



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
SERTÃO PERNAMBUCANO
CAMPUS PETROLINA ZONA RURAL

CURSO DE BACHARELADO EM AGRONOMIA

**COMPARAÇÃO DE REDUTORES DE pH EM SOLOS DE
DIFERENTES CAPACIDADE TAMPÃO**

José Ilson Rodrigues de Souza

PETROLINA – PE
2024

JOSÉ ILSÓN RODRIGUES DE SOUZA

**COMPARAÇÃO DE REDUTORES DE pH EM SOLOS DE
DIFERENTES CAPACIDADE TAMPÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao IFSERTÃOPE *Campus* Petrolina Zona Rural, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Cícero Antônio de Sousa Araújo

PETROLINA – PE
2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

R696 Rodrigues de Souza, José Ilson.

Comparação de redutores de pH em solos de diferentes capacidade tampão / José Ilson Rodrigues de Souza. - Petrolina, 2024.
19 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) -Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Campus Petrolina Zona Rural, 2024.

Orientação: Prof. Dr. Cícero Antônio de Sousa Araújo.

1. Ciências Agrárias. 2. Reação do solo. 3. Disponibilidade de nutrientes. 4. Fertilidade do solo. I. Título.

CDD 630

JOSÉ ILSON RODRIGUES DE SOUZA

**COMPARAÇÃO DE REDUTORES DE pH EM SOLOS DE DIFERENTES
CAPACIDADE TAMPÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
IFSertãoPE *Campus* Petrolina Zona Rural, exigido
como parte dos requisitos para a obtenção do
título de Engenheiro Agrônomo.

Aprovada em: 19 de agosto de 2024.

Cicero Antonio de Sousa Araujo:22296980368
Assinado de forma digital por
Cicero Antonio de Sousa
Araujo:22296980368
Dados: 2024.08.19 11:55:39 -03'00'

Prof. Dr. Cícero Antônio de Sousa Araújo
IFSertãoPE, Campus Petrolina Zona Rural
Orientador

Prof^a. Dr^a. Elizangela Maria de Souza
IF Sertão-PE, Campus Petrolina Zona Rura
Membro

Gilberto Saraiva Tavares Filho
PROTEN-UFPE
Membro

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos que me apoiaram nesta jornada, a minha família, pelo amor e suporte incondicional, aos meus amigos, pela companhia e motivação, aos meus professores e orientadores, pela orientação e paciência.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, à minha família pelo apoio incondicional, aos meus amigos pela companhia e motivação, e aos meus professores e orientadores pela valiosa orientação ao longo deste trabalho.

Ao IF Sertão

EPÍGRAFE

O domínio de uma profissão não exclui o seu aperfeiçoamento. Ao contrário, será mestre quem continuar aprendendo.

(Pierre Feuter)

RESUMO

O uso intenso de fertilizantes favorece a elevação de pH nos nossos irrigados. Essa característica pode afetar a disponibilidade de nutrientes, dificultando a absorção de certos elementos essenciais pelas plantas. Com o objetivo de avaliar a eficiência de redutores de pH, em solos de diferentes poder tampão, realizou-se um experimento, em uma casa de vegetação, no Campus Petrolina Zona Rural, do IF Sertão-PE, com tratamentos resultante da combinação de dois tipos de solos (um argiloso (do projeto Salitre) e um outro arenoso (do projeto Senador Nilo Coelho – PSNC), com cinco redutores de pH (Pekacid, Ácido Fosfórico, MKP, Ácido Nítrico e Ácido Cítrico) mais a testemunha (ausência de redutor de pH), em esquema fatorial 2X6, com quatro repetições. Mudanças da variedade BRS Vitória foram cultivadas em vasos de 5 litros, por 60 dias. Avaliou-se o pH, antes e um dia após as aplicações, semanais, dos tratamentos, além da massa seca e dos teores de nutrientes da videira. Verificou-se diferença no valor de pH entre os redutores. O Pekacid foi o mais eficiente na redução do pH, desde a primeira aplicação. O Ácido Nítrico, após quatro aplicações, promoveu efeito similar ao Pekacid. Os redutores foram eficientes nos dois tipos de solos com resultados mais expressivos no solo arenoso, melhorando a disponibilidade de nutrientes como Fe, Cu, Zn, Mn e B.

Palavras-chave: Reação do solo; Disponibilidade de nutrientes; Fertilidade do solo.

ABSTRACT

The intense use of fertilizers promotes an increase in pH in our irrigated soils. This characteristic can affect nutrient availability, making it difficult for plants to absorb certain essential elements. To evaluate the efficiency of pH reducers in soils with different buffering capacities, an experiment was conducted in a greenhouse at the Petrolina Rural Zone Campus of IF Sertão-PE. The treatments were the result of the combination of two soil types (a clayey one from the Salitre project and a sandy one from the Senador Nilo Coelho project – PSNC) with five pH reducers (Pekacid, Phosphoric Acid, MKP, Nitric Acid, and Citric Acid) plus the control (no pH reducer), in a 2x6 factorial design with four replications. Seedlings of the BRS Vitória variety were grown in 5-liter pots for 60 days. The pH was evaluated before and one day after the weekly applications of the treatments, as well as the dry mass and nutrient content of the grapevines. A difference in pH values among the reducers was observed. Pekacid was the most efficient in reducing pH from the first application. Nitric Acid, after four applications, showed a similar effect to Pekacid. The reducers were effective in both soil types, with more significant results in the sandy soil, improving the availability of nutrients such as Fe, Cu, Zn, Mn, and B.

Keywords: Soil Reaction; Nutrient Availability; Soil Fertility.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Avaliação de pH de solo, após uma aplicação de diferentes redutores em 2 solos representativos do VSF.

Figura 2: Avaliação de pH de solo, após 4 aplicações de diferentes redutores em 2 solos representativos do VSF.

Figura 3: Teor de Fósforo e Potássio na parte aérea de mudas de uva, após aplicações de diferentes redutores de pH em 2 solos representativos do VSF.

Figura 4: Teor de Cobre, Manganês, Zinco e Ferro na parte aérea de mudas de uva, após aplicações de diferentes redutores de pH em 2 solos representativos do VSF.

Figura 5: Produção de matéria fresca na parte aérea e raiz de mudas de uva, em função da aplicação de redutores de pH e da textura dos solos (argiloso – Salitre e arenoso-PSNC).

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1	Viticultura irrigada no Vale do São Francisco	12
2.2	Solos Argilosos e Arenosos	13
2.3	Importância do pH	14
2.4	Poder Tampão do Solo	15
2.5	Estratégias de Acidificação do Solo	15
2.6	Ácidos e Suas Características	16
3	OBJETIVO	18
3.1	Objetivos específicos	18
4	MATERIAL E MÉTODOS	18
4.1	Localização e Condições do Experimento	18
4.2	Seleção e Caracterização dos Solos	18
4.3	Delineamento Experimental	19
4.4	Preparação dos Vasos e Plantio	19
4.5	Condução do experimento	19
4.6	Variáveis Mensuradas	20
4.7	Análise Estatística	20
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	20
6	CONCLUSÃO	25
	REFERÊNCIAS	25

1 INTRODUÇÃO

A agricultura no Vale do São Francisco tem se destacado pela produção de frutas de alta qualidade, especialmente na viticultura, onde a região figura como uma das principais produtoras do país e essa relevância é amplamente atribuída ao clima semiárido e à disponibilidade de água para irrigação, que possibilitam a produção de frutas ao longo do ano, (EMBRAPA, 2018).

O sistema de fruticultura irrigada é particularmente eficiente nesta região, permitindo a adaptação das culturas às condições climáticas extremas e garantindo colheitas contínuas e de alta qualidade, no entanto, os solos alcalinos encontrados nessa área apresentam desafios significativos de manejo, especialmente em relação ao pH e ao poder tampão, (EMBRAPA, 2020).

Os solos alcalinos do Vale do São Francisco são caracterizados pela presença marcante de rochas calcárias em sua formação geológica que resulta em um pH elevado, o que pode limitar a disponibilidade de alguns nutrientes essenciais para as plantas, como o Fe (Ferro), Mn (Manganês), Zn (Zinco), Cu (Cobre) e P (Fósforo), (EMBRAPA, 2017). Além disso, o uso exagerado de corretivos e adubos que fornecem bases ao solo contribui para o aumento da alcalinidade, como também parte dos solos irrigados apresentarem pH básico, intensificando as dificuldades para a prática agrícola, (Silva, 2021).

O pH elevado desses solos pode afetar a disponibilidade de nutrientes essenciais para as plantas, comprometendo assim o desenvolvimento e a produtividade das culturas, como a videira (*Vitis vinifera L.*), (Souza et al., 2018). Nesse contexto, a aplicação de ácidos como ácido fosfórico, ácido nítrico, ácido sulfúrico e ácido cítrico tem se revelado uma estratégia eficaz para acidificar o solo e melhorar a disponibilidade de nutrientes essenciais como fósforo e potássio, fundamentais para o crescimento das culturas, (FERREIRA *et al.*, 2019).

Além desses ácidos, o uso de corretivos como o Pekacid que é um fertilizante solúvel (60% P₂O₅ e 20 % de K₂O), tem sido explorado como uma estratégia para reduzir o pH do solo e otimizar a absorção de nutrientes pelas plantas, (ICL, 2024).

Adicionalmente, práticas sustentáveis, incluindo a utilização de matéria orgânica e fertilizantes acidificantes, desempenham um papel crucial na mitigação dos efeitos da alcalinidade excessiva, promovendo uma agricultura mais eficiente e ambientalmente responsável, (MENDES *et al.*, 2018).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Viticultura irrigada no Vale do São Francisco

A viticultura no Vale do São Francisco, localizado entre os estados de Pernambuco e Bahia, tem se consolidado como uma das principais atividades econômicas da região, devido às condições climáticas e tecnológicas favoráveis, como o clima semiárido, com alta incidência solar e baixa umidade relativa, permite que a videira produza até duas safras por ano, uma característica única no Brasil, (EMBRAPA, 2018). A irrigação controlada, viabilizada pelo rio São Francisco, é outro fator crucial que garante a produtividade e a qualidade das uvas produzidas, (SOUZA; ALMEIDA, 2015).

A variedade de uva (*Vitis vinifera*), da variedade Vitória tem se destacado na viticultura do Vale do São Francisco, sendo uma cultivar desenvolvida pela Embrapa com características que a tornam altamente adaptada às condições climáticas do semiárido sendo lançada em 2012, essa variedade de uva sem sementes possui um ciclo de produção curto e alta resistência a pragas e doenças, o que reduz a necessidade de defensivos agrícolas e facilita o manejo sustentável, (EMBRAPA, 2013).

A uva Vitória apresenta sabor doce, casca fina e bom rendimento por hectare, tornando-se uma opção atrativa para o mercado de exportação. No Vale do São Francisco, sua importância é notável por agregar valor à produção local e aumentar a competitividade dos produtores da região no cenário nacional e internacional, (EMBRAPA, 2015).

No entanto, a viticultura no Vale enfrenta desafios relacionados à salinidade e à alcalinidade dos solos, exigindo práticas adequadas de manejo. Estudos da Embrapa Solos indicam que o uso de técnicas como a aplicação de fertilizantes ácidos contribui para melhorar a fertilidade do solo e manter a produtividade das videiras

(EMBRAPA, 2017). Além disso, o controle rigoroso da irrigação ajuda a evitar o acúmulo de sais no solo, prevenindo problemas como a salinização, que pode afetar negativamente o desenvolvimento das plantas, (EMBRAPA, 2020).

A tecnologia de cultivo também evoluiu significativamente, com o uso de variedades de uva adaptadas ao clima semiárido, além de sistemas de manejo integrados que priorizam a sustentabilidade. A Embrapa tem atuado no desenvolvimento de variedades que resistem melhor ao estresse hídrico e à salinidade, fatores comuns na região, (SOUZA et al., 2021). Esses avanços tecnológicos têm consolidado o Vale do São Francisco como um dos maiores polos de exportação de uvas e vinhos do país, com grande impacto na economia local e nacional, (EMBRAPA, 2022).

2.2 Solos argilosos e arenosos

Os solos arenosos são conhecidos por sua textura grosseira e alta permeabilidade com uma estrutura composta predominantemente por partículas de com diâmetros variando entre 0,05 e 2 mm, esses solos têm excelente capacidade de drenagem, o que impede o acúmulo excessivo de água e reduz o risco de encharcamento, sendo que, essa característica também significa que os solos arenosos têm uma menor capacidade de retenção de nutrientes e água, o que pode exigir práticas de manejo mais cuidadosas, como a adição frequente de fertilizantes e irrigação suplementar para garantir o fornecimento adequado de nutrientes às plantas, (SOUZA et al., 2021).

Por outro lado, os solos argilosos são caracterizados por suas partículas finas menores que 0,002 mm, o que resulta em uma estrutura compacta e uma capacidade de retenção de água e nutrientes muito superior em comparação aos solos arenosos, sendo que solos argilosos possuem boa fertilidade natural e podem sustentar uma ampla variedade de culturas devido à sua capacidade de armazenar água e nutrientes por períodos mais longos, (FERREIRA; COSTA, 2019).

No entanto, sua alta coesão pode levar a problemas de drenagem e compactação, que podem dificultar o crescimento das raízes e a penetração de água, exigindo práticas de manejo que incluam a aeração e a correção da estrutura do solo, (FERREIRA; COSTA, 2019).

Ambos os tipos de solo têm suas vantagens e desafios específicos no manejo agrícola, sendo que, a escolha do tipo de solo e as práticas de manejo adequadas dependem das características das culturas a serem cultivadas e das condições ambientais locais, o que pode impactar significativamente a eficiência e a sustentabilidade da produção agrícola, (MENDES et al., 2018).

2.3 Importância do pH

O pH é uma medida fundamental para indicar o grau de acidez ou alcalinidade de uma solução, baseado na concentração de íons de hidrogênio (H^+). A escala de pH varia de 0 a 14, sendo que valores abaixo de 7 indicam acidez, 7 é neutro, e valores acima de 7 são alcalinos, (EMBRAPA, 2018).

No contexto da agricultura, o pH do solo é crucial, pois afeta diretamente a disponibilidade de nutrientes e a atividade microbológica. Solos com pH inadequado podem dificultar o desenvolvimento das plantas, exigindo correções específicas para melhorar a fertilidade, (EMBRAPA, 2019).

O pH do solo é um dos principais fatores que influenciam a disponibilidade de nutrientes para as plantas. Solos alcalinos, caracterizados por um pH elevado, apresentam desafios significativos para a agricultura devido à redução na disponibilidade de nutrientes essenciais (LIMA & SILVA, 2018). Neste contexto, o poder tampão do solo desempenha um papel crucial, determinando a capacidade do solo de resistir a mudanças no pH. A acidificação do solo emerge como uma estratégia eficaz para mitigar os efeitos negativos de solos alcalinos, melhorando assim a disponibilidade de nutrientes para as plantas, (FAGERIA; STONE, 2006).

A acidificação do solo emerge como uma estratégia eficaz para mitigar os efeitos negativos de solos alcalinos. A aplicação de corretivos ácidos, como ácido sulfúrico e ácido fosfórico, pode reduzir o pH do solo e melhorar a disponibilidade de nutrientes, facilitando a absorção das plantas e potencialmente aumentando a produtividade agrícola, (FAGERIA & STONE, 2006).

Além disso, a pesquisa de Zhang et al. (2015) destacou que a acidificação também pode ajudar a prevenir problemas associados à fixação de fósforo em solos alcalinos, um problema comum que limita a disponibilidade desse nutriente essencial.

Ao reduzir o pH do solo, é possível melhorar a solubilidade do fósforo e sua disponibilidade para as plantas.

Portanto, a compreensão e a gestão adequada do pH do solo são fundamentais para otimizar a fertilidade e a eficiência do uso de nutrientes na agricultura, especialmente em regiões com solos naturalmente alcalinos. A aplicação estratégica de redutores de pH não só melhora a disponibilidade de nutrientes essenciais, mas também contribui para a sustentabilidade e a produtividade das práticas agrícolas, (ZHANG *et al.*, 2015).

Solos alcalinos são comuns em diversas regiões do mundo, incluindo áreas semiáridas como o nordeste brasileiro, devido à presença de rochas calcárias e ao uso de águas de irrigação alcalinas ricas em carbonatos de cálcio (SOUSA *et al.*, 2014). O pH elevado desses solos, frequentemente superior ao intervalo ideal para a maioria das culturas (entre 5,5 e 7,0), impacta diretamente na disponibilidade de nutrientes como zinco (Zn), ferro (Fe), cobre (Cu) e manganês (Mn) tendem a precipitar em formas insolúveis em pH alcalino, tornando-se menos acessíveis às plantas, (RAIJ, 2011).

2.4 Poder Tampão do Solo

O poder tampão do solo refere-se à sua capacidade de resistir a mudanças no pH quando ácidos ou bases são adicionados. Solos alcalinos geralmente possuem um poder tampão elevado devido à presença de carbonatos e bicarbonatos, que neutralizam ácidos adicionados ao solo. Isso dificulta a acidificação do solo e a manutenção de um pH favorável ao crescimento das plantas. O poder tampão pode variar com a composição mineralógica e orgânica do solo, influenciando diretamente a eficácia das práticas de manejo para ajuste do pH, (SILVA, 2023)

2.5 Estratégias de Acidificação do Solo

Materiais como o sulfato de amônio ((NH₄)₂SO₄) e o sulfato ferroso, (FeSO₄), ácido cítrico, ácido nítrico, ácido fosfórico, o Pekacid e ácidos orgânicos podem ser utilizados para acidificar solos alcalinos. Esses compostos liberam íons hidrogênio (H⁺) quando dissolvidos no solo, reduzindo assim o pH e aumentando a

disponibilidade de nutrientes. A aplicação desses materiais deve ser feita com cuidado para evitar excessos que possam prejudicar a estrutura do solo, (SOUZA; ALMEIDA, 2015).

Ácidos orgânicos como o ácido cítrico, o ácido acético e o ácido húmico também são eficazes na acidificação do solo, esses ácidos podem ser aplicados diretamente ao solo ou através de fertilizantes orgânicos que os contêm. Além de reduzir o pH, esses ácidos promovem a dissolução de nutrientes ligados a minerais no solo, aumentando sua disponibilidade para as plantas (MENDES et al., 2018).

Algumas culturas têm a capacidade de acidificar o ambiente do solo através da liberação de ácidos orgânicos pelas raízes. Exemplos incluem culturas como o milho e a cevada, que podem modificar gradualmente o pH do solo ao longo do tempo, no entanto, a rotação de culturas que possuem essa capacidade pode ser uma estratégia eficaz para manter um pH adequado e melhorar a fertilidade do solo, (FERREIRA; SILVA, 2019).

A gestão do pH do solo em condições alcalinas é fundamental para otimizar a produção agrícola sustentável em áreas afetadas por solos calcários e águas de irrigação alcalinas. Conforme discutido por Tang *et al.* (2003), o uso estratégico de materiais acidificantes, como os ácidos químicos e orgânicos, juntamente com uma seleção adequada de culturas, pode melhorar significativamente a disponibilidade de nutrientes para as plantas.

2.6 Ácidos e suas características

A correção de solos alcalinos, especialmente em regiões como o Vale do São Francisco, é um dos principais desafios para a agricultura, devido à presença de rochas calcárias que elevam o pH e reduzem a disponibilidade de nutrientes essenciais, (EMBRAPA, 2017). Para contornar esse problema, o uso de ácidos como o Pekacid, ácido fosfórico, ácido nítrico, ácido sulfúrico e ácido cítrico tem se mostrado uma prática eficiente na acidificação do solo, promovendo a liberação de fósforo, potássio e outros micronutrientes importantes para o desenvolvimento das culturas, (FERREIRA *et al.*, 2019).

Além disso, a adoção de práticas sustentáveis, como o uso de matéria orgânica e fertilizantes acidificantes, auxilia na mitigação dos efeitos da alcalinidade excessiva, garantindo uma agricultura mais produtiva e sustentável (MENDES *et al.*, 2018).

O Pekacid, pertencente a empresa ICL (Israel Chemicals Ltd), é quimicamente conhecido como ácido fosfórico monopotássico ($\text{H}_3\text{PO}_4 + \text{KH}_2\text{PO}_4$), é um fertilizante que contém 60% de P_2O_5 (fósforo) e 20% de K_2O (potássio), combinando propriedades acidificantes e nutritivas, (ICL, 2024). Este produto é altamente solúvel e é utilizado em solos alcalinos para aumentar a disponibilidade de fósforo e potássio, sendo eficaz em solos irrigados, promovendo o desenvolvimento das plantas em ambientes onde o pH elevado pode indisponibilizar nutrientes essenciais (ICL, 2024).

O ácido fosfórico (H_3PO_4) é amplamente utilizado na agricultura como corretivo de solos alcalinos. Com uma concentração de 52% de P_2O_5 , ele é eficiente na liberação de fósforo em solos onde o nutriente tende a ficar indisponível devido ao pH elevado, além de fornecer fósforo diretamente às plantas, também ajuda na solubilização de cálcio (Ca) e magnésio (Mg), promovendo o crescimento saudável e equilibrado das culturas agrícolas, (FERREIRA *et al.*, 2019).

O MKP (Monopotássio Fosfato), com fórmula química KH_2PO_4 , contém 52% de P_2O_5 e 34% de K_2O , embora não seja um ácido, o MKP é utilizado em solos alcalinos para fornecer potássio e fósforo de maneira rápida e eficiente, especialmente em sistemas de fertirrigação, (SOUZA; LIMA, 2021). Sua alta solubilidade permite que esses nutrientes sejam rapidamente absorvidos pelas plantas, melhorando o desenvolvimento das culturas em solos onde a alcalinidade pode prejudicar a disponibilidade de nutrientes, (SOUZA; LIMA, 2021).

O ácido nítrico (HNO_3) é um ácido mineral forte, usado para baixar o pH de solos alcalinos e embora não forneça diretamente nutrientes como fósforo ou potássio, sua ação acidificante torna outros nutrientes, como cálcio (Ca) e magnésio (Mg), mais disponíveis para as plantas, sendo que, o uso do ácido nítrico é especialmente eficaz para corrigir rapidamente a alcalinidade do solo, mas deve ser aplicado com cautela para evitar acidificações excessivas, (SILVA; OLIVEIRA, 2017).

O ácido sulfúrico (H_2SO_4), que contém 32% de SO_4^{2-} (sulfato), é um dos ácidos mais utilizados para corrigir o pH de solos alcalinos, sendo altamente eficaz na solubilização de nutrientes como fósforo (P), zinco (Zn) e ferro (Fe), que se tornam indisponíveis em solos alcalinos, (SILVA *et al.*, 2019). O uso excessivo de ácido sulfúrico pode aumentar a salinidade do solo, o que é particularmente preocupante em regiões semiáridas como o Vale do São Francisco, (SILVA *et al.*, 2019).

O ácido cítrico ($C_6H_8O_7$) é um ácido orgânico que, além de reduzir o pH do solo, atua na solubilização de nutrientes como o ferro (Fe) e o zinco (Zn), embora não forneça nutrientes diretamente, ele é eficiente na disponibilização de micronutrientes que, em solos alcalinos, indisponíveis, sendo uma opção sustentável, especialmente, em práticas de agricultura orgânica, e pode ser usado em conjunto com a adição de matéria orgânica para melhorar a fertilidade do solo, (MENDES *et al.*, 2018).

3 OBJETIVO

Avaliar a eficiência de diferentes redutores de pH em solos de diferentes classes texturais.

3.1 Objetivos específicos

- Comparar a eficácia de redutores de pH utilizados no Vale do São Francisco.
- Avaliar o efeito de redutores de pH em um solo argiloso.
- Avaliar o efeito de redutores de pH em um solo arenoso.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização e Condições do Experimento

O experimento foi realizado em uma casa de vegetação localizada no Campus Petrolina Zona Rural (CPZR), do Instituto Federal do Sertão Pernambucano (IF SERTÃO-PE), em Petrolina, Pernambuco, local de clima semiárido e Latitude de $-9^{\circ}20'06''S$ Longitude de $-40^{\circ}41'17''W^{\circ} W$. A casa de vegetação forneceu um ambiente controlado, ideal para a condução do experimento, com temperatura, umidade e iluminação adequadas para garantir condições ótimas de crescimento para as mudas de uva, (*Vitis vinifera*).

4.2 Seleção e Caracterização dos Solos

Foram utilizados dois tipos de solos representativos da região do Submédio do Vale do São Francisco: Salitre - solo argiloso e PSNC (Projeto Senador Nilo Coelho)

- solo arenoso. Esses solos foram escolhidos devido suas características químicas e físicas, como pH, capacidade de troca catiônica (CTC) e textura.

4.3 Delineamento Experimental

O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado em um esquema fatorial 6x2, sendo cinco redutores de pH (Pekacid, Ácido Fosfórico, MKP, Ácido Nítrico e Ácido Cítrico) mais a testemunha (ausência de redutor de pH) e dois tipos de solos (um argiloso e o outro, arenoso), com quatro repetições, totalizando 48 unidades experimentais.

4.4 Preparação dos Vasos e Plantio

Foram utilizados vasos com capacidade de 5 litros, preenchidos com os solos Salitre e PSNC. Cada vaso foi cuidadosamente preparado para garantir homogeneidade nos tratamentos. Mudanças da variedade BRS Vitória, uniformemente selecionadas em termos de tamanho e vigor, foram plantadas nos vasos. As mudas foram cultivadas por um período de 60 dias.

Os tratamentos consistiram na aplicação de quantidade, de cada redutor, correspondente ao equivalente ácido de 6 kg.ha⁻¹ de Pekacid, mais a testemunha (ausência de redutores) nos dois tipos de solo. Os redutores foram aplicados dissolvidos em uma alíquota de água correspondente a lâmina de irrigação estimada a partir da evapotranspiração de referência (Et⁰), do dia anterior, com frequência semanal.

4.5 Condução do experimento

Durante o experimento, os vasos eram irrigados por um sistema de irrigação por gotejamento automático 5 vezes ao dia durante 2 minutos, além disso, para suprir as necessidades nutricionais das plantas, foram aplicadas em cada vaso uma solução nutritiva com macro e micronutrientes essenciais. O monitoramento para o controle de pragas e doenças era feito diariamente, havendo apenas a incidência de míldio, sendo controlada sempre que necessário.

4.6 Variáveis Mensuradas

Foram avaliadas durante e ao final do experimento o pH do solo (medido semanalmente, antes e um dia após a aplicação dos tratamentos, utilizando um pHmetro) e matéria fresca e seca das mudas aos 60 dias, separadas em parte aérea e raízes. As amostras foram pesadas para determinar a massa fresca e, posteriormente, secas em estufa a 65°C até peso constante para determinar a massa seca. Teores de nutrientes na massa seca, foram analisados segundo Embrapa (1997), sendo: pH, por potenciometria em uma suspensão 1:2,5 solo:água; P, K, Zn, Fe, Mn e Cu - extraídos pelo método Mehlich – 1, e determinação do P pela formação do complexo fosfomolibdico e espectrofotometria; o K por fotometria de chama de emissão, e os micronutrientes Fe, Zn, Cu e Mn, por espectroscopia de absorção atômica.

4.7 Análise Estatística

Os dados coletados foram submetidos à análise de variância pelo teste F a $p > 0,05$. Os graus de liberdade relativos aos tratamentos que apresentaram significância foram submetidos ao teste de Scott-Knott a $p > 0,05$, utilizando o software Sivar 5.6.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estudo comparativo de redutores de pH utilizados no Vale do São Francisco (VSF) evidenciou diferenças significativas na eficácia dos produtos avaliados. Conforme apresentado nas Figuras 1 e 2, o Pekacid destacou-se como o redutor de pH mais eficiente desde a primeira aplicação, superando os demais produtos. Após quatro aplicações (Figura 2), o ácido nítrico apresentou um desempenho similar ao do Pekacid, sugerindo que ambos são eficazes na redução do pH do solo ao longo do tempo.

Figura 1: pH do solo em função da primeira aplicação de redutores de pH em solos de diferentes texturas (argiloso – Salitre e arenoso-PSNC).

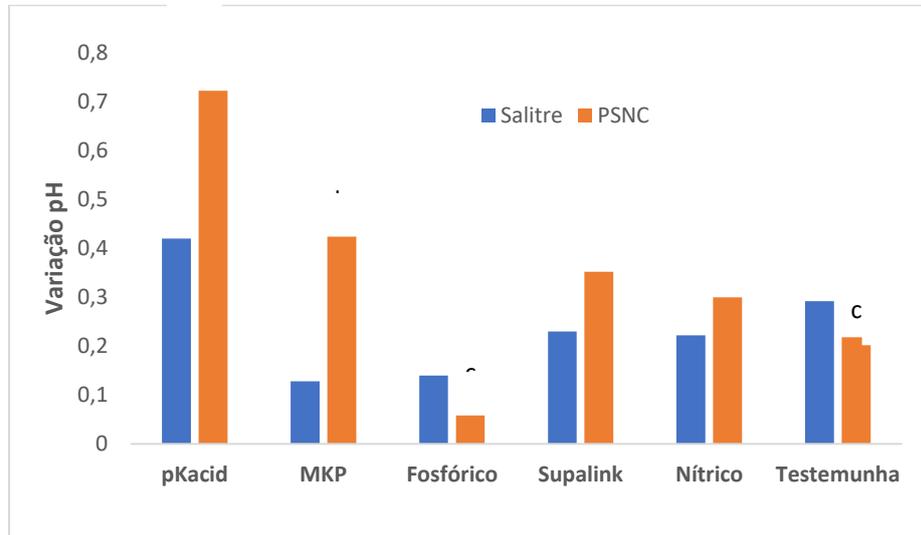
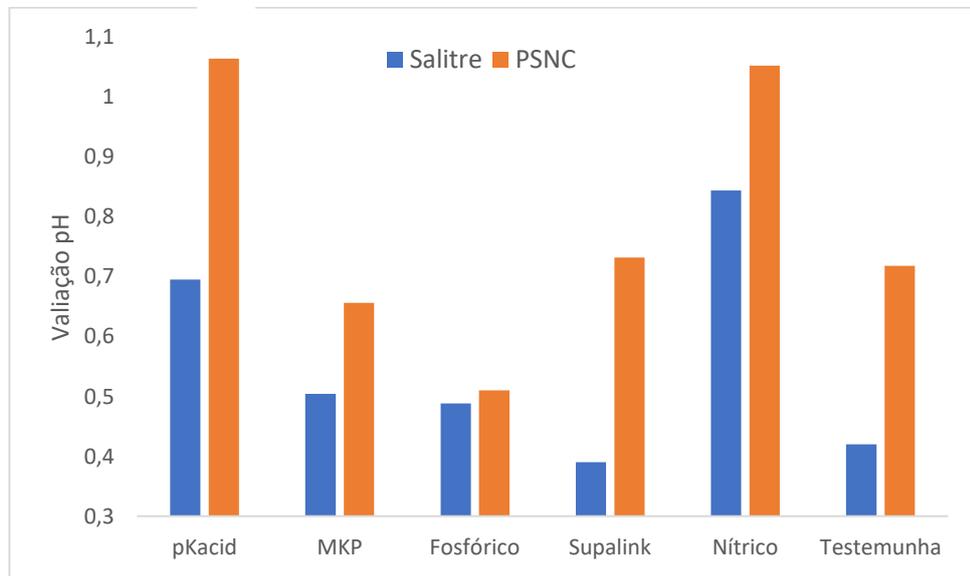


Figura 2: Variação do pH de solo, após 4 aplicações de diferentes redutores de pH em função da textura dos solos (argiloso - Salitre e arenoso - PSNC).



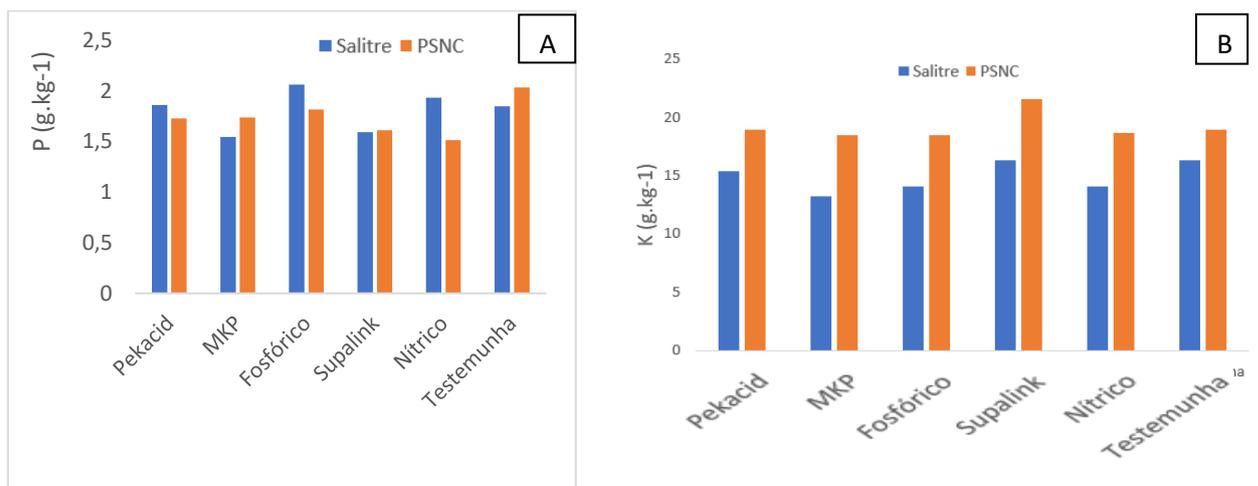
A eficácia dos redutores de pH foi mais acentuada em solos de textura arenosa, devido ao menor poder tampão desses solos. No entanto, tanto o Pekacid quanto o ácido nítrico também mostraram bons resultados em solos de textura argilosa. A redução do pH, que foi um pouco superior a um ponto, após quatro aplicações, é essencial para a dinâmica dos nutrientes no solo, especialmente para a

disponibilidade de micronutrientes essenciais (Figura, 4), como Ferro (Fe), Cobre (Cu), Zinco (Zn), Manganês (Mn) e Boro (B), (Silva et al., 2019; Oliveira e Almeida, 2020).

A redução do pH em solos arenosos e argilosos das duas áreas proporcional as aplicações dos redutores, mostrou-se menos eficaz comparando entre produtos, na disponibilização de fósforo (P) e potássio (K), na parte aérea das mudas de uva para ambos os redutores, apresentando uma concentração maior do potássio, comparando entre os solos, apenas para o arenoso. Isso está em consonância com estudos anteriores que destacam a maior solubilidade do fósforo em condições de pH mais baixo, particularmente em solos com menor capacidade de retenção de nutrientes, sendo eles os arenosos (Silva et al., 2019). Em solos argilosos, o efeito é menos pronunciado devido ao maior poder causado pelo solo, que pode neutraliza-lo (Oliveira e Almeida, 2020).

O potássio em solos arenosos foi mais absorvido pela videira, devido a mobilidade do potássio ser maior em solos com menor capacidade de troca catiônica (CTC), confirmando com os resultados encontrados por Oliveira e Almeida (2020), que enfatizam a importância da textura do solo na dinâmica do potássio, especialmente em sistemas de manejo que utilizam redutores de pH.

Figura 3: Teor de Fósforo (A) e potássio (B) na parte aérea de mudas de uva, em função da aplicação de redutores de pH e da textura dos solos (argiloso – Salitre e arenoso - PSNC).



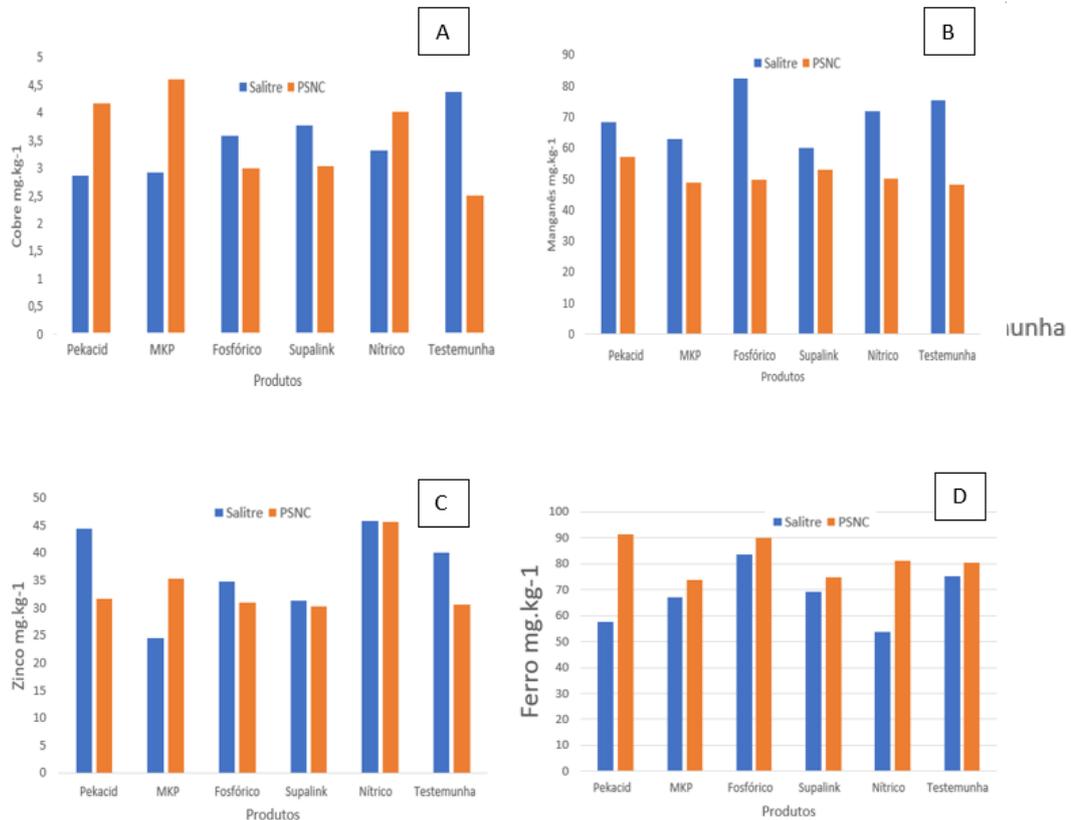
A avaliação dos teores de micronutrientes (cobre, manganês, zinco e ferro) na parte aérea de mudas de videira, após a aplicação de redutores de pH em dois solos representativos do Vale do São Francisco (VSF), apresentou variações

relevantes, destacando-se o comportamento do zinco como o único elemento a apresentar diferença entre dois produtos.

O teor de cobre (Figura 4A), indicou que as variações entre os diferentes produtos aplicados nos solos não resultaram em diferença seu teor na planta. Isso sugere que, para o cobre, os redutores de pH testados não alteraram de maneira expressiva a absorção deste micronutriente pela planta. Esse comportamento foi semelhante para o manganês (Figura 4B) e ferro (Figura 4D), onde os produtos aplicados não induziram respostas marcantes nas plantas em termos do teor destes elementos.

Entretanto, o teor de zinco na planta (Figura 4C), foi maior quando tratadas com ácido nítrico e com o Pekacid em solo arenoso, indicando um impacto direto na disponibilidade e absorção de zinco pelas plantas. Tal diferença evidencia que os produtos testados podem alterar a dinâmica do zinco no solo, tornando-o mais ou menos disponível para a planta, (EMBRAPA, 2020).

Figura 4: Teor de cobre, manganês, zinco e ferro na parte aérea de mudas de uva, em função da aplicação de redutores de pH e da textura dos solos (argiloso – Salitre e arenoso - PSNC).



A disponibilidade de micronutrientes essenciais para as plantas em solos alcalinos está diretamente relacionada às condições químicas desse tipo de solo. Solos alcalinos, caracterizados por pH elevado (geralmente acima de 7,0), tendem a apresentar limitações na disponibilidade de certos micronutrientes, como ferro (Fe), zinco (Zn), cobre (Cu) e manganês (Mn). O pH elevado provoca a precipitação desses elementos, tornando-os menos solúveis e, portanto, menos disponíveis para as plantas, (Silva et al., 2019).

O ferro é um dos micronutrientes mais afetados em solos alcalinos e com esse aumento do pH promove a formação de compostos insolúveis, como óxidos e hidróxidos de ferro, o que reduz sua solubilidade e, conseqüentemente, sua disponibilidade para as plantas o que pode levar à clorose férrica, especialmente em culturas sensíveis, como a videira e os citros, (MALAVOLTA, 2006).

Segundo Marschner (2012), a deficiência de zinco em solos alcalinos é comum, e essa limitação pode resultar em problemas de crescimento nas plantas, afetando a divisão celular e a síntese de hormônios. Para o cobre, a limitação na disponibilidade em solos alcalinos pode resultar em problemas na fotossíntese e no metabolismo de carboidratos das plantas, (Fageria *et al.* 2002).

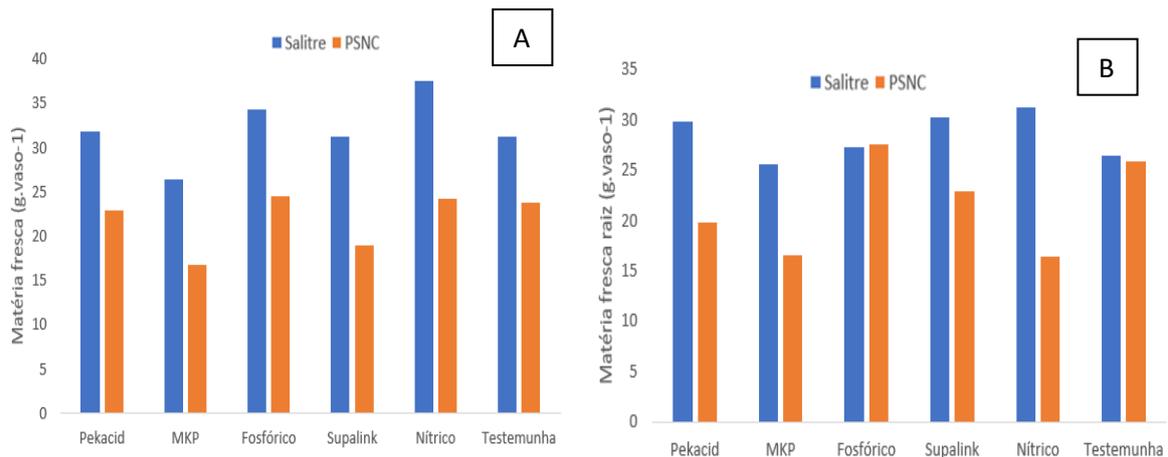
A disponibilidade de cobre segue um padrão semelhante ao do ferro e zinco em solos alcalinos. Com o aumento do pH, o cobre tende a precipitar, formando compostos menos solúveis, sendo que, a limitação na disponibilidade de cobre em solos alcalinos pode resultar em problemas na fotossíntese e no metabolismo de carboidratos das plantas, (FAGERIA *et al.* 2002).

O manganês é outro micronutriente cuja disponibilidade é reduzida em solos alcalinos. A elevação do pH provoca a conversão de Mn^{2+} , que é a forma disponível para as plantas, em Mn^{3+} ou Mn^{4+} , formas menos solúveis e, a deficiência de manganês em solos alcalinos pode provocar clorose interveinal, (FAGERIA *et al.* 2002).

No que tange à produção de matéria fresca em mudas de uva, os resultados não apresentaram diferenças significativas entre os diferentes redutores de pH testados (Figuras 5). Este resultado pode ser atribuído ao curto período de experimento e aos altos níveis de nutrientes presentes nos solos, que foram suficientes para atender à pequena demanda de nutrientes nesta fase inicial. O mesmo foi observado para os teores de nutrientes na matéria seca da parte aérea das

mudas (Figuras 4), confirmando que os níveis de nutrientes foram adequados para o crescimento inicial das plantas, (ALMEIDA *et al.*, 2023).

Figura 5: Produção de matéria fresca na parte aérea e raiz de mudas de uva, em função da aplicação de redutores de pH e da textura dos solos (argiloso – Salitre e arenoso-PSNC).



6 CONCLUSÃO

Portanto o Pekacid e o Ácido Nítrico apresentaram maior eficiência na redução do pH em ambas as texturas de solos (argiloso e arenoso); em solo arenoso o efeito dos redutores de pH é mais rápido que em solos argilosos.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. F.; SILVA, J. R.; OLIVEIRA, L. A. **Impacto de redutores de pH na produção de mudas de uva.** Revista Brasileira de Viticultura e Enologia, v. 35, n. 1, p. 87-99, 2023.

COSTA, A. P.; LIMA, A. R. **Efeito do pH na absorção de nutrientes em mudas de Vitis vinifera.** Journal of Agricultural Science, v. 10, n. 2, p. 45-60, 2023.

EMBRAPA. **Vitória: uva de mesa sem sementes.** Brasília: Embrapa, 2013.

Disponível em: <https://www.embrapa.br/uva-vitoria>. Acesso em: 25 ago. 2024.

EMBRAPA. **Potencial de exportação da uva Vitória no Vale do São Francisco.**

Petrolina: Embrapa Semiárido, 2015. Disponível em:

<https://www.embrapa.br/exportacao-uva-vitoria>. Acesso em: 25 ago. 2024.

EMBRAPA. **Produção de uvas de mesa no semiárido: uma realidade sustentável.** Petrolina: Embrapa Semiárido, 2018. Disponível em:

<https://www.embrapa.br/uva-no-semiarido>. Acesso em: 25 ago. 2024.

EMBRAPA. **Manejo de solo e irrigação na viticultura do Vale do São Francisco.**

Petrolina: Embrapa Solos, 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/irrigacao-solos>. Acesso em: 25 ago. 2024.

EMBRAPA. **Salinidade dos solos irrigados no Vale do São Francisco:**

estratégias de manejo. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2020. Disponível em:

<https://www.embrapa.br/salinidade-no-vale>. Acesso em: 25 ago. 2024.

EMBRAPA. **O potencial da viticultura irrigada no Vale do São Francisco.**

Petrolina: Embrapa Semiárido, 2022. Disponível em:

<https://www.embrapa.br/viticultura-vale>. Acesso em: 25 ago. 2024.

EMBRAPA. **Acidez e calagem em solos tropicais.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos,

2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/acidez-e-calagem-em-solos-tropicais>.

Acesso em: 25 ago. 2024.

EMBRAPA. **Manual de recomendação de corretivos de acidez de solos.** Rio de

Janeiro: Embrapa Solos, 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/manual-corretivos-acidez-solo>.

Acesso em: 25 ago. 2024.

EMBRAPA. **Caracterização e manejo de solos alcalinos no Vale do São**

Francisco. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2014. Disponível em:

<https://www.embrapa.br/solos-alcalinos>. Acesso em: 25 ago. 2024.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo.** 2. ed. Rio de Janeiro:

Embrapa, 1997.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; CLARK, R. B. **Micronutrients in crop**

production. Advances in Agronomy, v. 77, p. 185-268, 2002.

FAGERIA, N. K.; STONE, L. F. **Nutrição mineral de plantas**. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2006.

FAGERIA, N. K.; STONE, L. F. **Management of soil pH for optimal plant growth**. In: Soil Fertility and Fertilizers. CRC Press, 2006. p. 91-120.

FERREIRA, E. G. B.; SILVA, A. A. **Culturas acidificantes e manejo da fertilidade do solo**. Agropecuária Técnica, v. 40, n. 2, p. 159-170, 2019.

FERREIRA, L. M.; COSTA, R. S.; SANTOS, T. P. **Avaliação do ácido fosfórico como redutor de pH em solos calcários**. Journal of Agricultural Research, v. 24, n. 2, p. 102-110, 2019.

FERREIRA, L. M.; COSTA, R. S. **Características e manejo de solos argilosos para a agricultura**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 43, n. 2, p. 123-135, 2019.

FERREIRA, S. R.; SOUZA, D. R.; LOPES, G. H. **Custos e benefícios da utilização do Pekacid na adubação potássica e fosfatada**. Revista de Economia Agrícola, v. 68, n. 2, p. 205-218, 2021.

ICL. **PeKacid: fertilizante inovador para nutrição vegetal**. 2024. Disponível em: <https://www.icl-group.com>. Acesso em: 25 ago. 2024.

KIZILKAYA, R.; YILMAZ, I.; AKMAN, S. **Effects of sulfur and phosphorus on soil pH and nutrient availability in alkaline soils**. Journal of Plant Nutrition, v. 35, n. 3, p. 489-502, 2012.

LIMA, R. C.; SILVA, J. P. **Influência do pH do solo na disponibilidade de nutrientes e na produtividade agrícola**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 42, n. 4, p. 679-690, 2018.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3rd ed. London: Academic Press, 2012.

MARSCHNER, P. (Ed.). **Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants**. 3. ed. London: Academic Press, 2012.

MENDES, I. C. et al. **Ácidos orgânicos como agentes de solubilização de fósforo em solos alcalinos**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 42, p. 1-10, 2018.

MENDES, V. P.; ROCHA, A. L.; SANTOS, F. M. **Importância do ajuste de pH no solo para a eficiência dos fertilizantes**. Revista Brasileira de Agrociência, v. 24, n. 4, p. 512-523, 2018.

OLIVEIRA, L. A.; ALMEIDA, M. F. **Avaliação da eficácia de diferentes redutores de pH em solos agrícolas**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 55, n. 4, p. 789-798, 2020.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011.

ROCHA, A. L.; SANTOS, F. M. **Manejo do pH do solo: impactos na saúde das plantas e produtividade agrícola**. Revista de Agronomia, v. 29, n. 3, p. 301-315, 2020.

SANTOS, A. B.; COSTA, J. P.; PEREIRA, L. M. **Efeitos da calagem excessiva em solos calcários: implicações agronômicas e estratégias de manejo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 46, p. 1-15, 2022.

SILVA, F. **Avaliação da fertilidade de solos irrigados no semiárido brasileiro**. Instituto Federal do Sertão Pernambucano, 2021.

SILVA, J. A. **Aspectos da química do solo**. 2. ed. São Paulo: Editora Agricultura, 2023.

SILVA, J. R.; OLIVEIRA, M. A. **Impactos do uso de ácido sulfúrico na correção de solos alcalinos**. Revista de Solos e Nutrição, v. 12, n. 3, p. 89-95, 2017.

SILVA, J. R.; OLIVEIRA, L. A.; ALMEIDA, M. F. **Efeito de redutores de pH na disponibilidade de micronutrientes no solo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 43, n. 1, p. 123-135, 2019.

SOUZA, D. M. G.; ALMEIDA, D. L. **Uso de corretivos e fertilizantes na agricultura brasileira**. 2. ed. Brasília: Embrapa, 2015.

SOUZA, R. F.; LIMA, A. C.; OLIVEIRA, M. S. **Sustentabilidade na viticultura irrigada do Vale do São Francisco**. Revista Brasileira de Agricultura Sustentável, v. 12, n. 3, p. 45-60, 2021.

SOUZA, A. B.; SILVA, C. R.; OLIVEIRA, M. S. **Impacto do pH do solo na disponibilidade de nutrientes e na produtividade da videira**. Revista de Agricultura Sustentável, v. 15, n. 3, p. 45-58, 2018.

SOUZA, D. M. G.; ALMEIDA, D. L. **Uso de corretivos e fertilizantes na agricultura brasileira**. 2. ed. Brasília: Embrapa, 2015.

SOUZA, D. R.; LIMA, A. R.; MENDES, V. P. **Análise econômica do uso de ácidos na correção do pH do solo**. Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável, v. 12, n. 3, p. 345-357, 2022.

SOUZA, R. F.; LIMA, A. C. **Práticas sustentáveis para a mitigação da alcalinidade excessiva em solos do Vale do São Francisco**. Agricultura Sustentável, v. 12, n. 3, p. 45-60, 2021.

SOUZA, R. F.; LIMA, A. C.; OLIVEIRA, M. S. **Manejo de solos arenosos em regiões semiáridas**. Revista de Agricultura Sustentável, v. 15, n. 3, p. 45-60, 2021.

TANG, C.; CONYERS, M. K.; NURUZZAMAN, M.; RENGEL, Z. **O efeito do pH do solo no crescimento, nodulação e acúmulo de nutrientes do grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.)**. Planta e Solo, Dordo

