



GRUPO EDUCACIONAL FAVENI

LUIZ CARLOS FERNANDES

**FITORREMEDIAÇÃO DE SOLO OU SUBSTRATO
CONTAMINADO PELA AÇÃO DO HOMEM NO AMBIENTE**

MONGAGUÁ - SP

2022



LUIZ CARLOS FERNANDES

GRUPO EDUCACIONAL FAVENI

**FITORREMEDIAÇÃO DE SOLO OU SUBSTRATO
CONTAMINADO PELA AÇÃO DO HOMEM NO AMBIENTE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade Futura – Grupo Educacional Faveni, como requisito parcial para obtenção do título de especialista em Fertilização de Solos.

Orientador: Dsc. Ana Paula Rodrigues

MONGAGUÁ - SP

2022

TÍTULO DO TCC: FITORREMEDIAÇÃO DE SOLO OU SUBSTRATO CONTAMINADO PELA AÇÃO DO HOMEM NO AMBIENTE

Luiz Carlos Fernandes¹

¹Aluno do curso de especialização em Fertilização de Solos, Faculdade Futura, e-mail: prof.luizcarlos@hotmail.com

Declaro que sou autor¹ deste Trabalho de Conclusão de Curso. Declaro também que o mesmo foi por mim elaborado e integralmente redigido, não tendo sido copiado ou extraído, seja parcial ou integralmente, de forma ilícita de nenhuma fonte além daquelas públicas consultadas e corretamente referenciadas ao longo do trabalho ou daqueles cujos dados resultaram de investigações empíricas por mim realizadas para fins de produção deste trabalho.

Assim, declaro, demonstrando minha plena consciência dos seus efeitos civis, penais e administrativos, e assumindo total responsabilidade caso se configure o crime de plágio ou violação aos direitos autorais (conforme a 3ª Cláusula, § 4º, do Contrato de Prestação de Serviços).

RESUMO

O problema da pesquisa se concentra na pergunta: como remediar um substrato para horta ou solo contaminado no meio ambiente, em especial metais pesados?

Objetivo: levantamento bibliográfico com as principais pesquisas buscando evidências de plantas com a capacidade de remediar substrato para horticultura comunitária ou solo contaminado pela ação do homem no meio ambiente. **Método:** trata-se de uma pesquisa de natureza básica, com abordagem qualitativa, com objetivos exploratórios na busca de evidências científicas, com procedimento bibliográfico de busca na plataforma Google Acadêmico. **Resultado:** foram feitas as leituras dos artigos científicos e livros selecionados, pelo critério da inclusão, desenvolvendo a resposta ao problema da pesquisa. **Conclusão:** Os resultados indicam potencial positivo de *Talinum paniculatum* para fitorremediar metais pesados em áreas degradadas, mas novas pesquisas devem ser realizadas para aprofundar sobre a sua tolerância ao excesso de metais pesados.

PALAVRAS-CHAVE: Fitorremediação. Contaminação ambiental. Solo. Substrato. Metais pesados.

1 INTRODUÇÃO

Remediação é o tratamento de áreas contaminadas pela ação do homem no meio ambiente rural e urbano, como por exemplo: indústria extrativa, agropecuária com práticas antiecológicas entre outras. Esse tratamento é uma purificação ou destoxificação envolvendo a eliminação, a imobilização ou a redução dos contaminantes, nas águas subterrâneas, nos solos ou nos substratos para horticultura, para níveis seguros à manutenção da saúde do homem, dos animais, das plantas e do ecossistema. Uma das tecnologias de remediação é o uso de plantas e seus microrganismos associados, sendo denominada *fitorremediação* com vários tipos de técnicas. A origem etimológica do termo *fitorremediação* é *phyto* = planta e *remedium* = cura, restauração.

As técnicas de *fitorremediação* variam conforme o contaminante específico a ser remediado (eliminados, imobilizados ou reduzidos). Nesta pesquisa o foco será na área da agronomia envolvendo o solo e, em especial, os substratos para produção de horticultura comunitária e a *fitorremediação* de contaminantes do tipo químico inorgânicos ou metais pesados. As remediações pelas técnicas química e *biorremediação*, assim como o tipo químico inorgânico, categoria dos agrotóxicos, não serão abordadas.

Os procedimentos técnicos usados na *fitorremediação* de solos, encontrados nas pesquisas, podem ser aplicados em substratos para a horticultura. Esta pesquisa se concentrou na *fitorremediação* da espécie botânica *Talinum paniculatum*, da família *Talinaceae*, dentre muitas outras já pesquisadas.

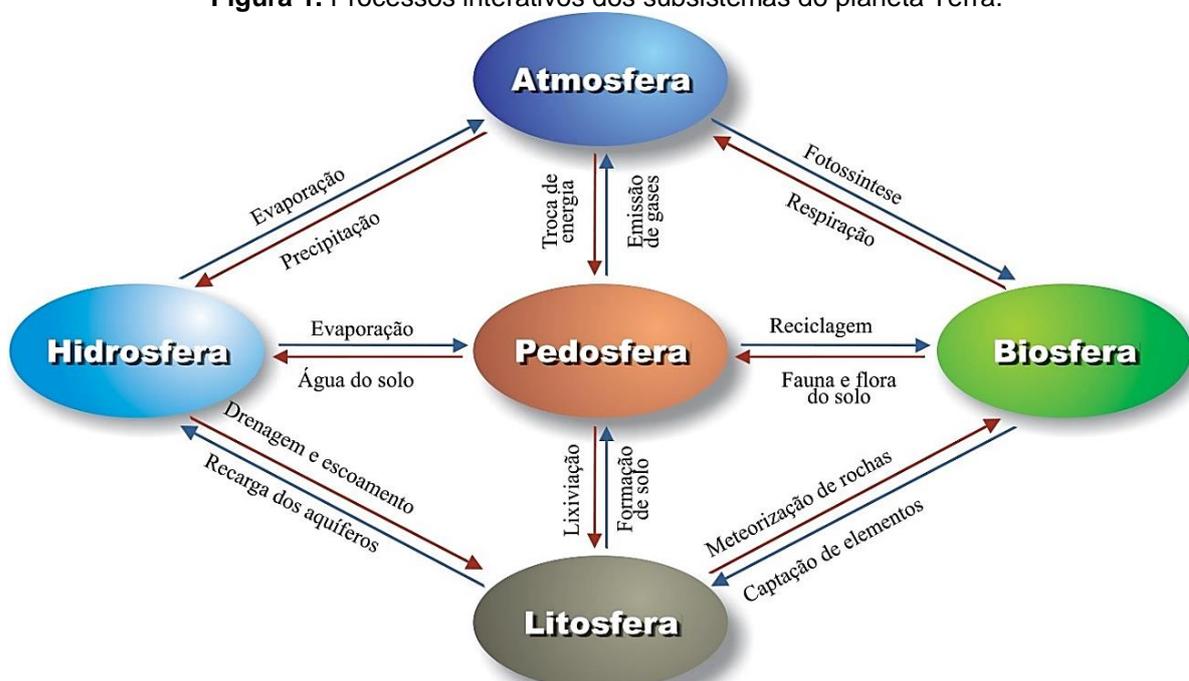
2 DESENVOLVIMENTO

Ocorrem fenômenos físicos, químicos e biológicos no solo (Pedosfera) que interagem influenciando na biodisponibilidade de nutrientes para as plantas. Os subsistemas interagem para a qualidade do sistema de vida no planeta (Figura 1): Pedosfera (solo), Hidrosfera (água), Atmosfera (ar), Biosfera (organismos vivos) e Litosfera (rochas). Essas inter-relações formam o ecossistema do nosso planeta.

Entende-se por *substrato*, e não o termo “terra”, uma composição de elementos produzida pelo ser humano para o desenvolvimento de organismos

(fertilização de plantas etc.) e *solo* ou Pedosfera é uma produção espontânea que ocorre na natureza por muitos séculos, tem várias camadas e horizontes até a rocha-mãe (Litosfera) e faz parte da crosta terrestre. A Pedosfera é resultado centenário da interface ou inter-relações dos subsistemas: Litosfera, Hidrosfera, Biosfera e Atmosfera (Figura 1) formando um complexo ecossistema da Terra (BRADY; WEIL, 2013, p. 11). As funções principais do substrato são o suporte mecânico e as condições de vida para as plantas (água, nutrientes etc.), enquanto que o solo tem muitas funções além de fornecer água e nutrientes para as raízes das plantas, tais como a infraestrutura de construções humanas, o habitat para organismos etc.

Figura 1. Processos interativos dos subsistemas do planeta Terra.



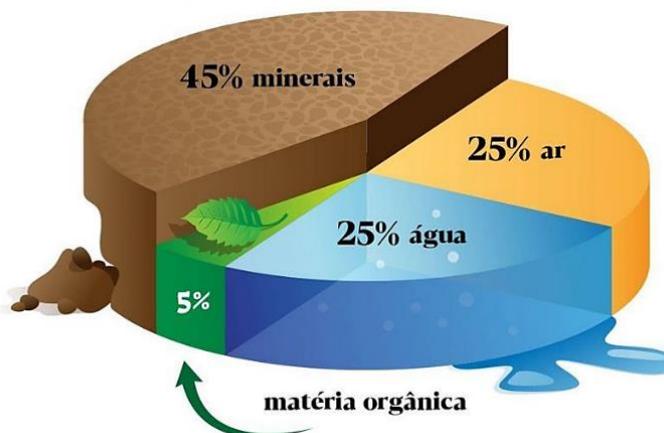
Fonte: PÉREZ; BREFIN; POLIDORO (2016, p. iii).

Esses subsistemas fazem parte da composição do solo e do bom substrato: 45% rocha (minerais), 25% ar, 25% água e 5% matéria orgânica (Figura 2).

As características essenciais de um bom *substrato*, composto produzido para fertilização das plantas, requer isenção de substâncias tóxicas (metais pesados, agrotóxicos etc.), plantas indesejadas na horticultura, organismos patogênicos, boa drenagem do excesso de água, baixa densidade, uniformidade na composição, proporção carbono/nitrogênio (C/N) 20/1 a 30/1 (material palhoso/material orgânico)

e adubação para fertilizar com macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes, CTC e Ph adequados (WENDLING; GATTO, 2012, p. 15-16).

Figura 2. Composição do solo na proporção ideal (adaptado de BRADY; WEIL, 2013, p. 17). Brady e Weil (2013) admitem uma variação de 20 a 25% no ar e na água (exemplo: 20% de ar e 30% da água etc.).



Fonte: <https://florestas.pt/wp-content/uploads/2021/08/grafico-galeria-solo-pele-planeta-1024x571.jpg>

Metal pesado é um termo que se refere a um grupo de metais e metaloides associados à poluição ambiental e toxidez para seres vivos em alta quantidade para os metais essenciais, tais como Co (Cobalto), Cu (Cobre), Mn (Manganês), Zn (Zinco) e os não-essenciais, tais como o Pb (Chumbo), Cd (Cádmio), Hg (Mercúrio), As (Arsênio), este último é um semimetal na tabela periódica dos elementos (MELO, ALLEONI, 2019, p.946). A diversidade de solos, que formam a Pedosfera do planeta, está relacionada às concentrações variadas de metais pesados naturais. A intervenção humana na natureza, como na agricultura através de fertilizantes, corretivos do solo e dos defensivos agrícolas: fungicidas, herbicidas, inseticidas, contribuem para o aumento anormal dos teores de metais pesados, além dos resíduos industriais, trazendo fitotoxidez e doenças para os seres vivos.

No planeta ocorrem muitos desastres ambientais provocados pela exploração da natureza pelo ser humano. No Brasil temos grandes desastres ambientais que ocorreram no quadrilátero ferrífero em Minas Gerais. Em 2015, com a mineradora Samarco em Mariana, o desastre se estendeu até o Rio Doce e o litoral do Espírito Santo contaminando com metais pesados. Segundo pesquisas de Otoniel Bandeira (2021, p. 19) várias instituições de pesquisa encontraram “bioacumulação de metais

na cadeia trófica marinha, além de elevadas concentrações de Fe, Mn, Pb, Cd, As e Cr". Em 2019 com a Vale em Brumadinho o desastre se estendeu até o Rio São Francisco, desde a região sudeste até a nordeste, contaminando a região com metais pesados. Várias técnicas de fitorremediação estão sendo estudadas nesses desastres ambientais.

Neste estudo escolhemos a planta metalófila (Figura 3) *Talinum Paniculatum* (beldroegão, major-gomes) com potencial para fitorremediar Cádmo, Chumbo, Manganês e Ferro, além de ser uma hortaliça PANC, Planta Alimentícia Não Convencional quando não é utilizada na fitorremediação. Conforme o pesquisador Pedro Ernesto dos Reis,

A espécie *T. paniculatum* possui infinitos benefícios para a saúde, mas também visa bons resultados para a recuperação de áreas degradadas como potencial espécie para fitoextração e rizofiltração devido à sua resistência à toxicidade por metais. Sua eficiência na remoção de Pb foi observada por (SOUZA *et al*, 2018), que cita o acúmulo de elementos-traço nos tecidos das raízes podendo acumular altas concentrações, devido aos mecanismos do sistema antioxidante enzimático e da síntese de prolina, além da maior espessura da epiderme radicular e aumento da eficiência dos fotossistemas que garantem tolerância à exposição ao metal pesado (REIS, 2020, p. 12).

Figura 3. Dimensões e várias partes da planta *Talinum Paniculatum* para identificação botânica.



Fonte: <https://fairdinkumseeds.com/products-page/ethnobotanical-or-medicinal-plants/jewels-of-opar-talinum-paniculatum-babies-breath-seeds/>

Mais fotos em: <http://www.unirio.br/ccbs/ibio/herbariohuni/talinum-paniculatum-jacq-gaertn>

As plantas metalófitas são espécies vegetais usadas para a fitorremediação de contaminantes do tipo inorgânico (Tabela 1), classificados como metais pesados, possuem boa tolerância e ainda se desenvolvem bem a elevados níveis de metais pesados (PEREIRA, 2022, p. 14). Existem três categorias de metalófitas: as *exclusoras* que acumulam em sua raiz os metais do substrato, as *hiperacumuladoras* em seus tecidos acima do solo e as *indicadoras* de metais. “A maioria das espécies vegetais possuem a capacidade de absorção, translocação, imobilização e/ou degradação de contaminantes” (CUNNINGHAM & OW, 1996 *apud* PEREIRA, 2022, p.14) favorecendo a descontaminação do meio ambiente.

Tabela 1. Relação das técnicas de fitorremediação e os tipos de contaminantes.

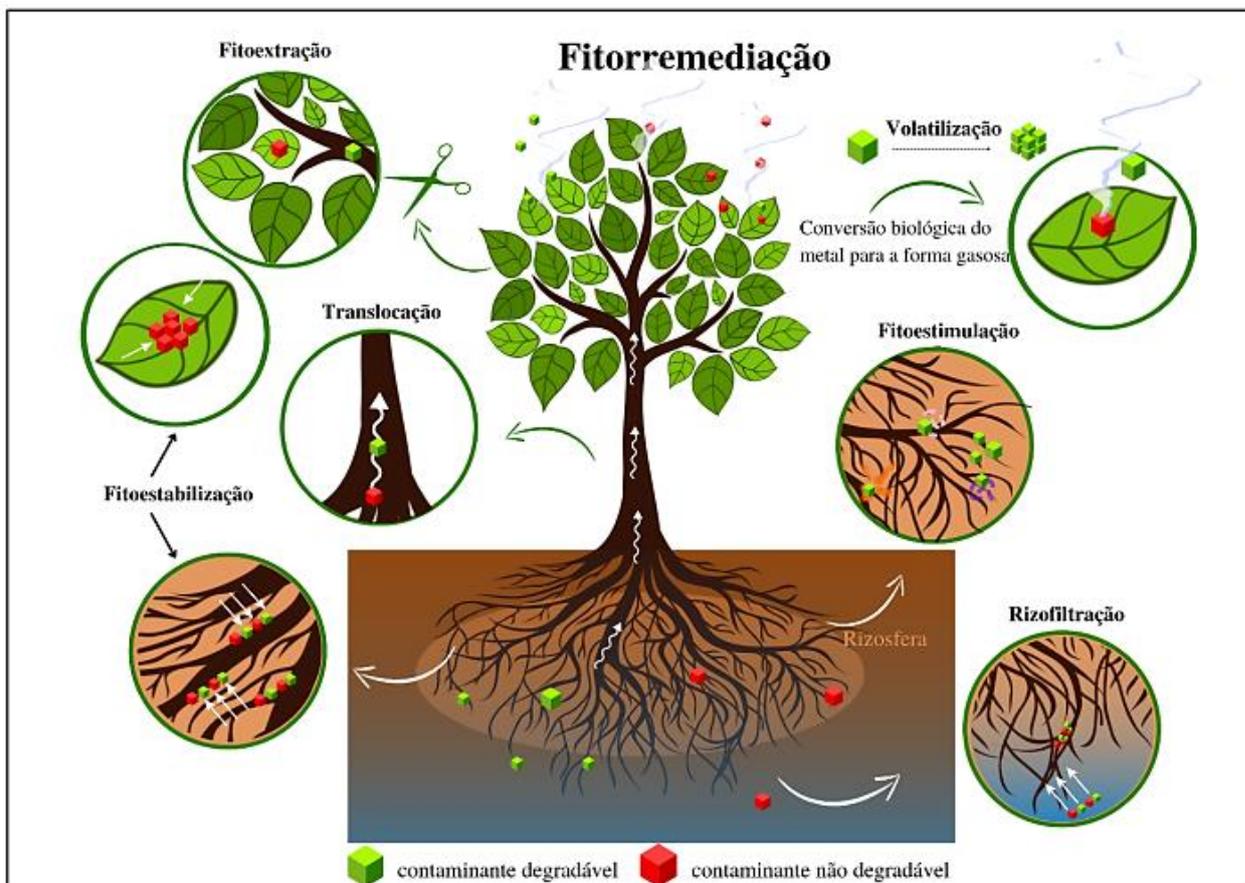
Técnica de Fitorremediação	Contaminante	
	Tipo	Exemplos
Fitodegradação	Orgânicos	Hidrocarbonetos, PCP, TCE e PCBs
Fitoestabilização	Inorgânicos	Metais (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb e Zn)
Fitoextração	Inorgânicos	Metais (Ag, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb e Zn) e Radionuclídeos (Sr, Cs, Pu e U)
Rizofiltração	Inorgânicos	Metais (Pb, Cd, Cu, Ni, Zn e Cr) e Radionuclídeos (U, Cs e Sr)
Fitovolatilização	Orgânicos	TCE
	Inorgânicos	Metais (Se e Hg)
Rizodegradação	Orgânicos	Hidrocarbonetos, nitroaromáticos, PCP, TCE, PCBs

Fonte: MEJÍA et al, 2014, p. 102.

A fitorremediação pode ocorrer por um ou combinação dos mecanismos (Figura 4): *Rizofiltração* pelo sistema radicular da planta por filtração, absorção, adsorção e estabilização do contaminante na rizosfera; *Fitoestimulação* pela biodegradação microbiana dos contaminantes na rizosfera; *Fitoextração* pelo hiperacúmulo dos metais no caule ou folhas onde são extraídas ou cortadas; *Fitoestabilização* pelo acúmulo e estabilização dos contaminantes na parte aérea da

planta reduzindo a mobilidade dos metais no solo e *Fitovolatilização* pela absorção e condução até as folhas com conversão do metal para a forma gasosa.

Figura 4. Classificação e resumo das técnicas de fitorremediação.



Fonte: Elaborado e adaptado por PEREIRA, 2022, p. 18.

Os parâmetros ou valores orientadores, para solos e águas subterrâneas, são concentrações de substâncias químicas obtidos através da literatura científica internacional que indicam a qualidade ambiental. Esses valores orientam ações de prevenção e controle da poluição para proteção da qualidade dos solos e das águas subterrâneas. Foram determinados: Valor de Referência de Qualidade (define solo limpo e a qualidade da água), Valor de Prevenção para o ecossistema e a saúde humana (limite tolerável da concentração de uma substância) e Valor de Intervenção ou faixa de valores que trazem riscos potenciais ao planeta e ao ser humano (CETESB, 2001; 2021; CONAMA, 2009; EMBRAPA, 2009; ESALQ-SOLOS, 2022). A interpretação da análise de solo, pelo agrônomo, deve seguir esses parâmetros.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os métodos da presente pesquisa são os procedimentos técnicos bibliográficos e análise da literatura, de natureza predominantemente básica, a abordagem é qualitativa, com objetivos exploratórios na busca de evidências científicas, com foco na literatura encontrada e divulgada neste artigo original.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram feitas as leituras dos artigos científicos e monografias selecionadas, pelo critério da inclusão dos termos “fitorremediação”, “metais pesados”, “contaminação ambiental” na plataforma do Google Acadêmico, desenvolvendo a resposta ao problema da pesquisa. A literatura era escassa, mas o desenvolvimento da pesquisa bibliográfica buscou analisar e estudar artigos científicos reconhecidos e atuais especialmente na área agronômica, além da botânica e química.

5 CONCLUSÃO

Os resultados da pesquisa, citada neste trabalho, indicam potencial positivo da planta metalófito *Talinum paniculatum* para fitorremediar metais pesados em áreas com solos degradados, podendo ser utilizada também em substratos na horticultura, mas novas pesquisas devem ser realizadas para aprofundar sobre a sua tolerância ao excesso de metais pesados.

6 REFERÊNCIAS

BANDEIRA, Otniel Alencar. **Estudo experimental da translocação, percolação e lixiviação dos metais presentes no rejeito de mineração: rompimento de barragem em Mariana-MG.** 2021. Tese (Doutorado em Enfermagem em Saúde Pública) - Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2021. <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/22/22133/tde-13052022-112714/publico/OtnielAlencaBandeira.pdf>. Acesso em: 06 dez. 2022.

BRADY, Nyle C.; WEIL, Ray R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos.** Tradução de: Igo Fernando Lepsch. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

CETESB. **Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo**. Dorothy C. P. Casarini *et al.* São Paulo: CETESB, 2001.

_____. **Decisão de diretoria nº 125, de 09 de dezembro de 2021**: dispõe sobre a aprovação da atualização da lista de valores orientadores para solo e água subterrânea. São Paulo, CETESB, 2021. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2021/12/DD-125-2021-E-Atualizacao-dos-Valores-Orientadores-paa-solo-e-aguas-subterraneas.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2022.

CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Nº 420, de 28 de dezembro de 2009**: Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Brasil: Ministério do Meio Ambiente, 2009.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. rev. Ampl. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

ESALQ-SOLOS. **Departamento de ciência do solo**: laboratório de análises ambientais. Piracicaba: ESALQ-USP, 2022 (relatório de ensaio de amostra).

MEJÍA, P. V. L.; ANDREOLI, F. de N.; ANDREOLI, C.; SERRAT, B. M. Metodologia para Seleção de Técnica de Fitorremediação em Áreas Contaminadas. **Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online)**, Rio de Janeiro, n. 31, p. 97–104, 2014. Disponível em: https://www.rbciamb.com.br/Publicacoes_RBCIAMB/article/view/263. Acesso em: 5 dez. 2022.

MELO, Vander de Freitas; ALLEONI, Luís Reynaldo Ferracciú (editores). **Química e mineralogia do solo**: conceitos básicos e aplicações. Viçosa-MG: SBCS, 2019.

PEREIRA, Alexandre Ramos. **Espécies de plantas nativas brasileiras com potencial de fitorremediação de metais: uma revisão de literatura**. 2022. 39 f. Monografia (Bacharel em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Ciências Agrárias, Uberlândia, 2022.

PÉREZ, Daniel Vidal; BREFIN, Maria de Lourdes Mendonça; POLIDORO, José Carlos. Solo, da origem da vida ao alicerce das civilizações: uso, manejo e gestão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** [online]. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2016, v. 51, n. 9. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/pab/a/ccj4byz7WScxx6PgQDXVVzJ/?format=pdf&lang=pt>

Acesso em: 02 fev. 2022.

REIS, Pedro Ernesto dos. **Potencial fitorremediador de Talinum Paniculatum na presença de Cádmo, Chumbo, Manganês e Ferro**. 2020. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal de Alfenas, Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, Alfenas-MG, 2020.

WENDLING, Ivar; GATTO, Alcides. **Substratos, adubação e irrigação na produção de mudas**. 2. ed. Viçosa-MG: Aprenda Fácil, 2012.