

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CÂMPUS UNIVERSITÁRIO DE SINOP
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS (ICAA)
CURSO ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL

**COMPOSTOS INORGÂNICOS COMO FERTILIZANTES:
UMA REVISÃO**

JAINÉ SIRTOLI RIBAS

SINOP
2023

JAINE SIRTOLI RIBAS

COMPOSTOS INORGÂNICOS COMO FERTILIZANTES: UMA REVISÃO

Orientador: Prof. Dr. Adilson Paulo Senhorin

Co-orientadora: Prof. Dra. Edjane Rocha dos Santos

Trabalho de Curso apresentado à Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT – Campus Universitário de Sinop, como parte das exigências para obtenção do Título de Engenheiro Agrícola e Ambiental.

SINOP

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

R482c Ribas, Jaine Sirtoli.

Compostos Inorgânicos como Fertilizantes: Uma Revisão [recurso eletrônico] / Jaine Sirtoli Ribas. -- Dados eletrônicos (1 arquivo : 32 f., il., pdf). -- 2023.

Orientador: Adilson Paulo Senhorin.

Coorientadora: Edjane Rocha dos Santos.

TCC (graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental) -
Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Sinop, 2023.

Modo de acesso: World Wide Web: <https://bdm.ufmt.br>.

Inclui bibliografia.

1. Agricultura. 2. compostos inorgânicos. 3. fertilizantes. 4. meio ambiente. I. Senhorin, Adilson Paulo, *orientador*. II. Santos, Edjane Rocha dos, *coorientador*. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE SINOP
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS
CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL
COMISSÃO DE TRABALHO DE CURSO



TERMO DE APROVAÇÃO DE TRABALHO DE CURSO

TÍTULO DO TRABALHO: Compostos Inorgânicos como Fertilizantes: Uma Revisão

ACADÊMICA: Jaine Sirtoli Ribas

ORIENTADOR: Prof. Dr. Adilson Paulo Sinhorin

CO-ORIENTADORA: Prof. Dra. Edjane Rocha dos Santos

Documento assinado digitalmente
 **JAINÉ SIRTOLI RIBAS**
Data: 09/10/2023 17:21:41-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Jaine Sirtoli Ribas
Acadêmico(a)

APROVADO:

Documento assinado digitalmente
 **ADILSON PAULO SINHORIN**
Data: 09/10/2023 15:56:19-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Adilson Paulo Sinhorin
Presidente da Banca

DATA DA DEFESA: 07 de outubro de 2023.

Dedico esse trabalho aos meus pais pilares da minha formação como ser humano, por sempre estarem ao meu lado, por me apoiar e fazer o possível para eu completar essa graduação, aos meus irmãos por sempre me ajudar e me ouvir, dedico também aos professores e colegas de laboratório que me ajudaram e tiraram tempo para tal, aos amigos que me apoiaram e me deram palavras de carinho quando precisei e principalmente a minha orientadora Professora Edjane Rocha dos Santos, por caminhar ao meu lado em toda essa jornada, além de toda paciência e carinho para me aconselhar sobre estudos, vida e trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO	1
ABSTRACT	2
1 INTRODUÇÃO	3
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	5
2.1 Agricultura	5
2.2 Produção de grãos	5
2.3 Fertilizantes.....	7
2.4 Compostos inorgânicos como possíveis fertilizantes	9
3 METODOLOGIA	16
4 CONCLUSÃO	17
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18

RESUMO

Com a necessidade de suprir a demanda global de alimentos, a agricultura foi se desenvolvendo a fim de aumentar a produção, e um dos recursos mais utilizados são os fertilizantes, com o intuito de aumentar a quantidade de nutrientes do solo e, conseqüentemente, obter um maior ganho de produtividade. Os fertilizantes podem ser orgânicos ou inorgânicos, onde os inorgânicos apresentam estruturas químicas conhecidas, facilitando a dosagem correta onde forem utilizados, além de aumentarem a velocidade de absorção de minerais pelas plantas. Porém, o uso incorreto dos fertilizantes, tais como o uso excessivo e a sua aplicação em época errônea e de forma inadequada, em local inadequado, pode ocasionar diversos problemas ambientais, como acidificação do solo, erosão, contaminação por substâncias tóxicas, perdas de nutrientes, de eficiência e biodiversidade. Assim, este trabalho apresenta estudos de levantamentos bibliográficos sobre compostos inorgânicos utilizados como fertilizantes.

Palavras-chave: Agricultura, compostos inorgânicos, fertilizantes, meio ambiente.

ABSTRACT

With the need to meet the global demand for food, agriculture has been developing in order to increase production, and one of the most used resources is fertilizers, with the aim of increasing the amount of nutrients in the soil and, consequently, obtain a greater gain in productivity. the fertilizers can be organic or inorganic, where the inorganic ones have known chemical structures, facilitating the correct dosage where they are used, in addition to increasing the speed of absorption of minerals by plants. However, the incorrect use of fertilizers, such as excessive use and application at the wrong time and in an inappropriate way, in an inappropriate place, it can cause several environmental problems, such as soil acidification, erosion, contamination by toxic substances, loss of nutrients, efficiency and biodiversity. Thus, this work presents studies of bibliographic surveys on compounds inorganic substances used as fertilizers.

Keywords: Agriculture, inorganic compounds, fertilizers, environment

1 INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta como uma das principais atividades econômicas a agricultura, a qual tem grande relevância para a economia e população brasileira, produzindo alimentos e diversos produtos primários utilizados por indústrias e comércio em todo o país, como também para exportações (ALEM; CAVALCANTI, 2005). A principal marca da agricultura atualmente é a formação dos complexos agrícolas, que são desenvolvidos em vários estados, como no Mato Grosso, que se destaca na produção de soja, considerada uma das principais culturas do Brasil, contribuindo diretamente com a participação do agronegócio na balança comercial do país (CONAB, 2022).

Diante da necessidade de atender toda a população por meio da produção de alimentos, muitos recursos são empregados, e entre eles, o uso de fertilizantes, que tem como principal objetivo na agricultura convencional aumentar o número de nutrientes no solo, adquirindo maiores ganhos de produtividade, porém, dados de pesquisas realizadas demonstram que 70% dos fertilizantes nitrogenados não provêm da produção brasileira, sendo importados, mesmo o país sendo um dos maiores consumidores da mercadoria (REETZ, 2017; OLIVEIRA; MALAGOLLI; CELLA, 2019).

Os fertilizantes podem ser orgânicos ou inorgânicos, sendo os fertilizantes orgânicos procurados em menor demanda comercial em relação aos inorgânicos, uma vez que os mesmos provêm e estão dispostos naturalmente nos solos, podendo ser de origem animal ou vegetal, onde não se conhece suas características químicas suficientemente para serem sintetizados em laboratórios. Diferentemente dos orgânicos, os fertilizantes inorgânicos, os quais de origem mineral, podem ser sintetizados, sendo possível a elaboração de sua estrutura química, bem como sua caracterização, podendo proporcionar desta maneira, um melhor aproveitamento e absorção dos nutrientes pelas plantas (REETZ, 2017). Dessa forma, os fertilizantes inorgânicos são caracterizados como compostos químicos que apresentam íons metálicos, não metais ou semimetais, sendo os mais usuais o magnésio, nitrogênio, fosfatos, potássio e enxofre. No mercado estão presentes alguns exemplos de fertilizantes inorgânicos, como o superfosfato simples, amônia (adubos nitrogenados), NPK (base para adubação que contém, em diferentes dosagens, produtos ricos em Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K) (REETZ, 2017).

Entretanto, algumas desvantagens e obstáculos estão presentes na utilização desses fertilizantes, como a deterioração do solo, diminuição das propriedades do solo, poluição da água e meio ambiente por meio dos minerais poluentes (POPs), como as dioxinas e os metais presentes em sua composição; bem como o desenvolvimento de resistência das pragas. Os fertilizantes orgânicos, mesmo sendo de origem natural podem ocasionar problemas ao meio ambiente, como por exemplo na circunstância da utilização de estrume de gado de forma equivocada ou em

excesso, podem prejudicar o solo e ocasionar a perda de desempenho das culturas, tornando-se assim o principal agravante na liberação exagerada de fósforo e metais tóxicos para o solo e, conseqüentemente, para a planta (CARSON, 2002; SONG et al. 2020).

Por isso, neste trabalho tem-se a preocupação em verificar estudos da literatura sobre compostos inorgânicos que possam diminuir os danos ambientais e sociais, visto que grandes são as vantagens de se utilizar fertilizantes inorgânicos, pelo fato dos mesmos conterem diversos nutrientes que podem ser utilizados pelas plantas. Portanto, visando o crescente aumento da produção de grãos no Brasil, o objetivo deste trabalho é investigar e estudar as revisões bibliográficas que citem compostos inorgânicos como potenciais fertilizantes para produção de grãos, tais como a soja, e que não venham acarretar danos ao meio ambiente.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Agricultura

A agricultura tem uma importante função etnocultural, um exemplo é como diferentes povos manejam as culturas. Como é o caso do povo Dong, que cultiva o arroz glutinoso e foram responsáveis por domesticar a variedade de arroz chamada Kam Sweet Rice (KSR) (LIU *et al.*, 2022). O desenvolvimento da agricultura aconteceu no ano de 1960 com a chamada “Revolução Verde”, a fim de suprir a demanda global de alimentos para diminuir a fome no mundo, na qual foi facilitada a utilização de sementes, insumos agrícolas, como fertilizantes e agrotóxicos, e de implementos agrícolas. E desde então, o Brasil vem expandindo, de forma exacerbada, seu mercado de defensivosquímicos, sendo considerado o país que mais utiliza agrotóxicos no mundo desde o ano de 2008 (CARNEIRO *et al.*, 2012). Toda essa mecanização e inovação na agricultura tomou o espaço da agricultura familiar que foi por muito tempo o maior meio de produção de alimentos, e esse avanço levanta questões ambientais importantes, pois os defensivos químicos podem trazer diversas desvantagens à saúde humana, além de ocasionar contaminação do meio ambiente. Assim, desenvolveu-se o termo “Agroecologia”, que tem como princípio elaborar uma agricultura sustentável, utilizando recursos ecológicos e sustentáveis, visando o bem estar dos seres humanos e do meio ambiente (CAPORAL; COSTABEBER, 2004). Esta ciência possibilita o conhecimento dos processos necessários para uma agricultura resistente, com altos números de produção e economicamente acessível (GLEISSMAN, 2009).

Nesse viés, surge a agricultura de precisão, que utiliza diversas tecnologias, sistemas e maquinários para aprimorar as produções, ponderando as variáveis durante os processos agrícolas, a qual proporciona uma mais adequada distribuição de fertilizantes pelos diferentes solos. Foi possível também, através da modernização da agricultura, obter-se maior produtividade e facilidade nos diferentes setores de trabalhos no campo, dispensando muitos trabalhos braçais (GLEISSMAN, 2009).

2.2 Produção de grãos

A soja é um dos grãos mais produzidos no mundo, sendo a principal fonte de renda do Brasil de muitos produtores rurais, estando em segundo lugar no ranking de produtos mais exportados há cerca de 22 anos (CONAB, 2022). Além disso, a soja atualmente representa um dos alimentos mais versáteis, saudáveis e bem utilizados (CERETTA *et al.*, 2005). Pela alimentação, ela proporciona nutrição, sendo rica em proteínas, isoflavonas, saponinas, fitatos, inibidores de protease, entre outros, além de diminuir os riscos de contração de doenças crônicas (GLEISSMAN, 2009). Ademais, o grão apresenta uma alta versatilidade comercial, podendo ser aplicado na produção de alimentos, fármacos, sabão, resinas, tintas, cosméticos, entre outros (PAULETTI; SEGANFREDO, 1999).

Essa superprodução provém desde o avanço da agricultura, sendo o manejo adequado o principal fundamento da produção. A adubação também é uma técnica muito aplicada a fim de elevar a produção e as rendas, dentro dos setores de cultivo (RODRIGUES *et al.*, 2010). Em relação aos nutrientes necessários para o desenvolvimento de culturas de soja, tem-se observado que o uso de fertilizantes contendo NPK não é suficiente para o suprimento das necessidades fisiológicas de tal planta, levando ao crescimento do mercado de micronutrientes (RODRIGUES *et al.*, 2010). No entanto, o uso dos micronutrientes depende da região que são realizadas as produções, pois podem variar por diversos fatores como solo, clima, culturas e manejo dos processos realizados.

Outrossim, o Brasil também é um grande produtor de milho e este possui um grande valor no mercado interno, aumentando-se atualmente o número de exportações e se tornando a segunda maior cultura no Brasil, atrás apenas da soja. Sendo um dos cereais mais produzidos no mundo, ele apresenta muitas capacidades variadas, como adaptação a diferentes climas e solos, e variações de valores nutricionais, podendo ser utilizado para a alimentação humana e animal, promovendo renda à uma grande população (COSER, 2010). Assim, o milho apresenta grande capacidade produtiva, sendo utilizado em diversas áreas, como na geração de combustíveis (o etanol) ou nas pesquisas genéticas, para melhorar sua adaptação e produção, levando em consideração pragas e mudanças climáticas. Além do melhoramento genético, tem-se diversas outras evoluções tecnológicas para aumentar ainda mais a produção dessa cultura, como as modificações de muitas práticas agrícolas, tipo a revolução verde (STRIEDER, 2006).

Percebe-se ainda, observando a trajetória de produção do milho, que para a obtenção de altas produtividades, tal espécie de grão passou por muitas mudanças tecnológicas e hoje encontram-se disponíveis diferentes cultivares de milho, e a escolha correta de cultivar, é crucial para o melhor desempenho da cultura. Isso está altamente alinhado com sua forma de comportar-se frente às adubações variáveis e às pragas. Para se obter grandes números de produção de milho, também é necessária a utilização de várias técnicas e procedimentos, como por exemplo, correção e fertilização correta para o solo, plantio direto, manejo correto, cuidado com as doenças e as pragas, e seleção correta das sementes (EICHOLZ *et al.*, 2016). O milho também é considerado uma das espécies com maior investimento no setor da tecnologia, onde os cultivares começaram a ser selecionados principalmente para responder a essas tecnologias (EICHOLZ *et al.*, 2016).

Outra cultura que vem apresentando um grande crescimento no Brasil é o algodão, desde os anos 2000, onde o estado de Mato Grosso se tornou um grande representante dessa cultura no país e posicionou o Brasil em quarto lugar no ranking mundial de produção. O algodão faz parte de muitos mercados, mas principalmente da indústria têxtil, também podendo ser empregado em produções de óleos comestíveis, biodiesel, misturas de rações, adubos, entre muitos outros (BELTRÃO; AZEVEDO, 2008; CONAB, 2022).

Entretanto, em relação à morfologia de sua planta, a mesma apresenta um crescimento impreciso e complicado (BELTRÃO; AZEVEDO, 2008), além de apresentar ciclos inconsistentes, podendo ser precoces ou tardios; bem como pelo fato de seu crescimento estar muito interligado ao nitrogênio, sendo necessária a utilização de adubos nitrogenados para eficientes produções (MARUR;RUANO, 2001).

2.3 Fertilizantes

A adubação orgânica é uma opção mais barata e bastante eficaz no quesito rentabilidade, além de melhorar a estrutura física, química e biológica do solo, quando comparados a tratamentos minerais. Em espécies como a alface por exemplo, onde destacam-se os fertilizantes orgânicos por possuírem menor custo em relação ao mineral, e também serem mais efetivos no crescimento e desenvolvimento da planta. Os fertilizantes orgânicos podem ainda ser produzidos na propriedade onde a cultura será aplicada, um exemplo disso é a fertirrigação para cana-de-açúcar, que se pode utilizar do produto de esterqueiras ou biodigestores para aplicação como fertilizante (NARESSI- SANTOS *et al.*, 2022).

Diversos são os mecanismos de fertilização orgânica existentes, e um deles é a biológica, onde faz-se o uso de bactérias para solubilizar micronutrientes como o zinco (Zn), necessário para o crescimento ideal das plantas. Um exemplo é a cepa ZSB13 de *Pseudomonas* que consegue efetivamente solubilizar o Zn insolúvel na água de maneira que a planta possa utilizar esse micronutriente, podendo ainda atuar como uma forma de substituir fertilizantes químicos de Zn de maneira a evitar a contaminação do solo e da água por esses fertilizantes (REHMAN *et al.*, 2021).

Outra vantagem em se utilizar fertilizantes de caráter orgânico são os benefícios trazidos ao solo, pois os compostos aumentam o teor de matéria orgânica, bem como auxiliam na retenção e infiltração de água no solo, melhorando a estabilização das plantas, assim como as trocas catiônicas por elas exercidas (JOUQUET *et al.*, 2011; KRAMER *et al.*, 2002), além de diminuir os custos de produção, pois sabe-se que os fertilizantes contendo base mineral apresentam maior custo de produção em relação aos orgânicos, como também evitam a poluição ambiental (MIYAZAWA; BARBOSA, 2015).

Quando se discute a produção de alimentos em escala global, o uso de fertilizante é indispensável, pois este produto é utilizado a fim de ajudar na eficiência do solo, aumentando os nutrientes disponíveis para a cultura e, conseqüentemente a produtividade, entretanto, deve-se sempre considerar o planejamento das quantidades fundamentais de cada nutriente previamente a ser empregado (LIU *et al.*, 2019). Além de proporcionarem um melhor desenvolvimento das plantas e favorecerem sua produtividade, os fertilizantes também apresentam a capacidade de remoção de metais pesados como chumbo e arsênio dos solos (LIU *et al.*, 2017).

Segundo dados, o Brasil é o quarto maior consumidor de fertilizantes no mundo

(ISHERWOOD, 2000). Os fertilizantes orgânicos produzidos no país não são tão eficientes quanto os minerais, e por isso não conseguem atender a demanda, conseqüentemente a importação dos fertilizantes mineiras torna-se quase que obrigatória, fator que prova que os fertilizantes minerais se caracterizam atualmente como os insumos de maior contribuição para o aumento da produção brasileira. Logo, devido à alta demanda, a produção interna de fertilizantes minerais não supre a necessidade de consumo por parte dos produtores agrícolas, sendo necessárias grandes importações de tais substâncias, como por exemplo de 70% de nitrogênio (N), 50% de fósforo (P_2O_5) e 90% de potássio (K_2O) (REETZ, 2017).

Fertilizantes inorgânicos, por terem suas estruturas químicas conhecidas, facilitam que a cultura na qual são aplicados receba a dosagem correta de cada nutriente, além de aumentarem a velocidade de absorção de minerais pela planta. Um dos fertilizantes inorgânicos atualmente usados é o fosfogesso (PG), o principal subproduto do ácido fosfórico que é produzido pelo ataque do ácido sulfúrico das rochas fosfáticas, por meio de um processo úmido. Esse subproduto, que contém cerca de 2,0% de ácido fosfórico, é utilizado como fertilizante de baixo custo (GASSER *et al.*, 2022).

Ademais, vê-se que os fertilizantes inorgânicos podem ser sintetizados de diversas maneiras, até mesmo a partir de recursos tóxicos como o cromo, que é produzido na indústria do couro e quando hidrolisado possui potencial de atuar como fertilizante em campo, podendo disponibilizar nitrogênio orgânico para a cultura. Contudo, ainda se faz necessária a análise da biotoxicidade do produto, posto que quando aplicado em altas concentrações pode prejudicar o meio ambiente e contaminar o produto final (ZHAO *et al.*, 2022).

Dessa forma, os fertilizantes também podem ser perigosos e muito poluentes, mas a problemática se dá principalmente pelo manuseio incorreto dos materiais, trazendo prejuízos aos produtores e às indústrias, como também ao solo e aos consumidores que consomem os produtos (HOBEN *et al.*, 2011). Além disso, um planejamento mal elaborado referente às quantidades de nutrientes necessários para as culturas, podem contribuir para aplicações incorretas de fertilizantes, causando prejuízos ao solo e à água, acarretando desastres ambientais que podem trazer danos à saúde humana (LIU *et al.*, 2019). Quando se discute a temática dos fertilizantes não

se consegue evitar a ideia de que estes podem causar severos danos ao meio ambiente, principalmente quando são mal utilizados (HOBEN *et al.*, 2011) e, com o intuito de evitar tais desastres, normas de segurança para o manuseio e utilização consciente são implementadas (LIU *et al.*, 2019).

Para resolver esse problema, pesquisadores vêm estudando a possibilidade de usar complexos metálicos como fertilizantes, pois estudos mostram que quando bem utilizados, os complexos metálicos podem melhorar a biodisponibilidade do solo (SHCHERBAK; MILLAR; ROBERTSON, 2014). Além do mais, a utilização de complexos metálicos como fertilizantes agrícolas também seria benéfica uma vez que tais substâncias são fortes candidatos para substituírem o uso de fertilizantes à base de nitrogênio, sendo esses, fontes de óxido nitroso (N_2O), e é visto na literatura que quanto menor a utilização de fertilizantes nitrogenados, menor é a emissão de N_2O (HOBEN *et al.*, 2011; SHCHERBAK; MILLAR; ROBERTSON, 2014).

2.4 Compostos inorgânicos como possíveis fertilizantes

Viu-se a importância do uso de fertilizantes inorgânicos em diferentes cultivos, como milho, grão-de-bico, dentre outros, (ERRO; ZAMARREÑO; GARCÍA-MINA, 2010), sendo esses empregados em grandes proporções na agricultura. Vários estudos demonstraram a eficiência de certos sais inorgânicos como transportadores de nutrientes, um dos exemplos é um fosfato de ferro que se mostrou eficaz na correção da clorose férrica (ROSADO *et al.*, 2002).

As pesquisas científicas no segmento agrícola têm sido cada vez mais desenvolvidas para que a tecnologia de produção alimentícia e a qualidade do solo em que tais alimentos são produzidos, seja ainda mais aprimorada. Nesse viés, com o intuito de contribuir para a limpeza de grandes locais contaminados, surgem as NZVI, que são nanopartículas de ferro-zero valente (NZVI) e que, de acordo com Manfron *et al.* (2020), podem ser empregadas na remediação de solos, bem como em águas subterrâneas afetadas por poluentes. Conforme Sacca *et al.* (2014) e Zhao *et al.* (2016), a remediação por via de nanopartículas pode ser aplicada para a remoção de diversas classes de contaminantes orgânicos que possuam átomos de cloro a eles unidos (organoclorados), bem como em solventes orgânicos clorados e bifenilos policlorados.

Estudos realizados por Hidalgo *et al.* (2022) onde avaliou-se a consequência da adição de nanopartículas de ferro-zero valente e os efeitos orgânicos provocados na rizorremediação. O solo onde os testes foram realizados encontrava-se contaminado com o metal zinco (2500 mg kg^{-1}) e lindano ($C_6H_6Cl_6$) (100 mg^{-1}), e as análises da saúde do solo e sua recuperação foram realizadas através de observações dos valores exibidos por distintos indicadores microbianos presentes no solo em questão, sendo estes, não afetados de maneira negativa pelas NZVI. O resultado da

pesquisa demonstrou que os compostos inorgânicos, NZVI, reduziram eficientemente a concentração do contaminante lindano (51%) e o resultado foi ainda mais expressivo nos solos contaminados com zinco, onde a redução variou de 95% a 99%. Logo, pode-se considerar a adição de nanopartículas de ferro-zero valente como um potencial método de melhoria de produtividade agrícola, tendo em vista que reduz expressivamente a concentração de determinados contaminantes no solo, aumentando, portanto, a saúde do mesmo e, conseqüentemente, contribui para o desenvolvimento da cultura.

Ademais, outro método inorgânico que se destaca na aplicação de tratamentos de solos é a lixiviação hidrotérmica KOH, responsável por tratar a chamada “lama vermelha”, resíduos solidificados produzidos através do preparo do óxido de alumínio e que, consoante a Ting-Na *et al.* (2022) são responsáveis atualmente por uma vasta poluição ambiental, entretanto, segundo Nikbin *et al.* (2018), métodos tem sido explorados para que a transformação de tal lama em um recurso reutilizável para o solo seja possível, entre outras aplicações diversas, como a produção de materiais do segmento de construção (WANG *et al.*, 2021).

No estudo de Ting-Na *et al.* (2022) propõe-se um método de produção de um fertilizante inorgânico que possui como base os metais potássio e silício, através da lixiviação hidrotérmica de KOH, que consiste na remoção do sódio (Na) presente no resíduo e, simultaneamente, obter-se um fertilizante de base mineral contendo propriedades inorgânicas muito benéficas ao solo, bem como às culturas, posto que é descrito por Ting-Na *et al.* (2022) que o potássio (K) eleva a resistência das mesmas a variações climáticas, bem como a doenças e pragas. Além disso, consoante a Muthusarayanan *et al.* (2018), a produção e uso de um fertilizante composto por mais de um elemento (K e Si) é relevante, posto que aumenta a qualidade e rendimento das culturas. Ademais, ainda conforme Ting-Na *et al.* (2022), o método atende as exigências realizadas pelo mercado de fertilizantes inorgânicos e possui alto potencial frente ao uso agrícola, sendo uma excelente alternativa para reutilização da lama vermelha, além de contribuir para a saúde do solo e meio ambiente.

Estudos sobre a utilização de nanopartículas como potenciais fertilizantes agrícolas, demonstraram outro composto inorgânico, o óxido de cobre, sendo essas chamadas de CuO NPs, e que foram aplicadas em culturas de *Triticum aestivum* L. (IBRAHIM *et al.*, 2022). Nos resultados do estudo tornou-se evidente que a germinabilidade das sementes foi afetada após a adição das CuO NPs, e que apenas um total de $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ do composto poderia ser empregado com sucesso para a melhoria da germinação de sementes de trigo, sendo tal dado calculado através do índice de vigor de sementes, que segundo Filho, Kikuti e Lima (2009), caracteriza-se como um teste que avalia o desempenho de diferentes tipos e lotes de sementes expostas a distintas condições. Além disso, verificou-se a capacidade de dissolução do composto inorgânico no tecido vegetal da planta, sugerindo que o mesmo é bem assimilado pelo vegetal; bem como a adição da espécie inorgânica

promoveu a formação de clorofila $0,5 \text{ mg L}^{-1}$, indicando, segundo os autores, que a utilização das nanopartículas de óxido de cobre como um fertilizante seria capaz de reduzir em 80% o uso dos fertilizantes tradicionais que estão disponíveis no mercado agrícola na atualidade. Portanto, percebe-se que a utilização de nano-CuO é benéfico para a germinação das sementes de determinadas culturas, além de apresentar potencial benefício para o crescimento de vegetais, sugerindo ser um excelente fertilizante.

Ainda é visto na literatura, Erro *et al.* (2007), estudo que propõe uma estratégia que consiste em desenvolver fertilizantes específicos com padrões de liberação de nutrientes dependentes da atividade da planta na rizosfera, este tipo de fertilizante é denominado “fertilizante controlado pela rizosfera” (fertilizante RCF), o qual é formado de uma matriz organomineral composta por metal, tais como Mg, Ca, Zn, Fe, dentre outros, ligados aos fosfatos húmicos. A presença desta matriz modifica o padrão de liberação de nutrientes do fertilizante (ERRO *et al.*, 2007). Este estudo mostrou a eficiência desses compostos em retardar a taxa de liberação de nutrientes do fertilizante RCF, principalmente com relação ao P e N. Demonstrou também como essas propriedades da matriz se refletiram na redução significativa tanto na volatilização de amônia quanto na lixiviação de N em um sistema de vasos composto por plantas de trigo cultivadas em solo calcário e fertilizadas com fertilizante RCF. Portanto esses estudos mostram a capacidade da matriz RCF (MHP) de afetar significativamente a taxa de liberação dos nutrientes contidos no fertilizante RCF-NPK na água, principalmente no caso de N e P (ERRO *et al.*, 2007).

Além dos compostos inorgânicos citados acima, existem diversas outras classes desses compostos, os quais possuem cada um deles composições químicas características, e dentre essas existe uma que está em crescente ascensão: a dos complexos metálicos, que são formados por íons metálicos coordenados a moléculas e/ou compostos orgânicos (COELHO, 2015), esses são utilizados em diversas áreas, como na produção de fertilizantes e agrotóxicos no geral, e seu uso para tal campo deve-se a razão de muitos complexos metálicos serem facilmente absorvidos por sistemas vivos, como as plantas. Porém, uma das maiores problemáticas relacionadas aos complexos de metais é a possibilidade dos mesmos serem lixiviados no perfil do solo, representando um risco real de contaminação das águas subterrâneas, sendo seu uso cauteloso em relação à quantidade utilizada (URRUTIA *et al.*, 2013; 2014).

As plantas utilizam o fósforo (P) disponível em solução no solo, este composto é de suma importância para a nutrição da cultura e produção em geral da lavoura, para suprir a demanda por esse nutriente temos por exemplo os fertilizantes minerais fosfatados, como fonte de P. Porém, uma grande controvérsia na utilização desses tipos de fertilizantes é sua alta instabilidade em relação aos solos além de alterar o pH dos mesmos, levando a uma baixa taxa de sucesso e eficiência. Assim, diferentes medidas vêm sendo estudadas para aumentar essa taxa de eficácia, como a associação de matéria orgânica, juntamente com os conhecidos fertilizantes fosfatados,

procurando melhorar os resultados de produção, porém, em relação a essa medida, é visto que a dosagem necessária para o efeito desejado é muito alta, sendo inviável a utilização (CHEN; NOBILI; AVIAD, 2004). Assim, é visto que os efeitos positivos causados pelos aditivos orgânicos se devem à presença de substâncias húmicas nos compostos (CHEN; NOBILI; AVIAD, 2004; URRUTIA *et al.*, 2014).

Portanto, viu-se a necessidade de realizar novas pesquisas e estudos a fim de descobrir compostos que potencializem esses fertilizantes, como no caso, a realização de sínteses e caracterizações de complexos húmico-metal-fosfato. O complexo de estrutura conforme demonstrada na Figura 1, é dito como o complexo húmico-Al ou Complexo de fosfato de Fe, e esses mesmos compostos são caracterizados pela alta estabilidade e solubilidade nos solos, proporcionando uma diminuição da permanência dos fosfatos e aumento do crescimento das plantas e na absorção do composto fosfato. Assim, conforme pesquisas apresentadas (URRUTIA *et al.*, 2014), os fertilizantes fosfatados com complexos metalfosfato húmicos foram muito benéficos para o crescimento e absorção de P nas plantas, se comparado a fertilizantes da mesma classe já utilizados e vendidos no mercado (URRUTIA *et al.*, 2014).

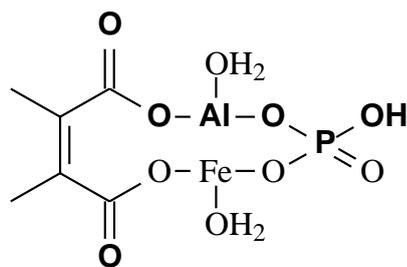


Figura 1 – Complexo húmico-Al ou Complexo de fosfato de Fe. (Fonte: baseada em Urrutia *et al.*(2014) e Gerke *et al.* (1995).)

Outros estudos também são apresentados na literatura, pois através dos ácidos húmicos o fosfato pode ser complexado por pontes de metal estável (PMHA). Três outros complexos metálicos foram sintetizados e por meio de pesquisas e testes, verificou-se a eficácia dos mesmos, que contém estruturas mostradas nas Figuras 2, 3 e 4. Os complexos mostraram-se estáveis em solução aquosa, além de terem apresentado uma menor fixação de P no solo e a liberação de P das pontes de metal estável (PMHA) na presença de um composto de resina aniônica. Além disso, pode-se concluir que os três complexos se apresentaram como potenciais fertilizantes, tendo uma grande eficácia ao se utilizar para adubações em diferentes solos e cultivos, como os de grande fixação de P (URRUTIA *et al.*, 2013).

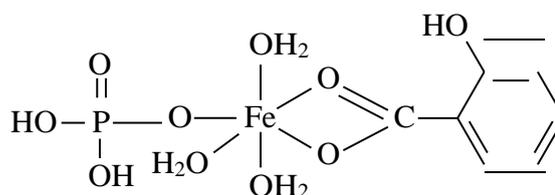


Figura 2 – Complexo fosfato-metal-húmico PFeHA. (Fonte: baseada em Urrutia *et al.* (2013).)

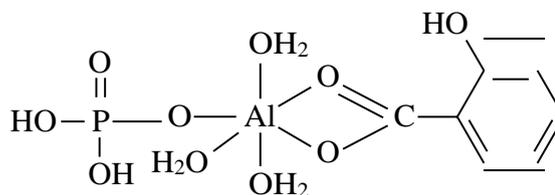


Figura 3 – Complexo fosfato-metal-húmicos PAIHA. (Fonte: baseada em Urrutia *et al.* (2013).)

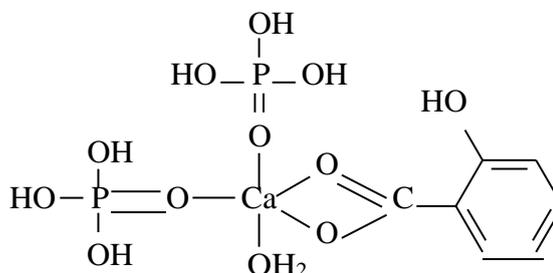


Figura 4 – Complexo fosfato-metal-húmico PCaHA. (Fonte: baseada em Urrutia *et al.* (2013).)

Nesse viés, surgem os compostos quelatos, que são empregados na formulação dos fertilizantes, aumentando o êxito de ação dos produtos, seu aproveitamento e proteção, contra diversas reações químicas que podem ser observadas nas plantas e solo. Dentre esses compostos, destacam-se os complexos contendo íons de cobre, que tem atraído o foco de muitas pesquisas, devido a sua importância para as plantas (LÓPEZ-RAYO *et al.*, 2011). Outro exemplo de um composto que atua como agente quelante é o EDTA (do inglês Ethylenediamine tetraacetic acid) ou ácido etilendiamino tetra-acético, que pode ser utilizado em tratamento endodôntico, e também pode ser utilizado para dissolver calcário apresentando funções quelantes e capacidade de sequestrar íons de cálcio (Ca^{2+}) e Ferro (Fe^{3+}). Além de função como fertilizante, o EDTA possui aplicação no segmentomédico, posto que possui atividades anticoagulantes; bem como é usado para controle de qualidade de amostras de água e para a realização de limpeza do solo, favorecendo a não infiltração de metais pesados (MOHAMMADI; SHALAVI; JAFARZADEH, 2013).

Ademais, mais um exemplo a ser ressaltado e que se destaca no campo de fertilizantes contendo metais, são os complexos de diferentes íons metálicos coordenados aos lignosulfonatos, posto que apresentam a característica de serem biodegradáveis. Observou-se que

durante a formação de tais complexos, as propriedades benéficas exibidas pelos Lignosulfonatos (LS) foram potencializadas após a coordenação com metais, demonstrando um mais proveitoso fornecimento de nutrientes para as plantas e aumentando a estabilidade do composto, em relação ao lignosulfonato em sua forma livre anteriormente à complexação, sendo a melhor atividade observada quando coordenou-se o ligante a íons Ferro (II) (ISLAS-VALDEZ *et al.* 2020).

Outras substâncias húmicas (LN) solúveis em água, também podem ser utilizadas como agentes complexantes na formação de fertilizantes para suprir a deficiência de micronutrientes das plantas. Para a formação do complexo utilizando íons de ferro, observa-se que Fe (II) e Fe (III) são mais adequados, onde o complexo contendo Fe (II) demonstrou ser mais eficiente ao ser utilizado em sistemas hidropônicos, ou seja, quando o cultivo foi realizado diretamente na água. Já os complexos utilizando íons Fe (III) apresentaram-se mais eficientes quando aplicados em solos ricos em cálcio (URRUTIA *et al.*, 2014; KOVÁCS *et al.*, 2013; LÓPEZ-RAYO *et al.*, 2011).

Giovannini *et al.* (2013) estudou dois superfosfatos orgânicos complexados (CSPs) (ácido húmico (AH) complexado ao monofosfato de cálcio), com diferentes concentrações de AH, adicionados a um solo calcário em dose agrônômica, com a finalidade de verificar se os CSPs são capazes de manter o fósforo (P) na forma solúvel por mais tempo que o fertilizante superfosfato. Então constatou-se que o CSP poderia influenciar positivamente a biomassa microbiana do solo e as atividades microbiológicas do solo. Os superfosfatos orgânicos complexados foram capazes de manter grande parte do P na forma solúvel em diferentes condições de água do solo. Em particular, o CSP com maior teor de C orgânico foi o produto mais eficaz, capaz de manter, de forma disponível, os 73% do P inicialmente adicionado ao final do experimento.

É descrito também na literatura que a utilização de uma cana-gigante (do inglês “*giant cane*, *Arundo donax* L.) modificada por fertilizantes com base metálica, para retirar metais pesados de uma área degradada, mostrou-se muito efetivo para a remoção de cádmio (Cd) do solo, que foi diminuído em 25%, removendo também outros metais pesados como chumbo (Pb) e Arsênio (As), mostrando a efetividade deste método para a recuperação de áreas degradadas por mal uso industrial ou agrícola (LIU *et al.*, 2017).

Estudos da complexação da molécula nitrito (NO_2^-) a íons metálicos vêm sendo desenvolvidos, sendo esta uma molécula capaz de fixar o nitrogênio pela divisão do dinitrogênio (N_2) na transferência de elétrons ou funcionalização de nitrito, para a obtenção de fertilizantes nitrogenados, evitando a utilização do método Haber-Bosch, que possui um grande impacto no meio ambiente, sendo cada vez mais necessários métodos de produção com baixo risco ao meio ambiente, como a formulação e síntese de complexos metálicos (FORREST *et al.*, 2021).

Portanto, vê-se que os estudos referentes à aplicação de complexos metálicos no

mercado agrícola demonstraram muitas vantagens, o que atribui aos mesmos o potencial de atuarem como efetivos fertilizantes.

3 METODOLOGIA

A revisão bibliográfica foi feita através nas seguintes bases de dados: Periódicos Capes, ScienceDirect, The Royal Society of Chemistry, Scopus, SciELO, entre outras revistas aos quais o buscador Periódico Capes apresentou.

As palavras chaves utilizadas para a busca do material foram: Complexos Metálicos; Complexos Metálicos como Fertilizantes; Fertilizantes em Geral; Compostos Inorgânicos; Complexos Metálicos e Flavonoides. Também utilizou-se das mesmas palavras-chave, porém em inglês, sendo assim: Metallic Complexes; Metal Complexes as Fertilizers; Fertilizers in general; Inorganic compounds; Metallic Complexes and Flavonoids.

O presente trabalho foi enviado e publicado como capítulo do ebook Ciências da Natureza e Matemática: relatos de ensino, pesquisa e extensão. Capítulo esse que foi intitulado Compostos Inorgânicos Como Fertilizantes: Uma Revisão.

4 CONCLUSÃO

A partir das informações obtidas através do levantamento bibliográfico pode-se concluir que os fertilizantes inorgânicos são de extrema importância para o cultivo eficiente das principais culturas produzidas no mundo. Sendo um item de custo relativamente alto, os fertilizantes inorgânicos devem ser muito bem manejados dentro da lavoura, para assim evitar o desperdício de recursos e principalmente não causar danos ao meio ambiente. Portanto, existe a necessidade de desenvolver um produto que seja eficiente e que não cause prejuízo ao ecossistema. Dentre os compostos, observou-se pelos dados da literatura, que os complexos metálicos são fortes candidatos a potenciais fertilizantes.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEM, A.C.; CAVALCANTI, C.E.D.S. BNDES e o apoio a internacionalização das empresas brasileiras: algumas reflexões. **Revista do BNDES**, v.12, n.24, p. 43-76, dez. 2005. <http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/12595>. Acesso em: 16 set. 2022.

BELTRÃO, N.E.M., AZEVEDO, D.M.P. **O agronegócio do algodão no Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008.

CAPORAL, F.R.; COSTABEBER, J.A. **Agroecologia: aproximando conceitos com a noção de sustentabilidade**. In: RUSCHEINSKY, A. (Org.) *Sustentabilidade: uma paixão em movimento*. Porto Alegre: Sulina, 2004.

CARNEIRO, F.F.; RIGOTTO, R.M.; AUGUSTO, L.G.D.S.; FRIEDRICH, K.; BÚRIGO, A.C. **Dossiê ABRASCO: Um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde**. Rio de Janeiro: ABRASCO. EPSJV/Expressão Popular, 2012.

CARSON, R. **Silent spring**. Boston - New York: Mariner Books, Houghton Mifflin Company, 2002.

CERETTA, C.A.; PAVINATO, A.; PAVINATO, P.S.; MOREIRA, I.C.L.; GIOTTO, E.; TRENTIN, É.E. Micronutrientes na soja: produtividade e análise econômica. **Ciência Rural, Santa Maria**, v.35,n.3, p.576-581, jun. 2005. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782005000300013>. Acesso em: 16 set.2022.

CHEN, Y.; DE NOBILI, M.; AVIAD, T. Stimulatory effects of humic substances on plant growth. In: Magdoff, F., Weil, R.R (eds.). **Soil organic matter in sustainable agriculture**. Boca Raton: CRC Press inc, 2004.

COELHO, A.L. **QUÍMICA INORGÂNICA II**. Fortaleza: EdUECE, 2015.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**. Brasília, 2022.

COSER, E. **Avaliação da incidência de pragas e moléstias na cultura do milho (*Zea mays* L.) crioulo e convencional no município de Xaxim – SC**. 2010, 67 f. Monografia - Universidade Comunitária da Região de Chapecó – UNOCHAPECÓ. Chapecó, 2010.

EICHOLZ, E.D.; AIRES, R.F.; MIGON, L.; EICHOLZ, E. Produtividade de variedades de milho de polinização aberta no RS. In: XXXI CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO. 2016, Bento Gonçalves. **Anais Eletrônicos**. Bento Gonçalves, 2016. Disponível em: < http://www.abms.org.br/cnms2016/anais/ANAIS_Congresso_Nacional_de_Milho_e_Sorgo_2016.pdf >. Acesso em: 27 jun. 2022.

ERRO, J.; URRUTIA, O.; FRANCISCO, S.; GARCIA-MINA, J.M. Development and Agronomical Validation of New Fertilizer Compositions of High Bioavailability and Reduced Potential Nutrient Losses. **Journal Agricultural and Food Chemistry**, v.55, n.19, p. 7831-7839, ago. 2007. <https://doi.org/10.1021/jf0708490>. Acesso em: 16 set. 2022.

ERRO, J.; ZAMARREÑO, A.M.; GARCÍA-MINA, J.M. Ability of various water-insoluble fertilizers to supply available phosphorus in hydroponics to plant species with diverse phosphorus- acquisition efficiency: Involvement of organic acid accumulation in plant tissues and root exudates. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**. v. 173, n. 5, p. 772-777, out. 2010. <https://doi.org/10.1002/jpln.200900263>. Acesso em: 16 set. 2022.

FILHO, J.M.; KIKUTI, A.L.P.; LIMA, L.B. Métodos para avaliação do vigor de sementes de soja, incluindo a análise computadorizada de imagens. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, n. 1, p.102-112, jan. 2009. <https://doi.org/10.1590/S0101-31222009000100012>. Acesso em: 16 set.

2022.

FORREST, S.J.K., SCHLUSCHASS, B., YUZIK-KLIMOVA, E. Y., & SCHNEIDER, S. Nitrogen Fixation via Splitting into Nitrido Complexes. **Chemical Reviews**, v. 121, n. 11, p. 6522-6587, mai. 2021. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.0c00958>. Acesso em: 16 set. 2022.

GASSER, M.S.; ISMAIL, Z.H.; ELGOUD, E.M.A.; HAI, F.A.; ALI, I.O.; ALY, H.F. Alkali treatment–acid leaching of rare earth elements from phosphogypsum fertilizer: insight for additional resource of valuable components. **BMC Chemistry**, v.16, n. 51, p. 1-10, jul. 2022. <https://doi.org/10.1186/s13065-022-00845-7>. Acesso em: 16 set. 2022.

GERKE, J.; MEYER, U.; RÖMER, W. Phosphate, Fe and Mn uptake of N₂ fixing red clover and ryegrass from an Oxisol as affected by P and model humic substances application. 1. Plant parameters and soil solution composition. **Zeitschrift Für Pflanzenernährung Und Bodenkunde**. v. 158, n. 3, p.261-268, 1995. 10.1002/jpln.19951580309. Acesso em: 30 set. 2022.

GIOVANNINI, C.; GARCIA-MINA, J.M.; CIAVATTA, C.; MARZADORI, C. Effect of organic-complexed superphosphates on microbial biomass and microbial activity of soil. **Biology and Fertility of Soils**, v. 49, p.395-401, jan. 2013. 10.1007/s00374-012-0731-0. Acesso em: 16 set. 2022.

GLEISSMAN, S.R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. Porto Alegre:Editora da UFRGS, 2009.

HIDALGO, J.; ANZA, M.; EPELDE, L.; BECERRIL, M.J.; GARBISU, C. Zero-valent ironnanoparticles and organic amendment assisted rhizoremediation of mixed contaminated soil using *Brassica napus*. **Environmental Technology & Innovation**, v. 28, p. 102621, nov. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102621>. Acesso em: 16 set. 2022.

HOBEN, J.P.; GEHL, R.J.; MILLAR, N.; GRACE, P.R.; ROBERTSON, G.P. Nonlinear nitrous oxide (N₂O) response to nitrogen fertilizer in on-farm corn crops of the US Midwest. **Global Change Biology**, v.17, n.2, p. 1140-1152, out. 2011. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02349.x>. Acesso em: 16 set. 2022.

IBRAHIM, A.S.; ALI, G.A.M.; HASSANEIN, A.; ATTIA, A.M.; MARZOUK, E.R. Toxicity and Uptake of CuO Nanoparticles: Evaluation of an Emerging Nanofertilizer on Wheat (*Triticum aestivum* L.) Plant. **Sustainability**, v. 14, n. 9, p. 4914, abr. 2022. <https://doi.org/10.3390/su14094914>. Acesso em: 16 set. 2022.

ISHERWOOD, K.E. **O uso de fertilizantes minerais e o meio ambiente**. International Fertilizer Industry Association, United Nations Environment Programme. Trad. Associação Nacional para Difusão de Adubos. Paris, 2000.

ISLAS-VALDEZ, S.; LÓPEZ-RAYO, S.; HRISTOV-EMILOV, H.; HERNÁNDEZ-APAOLAZA, L.; LUCENA, J.J. Assessing metal–lignosulfonates as fertilizers using gel filtration chromatography and high-performance size exclusion chromatography. **International Journal of Biological Macromolecules**. v. 142, p. 163-171, jan. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.09.088>. Acesso em: 16 set. 2022.

JOUQUET, E.P.; BLOQUEL, E.; DOAN, T.T.; RICOY, M.; ORANGE, D.; RUMPEL, C.; TRANDUC, T. Do compost and vermicompost improve macronutrient retention and plant growth in degraded tropical soils? **Compost Science & Utilization**, v. 19, n. 1, p. 15-24, dez-fev. 2011. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2011.10736972>. Acesso em: 16 set. 2022.

KOVÁCS, K.; CZECH, V.; FODOR, F.; SOLTÍ, A.; LUCENA, J.J.; SANTOS-ROSELL, S.; HERNÁNDEZ-APAOLAZA, L. Characterization of Fe–Leonardite Complexes as Novel Natural Iron Fertilizers. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v.61. n.50. p.12200–12210, dez. 2013. <https://doi.org/10.1021/jf404455y>. Acesso em: 16 set. 2022.

- KRAMER, A.W.; DOANE, T.A.; HORWATH, W.R.; VAN KESSEL, C. Combining fertilizer and organic inputs to synchronize N supply in alternative cropping systems in California. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 91, n. 1-3, p. 233-243, set. 2002. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00226-2](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00226-2). Acesso em: 16 set. 2022.
- LIU, C.; WANG, Y.; MA, X.; CUI, D.; HAN, B.; XUE, D.; HAN, L. Traditional agricultural management of Kam Sweet Rice (*Oryza sativa* L.) in southeast Guizhou Province, China. **Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine**, v. 18, n. 30, abr. 2022. <https://doi.org/10.1186/s13002-022-00528-6>. Acesso em: 28 jul. 2022.
- LIU, X.-P.; BI, Q.-F.; QIU, L.-L.; LI, K.-J.; YANG, X.-R.; LIN, X.-Y. Increased risk of phosphorus and metal leaching from paddy soils after excessive manure application: Insights from a mesocosm study. **Science of The Total Environment**, v. 666, p. 778-785, mai. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.072>. Acesso em: 16 set. 2022.
- LIU, Y.-N.; GUO, Z.-H.; XIAO, X.-Y.; WANG, S.; JIANG, Z.-C.; ZENG, P. Phytostabilisation potential of giant reed for metals contaminated soil modified with complex organic fertiliser and fly ash: A field experiment. **Science of the Total Environment**, v. 576, n. 15, p. 292-302, jan. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.065>. Acesso em: 16 set 2022.
- LÓPEZ-RAYO, S.; LUCENA, J.J.; LAGHI, L.; CREMONINI, M.A. Demetalation of Fe, Mn, and Cu Chelates and Complexes: Application to the NMR Analysis of Micronutrient Fertilizers. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, n. 24, p. 13110–13116, nov. 2011. <https://doi.org/10.1021/jf203602a>. Acesso em: 16 set. 2022.
- MANFRON, S.; THOMÉ, A.; SECCHIM, E.; REDDY, K.R. Aplicação de nanopartículas de ferro zero-valente (nFeZ) na remediação de solos e águas subterrâneas contaminadas: uma revisão. **Química Nova**, v. 43, n. 5, p. 623-631, mai. 2020. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170523>. Acesso em: 16 set. 2022.
- MARUR, C.J.; RUANO, O. A reference system for determination of developmental stages of upland cotton. **Revista de oleaginosas e fibrosas**, v. 5, n. 2, p. 313-317, jan. 2001. <https://www.cotton.org/beltwide/proceedings/getPDF.cfm?year=2002&paper=l002.pdf>. Acesso em: 16 set. 2022.
- MIYAZAWA, M.; BARBOSA, G.M.C. **Dejeto líquido de suíno como fertilizante orgânico: Método simplificado**. Londrina: IAPAR, 2015.
- MOHAMMADI, Z.; SHALAVI, S.; JAFARZADEH, H. Ethylenediaminetetraacetic acid in endodontics. **European Journal of Dentistry**, v. 7, n. 1, p. 135-142, set. 2013. 10.4103/1305-7456.119091. Acesso em: 16 set. 2022.
- MUTHUSARAVANAN, S.; SIVARAJASEKAR, N.; VIVEK, J.S.; PARAMASIVAN, T.; NAUSHAD, U.M.; PRAKASHMARAN, J. Phytoremediation of heavy metals: mechanisms, methods and enhancements. **Environmental Chemistry Letters**, v. 16, p. 1339-1359, jun. 2018. <https://doi.org/10.1007/s10311-018-0762-3>. Acesso em: 16 set. 2022.
- NARESSI-SANTOS, R.; SANTOS-PIMENTEL-OLIVEIRA, L.; SANTOS, E.H.; FRANCISCO, J.P.; LOPES, A.D. Iceberg lettuce cultivated in different systems of planting and sources of fertilizer. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, p. e255431, 2022. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.255431>. Acesso em: 16 set. 2022.
- NIKBIN, I.M.; ALIAGHAZADEH, M.; CHARKHTAB, S.; FATHOLLAHPOUR, A. Environmental impacts and mechanical properties of lightweight concrete containing bauxite residue (red mud). **Journal of Cleaner Production**, v. 172, p. 2683-2694, jan. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.143>. Acesso em: 16 set. 2022.

OLIVEIRA, M.P.; MALAGOLLI, G.A.; CELLA, D. Mercado de Fertilizantes. **Revista Interface Tecnológica**, v. 16, n. 1, p. 489-498, jun.2019.

<https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/606>. Acesso em: 16 set. 2022.

PAULETTI, V.; SEGANFREDO, R. Disponibilidade e resposta de culturas a micronutrientes no sistema plantio direto. **Revista Plantio Direto: Atualização tecnológica**, v.1, p. 71-95, 1999. Acesso em: 16 set. 2022.

REETZ, H.F. **Fertilizantes e seu Uso Eficiente**. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA), 2017.

REHMAN, H.F.; ASHRAFS, A.; MUZAMMIL, S.; SIDDIQUE, M.H.; ALI, T. Assessment of zinc solubilization potential of zinc-resistant *Pseudomonas oleovorans* strain ZSB13 isolated from contaminated soil. *Brazilian journal of biology*, v. 83, jul. 2021. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.240015>. Acesso em: 16 set. 2022.

RODRIGUES, W.N; NICOLINA, H.O; MARTINS, L.D; TOMAZ, M.A; DO AMARAL, J.F.T. Acúmulo de biomassa pela mamoneira submetida a diferentes adubações e aplicação de escória desidrurada. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 5, n. 5, p. 33-39, out. 2010. <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/441>. Acesso em: 16 set. 2022.

ROSADO, R.; DEL CAMPILLO, M.C.; MARTINEZ, M.A.; BARRÓN, V.; TORRENT, J. Long-term effectiveness of vivianite in reducing iron chlorosis in olive trees. **Plant and Soil**, v. 241, p. 139–144, abr. 2002. <https://doi.org/10.1023/A:1016058713291>. Acesso em: 16 set. 2022.

SACCA, M.L.; FAJARDO, C.; COSTA, G.; LOBO, C.; NANDE, M.; MARTIN, M. Integrating classical and molecular approaches to evaluate the impact of nanosized zero-valent iron (nZVI) on soil organisms. **Chemosphere**. v. 104, p. 184-189, jun.2014. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.11.013>. Acesso em: 16 set. 2022.

SHCHERBAK, I., MILLAR, N., ROBERTSON, G.P. Global metaanalysis of the nonlinear response of soil nitrous oxide (N₂O) emissions to fertilizer nitrogen. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 111, n. 25, p. 9199-9204, jun. 2014. <https://doi.org/10.1073/pnas.1322434111>. Acesso em: 16 set. 2022.

SONG, H.; WANG, J.; ZHANG, K.; ZHANG, M.; HUI R.; SUI, T.; YANG, L.; DU, W.; DONG, Z. A 4-year field measurement of N₂O emissions from a maize-wheat rotation system as influenced by partial organic substitution for synthetic fertilizer. **Journal of Environmental Management**, v. 263, p.110384-110394, mar. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110384>. Acesso em: 16 set. 2022.

STRIEDER, M.L. **Resposta do milho à redução do espaçamento entrelinhas em diferentes sistemas de manejo**. 2006. 100 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Faculdade de Agronomia. Porto Alegre, 2006. Acesso em: 16 set. 2022.

TING-NA, Z.; XI, C.; LYU, G.; LIANG, Z.; CHEN, Y. Sustainable application of sodium removal from red mud: Cleaner production of silicon-potassium compound fertilizer. **Journal of Cleaner Production**, v. 352, p. 131601, jun. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131601>. Acesso em: 16 set. 2022.

URRUTIA, O.; ERRO, J.; GUARDADO, I.; SAN FRANCISCO, S.; MANDADO, M.; BAIGORRI, R.; YVIN, J.C.; GARCIA-MINA, J. Physico-chemical characterization of humic-metal-phosphate complexes and their potential application to the manufacture of new types of phosphate-based fertilizers. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 177, n. 2, p. 128-136, Abr. 2014. <https://doi.org/10.1002/jpln.201200651>. Acesso em: 16 set. 2022.

URRUTIA, O.; GUARDADO, I.; ERRO, J.; MANDADO, M.; GARCÍA-MINA, J.M. Theoretical

chemical characterization of phosphate-metal–humic complexes and relationships with their effect on both phosphorus soil fixation and phosphorus availability for plants. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 93, n. 2, p. 293-303, jan. 2013. <https://doi.org/10.1002/jsfa.5756>. Acesso em: 16 set. 2022.

WANG, Y.; ZHANG, T.; LV, G.; LIU, Y.; ZHANG, W.; ZHAO, Q. Overview of process control of novel calcification-carbonation process for bauxite residue treatment. **Hydrometallurgy**, v. 199, p. 105536, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2020.105536>. Acesso em: 16 set 2022.

ZHAO, L.; UM, S.; WANG, W.; GU, H. Toxicity evaluation of collagen hydrolysates from chrome shavings and their potential use in the preparation of amino acid fertilizer for crop growth. **Journal of Leather Science and Engineering**, v. 4, n. 1, p. 1-23, jan. 2022. <https://doi.org/10.1186/s42825-021-00072-1>. Acesso em: 16 set. 2022.

ZHAO, X.; LIU, W.; CAI, Z.; HAN, B.; QIAN, T.; ZHAO, D. An overview of preparation and applications of stabilized zero-valent iron nanoparticles for soil and groundwater remediation. **Water Research**, v. 100, p. 245-266, set. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.05.019>. Acesso em: 16 set. 2022.