APS**, v. 19, n. 2, p. 261-267, 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufjf.br/index.php/aps/article/view/15593/8180>. Acesso em: 12 jan. 2022.

DENARDIN, José Eloir *et al.* **Diretrizes do sistema plantio direto no contexto da agricultura conservacionista.** Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2012. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/969148/diretrizes-do-sistema-plantio-direto-no-contexto-da-agricultura-conservacionista>. Acesso em: 12 jan. 2022.

DULLEY, Richard Domingues. Noção de natureza, ambiente, meio ambiente, recursos ambientais e recursos naturais. **Agricultura em São Paulo, São Paulo**, v. 51, n. 2, p. 15-26, 2004. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/out/publicacoes/pdf/asp-2-04-2.pdf>. Acesso em: 06 jan. 2022.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Artigo: 2015 - ano internacional do solo, ação coletiva e colaboração para cuidar do solo e da água.** 2015. Disponível em: [https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/2617505/artigo-2015---ano-internacional-do-solo-acao-coletiva-e-colaboracao-para-cuidar-do-solo-e-da-agua#:~:text=Pacto%20Global%2C%20Brazil\),O%20solo%20C3%A9%20um%20recurso%20natural%20n%C3%A3o%20Drenov%C3%A1vel%20que%20devido,acima%20da%20capacidade%20de%20recomposi%C3%A7%C3%A3o](https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/2617505/artigo-2015---ano-internacional-do-solo-acao-coletiva-e-colaboracao-para-cuidar-do-solo-e-da-agua#:~:text=Pacto%20Global%2C%20Brazil),O%20solo%20C3%A9%20um%20recurso%20natural%20n%C3%A3o%20Drenov%C3%A1vel%20que%20devido,acima%20da%20capacidade%20de%20recomposi%C3%A7%C3%A3o). Acesso em: 15 mar. 2022.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Prosa Rural - Fitorremediação: o uso de plantas para descontaminação ambiental.** 2010. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/2419877/prosa-rural---fitorremediacao-o-uso-de-plantas-para-descontaminacao-ambiental>. Acesso em: 10 mar. 2022.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Study finds that 30% of world soils are degraded.** 2016. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/14343883/estudo-revela-que-30-dos-solos-do-mundo-estao-degradados#:~:text=Amea%C3%A7as%20como%20eros%C3%A3o%2C%20compacta%C3%A7%C3%A3o%20e,solos%20do%20mundo%20est%C3%A3o%20degradados>. Acesso em: 04 mar. 2022.

ESTRELA, Maria Alexandra; CHAVES, Lúcia Helena Garofalo; SILVA, Larissa Novais. Fitorremediação como solução para solos contaminados por metais pesados. **Revista Ceuma Perspectivas**, v. 31, n. 1, p. 160-172, 2018. Disponível em: <http://www.ceuma.br/portalderevistas/index.php/RCCP/article/view/191/221>. Acesso em: 06 jan. 2021.

FERREIRA, Tatiane Cristovam; JOCA, Thais Arruda Costa; BROETTO, Fernando. Impactos Ambientais da Disposição dos Resíduos Sólidos Urbanos. *In: ZABOTTO, A. R. (org.). Estudos Sobre Impactos Ambientais: Uma Abordagem Contemporânea.* Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, 2019. p.1-10. Disponível em: <http://www.fepaf.org.br/download/Impactos-Ambientais.pdf>. Acesso em: 01 mar. 2022.

FIOROTTO, Nilton Roberto. **Toxicidade escondida nos produtos químicos têxteis.** s.d. Disponível em: <https://textil.sp.senai.br/5499/toxicidade-escondida-nos-produtos-quimicos-texteis>. Acesso em: 10 mar. 2022.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002. Disponível em: [https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/150/o/Anexo\\_C1\\_como\\_elaborar\\_projeto\\_de\\_pesquisa\\_-\\_antonio\\_carlos\\_gil.pdf](https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/150/o/Anexo_C1_como_elaborar_projeto_de_pesquisa_-_antonio_carlos_gil.pdf). Acesso em: 19 jan. 2022.

GOMES, D. A. C. *et al.* Efeito do capim vetiver e dos estilozantes nos parâmetros de resistência do solo ao cisalhamento. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 14, n. 2, p. 187-197, 2020. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/7b97/c7e469b2839142e6e2a5ea9c7b4582096e84.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2022.

GUERRA, Antonio José Teixeira; JORGE, Maria do Carmo Oliveira. **Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas**. 1. ed. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2013. Disponível em: [http://ofitexto.arquivos.s3.amazonaws.com/processos%20erosivos\\_DEG.pdf](http://ofitexto.arquivos.s3.amazonaws.com/processos%20erosivos_DEG.pdf). Acesso em: 15 jan. 2022.

HERNANI, Luís Carlos; SALTON, Júlio Cesar. **Erosão do Solo**. 2001. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/38848/1/FOL200112.pdf>. Acesso em: 11 mar. 2022.

IBERDROLA. **Poluição da água**: A poluição da água: como não colocar em perigo a nossa fonte de vida?. s.d. Disponível em: <https://www.iberdrola.com/sustentabilidade/poluicao-da-agua>. Acesso em: 07 mar. 2022.

IBERDROLA. **Superexploração dos recursos naturais**: Quais são as consequências da superexploração dos recursos naturais?. s.d. Disponível em: <https://www.iberdrola.com/sustentabilidade/superexploracao-dos-recursos-naturais>. Acesso em: 07 mar. 2022.

JESUS, Fernanda Lamede Ferreira de. **Desempenho e influência dos capins Tifton 85 (*Cynodon sp.*) e Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) no tratamento de esgoto sanitário em sistemas alagados construídos**. 2016. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Agrícola) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/8214/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2022.

LACERDA, Felipe; NAVONI, Julio Alejandro; DO AMARAL, Viviane Souza. **Biorremediação: educação em saúde e alternativas à poluição ambiental**. 1. ed. Natal, RN: IFRN, 2019. Disponível em: <https://memoria.ifrn.edu.br/bitstream/handle/1044/1771/A%20biorremedia%c3%a7%c3%a3o.pdf?sequence=5&isAllowed=y>. Acesso em: 01 mar. 2022.

LEAL, Emylly Figueredo *et al.* Fitoremediação de chumbo pelas espécies Vetiver (*Vetiveria zizanioides L.*), Feijão de porco (*Canavalia ensiformis L.*), e Singônio (*Syngonium angustatum*). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, XXXIV., 2013, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: UFRB, 2013. p. 1-4. Disponível em: <https://eventosolos.org.br/cbcs2013/anais/arquivos/2760.pdf>. Acesso em: 24 jan. 2022.

LISBÔA, Educélio Gaspar *et al.* A influência das exportações de produtos agrícolas, e os impactos gerados na degradação do solo e do meio ambiente, durante o período entre 2004 à 2019. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 4, p. 38286-38302, 2021. Disponível em: <https://brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/28165/22308>. Acesso em: 05 jan. 2022.

LOUREIRO, José Magno *et al.* Estudos dos impactos no meio físico e biótico na área degradada na serra da fortaleza no município de campos gerais – MG. *In: CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS*, XIII., 2016, Poços de Caldas. **Anais [...]**. Poços de Caldas: IFSULDEMINAS, 2016. p. 1-8. Disponível em: <http://www.meioambientepocos.com.br/anais-2016/417.%20ESTUDO%20DOS%20IMPACTOS%20NO%20MEIO%20F%C3%8DSICO%20E%20BI%C3%93TICO%20NA%20C3%81REA%20DEGRADADA%20NA%20SERRA%20DA%20FORTALEZA%20NO%20MUNIC%C3%8DPIO%20DE%20CAMP.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2022.

MARTINS, Cristina dos Santos Ribeiro *et al.* Influência da vegetação na erosão hídrica em ambiente semiárido: uma revisão de literatura. *In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA; ENCONTRO LATINO AMERICANO DE PÓS GRADUAÇÃO E ENCONTRO DE INICIAÇÃO À DOCÊNCIA*, XXI; XVII E VII, 2017, São José dos Campos. **Anais [...]**. São José dos Campos: UNIVAP, 2017. p. 1-6. Disponível em: [http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC\\_2017/anais/arquivos/RE\\_0718\\_0367\\_01.pdf](http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2017/anais/arquivos/RE_0718_0367_01.pdf). Acesso em: 06 jan. 2022.

MARTINS, Vinícius Ferreira. **Influência do meio suporte e da presença de vegetação no desempenho de filtros biológicos percoladores**. 2016. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/10365/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2022.

MELO, Antônio Carlos Farias de. **Tratamento de água residuária de bovinocultura de leite, utilizando sistema de alagado construído cultivado com capim vetiver (*Chrysopogon zizanioides*)**. 2017. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental – PGEEAmb), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2017. Disponível em: <https://tede.ufrj.br/jspui/handle/jspui/4264#preview-link0>. Acesso em: 20 jan. 2022.

MIRANDA-SANTOS, Larissa. **Avaliação do desenvolvimento e a eficiência do capim vetiver (*chrysopogon zizanioides*) em sistemas híbridos de alagados construídos**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2012. Disponível em: [https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/98303/mirandasantos\\_1\\_me\\_bauru.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/98303/mirandasantos_1_me_bauru.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em: 22 fev. 2022.

MOTA, José Aroudo; GAZONI, Jefferson Lorencini. Sustentabilidade Ambiental: Conceitos, Reflexões e Limites. *In: ALVAREZ, A.; MOTA, J.A. (org.). **Sustentabilidade ambiental no brasil**: biodiversidade, economia e bem estar*. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2010. p. 17-22. Disponível em: <http://sites.ufca.edu.br/proder/wp-content/uploads/sites/19/2016/03/IPEA-Livro07-Sustentabilidade-Ambiental->

INTRODU% C3% 87% C3% 83O-SUSTENTABILIDADE-AMBIENTAL\_CONCEITOS-REFLEX% C3% 95ES-E-LIMITES.pdf. Acesso em: 05 jan. 2022.

OLIVEIRA, Matheus Messias de *et al.* Capim vetiver (*Chrysopogon zizanioides*): uma alternativa para o plantio direto na agricultura familiar. **Revista Terceiro Incluído**, v. 8, p. 77-84, 2018. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/teri/article/view/45230/26613>. Acesso em: 18 fev. 2022.

PEIXOTO E ALMEIDA, Edilene Aparecida. **Avaliação do potencial da espécie *Vetiveria Zizanioides* na fitorremediação de metais-traço presentes em ambientes aquáticos**. 2011. Dissertação (Pós-Graduação em saneamento, meio ambiente e recursos hídricos), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011. Disponível em: <https://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/797M.PDF>. Acesso em 20 fev. 2022.

RANZINI, Maurício. ARCOVA, Francisco. **Pesquisas comprovam a importância da vegetação na produção de água**. 2015. Disponível em: <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/2015/08/pesquisas-comprovam-a-importancia-da-vegetacao-na-producao-de-agua-com-qualidade/>. Acesso em: 07 mar. 2022.

RODRIGUES, Patrícia Tâmara Alves; ORLANDELLI, Ravelly Casarotti. Plantas como ferramentas para a remediação ambiental: uma revisão da literatura. **UNICIÊNCIAS**, v. 22, n. 1, p. 38-44, 2018. Disponível em: <https://seer.pgskroton.com/index.php/uniciencias/article/view/5458>. Acesso em 13 jan. 2022.

RODRIGUES, Suzi Carolina Moraes *et al.* Os recursos naturais no processo de desenvolvimento econômico capitalista: uma breve reflexão. **Semioses**, v. 13, n. 4, p. 50-68, 2019. Disponível em: <https://revistas.unisiam.edu.br/index.php/semioses/article/view/433/217>. Acesso em: 10 jan. 2022.

RODRIGUES, Taissa Caroline Silva; VIEGAS, Josué Carvalho; FEITOSA, Antônio Cordeiro. Impactos ambientais decorrentes do uso e ocupação do solo, na comunidade Negra Jamarý dos Pretos, Turiacu-Maranhão. *In*: ENCONTRO IBERO-AMERICANO DE GEOMORFOLOGIA; ENCONTRO IBERO-AMERICANO DO QUARTENÁRIO; SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA E ENCONTRO LATINO AMERICANO DE GEOMORFOLOGIA, I, I., III e VIII., 2010. p. 1-13. Disponível em: <http://docplayer.com.br/77473559-Impactos-ambientais-decorrentes-do-uso-e-ocupacao-do-solo-na-comunidade-negra-jamary-dos-pretos-turiacu-maranhao.html>. Acesso em: 06 fev. 2022.

SANTOS, Caio Cesar Andrade dos. **Potencial de remoção de cobre do solo por técnica de fitorremediação**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós-Graduação Mestrado Profissional Sustentabilidade em Recursos Hídricos), Universidade Vale do Rio Verde, Três Corações, 2019. Disponível em: [https://www.unincor.br/images/arquivos\\_mestrado\\_hidrico/producao-tecnica/potencial-remocao-cobre-solo.pdf](https://www.unincor.br/images/arquivos_mestrado_hidrico/producao-tecnica/potencial-remocao-cobre-solo.pdf). Acesso em: 20 jan. 2022.

SANTOS, Erica Aparecida dos *et al.* Aplicação do processo de fitorremediação utilizando vetiver (*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash.) na descontaminação de solos tropicais contaminados por choroume. **Revista Univap**, v. 26, n. 51, p. 43-55, 2020. Disponível em:

<https://revista.univap.br/index.php/revistaunivap/article/view/2448/1593>. Acesso em: 21 jan. 2022.

SCHENBERG, Ana Clara Guerrini. Biotecnologia e desenvolvimento sustentável. **Estudos Avançados**, v. 24, n. 70, p. 07-17, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/3RNnxCZQTVWPQZ5kYYnKp6C/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 13 jan. 2022.

SECO, Teresa Canais *et al.* Avaliação do desempenho de sistemas de leitos de macrófitas no tratamento de águas residuais domésticas. **Engenharia Civil UM**, n. 33, p. 163-174, 2008. Disponível em: <http://www.civil.uminho.pt/revista/artigos/n33/Artigo13-Pag163-174.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2022.

SOUZA, Ludmilla. Brasil gera 79 milhões de toneladas de resíduos sólidos por ano. **Agência Brasil**, São Paulo, 08 nov. 2019. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2019-11/brasil-gera-79-milhoes-de-toneladas-de-residuos-solidos-por-ano#>. Acesso em: 09 mar. 2022.

SZIGETHY, Leonardo; ANTENOR Samuel. **Resíduos sólidos urbanos no Brasil: desafios tecnológicos, políticos e econômicos**. 2020. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/artigos/artigos/217-residuos-solidos-urbanos-no-brasil-desafios-tecnicos-politicos-e-economicos>. Acesso em: 10 mar. 2022.

TAVARES, Sílvio Roberto de Lucena. **Fitorremediação em solo e água de áreas contaminadas por metais pesados provenientes da disposição de resíduos perigosos**. 2009. Tese de Doutorado (Pós-Graduação em Engenharia Civil) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/79270/1/Tese-Silvio-Completa.pdf>. Acesso em: 03 mar. 2022.

TEIXEIRA, Débora Luisa Silva *et al.* Fitorremediação de águas contaminadas. *In*: ENCONTRO ACADÊMICO DA ENGENHARIA AMBIENTAL DA EEL-USP, III., 2018, **Anais [...]**. EEL-USP, 2018. p. 1-8. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Luiz-Silva-33/publication/333965025\\_FITORREMEDIACAO\\_DE\\_AGUAS\\_CONTAMINADAS\\_UM\\_A\\_REVISAO\\_BIBLIOGRAFICA/links/5d0ed68992851cf44044402b/FITORREMEDIACAO-DE-AGUAS-CONTAMINADAS-UMA-REVISAO-BIBLIOGRAFICA.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Luiz-Silva-33/publication/333965025_FITORREMEDIACAO_DE_AGUAS_CONTAMINADAS_UM_A_REVISAO_BIBLIOGRAFICA/links/5d0ed68992851cf44044402b/FITORREMEDIACAO-DE-AGUAS-CONTAMINADAS-UMA-REVISAO-BIBLIOGRAFICA.pdf). Acesso em: 01 mar. 2022.

TORRÃO, Rafael Barcelos de Almeida *et al.* **Cultivo do vetiver para controle da erosão**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia Circular Técnica, 31, 2011. Disponível: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/921075/1/CIT31CNPAB.pdf>. Acesso em 17 jan. 2022.

TRUONG, Paul; VAN, Tran Tan; PINNERS, Elise. **Sistema de Aplicação Vetiver**. Manual de Referência Técnica. 2.ed. Rede Internacional de Vetiver, 2008. Disponível em: [https://www.vetiver.org/BRA\\_Brazil\\_Port\\_o.pdf](https://www.vetiver.org/BRA_Brazil_Port_o.pdf). Acesso em 17 jan. 2022.

UNESCO – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, A CIÊNCIA E A CULTURA. Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento

dos Recursos Hídricos 2017. 2017. 12 p. Disponível em:  
[https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247552\\_por](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247552_por). Acesso em: 07 mar. 2022.

VYMAZAL, Jan. Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. **Science of the total environment**, v. 380, p. 48-65, 2007. Disponível em:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969706007212>. Acesso em: 19 fev. 2022.

WILLIAMS, Eric *et al.* Environmental, social, and economic implications of global reuse and recycling of personal computers. **Environmental science & technology**, v. 42, n. 17, p. 6446-6454, 2008. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es702255z>. Acesso em: 05 jan. 2022.

ZONTA, João Henrique *et al.* **Práticas de conservação de solo e água**. Campina Grande: Embrapa Algodão Circular Técnica, 133, 2012. Disponível em:  
<https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/928493/praticas-de-conservacao-de-solo-e-agua>. Acesso em: 17 fev. 2022.

**APÊNDICE A - Artigos escolhidos como base para a escrita do trabalho**

<b>TÍTULO</b>	<b>AUTOR</b>	<b>ANO</b>
Aplicação do processo de fitorremediação utilizando Vetiver ( <i>VETIVERIA ZIZANIOIDES</i> (L.) NASH.) na descontaminação de solos tropicais contaminados por chorume	Erica Aparecida dos Santos Thais Luane dos Santos Mariano Paulo Roxo Barja Maria Regina de Aquino-Silva	2020
Fitorremediação como solução para solos contaminados por metais pesados	Maria Alexandra Estrela Lúcia Helena Garofalo Chaves Larissa Novais Silva	2018
Influência da profundidade do meio suporte em <i>Wetlands</i> construídos de fluxo vertical ascendente plantados com capim vetiver	Claudir José Morais	2019
Sistema de aplicações vetiver Manual de referência técnica	Paul Truong Tran Van Tan e Elise Pinnars	2008
Capim Vetiver ( <i>Vetiveria zizanioides</i> ): Produção de mudas e uso no controle da erosão e na recuperação de áreas degradadas	Tiago de Andrade Chaves Aluísio Granato de Andrade	2013
Influência do meio suporte e da presença de vegetação no desempenho de filtros biológicos percoladores	Vinícius Ferreira Martins	2016
Desempenho e influência dos capins Tifton 85 ( <i>Cynodon sp.</i> ) e Vetiver ( <i>Chrysopogon zizanioides</i> ) no tratamento de esgoto sanitário em sistemas alagados construídos	Fernanda Lamede Ferreira De Jesus	2016

Fonte: elaborado pelo autor.

**APÊNDICE B – Continuação artigos escolhidos como base para a escrita do trabalho**

Tratamento de água residuária de bovinocultura de leite, utilizando sistema de alagado construído cultivado com capim vetiver	Antonio Carlos Farias de Melo	2017
Fitorremediação de águas contaminadas	Débora Luisa Silva Teixeira Prof. Dr. Luiz Tadeu da Silva Leon Balloni Gomes Luan Moreira Grilo Thaís dos Santos Moraes Prof. Msc. José Felipe da Silva Farias	2018
Capim vetiver ( <i>Chrysopogon zizanioides</i> ): uma alternativa para o Plantio direto na agricultura familiar	Matheus Messias de Oliveira Mateus de Leles Lima Fernando Ernesto Ucker Milton Goncalves da Silva Junior	2018
Potencial de remoção de cobre do solo por técnica de fitorremediação	Caio Cesar Andrade dos Santos	2019
Fitorremediação de solo contaminado por chumbo Utilizando espécies metalófitas	Aristides Costa e Queiroz	2020
Efeito do capim Vetiver e dos estilozantes nos parâmetros de resistência do solo ao cisalhamento	D. A. C. Gomes, G. M. C. S. Resende, I. E. S. Dias, P. L. T. Lima	2020

Fonte: elaborado pelo autor.