

INSTITUTO FEDERAL
GOIANO
Câmpus Rio Verde

BACHARELADO EM AGRONOMIA

**CALAGEM E ADUBAÇÃO FOSFATADA COMO
ATENUADORES A TOXICIDADE DE ALUMÍNIO EM
LATOSSOLO**

REBECA MARTINS DA SILVA FERNANDES DE OLIVEIRA

Rio Verde, GO

2022

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO-CAMPUS RIO VERDE.
BACHARELADO EM AGRONOMIA**

**CALAGEM E ADUBAÇÃO FOSFATADA COMO ATENUADORES A
TOXICIDADE DE ALUMÍNIO EM LATOSSOLO**

REBECA MARTINS DA SILVA FERNANDES DE OLIVEIRA

Trabalho de Curso apresentado ao Instituto Federal Goiano-Campus Rio Verde, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Bacharela em Agronomia.

Orientador: Prof. DSc. Carlos Ribeiro Rodrigues
Co-Orientadora: Prof. DSc Tatiana Michlovská Rodrigues

Rio Verde – GO

Abril, 2022

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

MR289c Martins da Silva Fernandes de Oliveira, Rebeca
Calagem e fosfatagem como atenuadores a
toxicidade de alumínio em Latossolo / Rebeca Martins
da Silva Fernandes de Oliveira; orientador Carlos
Ribeiro Rodrigues; co-orientadora Tatiana Michlovská
Rodrigues. -- Rio Verde, 2022.
60 p.

TCC (Graduação em Bacharelado em Agronomia) --
Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2022.

1. sistema radicular. 2. alumínio. 3. fosfatagem.
4. calagem. I. Ribeiro Rodrigues, Carlos, orient.
II. Michlovská Rodrigues, Tatiana, co-orient. III.
Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese | <input type="checkbox"/> Artigo Científico |
| <input type="checkbox"/> Dissertação | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia – Especialização | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input checked="" type="checkbox"/> TCC - Graduação | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor:

Matrícula:

Título do Trabalho:

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: ___/___/___

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

1. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
2. obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
3. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Instituto Federal Goiano Campus Rio Verde, 28/04/2022.

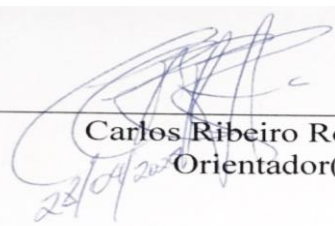
Local

Data



Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:



Carlos Ribeiro Rodrigues
Orientador(a)
28/04/2022

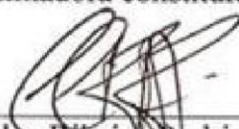
Assinatura do(a) orientador(a)

Página de aprovação da banca examinadora.

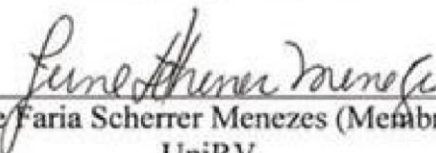
REBECA MARTINS DA SILVA FERNANDES DE OIVEIRA.

CALAGEM E ADUBAÇÃO FOSFATADA COMO ATENUADORES A
TOXICIDADE DE ALUMÍNIO EM LATOSSOLO.

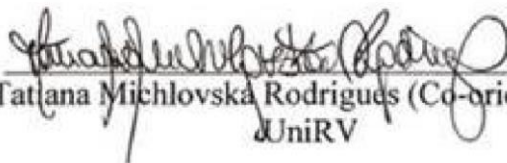
Trabalho de curso DEFENDIDO e APROVADO em 20 de abril de 2022, pela Banca
Examinadora constituída pelos membros:



Carlos Ribeiro Rodrigues (Orientador)
IF Goiano, Campus Rio Verde



June Faria Scherrer Menezes (Membro)
UniRV



Tatiana Michlovska Rodrigues (Co-orientadora)
UniRV

RIO VERDE-GO

2022

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

MR289c Martins da Silva Fernandes de Oliveira, Rebeca
Calagem e fosfatagem como atenuadores a
toxicidade de alumínio em Latossolo / Rebeca Martins
da Silva Fernandes de Oliveira; orientador Carlos
Ribeiro Rodrigues; co-orientadora Tatiana Michlovská
Rodrigues. -- Rio Verde, 2022.
60 p.

TCC (Graduação em Bacharelado em Agronomia) --
Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2022.

1. sistema radicular. 2. alumínio. 3. fosfatagem.
4. calagem. I. Ribeiro Rodrigues, Carlos, orient.
II. Michlovská Rodrigues, Tatiana, co-orient. III.
Título.

Dedicatória.

Ao meu tio Waldeci Francelino da Silva (*in memoriam*).

Agradecimentos

A Deus, todo o meu louvor e gratidão por me honrar e permitir real um sonho que outrora era improvável, mas aconteceu. Aos meus pais Iná e Marcos por serem minha fonte de apoio e inspiração e minha amada irmã Raquel companheira de todas as horas e sempre presente.

Gratidão aos meus professores Carlos Ribeiro Rodrigues e Tatiana Michlovska por caminharem comigo ao longo da graduação ensinando-me com paciência e acreditando em meu potencial, muitas vezes quando nem mesmo eu acreditei, a vocês minha eterna gratidão. A toda a brilhante equipe do Laboratório de Química Agrícola do Instituto Federal Goiano Campus Rio Verde, expresso aqui minha gratidão em especial aos amigos que conquistei Jordana, Rafael, José Vitor e Witoria, obrigada por todo o apoio e disposição em cada etapa deste trabalho, por tornarem ele mais leve e toparem cada ideia que eu tive. Vocês fizeram a diferença em cada objetivo alcançado.

Agradeço também as minhas amigas irmãs Eide e Iara por caminharem comigo a mais de dez anos, desde o ensino médio, passando pela graduação e seguindo por toda uma vida juntas, a vocês minha eterna gratidão, agora finalmente somos as três engenheiras agrônomas. As minhas amadas primas Marta, Sarah, Karol, Bianca, Karla, Adriana, Loanda e Alinne, por todo amor e momentos de alegria dispensados a mim por toda esta vida, sou grata a Deus por ter tido o privilégio de nascer na mesma família de vocês e ter ao meu lado mulheres tão fortes e inspiradoras. Aos meus primos João Miguel, dádiva de Deus em minha vida, presente vindo dos céus, Deivisson e Jardel, obrigada por tanto amor.

Aos meus primos Jucylla e Rafael, agradeço por todo apoio e carinho e a cada oportunidade que me deram, vocês fazem a diferença em minha história. Aos meus amados tios Eurípides, Isaías e Waldeci (*in memoriam*) e tias Maura, Marta, Marylene, Elienay e Amélia, mulheres de fé e oração sempre presentes em minha vida.

A minha amiga Thayná Pedrosa, que é com toda certeza uma das maiores e melhores surpresas da graduação. Sou e sempre serei grata a Deus por sua vida e a nossa amizade, você faz a diferença nos meus dias.

A minha amiga Andressa Rossi por ser tão presente e constante em minha vida, me apoiando, incentivando e acreditando em mim, espero poder devolver tudo o que você fez e faz por mim.

A minha amiga Eduarda Ribeiro (Duda para os íntimos) obrigada por tudo o que você é, pelo que já fez por mim, por me ensinar, apoiar, incentivar e me encorajar a vencer meus medos todos os dias, obrigada por sempre estar ao meu lado.

Aos meus queridos amigos Manoel Ricardo, Silvia, Ritiane, Kemelly, Lorena Helen, Carol, Jéssica e Isabela por fazerem momentos tensos e estressantes dos finais de semestre se tornarem divertidos e muito alegres, compartilhando comigo altos e baixos, mas sempre cheios de fé e otimismo.

Ao meu amigo e em breve colega de profissão Paulo Hernandes, gratidão por toda a imensa ajuda e apoio na condução deste trabalho, pelo auxílio nas coletas de solo e muito mais, você ajudou a tornar tudo isto possível.

Ao Instituto Federal Goiano Campus Rio Verde e a todos os meus docentes presentes em minha trajetória acadêmica desde meus 15 anos quando iniciei o curso técnico em agropecuária e agora finalizando minha graduação em agronomia.

A todos (as) citados aqui ou não, que de alguma maneira estiveram presentes durante a graduação, deixo aqui minha mais sincera gratidão.

RESUMO

OLIVEIRA, Rebeca Martins da Silva Fernandes. **Calagem e fosfatagem como atenuadores a toxicidade de alumínio em latossolo**. 2022. 59p Monografia (Curso de Bacharelado em Agronomia). Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Goiano- Câmpus Rio Verde, Rio Verde, GO,2022.

O presente estudo objetivou avaliar o desenvolvimento do sistema radicular da cultura da soja (*Glycine Max* L. Moench) cv. NS 6006 IPRO semeada em rizotrons contendo oito kg de Latossolo Vermelho Distroférico (LVdf), enriquecido com alumínio, e cultivado em casa de vegetação com e sem correção do solo e com diferentes fontes na adubação fosfatada. O delineamento foi em blocos casualizados em esquema fatorial 2 x 6 sendos dois tratamentos de correção do solo (com e sem) e três tratamento de adubação fosfatada (sem adubação, uso do monoamônio fosfato protegido e do superfosfato triplo) com três blocos. Os tratamentos foram aplicados ao volume de solo destinado a cada rizotron e incubados por 15 dias. Após a incubação foram retiradas amostras de solo para a caracterização química e no mesmo dia semeada a soja. A soja foi cultivada até o estágio R3 quando foram coletadas e realizadas as avaliações se crescimento de raiz através da massa seca de raiz e da superfície de raiz. Em seguida foram retiradas as amostras de solo rizosférico e não rizosférico e realizada a caracterização química. Na caracterização química foram analisados o pH em CaCl₂ e em H₂O, o Ca²⁺, o Mg²⁺, o P (Mehlich 1 e 3), o K⁺, o H+Al e o Al³⁺. A correção do solo e a adubação fosfatada alteraram as propriedades químicas do solo, aumento no crescimento em massa e área de solo explorado demonstrando que adubação fosfatada foi mais eficiente em promover o crescimento radicular da soja quando comparado ao calcário, mesmo na presença de alumínio. Com os resultados é possível concluir que a correção do solo e a adubação fosfatada aumentam o crescimento das raízes da soja, sendo que o ST aumenta o crescimento em massa de raiz e com o MAP protegido houve menor massa se raiz, mas maior exploração do volume de solo.

Palavras-chave: sistema radicular, alumínio, soja, fosfatagem, calagem

LISTA DE ABREVIACÕES E SÍMBOLOS

A correção da acidez do solo;
Al alumínio;
 Al^{3+} alumínio trocável;
 $\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ fosfato de alumínio;
 $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ cloreto de alumínio hexahidratado;
A correção da acidez do solo;
AA absorção atômica;
AF adubação fosfatada;
Ca cálcio;
 Ca^{2+} cálcio trocável;
CaO óxido de cálcio;
 CaCl_2 cloreto de cálcio;
 CO_2 dióxido de carbono;
 CO_3^{2-} íon carbonato;
 CaHPO_4 fosfato de cálcio;
 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ fosfato tricálcio;
 $\text{Ca}_8\text{H}_2(\text{PO}_4)_5 \cdot 5.5\text{H}_2\text{O}$ fosfato octacálcico; CTC
capacidade de troca catiônica; $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ centimol
de carga por decímetro cúbico;
F flúor;
Fe ferro;
 Fe^{2+} férrico;
g grama;
H+Al acidez potencial total;
 H^+ íon hidrônio;
 H_2O água;
 H_2PO_4^- dihidrogenofosfato;
 H_2PO_2^- ácido metafosfórico;
 H_3PO_4 ácido fosfórico;
 K^+ potássio trocável;
KCl cloreto de potássio;

LVdf Latossolo Vermelho distroférico;
MAP monoamônio fosfato;
MO matéria orgânica;
Mg²⁺ magnésio trocável;
MgO óxido de magnésio;
M1 Mehlich 1;
M3 Mehlich 3; MCP morte celular
programada; mm milímetro; mg dm⁻³
miligrama por decímetro cúbico;
N nitrogênio;
N-NH₄⁺ nitrogênio amoniacal;
NaOH hidróxido de sódio;
NH₄⁺ amônio;
NH₄F fluoreto de amônio;
NO₃⁻ nitrato;
OH⁻ hidroxila;
P fósforo; P₂O₅ pentóxido de fósforo; pH
potencial hidrogeniônico; PRNT poder
relativo de neutralização total;
PN poder de neutralização;
RDM massa seca das raízes;
ST superfosfato triplo;
WA sem correção de acidez do solo e
WP sem correção de adubação fosfatada.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.	1
2	REVISÃO DE LITERATURA.	3
2.1	Solos do Cerrado e a toxidez do alumínio.	3
2.2	O alumínio tóxico nas plantas.	3
2.3	A soja e o efeito do alumínio.	4
2.4	Efeitos do cálcio e da Calagem na redução do alumínio tóxico em solos tropicais.	5
2.5	O fósforo no solo e redução dos efeitos tóxicos do alumínio nas plantas.	6
2.6	Rizosfera, <i>solo rizosférico</i> e <i>não rizosférico</i>	6
3	MATERIAL E MÉTODOS	8
3.1	Local de Realização do Experimento	8
3.2	Delineamento e Unidade Experimental	8
3.3	Instalação, Condução e Avaliações.	9
3.4	Estatística	11
4	RESULTADOS	12
4.1	Análise de solo pós incubação	12
4.2	Crescimento de Raiz	14
4.3	Análise de Solo <i>Rizosférico</i> e <i>Não Rizosférico</i> Pós Coleta	19
5	DISCUSSÃO	24
6	CONCLUSÕES.	31
7	BIBLIOGRAFIA CITADA.	32
	ANEXOS.	48
	Glossário.....	49

1 INTRODUÇÃO.

Nos solos ácidos o (Al) encontra-se na forma catiônica, que são tóxicos para a grande maioria dos vegetais (OLIVEIRA et al., 2019). A toxicidade desse metal é uma das principais restrições no campo para a produtividade agrícola, ficando atrás apenas das restrições impostas pelo déficit hídrico (SILVA, 2018). O Al em concentração elevada, além de ser tóxico às plantas, pode interferir na disponibilidade de outros nutrientes, sendo o exemplo mais típico desse efeito a solubilidade de fosfato no solo.

Para a soja o fósforo é o nutriente aplicado em maior quantidade na adubação, e o alumínio em solução pode precipitar com o ânion fosfato (H_2PO_4^-) adicionado ao solo (NOVAIS & et al, Precipitação de fósforo no solo, 2007). Estudos demonstram que alguns genótipos de soja são sensíveis ao Al^{3+} no solo, como a cultivar P98Y70, que reduziu o crescimento do sistema radicular. (SILVA, 2018).

Plantas sensíveis ao alumínio, no primeiro momento de exposição ao estresse, ocorre a inibição da expansão e divisão celular nas raízes, sendo no meristema radicular onde ocorrem os primeiros sintomas de toxicidade do Al (EM et al., 2016), resultando em raízes grossas, quebradiças e escurecidas (GEORGE; HORST; NEUMANN, 2011). Quando o Al é absorvido via sistema radicular, após entrar no apoplasto, ele é transportado para o simplasto pelos transportadores da plasmalema após curto período de exposição (RAMPIM; LANA, 2013).

Para a redução da toxicidade do Al nos solos com pH abaixo de 5,5 é utilizada a calagem, prática reconhecidamente benéfica em condições de solos ácidos, além de ser uma técnica de manejo barata para se elevar o pH do solo, visto que os solos brasileiros são naturalmente ácidos (DE CAMARGO et al., 2010; DE SOUZA et al., 2011; RAIJ, 2011).

O calcário neutraliza a acidez, representada por alumínio e hidrogênio, deixando o calcário no lugar dos cátions de caráter ácido (RAIJ, 2011). Tal reação ocorre pois os carbonatos de cálcio ou magnésio ao entrar em contato com a água são dissociados liberando hidroxilas, água e gás carbônico. As OH^- neutralizam a acidez do solo pois reagem com o Al^{3+} formando o hidróxido de alumínio. Então, com liberação do cálcio e a neutralização da acidez do solo há redução do alumínio em sua forma tóxica. Com a redução da atividade do alumínio em solução, há redução das perdas de fósforo pela

precipitação com o Al, que é uma forma de P de baixa labilidade. Assim, a calagem e a gessagem, são práticas de correção do solo que aumentam a eficiência dos fertilizantes fosfatados.

As fontes fosfatadas monoamônio fosfato (MAP) (51 a 52% de P_2O_5 e 10 a 12% de N) e o superfosfato triplo (ST) (45 a 46% de P_2O_5 e 10 a 12% de Ca) são umas das mais utilizadas na agricultura brasileira. O cálcio presente no ST ao ser liberado no solo via adubação, reage de forma semelhante ao Ca do calcário. O cátion liga-se ao oxigênio livre oriundo de duas vias, a fração orgânica ou exsudados radiculares, formando o óxido de cálcio (CaO) que dissocia-se liberando o cátion Ca^{2+} e o oxigênio que liga-se aos prótons livres gerando hidroxilas (OH^-) (LOPES et al., 2007; MONTEIRO et al., 2012; TEIXEIRA et al., 2010).

O MAP não possui cálcio em sua constituição, entretanto, por ser o fertilizante fosfatado mais utilizado na agricultura brasileira, uma série de inovações para aumentar sua eficiência tem sido desenvolvido. Uma dessas tecnologias é o recobrimento do grânulo do fertilizante tornando a sua solubilização mais lenta. O uso de fontes de liberação lenta podem aumentar a disponibilidade do P em um maior período de tempo e redução das perdas por adsorção específica, uma vez que o revestimento impede o contato do fertilizante com óxidos (MACHADO; DE SOUZA, 2012). O MAP-Kimberlit, é uma tecnologia desenvolvida pela Kimberlit Agrociências, utilizada para revestir os grânulos dos fertilizantes com camadas que combinam minerais e polímeros, que pode permitir a redução de perdas que ocorrem no processo de fixação do fósforo no solo, disponibilizando, assim, esse elemento por um maior período de tempo (CARLESSO et al., 2012; DE NIRO GAZOLA et al., 2013).

Com o que foi abordado acima se espera que com o uso da calagem e da fosfatagem há a mitigação da toxidez por alumínio em um Latossolo Vermelho distróférrico. Portanto, o objetivo do trabalho foi avaliar o crescimento do sistema radicular da soja em rizotrons e as características químicas do solo com $1\text{ cmol}_c\text{ dm}^{-3}$ de Al em função da aplicação de duas fontes fosfatadas (MAP-Kimberlit e ST) e calagem.

2 REVISÃO DE LITERATURA.

2.1 Solos do Cerrado e a toxidez do alumínio.

Os solos tropicais têm em seu processo de formação aspectos climáticos e intempéricos diferenciados das regiões de clima temperado (FARIAS, 2012) e originalmente apresentam baixas disponibilidades de nutrientes e são altamente intemperizados, como os Latossolos que são ácidos (CARDUCCI et al., 2011), e com alta saturação de Al (LOPES et al., 2007; GUARESCHI, 2013 e INKOTTE et al., 2019).

A acidificação do solo aumenta a solubilidade de compostos de Al, o que ocasiona o aumento da concentração de Al^{3+} livre na solução do solo e consequentemente a sua disponibilidade para as plantas (HALISKI, 2018). Nas plantas o Al afeta o desenvolvimento, e em particular, inibe o crescimento das raízes e a absorção de água e nutrientes (DE MENEZES et al., 2018), isso porque há maior acúmulo de Al nas raízes (HEWITT, 1979). Toxidez por alumínio (Al), reduzindo o desenvolvimento do sistema radicular e a absorção de água e de nutrientes, tem sido apontada como uma das principais causas da baixa produtividade em muitos solos (OLIVEIRA, 2012), o que torna a variável um importante componente da agricultura em solos de cerrado.

2.2 O alumínio tóxico nas plantas.

Os efeitos prejudiciais do alumínio tóxico nas diversas espécies, são observados tanto no sistema radicular, quanto na parte aérea (JUNIOR, 2017) sendo o sintoma mais evidente na rápida inibição do alongamento da raiz (AQUINO et al., 2013b; AWASTHI et al., 2017) e da expansão celular (BANHOS, 2016).

Isto faz com que seu crescimento e desenvolvimento sejam comprometidos, devido à formação de raízes mais grossas, curtas e escuras, com menor número de ramificações e volume (LEMOS, 2015) prejudicando a absorção de água e nutrientes.

Na cultura do amendoim (*Arachis hypogaeal*) por exemplo, estudos mostram que , (AQUINO et al., 2013) com o aumento da dose de alumínio na solução houve uma queda no teor de clorofila nas folhas, pois o principal sintoma observado foi a clorose. Também encontramos uma redução de 35% no potencial hídrico foliar ao meio-dia em plantas expostas ao alumínio (BANHOS, 2016).

A exposição das raízes ao alumínio, também leva a um estresse oxidativo e a diminuição da atividade mitótica (SILVA, 2012) acumulação de EROs , inibição da fotossíntese, desorganização da estrutura da membrana e ativação da morte celular programada (MCP)(TAIZ; ZEIGER, 2013).

Embora estes sintomas sejam amplamente estudados em diversas culturas, as razões subjacentes aos seus efeitos ainda são evasivas (SILVA, 2018) o que sugere a continuidade do desenvolvimento de investigações a respeito do pleno efeito do alumínio tóxico no sistema radicular das plantas, em especial da soja.

2.3 A soja e o efeito do alumínio.

A soja *Glycine Max* (L.) Merr é a principal cultura no agronegócio brasileiro, incorporada aos poucos no cerrado, levou a região do centro-oeste Brasileiro a se tornar uns dos maiores produtores dos grãos (DAMASCENO et al., 2016). A área plantada de soja, no período 2020/21, apresentou crescimento de 4,2% em comparação à safra anterior, atingindo 38,5 milhões de hectares (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - (CONAB), 2020).

O alumínio (Al) é o terceiro elemento mais abundante na crosta terrestre e o mais abundante metal (CONSALTER, 2013), é um dos principais fatores limitantes do desenvolvimento das plantas em solos ácidos, que estão presentes em aproximadamente 50% das áreas agricultáveis do mundo (AQUINO et al., 2013; DE OLIVEIRA, 2019). A soja é conhecida por ser muito sensível ao Al (SAGALA; SUZANNA, 2020). O Al no solo

pode ser absorvido pelas raízes afetando diversos processos biológicos e físicos que, conseqüentemente irão resultar na inibição do crescimento da raiz (FAMOSO et al., 2010; GUPTA; GAURAV; KUMAR, 2013) alterações morfológicas, como engrossamento e curvatura do ápice e diminuição da eficiência da nodulação (MIGUEL, 2010; SILVA, 2018). E na célula, o Al pode interagir com diferentes compostos, tais como paredes celulares, membranas plasmáticas, mitocôndrias, cloroplastos e núcleo (SILVA, 2018).

As raízes evoluíram para explorar o solo (GREGORY, 2011). A rizosfera desempenha um papel fundamental na eficiência do uso de nutrientes nas lavouras porque é a interface entre as raízes e o solo, atuando como mecanismo externo de tolerância ao alumínio, exsudando ácidos orgânicos (E SILVA, 2017; MARSCHNER, 2011; SAHA, B; SWAIN, D; BORGOHAIN, P; ROUT, G.R; KOYAMA, H; PANDA, 2020) produzidos a partir do ciclo de Krebs (SILVA, 2019).

A absorção de nutrientes essenciais do solo e seu transporte na planta também é afetada na presença do Al, com destaque para a inibição da absorção de alguns cátions como Ca^{2+} (62%), NH_4^+ (40%), Mg^{2+} (13%), e aumento no influxo de ânions como NO_3^- (44%) e H_2PO_4^- (17%) (GUPTA; GAURAV; KUMAR, 2013). Outro efeito observado pelo Al em concentração elevada, está na solubilidade dos ânions fosfato (H_2PO_2^-) que podem se ligar à Al da solução do solo, formando fosfatos de alumínio, inviabilizando o fósforo (LOPES et al., 2007; TAIZ; ZEIGER, 2013) nutriente essencial para o cultivo da soja (STAUFFER et al., 2004).

2.4 Efeitos da Calagem na redução do alumínio tóxico em solos tropicais.

A calagem é uma técnica importante e bem conhecida para corrigir e elevar o pH dos solos ácidos (BARBOSA et al., 2017; RAHMAN et al., 2018), melhora a estrutura do solo (MENGEL, 2001), neutraliza o Al do solo e fornece Ca e Mg para as plantas (LOPES et al., 2007). À medida que o calcário reage no solo, o cálcio se move para a superfície das partículas do solo, e deslocam o H^+ e o Al^{3+} , que são subsequentemente neutralizados resultando no aumento do pH graças à presença de cátions básicos e ânions (CO_3^{2-}) capazes de trocar prótons para formar H_2O e CO_2 (AGEGNEHU et al., 2021; MWENDE MUINDI, 2020).

Com a elevação do pH, o Al deixa de ser tóxico para as raízes (NASCENTE et al., 2019), melhora a disponibilidade do P para a solução do solo (ROSA; CAPONI; JÚNIOR, 2016) e promove maior desenvolvimento do sistema radicular das plantas.

2.5 O fósforo no solo e redução dos efeitos tóxicos do alumínio nas plantas.

O potencial agrícola dos Latossolos do cerrado brasileiro é alto (SEVERIANO et al., 2011), graças a fatores como o desenvolvimento de pesquisas para o manejo do solo, como por exemplo a diversificação de fertilizantes fosfatados e a calagem.

Os nutrientes são vitais para o crescimento e o desenvolvimento das plantas (NASCENTE et al., 2019). Nas adubações, o P é considerado um nutriente de baixo aproveitamento pelas plantas (STAUFFER et al., 2004), e junto com o nitrogênio, é o nutriente mineral que mais limita a produção das culturas vegetais (TAIZ; ZEIGER, 2013). O fósforo é um nutriente essencial para as plantas, componente integral de compostos importantes nas células vegetais, necessário para a fotossíntese, respiração e função celular (CRISTINA MARTINS BOUCHO, 2016; STAUFFER et al., 2004; TAIZ; ZEIGER, 2013).

O fósforo do solo existe em várias formas químicas, e encontra-se na solução do solo como íons ortofosfato, e formas derivadas do ácido ortofosfórico (H_3PO_4) (RAIJ, 2011; SHEN et al., 2011). O contato entre o P na solução do solo e a raiz se faz quase exclusivamente por difusão, e por isto no solo ele tem pequena mobilidade (MATOS et al., 2021; STAUFFER et al., 2004). A disponibilidade de fósforo para as plantas pode ser manejada pela adoção de práticas como a calagem em solos ácidos (MUIDI, 2019), logo a ligação química outrora observada entre íons fosfato e hidróxidos de alumínio formando por exemplo a variscita ($AlPO_4 \cdot 2H_2O$) que impede a absorção de fósforo disponível via solução do solo é rompida.

Com isto, constata-se que a ação de fontes minerais fosfatadas que apresentam cálcio em suas formulações, contribuem para a neutralização do Al^{3+} através da liberação do Ca^{2+} impedindo a formação de fósforo adsorvido, fornecendo o nutriente para as plantas.

2.6 Rizosfera, solo rizosférico e não rizosférico

A rizosfera é definida como a região do solo que recebe influência direta das raízes, que tem um gradiente microbiológico, onde ocorrem trocas metabólicas das raízes com microrganismos (FREITAS et al., 2007; PEREIRA, 2011).

Na rizosfera, é comum a produção e liberação de ácidos orgânicos como um dos mecanismos de tolerância ao estresse causado pelo alumínio tóxico em solos ácidos, atuando como uma espécie de “estímulo” ao desenvolvimento radicular da região. Existem três componentes reconhecidos na rizosfera que interagem entre si: a rizosfera (*solo rizosférico*), que é a zona do solo influenciada pelas raízes através da liberação de substratos que afetam a atividade microbiana; o rizoplano ou a superfície da raiz, incluindo a elevada aderência de partículas do solo; e a raiz propriamente dita com tecido radicular (PEREIRA, 2011).

Já o solo *não rizosférico*, é a fração correspondente ao conglomerado de partículas de solo que não ficam aderidas ao sistema radicular, apresentando pouca atividade microbiológica quando comparado ao *solo rizosférico*, e sem a presença de exsudados radiculares e ácidos orgânicos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local de Realização do Experimento

O experimento foi realizado em casa de vegetação com temperatura controlada para 25°C. As plantas foram cultivadas em rizotrons de vidro medindo 0,4 m de comprimento, 0,6m de profundidade e 0,05m de largura com oito quilogramas de solo. Os rizotrons foram cobertos com papel alumínio plastificado até a data das avaliações. O solo utilizado foi o Latossolo Vermelho distroférico (LVdf), correlato aos Oxisols na Soil Taxonomy ou aos Ferralsols na WRB/FAO (SANTOS et al., 2018) coletado na profundidade de 0 a 0,2 m, em área de reserva de floresta semicaducifólia regenerada, transição Cerrado para Mata Úmida. O solo foi coletado seco ao ar e tamisado em peneira com malha de quatro milímetros. Uma subamostra do solo foi encaminhada para a análise para a caracterização química e granulométrica (Tabela 1).

TABELA 1 Caracterização química e granulométrica do Latossolo Vermelho Distroférico (LVdf) na camada de 0 a 0,2 m.

pH₁	P₂	K₃	Ca₄	Mg₄	Al₅	H+Al₆	MO₇	Areias	Silte⁹	Argila⁹
CaCl₂ -mg dm⁻³			-----cmol_c dm⁻³				--g dm⁻³	-----dag kg⁻¹		
4,86	4,18	1,81	41,32	35,02	12,05	9,53	0,05			

¹Determinado em solução de CaCl₂ 1 mol L⁻¹ na proporção solo : solução de 1:2,5. ²Extração pelo método Mehlich 1 e determinação colorimétrica pelo desenvolvimento da cor azul desenvolvida pelo complexo fosfato molibdato em meio ácido e na presença de ácido ascórbico. ³Extração pelo Mehlich 1 e determinação em fotometria de chama. ⁴Extração em solução de KCl 1 mol L⁻¹ e determinação em absorção atômica (AA). ⁵Extração em solução de KCl 1 mol L⁻¹ e determinação por titulometria com NaOH. ⁶Extração em solução tampão de acetato de cálcio pH 7 e determinação por titulometria com NaOH. Queima do C orgânico do solo pelo dicromato de potássio e determinação titulometria do excesso do íon dicromo com Fe²⁺ (SILVA, 2009). ⁸Obtido por tamisamento em peneiras de 2 a 0,053 mm. Obtidos por tamisamento em peneiras com abertura de 0,053 mm e separada a fração argila e silte por dispersão das partículas mecanicamente e quimicamente com NaOH (TEIXEIRA et al., 2017).

3.2 Delineamento e Unidade Experimental

O delineamento experimental foi em blocos casualizados em esquema fatorial 3 x 2 sendo, três formas de manejo da adubação fosfatada (superfosfato triplo – TS 46% de P₂O₅, monoamônio fosfato – MAP 51% de P₂O₅ com aditivo Kimberlit® e sem a adubação fosfatada – WP), com e sem correção (A e WA) do solo e três repetições. Cada repetição foi considerada uma parcela e cada parcela foi constituída de um rizotron.

3.3 Instalação, Condução e Avaliações.

Os rizotrons foram posicionados com ângulo de 45° e cobertos com papel alumínio plastificado (ANEXO 1). Os solos com os diferentes tratamentos foram preparados antes de acondicionar nos rizotrons. O solo recebeu os produtos de cada tratamentos mais solução de AlCl₃.6H₂O p.a. para aumentar 1 cmol_c dm⁻³ de Al no volume do solo. Em seguida foi homogeneizado em agitador horizontal por 10 minutos e adicionada a quantidade de água necessária para ocupar 60% dos espaços vazios. Os tratamentos foram incubados por 15 dias e mantendo a umidade com adição de água deionizada. Foram aplicadas as fontes de P necessárias para fornecer 200 mg dm⁻³ de P em todo o volume de solo do rizotron. Como corretivo foi utilizado o Oxyfertil® 6030 (60% de CaO, 30% de MgO, 175% PRNT, 183% PN). A dose utilizada foi de 1,325 mg ha⁻¹, estimada para aumentar a saturação de Ca na CTC para 50%. Quinze dias após foram retiradas amostras do solo para a caracterização química, pH em H₂O; pH em CaCl₂; Ca, Mg, K e Al trocáveis; H+Al e P (Mehlich 1 e 3) (EMBRAPA SOLOS, 2009).

Em seguida, foi semeada a soja, cv. NS6006 IPRO, em uma linha central no rizotron com 15 sementes e mantendo um estande final de 10 plantas, o que equivalente a 25 plantas por metro linear. As plantas foram cultivadas até o estágio R3 (70% das

plantas com pelo menos uma flor), quando os rizotrons foram abertos. No mesmo dia foram obtidas imagens com 60 megapixels com a câmera Nikon COOPPIX p600 em tripé paralelo ao rizotron e a 1,5 m de distância. Foram colocadas de cada lado do rizotron uma régua de madeira de 1 m e uma fita métrica como referência para o processamento da imagem. Essas imagens foram processadas no software Quant® e determinado o ângulo de ataque das raízes, o comprimento e a superfície em porcentagem da área do rizotron. Posteriormente os rizotrons foram cobertos novamente com o papel alumínio e a manteve a condução da cultura.

No estádio R3 de desenvolvimento das plantas foi realizada coleta do experimento. A lateral do rizotron que ficou para o lado interno teve a lateral retirada e foram tiradas fotografias com 60 megapixel com câmera fotográfica Nikon COOPPIX p600. A câmera estava a um metro do alvo e paralela à superfície exposta do rizotron apoiada em tripe próprio e a 1,5 m de altura do chão. Não foi utilizada aproximação da lente e a abertura do obturador foi programado para o automático. As fotos foram tomadas em horário com luz difusa para evitar reflexo e distorção da incidência direta da luz.

As imagens foram processadas no aplicativo ibis Paint X vs. 9.3.3 em tablet Ipad para destacar as raízes das plantas do fundo avermelhado do solo. Em seguida as imagens foram transferidas para o programa Quant vs. 1.0.2 sendo as imagens calibradas a partir da profundidade entre a superfície do solo e o fundo dos rizotrons, processadas para diminuir o número de cores e separar o fundo avermelhado das raízes brancas. Posteriormente, foi obtido o resultado da superfície branca, representada pelas raízes, e superfície avermelhada, representada pelo solo. A área em branco representou a superfície de raiz (SR) de cada rizotron, expressa em porcentagem da área total. Em seguida os rizotrons foram desmanchados e as raízes lavadas em água corrente e secas em estufa de circulação forçada de ar até obterem o peso constante. Posteriormente foram pesados e determinados a massa seca das raízes (RDM).

Com base nos dados de massa seca raiz das plantas foi estimado a eficiência agrônômica e de uso das fontes de P conforme modelos e definições abaixo:

$$EA (\%) = \frac{(RDM_{Fonte} - RDM_{Controle})}{RDM_{Controle}} \times 100 \quad e$$

$$EU (g \ g^{-1}) = \frac{(RDM_{Fonte} - RDM_{Controle})}{P_{Aplicado} (g)} \quad sendo,$$

EA (%) – eficiência agronômica representada pelo incremento percentual na produção de massa seca de raiz da planta com o tratamento em relação à planta do tratamento controle sem adubação fosfatada e sem correção.

EU (g g^{-1}) – eficiência de uso representada pelo incremento de massa seca de raiz do tratamento em relação ao tratamento controle sem adubação e sem correção por grama de fósforo aplicado por rizotron.

$\text{RDM}_{\text{Fonte}}$ – massa seca de raiz obtida com a fonte de P e tratamento em estudo

$\text{RDM}_{\text{Controle}}$ – massa seca de raiz obtida com o tratamento sem adubação fosfatada e sem correção do solo.

$\text{P}_{\text{Aplicado}}$ – quantidade de fósforo (P) aplicado em gramas por rizotron.

No mesmo dia foram coletadas amostras de solo *rizosférico* e *não rizosférico*, secos ao ar e tamisados em peneiras de malhas de 2 mm de abertura ,ABNT N° 10.

Posteriormente eles foram destinados à análise química para a determinação do pH em água e em CaCl_2 ; P pelos extratores Mehlich 1 e 3, K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al trocáveis e H+Al (SILVA, 2009).

3.4 Estatística

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância e teste de média (Tukey a 5% de *probabilidade*) no programa R (R CORE TEAM, 2021) utilizando o pacote *ExpDes.pt* (FERREIRA; CAVALCANTI; NOGUEIRA, 2021). Os dados em porcentagem foram submetidos a análise da variância com a transformação $\sqrt{x + 1}$.

4 RESULTADOS

4.1 Análise de solo pós incubação

Os valores de pH determinados em solução de CaCl_2 1 mol L^{-1} (pH CaCl_2) e em água (pH H_2O) após o período de incubação alteraram com os tratamentos de correção e adubação fosfatada (Tabela 2). Com a correção do solo se obteve os maiores valores de pH CaCl_2 e pH H_2O , independente da fonte de fósforo (P) (Figuras 1 A e B). Entre os tratamentos de adubação fosfatada (AF), com a aplicação do superfosfato triplo (ST) foi obtido os maiores valores de pH CaCl_2 e pH H_2O (Figuras 1 A e B).

Os teores de Ca trocável no solo ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) variaram com a interação entre os tratamentos de correção do solo e da adubação fosfatada (Tabela 2). Sem correção do solo, não houve diferença dos teores de Ca^{2+} entre as fontes de P (Figura 1 C). Com a correção do solo com o Oxyfertil® foram obtidos os maiores teores de Ca com a aplicação do MAP seguido dos tratamentos sem adubação fosfatada (WP) e do ST (Figura 1 C).

Variáveis	Fontes de Variação				CV (%)	\bar{x}
	Correção (C)	Adubação Fosfatada (AF)	C vs. AF	Bloco		
pH CaCl ₂	89,73**	17,26**	2,98 ^{ns}	1,23 ^{ns}	1,54	5,12
pH H ₂ O	32,21**	8,80**	3,38 ^{ns}	2,00 ^{ns}	2,61	5,33
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	3,85 ^{ns}	1,45 ^{ns}	6,10*	1,79 ^{ns}	4,77	8,33
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,76 ^{ns}	1,41 ^{ns}	0,83 ^{ns}	1,13 ^{ns}	19,59	2,68
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	10,58**	1,67 ^{ns}	3,99 ^{ns}	0,71 ^{ns}	17,39	0,83
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	82,29**	10,91**	10,91**	0,05 ^{ns}	46,77	0,40
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	0,24 ^{ns}	0,72 ^{ns}	1,67 ^{ns}	2,14 ^{ns}	3,05	3,92
P (M-1) (mg dm ⁻³)	0,10 ^{ns}	4,10*	6,67**	1,28 ^{ns}	25,63	14,93
P (M-3) (mg dm ⁻³)	0,22 ^{ns}	8,94**	2,04 ^{ns}	0,22 ^{ns}	62,13	15,27

**,* e ^{ns}Significativo a 1 e 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste de F.

Os teores trocáveis de magnésio no solo (Mg²⁺) não alteraram significativamente com os tratamentos, obtendo valores médios de 2,68 cmol_c dm⁻³ (Tabela 2). Mesmo o

Oxyfertil® tendo 30% de MgO, o incremento com a aplicação desse corretivo não foi suficiente para alterar significativamente os teores de Mg²⁺ em relação aos tratamentos sem correção.

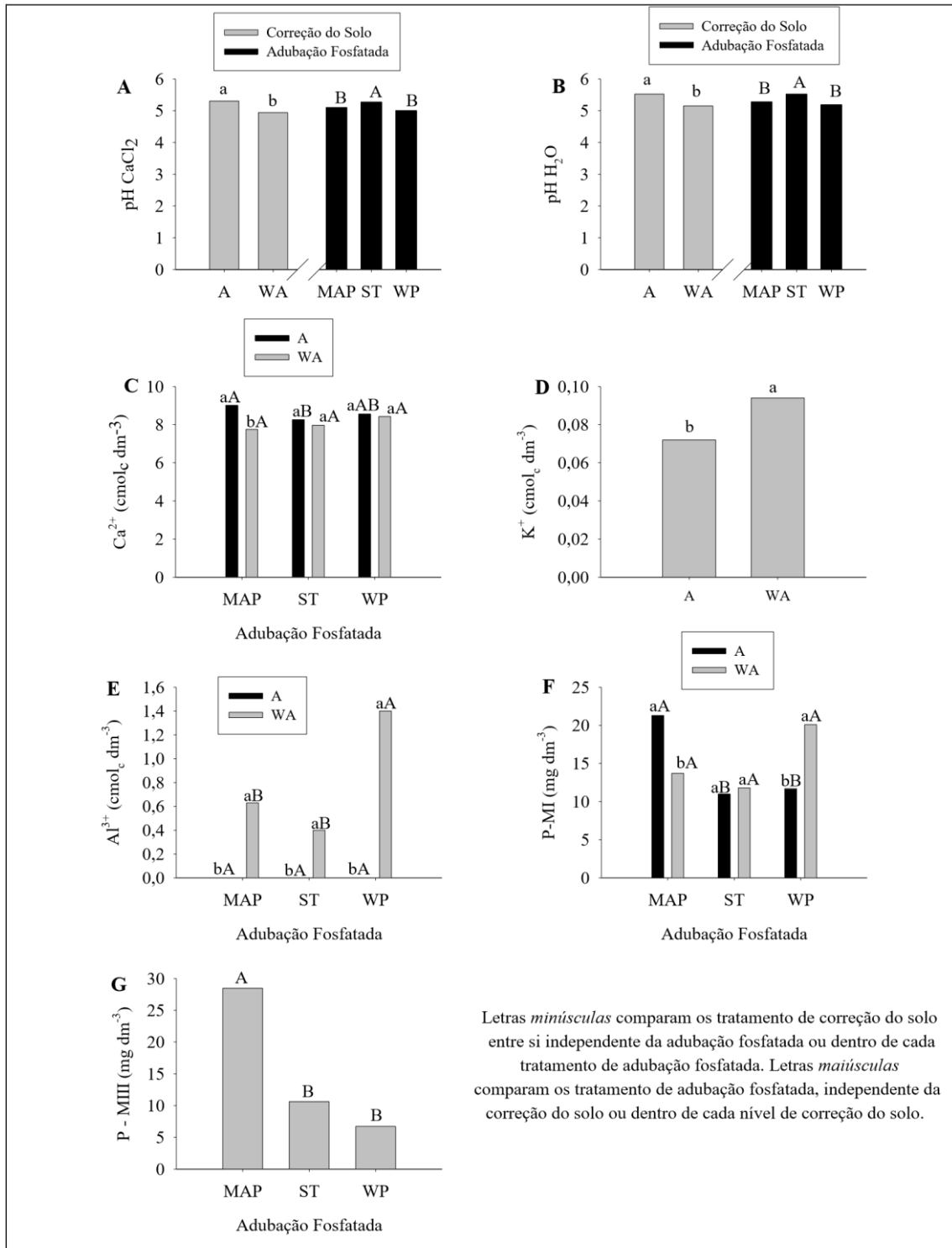


FIGURA 1 Acidez ativa: pH em CaCl_2 (A) e em H_2O (B); teores de cátions trocáveis ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$): cálcio (Ca^{2+}) (C), potássio (K^+) (D) e alumínio (Al^{3+}) (E) e fósforo disponível pelo extrator Mehlich 1 (P (M-1)) (mg dm^{-3}) (F) e Mehlich 3 (P(M-3)) (mg dm^{-3}) (G) em um Latossolo Vermelho distroférrico (LVdf) após o período de incubação dos tratamentos com (A) e sem (WA) correção do solo e diferentes fontes de fósforo (monoamônio fosfato – MAP; superfosfato triplo – ST e sem adubação fosfatada – WP).

O potássio trocável do solo (K^+) variou somente em função da correção do solo (Tabela 2), com o menor valor obtido no tratamento com a aplicação do corretivo

Oxyfertil® (Figura 1 D). A acidez potencial trocável mais a não trocável (H+Al) não alterou com os tratamentos (Tabela 2).

O alumínio trocável no solo (Al^{3+}) após o período de incubação alterou significativamente com os tratamentos de correção, da adubação fosfatada e da interação entre esses (Tabela 2). Com a aplicação do corretivo Oxyfertil® os teores de Al^{3+} no solo zeraram, o que se deve a formação de formas iônicas de precipitados insolúveis de hidróxido de alumínio e, ou, hidroxissulfato de alumínio (Figura 1 E). Sem a correção do solo, foram obtidos teores de Al^{3+} , sendo o maior valor, $1,4 \text{ cmolc dm}^{-3}$, obtido no tratamento sem adubação fosfatada (Figura 1 E).

Os teores de P-disponível obtido pelo extrator Mehlich 1 (P-M1) alteraram com a adubação fosfatada e a interação entre essa e a correção do solo (Tabela 2). Somente com a aplicação do ST não houve diferença na disponibilidade de P no solo com e sem calagem (Figura 1 F). Quando aplicado o MAP, os maiores teores de P no solo foram obtidos com a aplicação do Oxyfertil® e sem adubação fosfatada os maiores teores foram obtidos no tratamento sem correção do solo (Figura 1 F). Constatou-se que não houve interação entre os tratamentos de correção do solo (Figuras A e B), independente da fonte de AF representada em cada tratamento (Figura 1 F). Quando aplicado o Oxyfertil®, como corretivo, calagem, no solo, os maiores teores de P-disponível (P-M1) foram obtidos com o MAP, 15 dias após a incubação (Figura 1 F). Sem a correção do solo não foi obtida diferença entre os tratamentos com AF sobre a disponibilidade de P no solo (Figura 1 F).

Na extração de P pelo método Mehlich 3 (P-M3) houve alteração dos resultados somente em função da AF (Tabela 1), com o maior valor obtido com o MAP (Figura 1 G).

4.2 Crescimento de Raiz

A massa seca de raiz (RDM) e a eficiência agronômica (EA) e de uso do P (EU) nos diferentes tratamentos alteraram com a adubação fosfatada (Tabela 3). Houve maior RDM, EA e EU quando as plantas receberam adubação fosfatada, não diferindo entre o MAP e o ST (Figuras A, B e C). A superfície de raiz (SR) alterou com a adubação fosfatada e a correção do solo (Tabela 3 e Figuras 3 e 4). Quando aplicado o corretivo do solo não houve efeito da adubação fosfatada sobre a superfície das raízes (Figuras 2). Na

ausência da correção do solo a maior SR foi obtida com a aplicação do MAP (Figuras 2 D e Figura 4B).

TABELA 3 Resumo da análise de variância (F calculado) do crescimento de raiz, massa seca de raiz (RDM) por rizotron (g rizotron^{-1}), superfície de raiz (SR) ($\text{cm}^2 \text{rizotron}^{-1}$), eficiência agrônômica (EA) (%) e eficiência de uso do fósforo (EU-P) (g g^{-1}) da soja cv. NS6006 IPRO cultivada em Latossolo Vermelho distroférico (LVdf) com e sem correção do solo (Correção) e diferentes fontes de fósforo (Adubação Fosfatada).

Variáveis	Fontes de Variação			CV (%)	x	
	Correção (C)	Adubação Fosfatada (AF)	C vs. AF Bloco			
<i>Solo Rizosférico</i>						
RDM	2,93 ^{ns}	10,38**	1,21 ^{ns}	2,25 ^{ns}	47,85	12,91
SR	3,35 ^{ns}	57,56**	35,36**	1,64 ^{ns}	4,84	3,24
EA	2,01 ^{ns}	7,87**	0,95 ^{ns}	1,05 ^{ns}	76,68	255,47
EU	2,68 ^{ns}	15,52**	1,17 ^{ns}	1,68 ^{ns}	54,79	4,02

**,* e ^{ns}Significativo a 1 e 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste de F.

Nas plantas adubadas com o MAP foram obtidas as maiores SR na ausência da correção do solo (Figuras 2 D e 4 B). Quando utilizado o ST na adubação fosfatada não houve diferença da SR entre os tratamentos com e sem correção do solo (Figuras 2 D, 4 C e 4 D). E na ausência da adubação fosfatada, o aumento na SR foi obtido com a correção do solo com o Oxyfertil® (Figuras 2 D e 4 E).

Quando avaliado os cortes histológicos em microscopia de fluorescência dos pelos radiculares das raízes das plantas tratadas com Morin, onde a presença do Al é observada pela coloração esverdeada (RODRIGUES, 2015). Nas plantas sem adubação fosfatada foi observada a presença do Al, independente da correção do solo (Figuras 3 E e F). Já, quando aplicado o MAP ou o ST, mesmo sem a correção do solo, se observa redução nos teores de Al (Figuras 3 A, B, C e D).

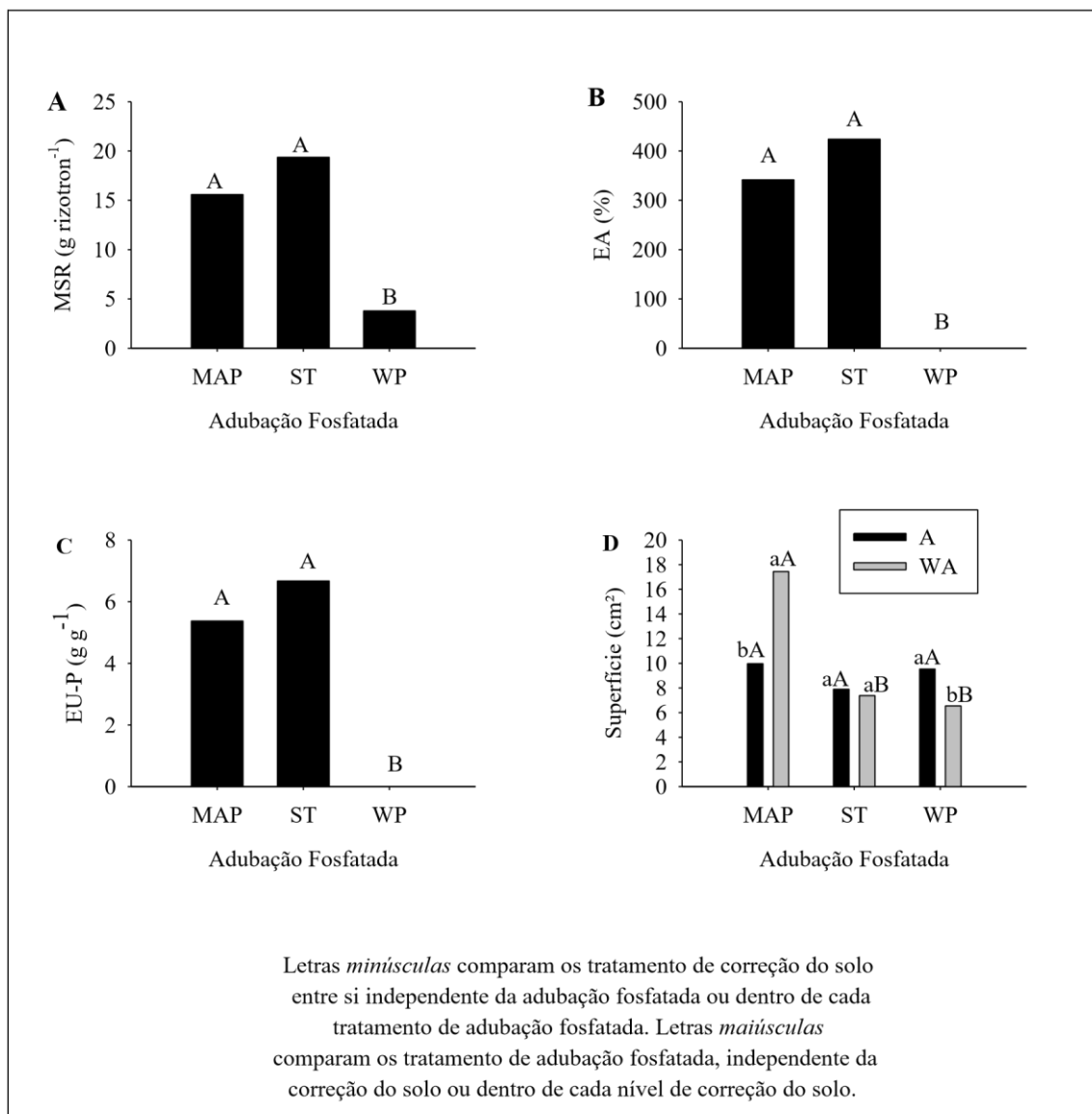


FIGURA 2 Crescimento de raiz e eficiência agronomia e de uso dos fertilizantes fosfatados (monoamônio fosfato – MAP, superfosfato triplo – ST e sem adubação fosfatada – WP) e corretivo (com aplicação do corretivo Oxyfertil® - A e sem correção – WA) dos tratamentos: A – massa seca de raiz (MSR) (g rizotron⁻¹), B – eficiência agrônômica (EA) (%), C – eficiência de uso (EU) e D – superfície de raiz (SR) (%).

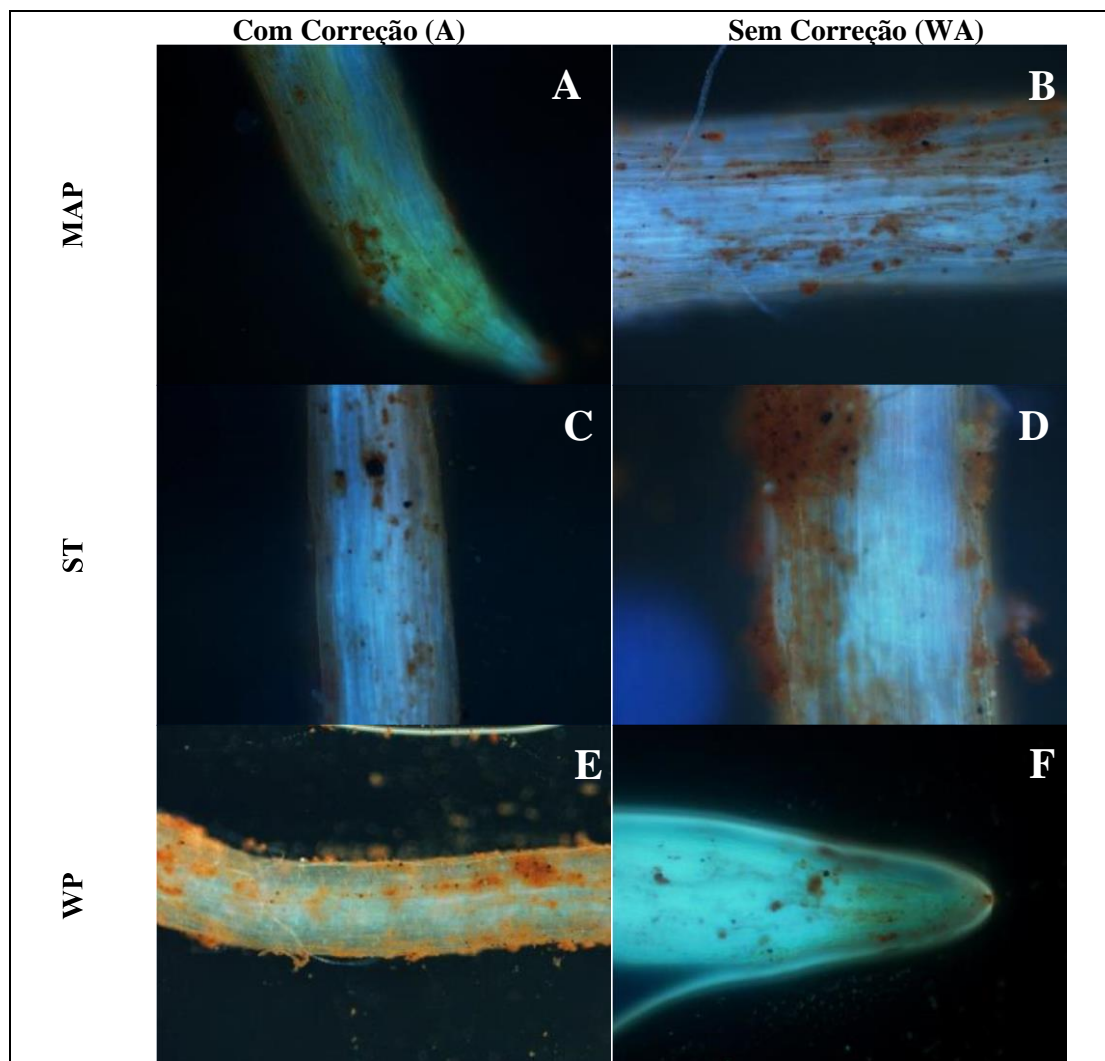


FIGURA 3 Imagens de microscopia de fluorescência de luz UV de seções de raízes de soja cv. NS6006 IPRO com (A) ou sem correção da acidez (WA) com Oxyfertil® e com a adubação fosfatada com o monoamônio fosfato (MAP) ou superfosfato triplo (ST) e sem adubação fosfatada (WP) cultivada em Latossolo Vermelho Distroférico (LVdf).

Com Correção (A)

Sem Correção (WA)

MAP



B



ST



D

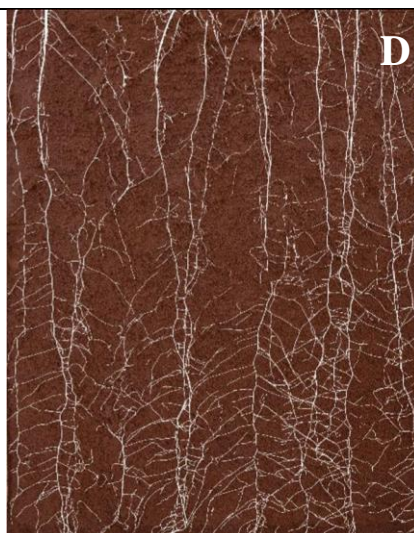




FIGURA 4 Imagens dos rizotrons do bloco três dos tratamentos adubados com: o monoamônio fosfato protegido (MAP) com (A) e sem (B) correção; o superfosfato triplo (ST) com (C) e sem (D) correção e sem adubação fosfatada (WP) com (E) e sem (F) correção do solo.

4.3 Análise de Solo Rizosférico e Não Rizosférico Pós Coleta

O pH em CaCl_2 do *solo rizosférico* após a coleta das plantas variou com as fontes de fósforo, a correção do solo e a interação entre esses (Tabela 4). O maior valor de pH foi obtido com a correção do solo e sem adubação fosfatada (Figura 5 A). Com a adubação fosfatada com o MAP e o ST houve a acidificação da rizosfera não diferindo os solos com e sem Oxyfertil®.

TABELA 4 Resumo da análise de variância (F calculado) das propriedades químicas do solo: pH em CaCl₂; pH em H₂O; cálcio, magnésio, potássio e alumínio trocáveis – Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ e Al³⁺ (cmol_c dm⁻³), acidez potencial trocável e não trocável – H+Al (cmol_c dm⁻³) e fósforo disponível obtido pelo extrator Mehlich 1 (P-M1) e 3 (P-M3) (mg dm⁻³), após a coleta das plantas em solo “*Rizosférico*” e “*Não Rizosférico*” com os tratamentos de correção e adubação fosfatada em um Latossolo Vermelho distroférrico.

Variáveis	Fontes de Variação				CV (%)	x
	Correção (C)	Adubação Fosfatada (AF)	C vs. AF	Bloco		
<i>Solo Rizosférico</i>						
pH CaCl ₂	10,62**	13,59**	5,61*	2,68 ^{ns}	3,57	5,06
pH H ₂ O	5,27*	8,76**	2,10 ^{ns}	5,51*	3,91	5,56
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	13,65**	0,37 ^{ns}	5,12*	0,93 ^{ns}	22,58	4,06
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	6,05**	0,22 ^{ns}	3,87*	0,06 ^{ns}	34,08	1,53
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,29 ^{ns}	0,99 ^{ns}	0,45 ^{ns}	1,52 ^{ns}	47,52	0,21
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	6,57*	1,21 ^{ns}	0,61 ^{ns}	0,49 ^{ns}	39,99	2,46
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	0,68 ^{ns}	4,50 ^{ns}	0,68 ^{ns}	0,42 ^{ns}	199,94	1,35
P (M-1) (mg dm ⁻³)	1,24 ^{ns}	7,79**	2,80 ^{ns}	0,07 ^{ns}	25,98	55,37
P (M-3) (mg dm ⁻³)	3,96 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,11 ^{ns}	<u>12,47</u>	<u>75,12</u>
<i>Solo Não Rizosférico</i>						
pH CaCl ₂	10,06**	5,56*	1,25 ^{ns}	3,84 ^{ns}	3,95	5,59
pH H ₂ O	30,32**	7,23*	2,49 ^{ns}	7,45 ^{ns}	2,36	6,13
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,07 ^{ns}	0,44 ^{ns}	2,16 ^{ns}	3,50 ^{ns}	25,68	3,90
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,49 ^{ns}	0,26 ^{ns}	1,43 ^{ns}	2,54 ^{ns}	30,07	1,69
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	3,56 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,83 ^{ns}	22,03	0,11
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,08 ^{ns}	2,05 ^{ns}	1,62 ^{ns}	0,09 ^{ns}	22,56	3,55
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	2,41 ^{ns}	2,94 ^{ns}	12,96**	0,53 ^{ns}	75,33	2,76
P (M-1) (mg dm ⁻³)	0,03 ^{ns}	38,76**	1,28 ^{ns}	0,32 ^{ns}	33,72	30,68
<u>P (M-3) (mg dm⁻³)</u>	<u>4,36^{ns}</u>	<u>6,68*</u>	<u>1,72^{ns}</u>	<u>1,80^{ns}</u>	<u>9,67</u>	<u>84,15</u>

**,* e ^{ns}Significativo a 1 e 5% e não significativo, pelo teste de F.

O pH em H₂O do *solo rizosférico* obteve efeito isolado dos tratamentos com correção do solo e adubação fosfatada (Tabela 4). Com a correção do solo houve aumento do pH independente da adubação fosfatada (Figura 5 B). E com a adubação fosfatada houve redução do pH do solo em relação ao tratamento sem adubação fosfatada (Figura 5 B).

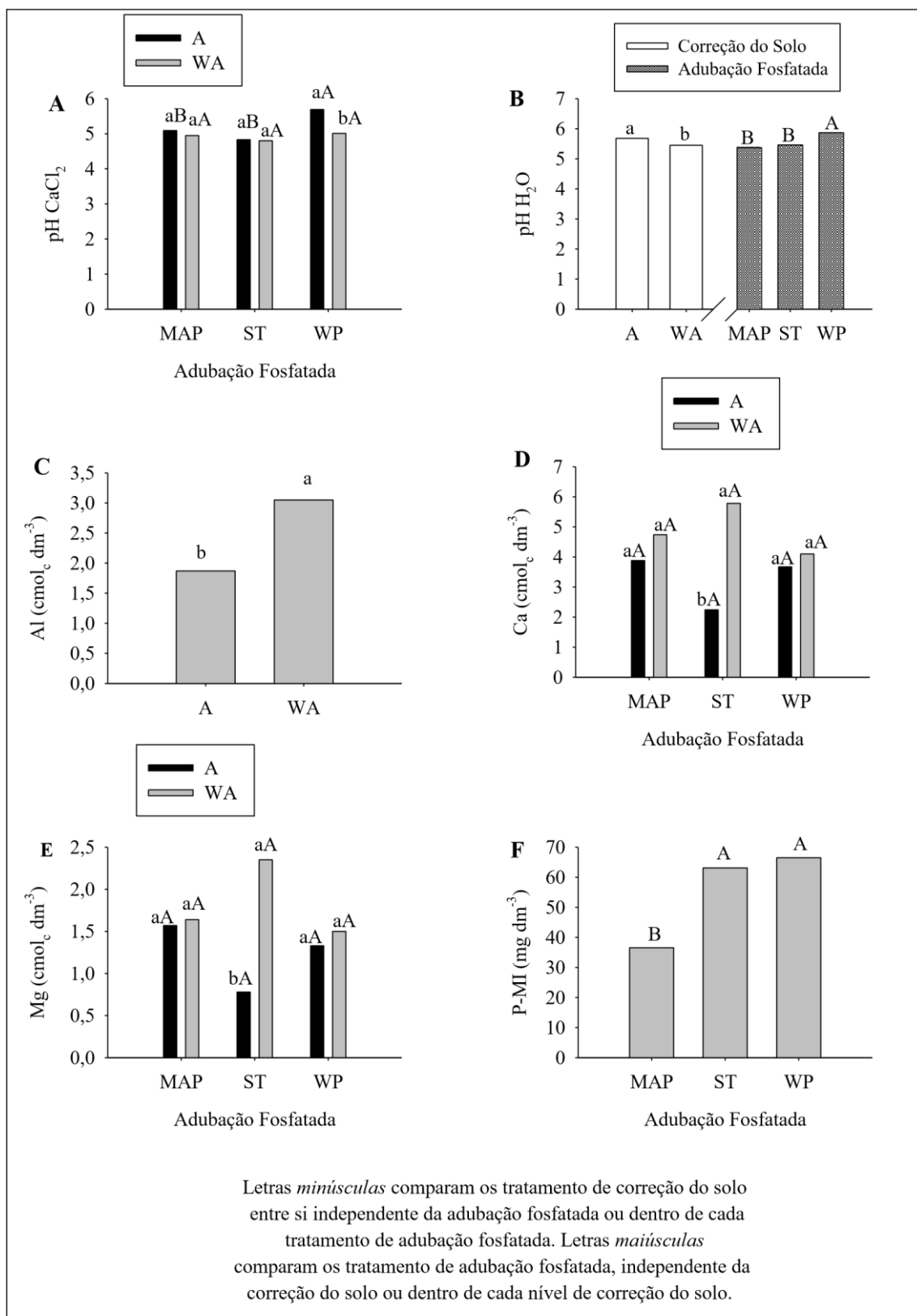


FIGURA 5 Acidez ativa: pH em CaCl₂ (A) e em H₂O (B); teores de cátions trocáveis (cmol_c dm⁻³): alumínio (Al³⁺) (C), cálcio (Ca²⁺) (D) e magnésio (Mg²⁺) (E) e fósforo disponível (F) pelo extrator Mehlich 1 (P (M-1)) (mg dm⁻³) em um Latossolo Vermelho distroférrico (LVdf) “rizosférico” com (A) e sem (WA) correção do solo e diferentes fontes de fósforo (monoamônio fosfato – MAP; superfosfato triplo – ST e sem adubação fosfatada – WP) após a coleta das plantas.

Os teores de Ca e Mg trocáveis (Ca^{2+} e Mg^{2+}) no *solo rizosférico* variaram com a correção do solo e da interação desse com a adubação fosfatada (Tabela 4). Não houve efeitos da adubação fosfatada sobre os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} no *solo rizosférico* tanto nos tratamentos com correção, quanto sem correção (Figura 5 D e E, respectivamente). Todavia, quando aplicado o ST e com a correção do solo foram obtidos os menores teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} e sem a correção do solo obtido os maiores valores (Figura 5 D e E, respectivamente). Os teores de K trocável no *solo rizosférico* não alteraram com os tratamentos e obteve valores médio de $0,23 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ($89,7 \text{ mg dm}^{-3}$) (Tabela 4).

Os teores de Al no *solo rizosférico* alteraram somente com a correção do solo (Tabela 4), com os maiores valores obtidos sem a aplicação do Oxyfertil® (Figura 5 C).

A acidez potencial total (H+Al) do *solo rizosférico* não variou com os tratamentos (Tabela 4).

O fósforo disponível no solo alterou somente quando avaliado pelo extrator Mehlich 1 e em função das fontes (Tabela 4). Diferente do observado após o período de incubação, onde os maiores valores obtidos foram com o uso do MAP (Figura 1 F), após a coleta das plantas, os menores valores foram obtidos quando aplicado o MAP (Figura 5 F).

No solo *não rizosférico*, o pH em CaCl_2 e em H_2O alteraram em função dos efeitos isolados dos tratamentos de correção do solo e adubação fosfatada (Tabela 4). Com a correção do solo e sem adubação fosfatada foram obtidos os maiores valores de pH (Figura 6 A). Como os valores de pH em H_2O em solo *não rizosférico* ficaram superiores a 5,5 em todos os tratamentos esperava-se que não houvesse alteração dos teores de Al trocável no solo (Tabela 4).

A acidez potencial total no solo *não rizosférico* alterou com a interação entre os tratamentos (Tabela 4). Com a correção do solo não houve diferença entre as fontes de P (Figura 6 B). Sem a aplicação do Oxyfertil® como corretivo do solo, foram obtidos altos valores de H+Al com a aplicação do MAP (Figura 6 B). Como os teores de Al^{3+} não alteraram no solo, o aumento da acidez potencial total com a aplicação do MAP pode estar associado à liberação de H^+ no solo durante o processo de nitrificação do NH_4^+ , visto que para cada 1 mol de N- NH_4^+ são liberados 2 de H^+ durante o processo de nitrificação no solo.

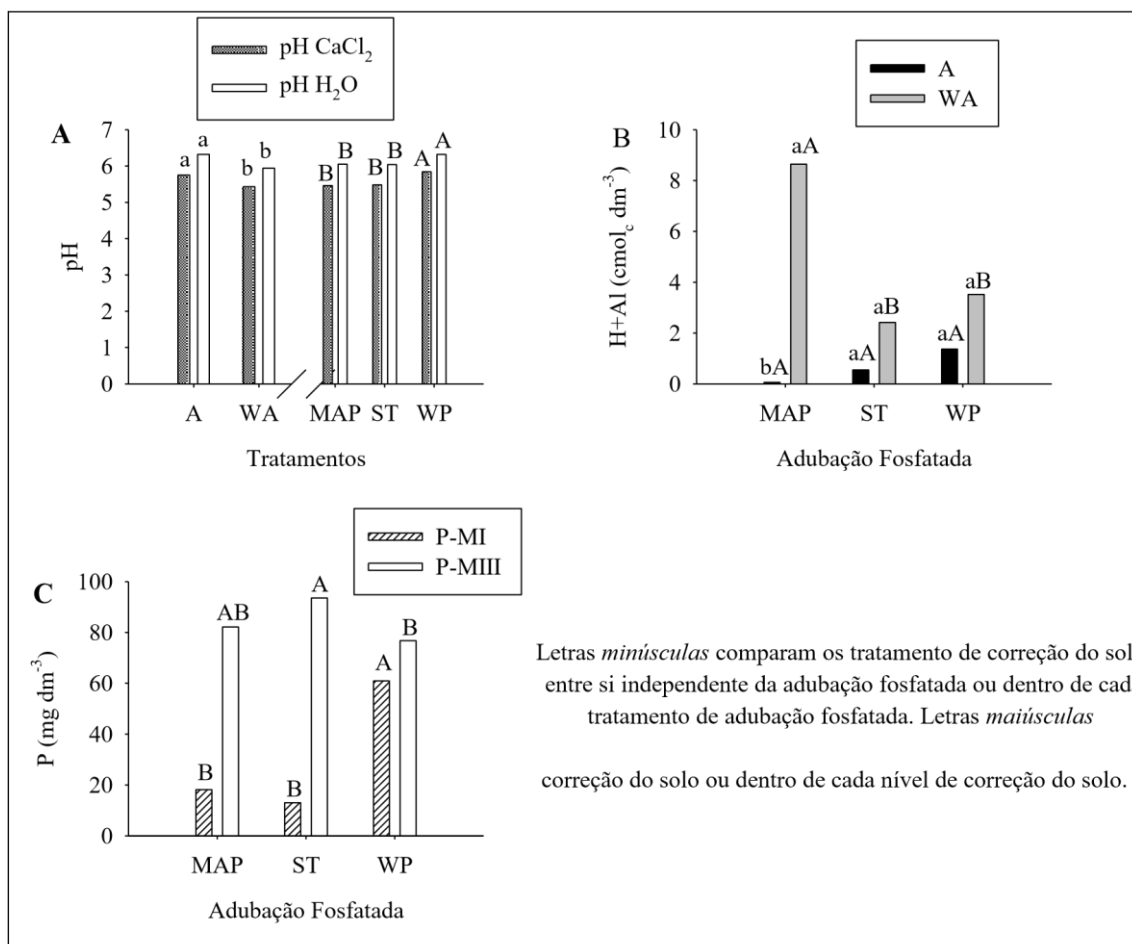


FIGURA 6 Acidez ativa: pH em CaCl₂ E em H₂O (A) e potencial total (H+Al) (cmol_c dm⁻³) (B) e fósforo disponível pelo extrator Mehlich 1 (P-M1) e 3 (P-M3) (mg dm⁻³) (C) em um Latossolo Vermelho distroférrico (LVdf) “*não rizosférico*” com (A) e sem (WA) correção do solo e diferentes fontes de fósforo (monoamônio fosfato – MAP; superfosfato triplo – ST e sem adubação fosfatada – WP) após a coleta das plantas.

No *solo não rizosférico* não houve alteração dos teores dos cátions trocáveis K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ com os tratamentos (Tabela 4). O P-disponível avaliado pelo extrator Mehlich 1 (P-M1) e 3 (P-M3) variaram somente em função da adubação fosfatada (Tabela 4). Com a adubação fosfatada foram obtidos os menores valores de P disponível no solo avaliado pelo extrator Mehlich I (Figura 6 C). Quando obtido o P-disponível pelo Mehlich 3, os maiores teores de P-disponível residual foram obtidos com a aplicação do ST seguido do MAP e o menor valor no tratamento sem adubação fosfatada (Figura 6 C). Após a coleta das plantas, as maiores alterações nas propriedades químicas do solo avaliadas ocorreram no *solo rizosférico*. Isso ocorre pois é na rizosfera que há a interação direta das plantas com o solo e a microbiota, corroborado com a afirmativa de que o *solo não rizosférico* é um deserto nutricional (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006) De maneira geral, o Al, quando aplicado o corretivo de acidez, ficou concentrado junto a parede celular das células radiculares (Figuras 1 e 2). No tratamento sem adubação fosfatada e

sem a correção do solo observou-se a fluorescência verde, que indica a presença do Al, não só na parede celular, mas dentro das células também. (Figura 2).

Os cortes histológicos radiculares obtidos com microscopia de fluorescência de luz UV com auxílio do marcador Morin® (Figura 4), indicaram diferentes comportamentos do alumínio em contato com as raízes nos respectivos tratamentos.

Nos tratamentos com correção do solo (A) e adubação fosfatada (ST e MAP) o alumínio representado pela coloração verde nos tecidos radiculares, foi demarcado pelo Morin® nas regiões equivalentes aos ápices radiculares, bainha de mucigel e coifa, porém com uma particularidade notada que foi a não absorção do Al^{3+} . Os tratamentos com adubação fosfatada e sem correção do solo (WA) apresentaram uma demarcação superficial de Al^{3+} localizados na epiderme do ápice radicular. Já na testemunha, o Morin® demarcou o alumínio tóxico nos tecidos internos da raiz equivalentes a coifa, protomeristema e endoderme, indicando que houve a absorção do Al^{3+} pelas raízes.

A massa seca de raiz (g) foi obtida em estufa de circulação forçada a 65°C constantes. Os tratamentos com correção do solo e adubação fosfatada (ST e MAP) apresentaram poucos índices de massa de raiz (g), ao contrário dos tratamentos com adubação fosfatada sem adição de Oxyfertil® que apresentaram maiores índices de massa radicular, provavelmente devido ao estímulo do fósforo no crescimento radicular da soja.

Tratamento com correção (A) sem adubação fosfatada (WP) apresentou uma média de resultados (g) semelhantes ao tratamento controle. É provável que somente o Oxyfertil® não conseguiu neutralizar o alumínio tóxico e estimular o crescimento radicular, refletindo em resultados semelhantes ao controle.

5 DISCUSSÃO

Após a incubação do solo com os tratamentos observa-se aumento do pH do solo nos tratamentos com a aplicação do Oxyfertil® (Figuras 1 A e B). Os valores de pH em CaCl_2 variaram de 4,9 a 5,3 e de pH em H_2O destilada de 5,2 a 5,5. Nos tratamentos com a aplicação do MAP e sem a adubação fosfatada foram observados os menores valores de pH quando comparado ao ST.

Tanto o ST, quanto o MAP acidificam o solo, principalmente ao redor do grânulo, devido a liberação de ácido fosfórico residuários do processo de fabricação dos fertilizantes (MOREIRA et al., 2014; MOREIRA; MALAVOLTA; MORAES, 2002; SOUZA et al., 2019; TIAN et al., 2020). O pH ao redor do grânulo do ST é mais ácido que do MAP, devido a formação de $\text{H}_3\text{PO}_4^\circ$ durante a solubilização de fosfatos monocalcicos (principal componente do ST) e a formação de precipitados de fosfato dicálcico dihidratado (LINDSAY, 1979). Em soluções saturadas com fosfato monocalcico, principal constituinte do ST, há maior acidificação e liberação de P (pH 1,5 e $4,5 \text{ mol L}^{-1}$ de P) quando comparado ao MAP (pH 3,5 e $2,9 \text{ mol L}^{-1}$ de P) (PROCHNOW; ALCARDE; CHIEN, 2004). Esse resultado é contraditório ao observado no presente trabalho. Como o ST possui Ca na sua composição era esperado o aumento dos teores de Ca com a aplicação dessa fonte, o que não ocorreu (Figura 1 C).

Esse resultado permite afirmar que para as condições do presente trabalho, houve redução no processo de solubilização do fosfato monocalcico, constituinte do ST, o que resultou em menor disponibilidade de P no solo, 15 dias após incubação, quando avaliado pelo extrator Mehlich 3 (Figura 1 G). Quando a disponibilidade de P no solo foi avaliado pelo extrator Mehlich 1 (Figura 1 F), em solo corrigido, houve menor teor de P-disponível com a aplicação do ST, também. Em condições de alta disponibilidade de Ca no solo, o processo de dissolução do fosfato monocalcico e paralisado mantendo a estabilidade dessa forma de fósforo no solo (LINDSAY, 1979), o que pode ajudar a explicar a menor solubilização do ST nas condições do presente trabalho. Como contribuição futura, é importante avaliar a solução do solo para poder testar essa hipótese, já que a manutenção de formas estáveis de fosfatos monocalcicos no solo seria uma fonte residual lábil, reduzindo as perdas de P no solo precipitado com Fe e Al, o que pode explicar maior efeito residual do ST quando comparado com o MAP (DE PAULA BARBOSA et al.,

2017) e como observado pelo maiores teores de P-M1 em *solo rizosférico* e de P-M3 em *solo não rizosférico* após a colheita do experimento (Figuras 4 E e 5 C).

Em solo corrigido e com alto fator dreno de P o ST foi mais eficiente em fornecer P para a cultura do milho, quando comparado ao MAP (ZHAO et al., 2021). Em solos ácidos com a aplicação do superfosfato, que contêm sulfatos de ferro e alumínio, pode formar precipitados de ferroaluminofosfatos, que após a correção do solo se transformam em formas solúveis como CaHPO_4 e $\text{Ca}_8\text{H}_2(\text{PO}_4)_5 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (ZHAO et al., 2021).

Em função da menor acidificação promovida pelo MAP no solo próximo ao grânulo do fertilizante, quando comparado com o ST, o ânion fosfato transforma-se em formas solúveis como fosfatos de Cálcio (SHILIANG et al., 2003). A solubilização dos superfosfatos de cálcio, como o ST, pode ser influenciada pelos teores de Ca no solo (NOVAIS; SMYTH, 1999). Com a aplicação do corretivo, foram obtidos os maiores teores de Ca no solo, o que possivelmente, reduziu a solubilização do ST, influenciando menos na acidificação do solo e conseqüentemente liberando menos Ca^{2+} . Outro fator que pode explicar a maior acidificação do solo com a aplicação do MAP é o processo de nitrificação do amônio (MANOHARAN et al., 1996; DOS SANTOS et al., 2018; REBECHI; KOLOGESKI, 2019; SANTOS et al., 2021). A estabilidade de fosfatos monocalcicos com a aplicação do ST em solos com altos teores de Ca, reduz a liberação de H_3PO_4^0 durante a solubilização dessa forma de cálcio (LINDSAY, 1979b), contribuindo para a manutenção do pH mais alto.

A correção do solo é uma das principais formas de reduzir a disponibilidade de Al^{3+} no solo. A calagem, em função do aumento do pH, proporciona condições químicas para a formação de inúmeras espécies iônicas de hidróxido e hidroxissulfatos de alumínio (LINDSAY, 1979), os quais são insolúveis, e com isso indisponibilizando o Al^{3+} para as plantas. Na ausência da correção do solo foram obtidos teores de Al^{3+} no solo em valores superiores ao aplicado no período de incubação, que foi de $1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Figura 1 E). Todavia, com a aplicação dos fertilizantes fosfatados houve redução dos teores de Al^{3+} no solo. Essa redução pode estar associada com a formação de precipitado de fosfatos de alumínio, principalmente com a aplicação do ST, justificado pela formação de precipitados com o flúor (F) residual da matéria prima utilizada para a fabricação do fertilizante, a fluoclorohidroxihapatita (MANOHARAN, 1997; ZHAO et al., 2021). Sob condições de pH da solução do solo abaixo de 6, parte do ânion fosfato de fertilizantes formam primeiramente precipitados com Fe ($\log H_2PO_4^- = -9,55 + pH$) e Al

($\log H_2PO_4^- = -9,23 + pH$) (LINDSAY, 1979). Como pH mensurado do solo ocorre em uma solução na proporção 1:2,5 de solo:solução de $CaCl_2$ ou H_2O destilada, a concentração de H^+ na solução foi diluída, o que proporciona valor de pH superior ao real da solução do solo. Assim, espera-se que sob condições de solo, o pH esteja inferior aos obtidos (Figuras 1 A e B), devido maior concentração de H^+ , e com isso proporcionar condições termodinâmicas favoráveis a formação de precipitados de P com Al.

Em condições de solos com pH baixo de 6, outra forma de precipitação de P com Al é na forma de NH_4 -taranakita ($H_6(NH_4)_3Al_5(PO_4)_8 \cdot 18H_2O$) (LINDSAY, 1979), principalmente com a aplicação de MAP. É comum a precipitação de fósforo em solos ácidos formando produtos como $H_6(NH_4)_3Al_5(PO_4)_8 \cdot 18H_2O$ (amônio taranakita), e $AlPO_4 \cdot 2H_2O$ (variscita) formando compostos insolúveis de fósforo solo em $pH < 5,5$ pouco disponível as plantas (KÜLZER, 2019; LINDSAY, W.L.; FRAZIER, A.W.; STEPHENSON, 1962; LINDSAY, 1979; NUNES, 2014; SILVA; CARPINTIERI; SANGLADE, 2021)

O Mg^{2+} não alterou significativamente após a incubação com os tratamentos, mesmo o Oxyfertil® sendo uma fonte desse nutriente (Tabela 2). Todavia, o valor médio após a incubação ($2,68 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) foi numericamente superior ao obtido no solo antes da adição dos tratamentos ($1,59 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) (Tabela 1). O K^+ variou somente com a correção do solo (Tabela 2), com os menores valores obtidos com a aplicação do Oxyfertil® (Figura 1 D). Esse resultado pode ser explicado pelo deslocamento do K da CTC pelo Ca (HAN et al., 2019; SCANLAN et al., 2017) e Mg do corretivo (LOIDE, 2004).

A disponibilidade de P no solo após 15 dias de incubação variou com os tratamentos e divergiu entre os métodos de extração, Mehlich 1 e 3 (Tabela 1 e Figuras 1 F e G). Com o uso do extrator Mehlich 3 não houve efeito da correção do solo sobre a disponibilidade de P (Tabela 1 e Figura 1 G). Uma das desvantagens do extrator Mehlich 3 é justamente não detectar o aumento na disponibilidade de P com a calagem (EMBRAPA SOLOS, 2009) e do Mehlich 1 e superestimar o P-disponível em área onde houve a aplicação de fosfatos naturais ou calagem (MUMBACH et al., 2018). A solução ácida com íon complexante mais empregada para a extração de fósforo é a mistura de $HCl + NH_4F$, atuando o íon fluoreto mais eficientemente na formação de um forte complexo com íons Al^{3+} , e Fe^{2+} da forma de P-Fe, liberando assim o fósforo ligado ao metal (JUNIOR, 2016; SANTOS et al., 2009). Quando utilizado o extrator Mehlich 1 houve

diferença nos valores de P-disponível com e sem correção do solo (Tabela 1). Sem a correção do solo com o Oxyfertil® o P disponível obteve o mesmo comportamento dos teores do nutriente extraídos com o método Mehlich 3, com os maiores teores obtidos com a aplicação do MAP (Figuras 1 G e F). Sem a correção do solo, não foi obtida diferença entre as fontes e o tratamento testemunha.

As transformações químicas que ocorreram no solo com os diferentes tratamentos influenciaram significativamente no crescimento das raízes das plantas (Figuras 2 A, B, C e D). Quando realizada análise multivariada de agrupamento de dados observa-se que os tratamentos com correção do solo, independente da adubação fosfatada, se agrupam com o tratamento sem correção e aplicação do ST (Figura 7). As principais variáveis do solo que contribuíram para o agrupamento dos tratamentos A/MAP + A/ST + A/WP + WA/ST foram o pH em CaCl₂ e pH em H₂O (pH.CaCl₂ e pH.H₂O), os teores de Ca trocável no solo (Ca) e em menor intensidade os teores de P-disponível avaliado pelo extrator Mehlich 3 (P-M3) e a massa seca de raiz (RDM) (Figura 7).

Os maiores valores de pH no solo após a incubação foram obtidos com a aplicação do Oxyfertil®, independente da adubação fosfatada (A/MAP, A/ST e A/WP) e no tratamento sem correção e com o uso do ST (WA/ST). Ou seja, esses tratamentos proporcionaram o maior pH do solo e conseqüentemente maior RDM, o que pode ser observado pelo sentido dos vetores dessas variáveis no mesmo sentido no quadrante 3 (Figura 6). Já se observa que os vetores P-M3 e do Ca estão em sentido inverso ao da RDM em relação ao eixo Y (Componente Principal 2 – Dim.2), o que sugere que nas plantas dos tratamentos do Grupamento A, a maior RDM ocorreu sob condições de baixa disponibilidade de Ca e P (P-M3) após o período de incubação.

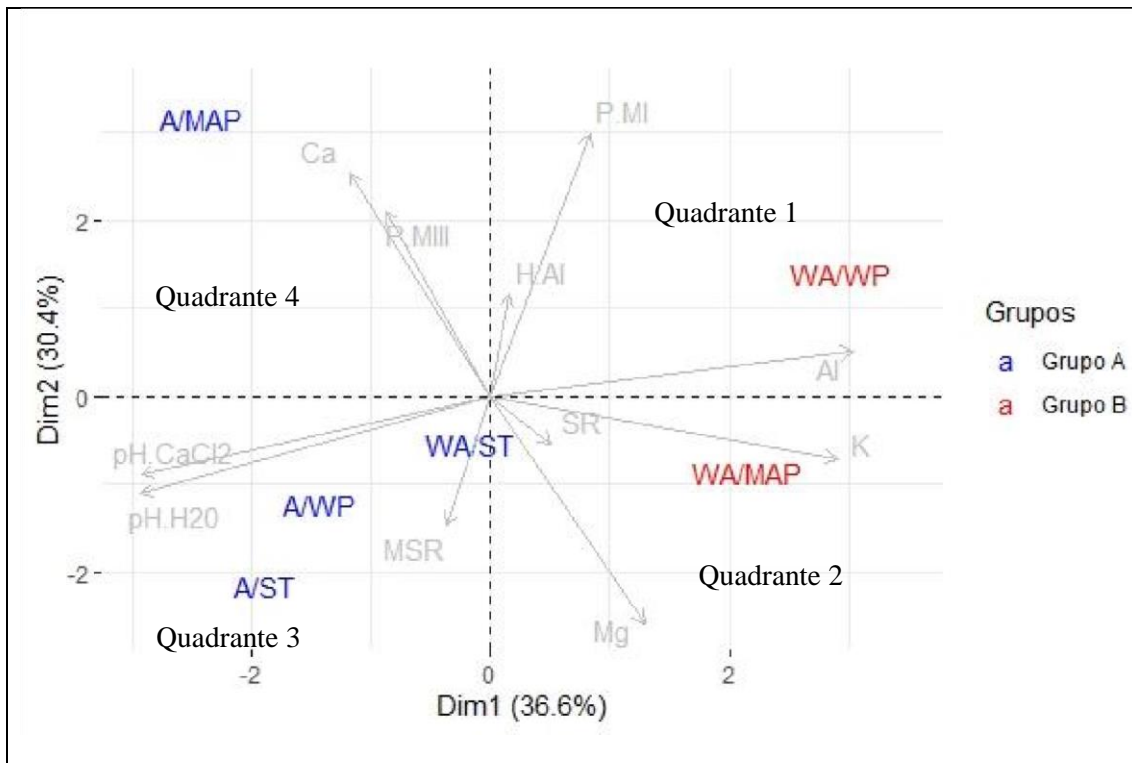


FIGURA 7 Análise multivariada de agrupamento dos tratamentos (sem correção do solo e com adubação fosfatada como o monoamônio fosfato – WA/MAP, com adubação fosfatada com o superfosfato triplo – WA/ST e sem adubação fosfatada – WA/WP e com correção do solo com o Oxyfertil® e adubação fosfatada com o monoamônio fosfato – A/MAP, como superfosfato triplo – A/ST e sem adubação fosfata – A/WP) em função da variação do crescimento das raízes das plantas (massa seca de raiz – RDM e superfície de raiz – SR) e as variáveis químicas de solo avaliadas após o período de incubação (pH em CaCl_2 – pH.CaCl₂; pH em H_2O – pH.H₂O; P disponível obtido pelos extratores Mehlich I – P.M1 e Mehlich 3 – P.M3; teores de cálcio, magnésio, potássio e alumínio trocáveis – Ca, Mg, K e Al, respectivamente e acidez potencial não trocável mais trocável – H.Al).

A menor disponibilidade de Ca e P no solo com a calagem e a adubação fosfatada com o MAP pode ser explicada pela formação de precipitados com Ca e P logo no início da solubilização desse fertilizante, que ocorre quando do uso dessa fonte de fósforo (BARBOSA, 2020), ou mesmo pela baixa solubilização do fosfato monocalcico, como já explicitado anteriormente.

Outro resultado importante na análise de agrupamento (Figura 7) é que os tratamentos do Grupo “a” estão em sentido inverso ao vetor do Al trocável do solo, o que permite concluir que nesses tratamentos há menor aumento do pH dos teores de Ca e P disponíveis e a maior RDM ocorre quando há redução da disponibilidade de Al no solo. Esse resultado pode ser explicado pela correlação negativa entre os teores de Al trocável

no solo (Al) com o pH.CaCl₂, pH.H₂O, Ca, P,M-3 e RDM ($r = -0,87^{**1}$, $-0,91^{**}$, $-0,17^{ns}$, $-0,19^{ns}$, $-0,16^{ns}$, respectivamente).

Nas plantas com correção do solo e com adubação fosfatada foram observados menor fluorescência de Al nos pelos radiculares das plantas (Figura 3), o que explica maior crescimento de raízes nesses tratamentos, efeito esse já relatado na literatura (GUPTA et al., 2014; HANSEL, 2016; NUNES, 2019). O fornecimento de P associada à exsudação de ácidos orgânicos é um dos mecanismos que reduz a toxicidade do Al para as plantas (QU et al., 2020; RIAZA et al., 2018) o que justifica a demarcação de Al³⁺ pelo Morin® na epiderme do ápice radicular (Figura 3).

A neutralização do Al³⁺ pela ação do Oxyfertil® elevou o pH havendo ou não adubação fosfatada. Nos dois casos, os efeitos de P e da calagem são praticamente aditivos, com pouca interação, mas cada um desses insumos limita a produtividade máxima obtida pelo outro (STAUFFER et al., 2004). Em geral os tratamentos do Grupo A estão associados aos tratamentos que obtiveram maiores valores de pH e os menores de Al³⁺, ou seja, onde houve correção do solo, efeito esse esperando com a calagem (NOLLA et al., 2020), com exceção do tratamento sem correção e com aplicação do ST. O simples aumento do pH reduz as formas iônicas solúveis de Al em solução e conseqüentemente a sua disponibilidade para as plantas (SOUZA et al., 2011; NASCENTE et al., 2019; NATALE; ROZANE; PRADO).

No tratamento controle, sem adubação fosfatada (WP) e correção de acidez (WA) foi constatada a presença de alumínio nas paredes celulares e células internas revelados pelo reagente Morin® (Figura 3). Em raízes com acúmulo de Al as paredes celulares ficam mais finas, com conseqüente desorganização da estrutura radicular, redução do tamanho da coifa, que pode reduzir a absorção de outros nutrientes (AMBROSINI et al., 2015; RAHMAN et al., 2018; RODRIGUES et al., 2016).

Após a coleta das plantas observa-se que houve alteração das propriedades químicas mais acentuadas em *solo rizosférico* quando comparado ao solo *não rizosférico* (Figuras 4 e 5). Tanto em *solo rizosférico*, quanto no *não rizosférico*, em geral, com a correção do solo houve aumento do pH e com a adubação fosfatada houve acidificação da rizosfera (Figuras 4 A, B e 5 A). Como as plantas que receberam adubação fosfatada apresentaram maior crescimento radicular quando comparada às plantas sem adubação fosfatada (Figura 2 A), há maior exploração do volume do solo (Figura 2 D) e

¹ **, * e ns Significativo a 1 e 5% e não significativo pelo teste de F, respectivamente.

consequentemente maior absorção de nutrientes, o que leva a acidificação do solo, principalmente pela exsudação de HCO_3^{2-} oriundo do processo de respiração da raiz e à atividade das bombas de prótons que exsuda prótons durante o processo de absorção dos nutrientes (FAQUIN, 2011).

Após a coleta das plantas houve variação dos teores de Al trocável somente em *solo rizosférico*, com os menores valores obtidos nos tratamentos com correção do solo (Figura 4 C). Nessa avaliação não houve efeito da adubação fosfatada (Figura 4 C), como observado 15 dias após a incubação dos tratamentos, onde houve redução do Al^{3+} com a incorporação do ST e do MAP (Figura 1 E). A redução do Al^{3+} no período de incubação pode ser explicado pela precipitação com o ânion fosfato (LINDSAY, 1979), com consequente redução da absorção e acúmulo nas raízes das plantas (Figuras 3 A a F).

A correção do solo é premissa básica para a obtenção de altas produtividades em solos ácidos tropicais. Associada a correção da acidez do solo, a adubação fosfatada traz benefícios como maior crescimento do sistema radicular, mesmo sob condições de altos teores de Al^{3+} no solo. Para entender melhor como o ST e o MAP podem influenciar na dinâmica e nos efeitos do Al para as plantas é importante, na evolução do conhecimento, a execução de trabalhos onde possa entender os processos de solubilização dos fertilizantes e as transformações do ânion fosfato em suas diferentes espécies iônicas na solução do solo.

6 CONCLUSÕES.

Com os resultados foi possível concluir que:

-Há maior crescimento em massa e em área de solo explorado com a correção (A) e adubação fosfatada (AF)

-Adubação fosfatada foi mais eficiente em promover o crescimento radicular da soja quando comparado ao calcário na presença de alumínio

-O MAP-Kimcoat BIO HP resultou em maior superfície de raiz (SR) quando cultivado em solo não corrigido

-O agrupamento dos tratamentos com correção do solo (A) independente da adubação fosfatada (AF), com o uso do ST sem correção está associado a maior pH e menor disponibilidade de Al aos 15 dias após a incubação dos tratamentos.

7 BIBLIOGRAFIA CITADA.

- AGEGNEHU, G. et al. Extent and management of acid soils for sustainable crop production system in the tropical agroecosystems: a review. **Acta Agriculturae Scandinavica Section B: Soil and Plant Science**, v. 0, n. 0, p. 1–18, 2021.
- AMBROSINI, V. G. et al. Reduction of copper phytotoxicity by liming: A study of the root anatomy of young vines (*Vitis labrusca* L.). **Fisiologia e Bioquímica Vegetal**, v. 96, p. 270–280, 2015.
- AQUINO, E. L. et al. PLANTAS DE AMENDOIM (*Arachis hypogaea* L.) SUBMETIDAS À DIFERENTES DOSES DE ALUMÍNIO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA Elielson. p. 1698–1714, 2013.
- BARBOSA, J. Z. et al. Alkalinized sewage sludge application improves fertility of acid soil. **Ciencia e Agrotecnologia**, v. 41, n. 5, p. 483–493, 2017.
- BARBOSA, K. D. P. FONTES E FORMAS DE APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES FOSFATADOS EM CULTIVOS CONSECUTIVOS DE SOJA EM LATOSSOLO DE ALTA FERTILIDADE. Thesis—Rio Verde-GO: IF Goiano, 2020.
- CARDUCCI, C. E. et al. Modelagem da curva de retenção de água de Latossolos utilizando a Equação Duplo Van Genuchten. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 1, p. 77–86, 2011.
- CARLESSO, A. et al. XXIX CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO - Águas de Lindóia - 26 a 30 de Agosto de 2012. **Xxix Congresso Nacional De Milho E Sorgo**, n. 1, p. 2893–2898, 2012.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - (CONAB). Acompanhamento da Safra Brasileira - CAFÉ. **Observatório Agrícola**, v. 2, n. 4, p. 1–60, 2020.
- CONSALTER, R. ET AL. Efeito de doses e alumínio no crescimento e nutrição de *Brachiaria decumbens* em solução nutritiva. **Cultivando o Saber**, p. 98–112, 2013.
- CRISTINA MARTINS BOUCHO, A. Contributo do fósforo para a eficiência simbiótica de leguminosas pratenses. p. 92, 2016.
- DAMASCENO, C. S. B. et al. Peptídeos Bioativos de Soja *Glycine Max* (L.) Merrill: uma Breve Revisão. **Revista Processos Químicos**, v. 10, n. 19, p. 89–98, 2016.
- CAMARGO, M. S. et al. Phosphorus in cerrado soils under liming conditions. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 2, p. 187–194, 2010.
- MENEZES, C. B. et al. Avaliação de híbridos de sorgo granífero para tolerância a alumínio em solução nutritiva. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 40, n. 1, 2018.
- NIRO GAZOLA, R. et al. Efeito residual da aplicação de fosfato monoamônio revestido por diferentes polímeros na cultura de milho. **Revista Ceres**, v. 60, n. 6, p. 876–884, 2013.

- OLIVEIRA, R. P. **Variabilidade alélica do gene ZmMATE1 associada com a tolerância ao alumínio em um painel de linhagens tropicais de milho.** [s.l.] Universidade Federal de São João del-Rei, 2019.
- PAULA BARBOSA, K. et al. Residue of Phosphorus Sources Broadcast and Applied on Rows in Forages during Off-Season Crops. **Journal of Agricultural Science**, v. 9, n. 11, 2017.
- SOUZA, H. A. et al. Liming and fertilization with boron in production of bean. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 42, n. 2, p. 249–257, 2011.
- DIAS, L. P. R. et al. Distribuição e morfologia do sistema radicular de *Eucalyptus dunnii* em resposta à aplicação de fósforo. **Revista de Ciências Agroveterinárias.**, v. 16, n. 3, 2017.
- DOS SANTOS, A. D. et al. Modelo conceitual da degradação de poliacrilamidas (PAM) em compostos nitrogenados. **Águas Subterrâneas**, v. 32, n. 3, p. 364–371, 2018.
- E SILVA, R. C. C. **Análises de transcrito e de metaboloma revelam que *Qualea grandiflora* Mart . possui um metabolismo Alumínio-dependente** **Análises de transcrito e de metaboloma revelam que *Qualea grandiflora* Mart . possui um metabolismo Alumínio-dependente.** [s.l.] Universidade Nacional de Brasília UNB, 2017.
- EMBRAPA SOLOS. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** Brasília-DF: EMBRAPA Comunicação para a Transferência de Tecnologia, 2009.
- FAMOSO, A. N. et al. Development of a novel aluminum tolerance phenotyping platform used for comparisons of cereal aluminum tolerance and investigations into rice aluminum tolerance mechanisms. **Plant Physiology**, v. 153, n. 4, p. 1678–1691, 2010.
- FARIAS, W. M. **Ação No Comportamento Hidromecânico De Solos Do Planalto Central Wisley Moreira Farias Orientador : Pedro Murrieta Santos Neto Co-Orientador : Éder De Souza Martins Tese De Doutorado Em Geotecnia Publicação : G . Td – 077a / 2012 Brasília / Df : Julho / 2. 2012.**
- GEORGE, E.; HORST, W. J.; NEUMANN, E. Adaptation of Plants to Adverse Chemical Soil Conditions. **Marschner’s Mineral Nutrition of Higher Plants: Third Edition**, p. 409–472, 2011.
- GREGORY, P. J. Crop Root Systems and Nutrient Uptake from Soils. In: HAWKESFORD, MALCOM J.; BARRACLOUGH, PETER. (Ed.). **The molecular and physiological basis of nutrient use efficiency in crops.** WILEY-BLAC ed. [s.l.: s.n.]. p. 21–46.
- GUPTA, D. K. et al. Role of phosphate fertilizers in heavy metal uptake and detoxification of toxic metals. **Chemosphere**, v. 108, p. 134–144, 2014.
- GUPTA, N.; GAURAV, S. S.; KUMAR, A. Molecular Basis of Aluminium Toxicity in Plants: A Review. **American Journal of Plant Sciences**, v. 04, n. 12, p. 21–37, 2013.
- HALISKI, A. **Acidez do solo e toxicidade do alumínio em sistema plantio direto de longa duração.** [s.l.] Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2018.
- HAN, T. et al. The links between potassium availability and soil exchangeable calcium, magnesium, and aluminum are mediated by lime in acidic soil. **Journal of Soils and Sediments**, v. 19, n. 3, p. 1382–1392, 11 mar. 2019.

- HEWITT, E. J. **Principles of plant nutrition**. [s.l: s.n.]. v. 278
- HORST, W. J.; WANG, Y.; ETICHA, D. The role of the root apoplast in aluminium-induced inhibition of root elongation and in aluminium resistance of plants: A review. **Annals of Botany**, v. 106, n. 1, p. 185–197, 2010.
- INKOTTE, J. et al. Métodos de avaliação da ciclagem de nutrientes no bioma Cerrado : uma revisão sistemática Methods of evaluation of nutrient cycling in the Cerrado biome : a systematic review Resumo O entendimento do funcionamento e variáveis que influenciam a estabilidade. **Ciência florestal**, v. 29, n. 2, p. 988–1003, 2019.
- JUNIOR, E. S. F. P. **ESTUDO DOS MÉTODOS DE EXTRAÇÃO E COMPORTAMENTO DO FÓSFORO NA TERRA PRETA ARQUEOLÓGICA DA MESORREGIÃO CENTRAL DO ESTADO DO AMAZONAS**. [s.l.] Universidade Federal do Amazonas, 2016.
- KÜLZER, R. G. **EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE DIFERENTES FERTILIZANTES FOSFATADOS NA CULTURA DA SOJA**. [s.l.] UNIVERSIDADE FEDERAL FRONTEIRA SUL CAMPUS CERRO LARGO, 2019.
- KUMAR, M. et al. Lime Pelleting to Improve Pulse Production on Acid Soils: Evidence from Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Research Biotica**, v. 3, n. 2, p. 116–120, 2021.
- LINDSAY, W. L. Chemical equilibrium in soils. **New York: John Wiley and Sons**, p. 449, 1979a.
- LINDSAY, W. L. (COLORADO S. U. C. **Chemical Equilibria in Soils**. New York: John Wiley & Sons, Ltd, 1979b.
- LINDSAY, W.L.; FRAZIER, A.W.; STEPHENSON, H. F. Identification of reaction products from phosphate fertilizers in soils. In: **Soil Science Society of America Proceedings**. [s.l: s.n.]. p. 446–452.
- LOIDE, V. About the effect of the contents and ratios of soil's available calcium, potassium and magnesium in liming of acid soils. **Agronomy Research**, v. 2, n. 1, p. 71–82, 2004.
- LOPES, A. S. ; et al. **Fertilidade do Solo**. 1 edição ed. Viçosa: [s.n.].
- MACHADO, V. J.; DE SOUZA, C. H. E. Phosphorus availability in soils with different textures after application of growing doses of slow release monoammonium phosphate. **Bioscience Journal**, v. 28, n. SUPPL. 1, p. 1–7, 2012.
- MANOHARAN, V. et al. Changes in soil solution composition and aluminium speciation under legume based pastures in response to long term phosphate fertiliser applications. **Soil Research**, v. 34, n. 6, p. 985–998, 1996.
- MANOHARAN, V. **Impacts of phosphate fertiliser application on soil acidity and aluminium phytotoxicity: a thesis presented in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Soil Science at Massey University**. Palmerston North, New Zealand: Massey University, 1997.
- MARSCHNER, PETRA. The Role of the Rhizosphere in Nutrient use Efficiency in Crops. In: HAWKESFORD, MALCOLM.J; BARRACLOUGH, PETER. (Ed.). . **The**

molecular and physiological basis of nutrient use efficiency in crops. WILEY-BLAC ed. [s.l.: s.n.]. p. 47–64.

MATOS, C. H. L. DE et al. Utilização De Colunas De Solo Na Avaliação Da Lixiviação Do Fósforo Em Roraima / Use of Soil Columns in the Evaluation of Phosphorine Leaching in Roraima. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 11051–11059, 2021.

MENGEL, KONRAD. The pH effect and the calcium effect. In: MENGEL, K. (UNIVERSITY J. L. et al. (Eds.). . **Principles of plant nutrition**. 5. ed. [s.l.: s.n.]. p. 513–538.

MIGUEL, P. S. B. ET AL. Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento das plantas: mecanismos de tolerância, sintomas, efeitos fisiológicos, bioquímicos e controles genéticos. 2010.

MONTEIRO, F. P. et al. Exsudatos radiculares de plantas de cobertura no desenvolvimento de sclerotinia sclerotiorum. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 1, p. 87–93, 2012.

MOREIRA, A. et al. Agronomic Efficiency of Two Types of Lime and Phosphate Fertilizer Sources in Brazilian Cerrado Soils Cultivated with Soybean. <http://dx.doi.org/10.1080/00103624.2014.932372>, v. 45, n. 17, p. 2319–2330, 2014.

MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E.; MORAES, L. A. C. Eficiência de fontes e doses de fósforo na alfafa e centrosema cultivadas em Latossolo Amarelo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 10, p. 1459–1466, 2002.

MUIDI, E. MWENDE. Understanding Soil Phosphorus. **International Journal of Plant & Soil Science**, v. 31, p. 1–18, 2019.

MUMBACH, G. L. et al. Quantificação de fósforo por Mehlich 1, Mehlich 3 e Resina Trocadora de Ânions em solos com diferentes teores de argila. **Revista Ceres**, v. 65, n. 6, p. 546–554, 2018.

MWENDE MUINDI, E. Effects of Liming on Dithionate and Oxalate Extractable Aluminium in Acid Soils. **Asian Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 5, n. 3, p. 1–9, 2020.

NASCENTE, A. S. et al. **Nutrição e adubação de grandes culturas na região do cerrado**. 1. ed. Goiânia: [s.n.].

NATALE, W.; ROZANE, D. E.; PRADO, R. DE M. **Diagnose Foliar na Cultura da Goiaba e da Carambola**. [s.l.] Universidade Estadual Paulista-UNESP, [s.d.].

NOLLA, A. et al. Correction of soil acidity and availability of phosphorus and potassium in an oxisol submitted to surface and incorporated liming. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 3, n. 3, 2020.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa-MG: UFV, 1999.

NUNES, J. G. DA S. **EFEITOS DAS ÉPOCAS DE PLANTIO E DAS DOSES DE FÓSFORO SOBRE A PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE CULTIVARES DE BATATA-DOCE**. [s.l.] Universidade Estadual de São Paulo UNESP, 2019.

NUNES, R. D. S. **EFICIÊNCIA DE USO DO FÓSFORO EM SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO E ADUBAÇÃO FOSFATADA POR UM LONGO PERÍODO**.

- [s.l.] Universidade Federal de Brasília, 2014.
- OLIVEIRA, A. P. DE et al. Avaliação de espécies do Cerrado quanto à tolerância ao alumínio. **Embrapa - Boletim de pesquisa e desenvolvimento**, v. 355, n. February, p. 26, 2019.
- OLIVEIRA, M. DE S. Tolerância de variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) à toxidez por alumínio em solução. p. 109, 2012.
- PROCHNOW, L. I.; ALCARDE, J. C.; CHIEN, S. H. Eficiência agronômica dos fosfatos totalmente acidulados. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. E (Eds.). . **Fósforo na Agricultura Brasileira**. Piracicaba-SP: Potafos, 2004. p. 605–664.
- QU, X. et al. Phosphorus relieves aluminum toxicity in oil tea seedlings by regulating the metabolic profiling in the roots. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 152, p. 12–22, 2020.
- RAHMAN, M. A. et al. Importance of mineral nutrition for mitigating aluminum toxicity in plants on acidic soils: Current status and opportunities. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 19, n. 10, 2018a.
- RAHMAN, MD. A. et al. Importância da Nutrição Mineral para Mitigação da Toxicidade do Alumínio em Plantas em Solos Ácidos: Situação Atual e Oportunidades. **International Journal of Molecular Sciences**, 2018b.
- RAIJ, B. VAN. **Fertilidade do solo e Manejo de Nutrientes**. Internatio ed. Piracicaba: [s.n.].
- RAMPIM, L.; LANA, M. DO C. Mecanismo De Tolerância Interna Das Plantas Ao Alumínio. **Colloquium Agrariae**, v. 9, n. 2, p. 72–89, 2013.
- REBECHI, L. G.; KOLOGESKI, A. **Estimativa indireta de Al³⁺ no solo através de eletrodo de F**. Bento Gonçalves-RS: 2019.
- REIS, J. V. DOS. **POTENCIAL DO EXTRATOR MEHLICH-3 NA AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO DE DIFERENTES SOLOS**. [s.l.] Universidade Federal de Viçosa, 2016.
- RIAZA, M. et al. Mechanisms of organic acids and boron induced tolerance of aluminum toxicity: A review. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 165, p. 25–35, 2018.
- RODRIGUES, A. A. **TOXIDEZ DO ALUMÍNIO EM *Eugenia dysenterica* DC. E *Hancornia speciosa* GOMES**. [s.l.] Instituto Federal Goiano Campus Rio Verde, 2015.
- RODRIGUES, A. A. et al. Influence of aluminum on root growth and of anatomy *Stenocalyx dysentericus* (DC.) O. Berg. **African Journal of Biotechnology**, v. 15, n. 24, p. 1193–1200, 2016.
- ROSA, A.; CAPONI, L. H.; JÚNIOR, L. A. ZANÃO. DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO EM UM LATOSSOLO VERMELHO EM FUNÇÃO DO pH DO SOLO. **Acta Iguazu**, v. 5, n. 5, p. 108–115, 2016.
- SAGALA, D.; SUZANNA, E. The critical period of aluminum stress on soybean root growth. v. 1, n. June, p. 21–26, 2020.
- SAHA, B; SWAIN, D; BORGOHAIN, P; ROUT, G.R; KOYAMA, H; PANDA, S. K. Enhanced exudation of malate in the rhizosphere due to AtALMT1 overexpression in

blackgram (*Vigna mungo* L.) confers increased aluminium tolerance. **Plant biology**, p. 701–708, jul. 2020.

SANTOS, A. D. DOS et al. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília-DF: [s.n.].

SANTOS, M. O. C. et al. Utilização de adubo fosfatado e inoculante à base de fungo micorrízico no cultivo do feijão. **Revista Ciências Agroambientais**, v. 19, n. 1, p. 17–24, 2021.

SCANLAN, C. A. et al. The interaction between soil pH and phosphorus for wheat yield and the impact of lime-induced changes to soil aluminium and potassium. **Soil Research**, v. 55, n. 4, p. 341–353, 9 jan. 2017.

SEVERIANO, E. DA C. et al. Structural changes in latosols of the cerrado region: I - relationships between soil physical properties and least limiting water range. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 35, n. 3, p. 773–782, 2011.

SHILIANG, L. et al. Study on transformation and availability of different P in rhizosphere of maize. **Journal of Yangzhou University, Agricultural and Life Sciences Edition**, v. 24, n. 2, p. 54–58, 17 jun. 2003.

SILVA, C. O. Efeitos Do Alumínio Em Raízes De Soja: Alterações Morfoanatômicas, Fisiológicas E Metabólicas. 2018.

SILVA, F. A.; CARPINTIERI, F. C.; SANGLADE, M. ; L. F. **APROVEITAMENTO DE FÓSFORO PELA CANA ENERGIA**. [s.l: s.n.].

SILVA, M. PAULA. **O MEIO DE CULTURA SÓLIDO DIMINUI A EXSUDAÇÃO DE ÁCIDOS ORGÂNICOS EM RAÍZES DE PLANTAS EXPOSTAS AO ALUMÍNIO EM RELAÇÃO À SOLUÇÃO NUTRITIVA?** [s.l.] UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO” Unesp, 2019.

SOUZA, H. A. DE et al. Agronomic Efficiency and Productivity of Sorghum in Response to Fertilizers With Different Phosphorus Solubilities in Greenhouse Conditions. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 17, p. 177, 15 out. 2019.

STAUFFER, MARK. D. et al. **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: [s.n.].

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 5 edição ed. [s.l: s.n.].

TAKAHARA, L. H.; FRANCISCO, J. P.; LOPES, A. D. Adubação fosfatada em soja : Potencialidades de diferentes fontes Phosphate fertilization in soy : Potentiality from different sources Fertilización con fosfato en la soja : Potencial de diferentes fuentes. v. 2021, p. 1–9, 2021.

TEIXEIRA, A. M. S. et al. Estudo do uso de serpentinito como corretivo de solos agrícolas. **Anais do II Simpósio de Minerais Industriais do Nordeste**, p. 133–143, 2010.

TIAN, J. et al. Phosphorus fertilization affects soybean rhizosphere phosphorus dynamics and the bacterial community in karst soils. **Plant and Soil**, 2020.

TVM, W. C. et al. **MASSA SECA DE RAÍZ EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DO SUPERFOSFATO TRIPLO REVESTIDO POR POLÍMEROS NA CULTURA DO CAFÉ**. Disponível em:

< http://www.sbicafe.ufv.br/bitstream/handle/123456789/7572/Documentos_89.pdf?sequence=1>.

ZHAO, Y. et al. Effects of various phosphorus fertilizers on maize yield and phosphorus uptake in soils with different pH values. <https://doi.org/10.1080/03650340.2021.1926997>, 2021.

ADDIN Mendeley Bibliography CSL_BIBLIOGRAPHY AGEENEHU, G. et al. Extent and management of acid soils for sustainable crop production system in the tropical agroecosystems: a review. **Acta Agriculturae Scandinavica Section B: Soil and Plant Science**, v. 0, n. 0, p. 1–18, 2021.

AQUINO, E. L. et al. PLANTAS DE AMENDOIM (*Arachis hypogaea* L.) SUBMETIDAS À DIFERENTES DOSES DE ALUMÍNIO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA Elielson. p. 1698–1714, 2013.

BARBOSA, J. Z. et al. Alkalinized sewage sludge application improves fertility of acid soil. **Ciencia e Agrotecnologia**, v. 41, n. 5, p. 483–493, 2017.

CARDUCCI, C. E. et al. Modelagem da curva de retenção de água de Latossolos utilizando a Equação Duplo Van Genuchten. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 1, p. 77–86, 2011.

CARLESSO, A. et al. XXIX CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO - Águas de Lindóia - 26 a 30 de Agosto de 2012. **Xxix Congresso Nacional De Milho E Sorgo**, n. 1, p. 2893–2898, 2012.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - (CONAB). Acompanhamento da Safra Brasileira - CAFÉ. **Observatório Agrícola**, v. 2, n. 4, p. 1–60, 2020.

CONSALTER, R. ET AL. Efeito de doses e alumínio no crescimento e nutrição de *Brachiaria decumbens* em solução nutritiva. **Cultivando o Saber**, p. 98–112, 2013.

CRISTINA MARTINS BOUCHO, A. Contributo do fósforo para a eficiência simbiótica de leguminosas pratenses. p. 92, 2016.

DAMASCENO, C. S. B. et al. Peptídeos Bioativos de Soja *Glycine Max* (L.) Merrill: uma Breve Revisão. **Revista Processos Químicos**, v. 10, n. 19, p. 89–98, 2016.

CAMARGO, M. S. et al. Phosphorus in cerrado soils under liming conditions. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 2, p. 187–194, 2010.

MENEZES, C. B. et al. Avaliação de híbridos de sorgo granífero para tolerância a alumínio em solução nutritiva. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 40, n. 1, 2018.

NIRO GAZOLA, R. et al. Efeito residual da aplicação de fosfato monoamônio revestido por diferentes polímeros na cultura de milho. **Revista Ceres**, v. 60, n. 6, p. 876–884, 2013.

OLIVEIRA, A. S. **A matéria orgânica na redução do efeito tóxico do alumínio**. [s.l.] Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2018.

OLIVEIRA, R. P. **Variabilidade alélica do gene ZmMATE1 associada com a tolerância ao alumínio em um painel de linhagens tropicais de milho**. [s.l.] Universidade Federal de São João del-Rei, 2019.

SOUZA, H. A. et al. Liming and fertilization with boron in production of bean. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 42, n. 2, p. 249–257, 2011.

E SILVA, R. C. C. **Análises de transcrito e de metaboloma revelam que Qualea grandiflora Mart . possui um metabolismo Alumínio-dependente**. [s.l.] Universidade Nacional de Brasília UNB, 2017.

EM, A. et al. DIFERENCIAÇÃO DE GENÓTIPOS DE SOJA QUANTO À TOLERÂNCIA AO DIFERENCIAÇÃO DE GENÓTIPOS DE SOJA QUANTO À TOLERÂNCIA AO ALUMÍNIO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA. n. July, 2016.

FAMOSO, A. N. et al. Development of a novel aluminum tolerance phenotyping platform used for comparisons of cereal aluminum tolerance and investigations into rice aluminum tolerance mechanisms. **Plant Physiology**, v. 153, n. 4, p. 1678–1691, 2010.

FARIAS, W. M. Ação No Comportamento Hidromecânico De Solos Do Planalto Central Wisley Moreira Farias Orientador : Pedro Murrieta Santos Neto Co-Orientador : Éder De Souza Martins Tese De Doutorado Em Geotecnia Publicação : G . Td – 077a / 2012 Brasília / Df : Julho / 2. 2012.

GREGORY, P. J. Crop Root Systems and Nutrient Uptake from Soils. In: HAWKESFORD, MALCOM J.; BARRACLOUGH, P. (Ed.). . **The molecular and physiological basis of nutrient use efficiency in crops**. WILEY-BLAC ed. [s.l: s.n.]. p. 21–46.

GUARESCHI, R. F. Matéria orgânica e atributos químicos e físicos do solo em uma cronossequência de agricultura sob plantio direto no cerrado. p. 67, 2013.

GUPTA, N.; GAURAV, S. S.; KUMAR, A. Molecular Basis of Aluminium Toxicity in Plants: A Review. **American Journal of Plant Sciences**, v. 04, n. 12, p. 21–37, 2013.

HALISKI, A. **Acidez do solo e toxicidade do alumínio em sistema plantio direto de longa duração**. [s.l.] Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2018.

HEWITT, E. J. **Principles of plant nutrition**. [s.l: s.n.]. v. 278

HORST, W. J.; WANG, Y.; ETICHA, D. The role of the root apoplast in aluminium-induced inhibition of root elongation and in aluminium resistance of plants: A review. **Annals of Botany**, v. 106, n. 1, p. 185–197, 2010. INKOTTE, J. et al. Métodos de avaliação da ciclagem de nutrientes no bioma Cerrado : uma revisão sistemática Methods of evaluation of nutrient cycling in the Cerrado biome : a systematic review Resumo O entendimento do funcionamento e variáveis que influenciam a estabilidade. **Ciência florestal**, v. 29, n. 2, p. 988–1003, 2019.

LOPES, A. S. ; et al. **Fertilidade do Solo**. 1 edição ed. Viçosa: [s.n.].

MACHADO, V. J.; DE SOUZA, C. H. E. Phosphorus availability in soils with different textures after application of growing doses of slow release monoammonium phosphate. **Bioscience Journal**, v. 28, n. SUPPL. 1, p. 1–7, 2012.

MARSCHNER, P. The Role of the Rhizosphere in Nutrient use Efficiency in Crops. In: HAWKESFORD, MALCOLM J.; BARRACLOUGH, P. (Ed.). . **The molecular and physiological basis of nutrient use efficiency in crops**. WILEY-BLAC ed. [s.l: s.n.]. p. 47–64.

MATOS, C. H. L. DE et al. Utilização De Colunas De Solo Na Avaliação Da Lixiviação Do Fósforo Em Roraima / Use of Soil Columns in the Evaluation of Phosphorine

Leaching in Roraima. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 11051–11059, 2021.

MEINERZ, G. E. **Potencial de utilização de resíduos de construção cívil na correção da acidez do solo**. [s.l.] Universidade federal da fronteira sul., 2013.

MENGEL, K. The pH effect and the calcium effect. In: MENGEL, K. (UNIVERSITY J. L. et al. (Eds.). . **Principles of plant nutrition**. 5. ed. [s.l: s.n.]. p. 513–538.

MIGUEL, P. S. B. ET AL. Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento das plantas: mecanismos de tolerância, sintomas, efeitos fisiológicos, bioquímicos e controles genéticos. 2010.

MONTEIRO, F. P. et al. Exsudatos radiculares de plantas de cobertura no desenvolvimento de sclerotinia sclerotiorum. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 1, p. 87–93, 2012.

MUIDI, E. M. Understanding Soil Phosphorus. **International Journal of Plant & Soil Science**, v. 31, p. 1–18, 2019.

MWENDE MUINDI, E. Effects of Liming on Dithionate and Oxalate Extractable Aluminium in Acid Soils. **Asian Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 5, n. 3, p. 1–9, 2020.

NASCENTE, A. S. et al. **Nutrição e adubação de grandes culturas na região do cerrado**. 1. ed. Goiânia: [s.n.].

OLIVEIRA, A. P. DE et al. Avaliação de espécies do Cerrado quanto à tolerância ao alumínio. **Embrapa - Boletim de pesquisa e desenvolvimento**, v. 355, n. February, p. 26, 2019.

OLIVEIRA, M. DE S. Tolerância de variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) à toxidez por alumínio em solução. p. 109, 2012.

RAHMAN, M. A. et al. Importance of mineral nutrition for mitigating aluminum toxicity in plants on acidic soils: Current status and opportunities. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 19, n. 10, 2018.

RAIJ, B. VAN. **Fertilidade do solo e Manejo de Nutrientes**. Internatio ed. Piracicaba: [s.n.].

RAMPIM, L.; LANA, M. DO C. Mecanismo De Tolerância Interna Das Plantas Ao Alumínio. **Colloquium Agrariae**, v. 9, n. 2, p. 72–89, 2013.

ROSA, A.; CAPONI, L. H.; JÚNIOR, L. A. Z. DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO EM UM LATOSSOLO VERMELHO EM FUNÇÃO DO pH DO SOLO. **Acta Iguazu**, v. 5, n. 5, p. 108–115, 2016.

SAGALA, D.; SUZANNA, E. The critical period of aluminum stress on soybean root growth. v. 1, n. June, p. 21–26, 2020.

SAHA, B; SWAIN, D; BORGHAIN, P; ROUT, G.R; KOYAMA, H; PANDA, S. . Enhanced exudation of malate in the rhizosphere due to AtALMT1 overexpression in blackgram (*Vigna mungo L.*) confers increased aluminium tolerance. **Plant biology**, p. 701–708, jul. 2020.

SEVERIANO, E. DA C. et al. Structural changes in latosols of the cerrado region: I - relationships between soil physical properties and least limiting water range. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 35, n. 3, p. 773–782, 2011.

SILVA, C. O. Efeitos Do Alumínio Em Raízes De Soja: Alterações Morfoanatômicas, Fisiológicas E Metabólicas. 2018.

SILVA, M. P. **O MEIO DE CULTURA SÓLIDO DIMINUI A EXSUDAÇÃO DE ÁCIDOS ORGÂNICOS EM RAÍZES DE PLANTAS EXPOSTAS AO ALUMÍNIO EM RELAÇÃO À SOLUÇÃO NUTRITIVA?** [s.l.] UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO” Unesp, 2019.

STAUFFER, M. D. et al. **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: [s.n.].

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 5 edição ed. [s.l: s.n.]. TAKAHARA, L. H.; FRANCISCO, J. P.; LOPES, A. D. Adubação fosfatada em soja : Potencialidades de diferentes fontes Phosphate fertilization in soy : Potentiality from different sources Fertilización con fosfato en la soja : Potencial de diferentes fuentes. v. 2021, p. 1–9, 2021.

TEIXEIRA, A. M. S. et al. Estudo do uso de serpentinito como corretivo de solos agrícolas. **Anais do II Simpósio de Minerais Industriais do Nordeste**, p. 133–143, 2010.

AGEGNEHU, G. et al. Extent and management of acid soils for sustainable crop production system in the tropical agroecosystems: a review. **Acta Agriculturae Scandinavica Section B: Soil and Plant Science**, v. 0, n. 0, p. 1–18, 2021.

AMBROSINI, V. G. et al. Reduction of copper phytotoxicity by liming: A study of the root anatomy of young vines (*Vitis labrusca* L.). **Fisiologia e Bioquímica Vegetal**, v. 96, p. 270–280, 2015.

AQUINO, E. L. et al. PLANTAS DE AMENDOIM (*Arachis hypogaeae* L.) SUBMETIDAS À DIFERENTES DOSES DE ALUMÍNIO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA Elielson. p. 1698–1714, 2013.

BARBOSA, J. Z. et al. Alkalinized sewage sludge application improves fertility of acid soil. **Ciencia e Agrotecnologia**, v. 41, n. 5, p. 483–493, 2017.

BARBOSA, K. D. P. **FONTES E FORMAS DE APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES FOSFATADOS EM CULTIVOS CONSECUTIVOS DE SOJA EM LATOSSOLO DE ALTA FERTILIDADE**. Thesis—Rio Verde-GO: IF Goiano, 2020.

BENITES, V. DE M. et al. Potássio, Cálcio e Magnésio. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (Eds.). **Boas Práticas Para Uso Eficiente de Fertilizantes**. 2. ed. Piracicaba-SP: International Plant Nutrition Institute IPNI, 2014. p. 137–191.

CARDUCCI, C. E. et al. Modelagem da curva de retenção de água de Latossolos utilizando a Equação Duplo Van Genuchten. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 1, p. 77–86, 2011.

CARLESSO, A. et al. XXIX CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO - Águas de Lindóia - 26 a 30 de Agosto de 2012. **Xxix Congresso Nacional De Milho E Sorgo**, n. 1, p. 2893–2898, 2012.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - (CONAB). Acompanhamento da

- Safra Brasileira - CAFÉ. **Observatório Agrícola**, v. 2, n. 4, p. 1–60, 2020.
- CONSALTER, R. ET AL. Efeito de doses e alumínio no crescimento e nutrição de *Brachiaria decumbens* em solução nutritiva. **Cultivando o Saber**, p. 98–112, 2013.
- CRISTINA MARTINS BOUCHO, A. Contributo do fósforo para a eficiência simbiótica de leguminosas pratenses. p. 92, 2016.
- SILVA SANTOS, L. et al. Quantidade De Fósforo Extraído Pelas Soluções De Mehlich1 E Mehlich-3 Em Razão De Diferentes Velocidades De Agitação, Tempos De Contato E Temperaturas. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 39, n. 1, p. 109–119, 2015.
- DAMASCENO, C. S. B. et al. Peptídeos Bioativos de Soja *Glycine Max (L.) Merrill*: uma Breve Revisão. **Revista Processos Químicos**, v. 10, n. 19, p. 89–98, 2016.
- CAMARGO, M. S. et al. Phosphorus in cerrado soils under liming conditions. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 2, p. 187–194, 2010.
- MENEZES, C. B. et al. Avaliação de híbridos de sorgo granífero para tolerância a alumínio em solução nutritiva. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 40, n. 1, 2018.
- NIRO GAZOLA, R. et al. Efeito residual da aplicação de fosfato monoamônio revestido por diferentes polímeros na cultura de milho. **Revista Ceres**, v. 60, n. 6, p. 876–884, 2013.
- OLIVEIRA, R. P. **Variabilidade alélica do gene ZmMATE1 associada com a tolerância ao alumínio em um painel de linhagens tropicais de milho**. [s.l.] Universidade Federal de São João del-Rei, 2019.
- PAULA BARBOSA, K. et al. Residue of Phosphorus Sources Broadcast and Applied on Rows in Forages during Off-Season Crops. **Journal of Agricultural Science**, v. 9, n. 11, 2017.
- SOUZA, H. A. et al. Liming and fertilization with boron in production of bean. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 42, n. 2, p. 249–257, 2011.
- DIAS, L. P. R. et al. Distribuição e morfologia do sistema radicular de *Eucalyptus dunnii* em resposta à aplicação de fósforo. **Revista de Ciências Agroveterinárias.**, v. 16, n. 3, 2017.
- SANTOS, A. D. et al. Modelo conceitual da degradação de poliacrilamidas (PAM) em compostos nitrogenados. **Águas Subterrâneas**, v. 32, n. 3, p. 364–371, 2018.
- E SILVA, R. C. C. **Análises de transcrito e de metaboloma revelam que *Qualea grandiflora* Mart . possui um metabolismo Alumínio-dependente**. [s.l.] Universidade Nacional de Brasília UNB, 2017.
- EM, A. et al. DIFERENCIAÇÃO DE GENÓTIPOS DE SOJA QUANTO À TOLERÂNCIA AO ALUMÍNIO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA. n. July, 2016.
- EMBRAPA SOLOS. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília-DF: EMBRAPA Comunicação para a Transferência de Tecnologia, 2009.

FAMOSO, A. N. et al. Development of a novel aluminum tolerance phenotyping platform used for comparisons of cereal aluminum tolerance and investigations into rice aluminum tolerance mechanisms. **Plant Physiology**, v. 153, n. 4, p. 1678–1691, 2010.

FARIAS, W. M. Ação No Comportamento Hidromecânico De Solos Do Planalto Central Wisley Moreira Farias Orientador : Pedro Murrieta Santos Neto Co-Orientador : Éder De Souza Martins Tese De Doutorado Em Geotecnia Publicação : G . Td – 077a / 2012 Brasília / Df : Julho / 2. 2012.

GEORGE, E.; HORST, W. J.; NEUMANN, E. Adaptation of Plants to Adverse Chemical Soil Conditions. **Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants: Third Edition**, p. 409–472, 2011.

GREGORY, P. J. Crop Root Systems and Nutrient Uptake from Soils. In: HAWKESFORD, MALCOM J.; BARRACLOUGH, PETER. (Ed.). . **The molecular and physiological basis of nutrient use efficiency in crops**. WILEY-BLAC ed. [s.l: s.n.]. p. 21–46.

GUPTA, D. K. et al. Role of phosphate fertilizers in heavy metal uptake and detoxification of toxic metals. **Chemosphere**, v. 108, p. 134–144, 2014.

GUPTA, N.; GAURAV, S. S.; KUMAR, A. Molecular Basis of Aluminium Toxicity in Plants: A Review. **American Journal of Plant Sciences**, v. 04, n. 12, p. 21–37, 2013.

HALISKI, A. **Acidez do solo e toxicidade do alumínio em sistema plantio direto de longa duração**. [s.l.] Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2018.

HAN, T. et al. The links between potassium availability and soil exchangeable calcium, magnesium, and aluminum are mediated by lime in acidic soil. **Journal of Soils and Sediments**, v. 19, n. 3, p. 1382–1392, 11 mar. 2019.

HANSEL, F. D. **Local de aplicação do fósforo, sistema radicular e produtividade da cultura da soja em plantio direto**. [s.l.] Universidade Federal do Sul de Minas UFSM, 2016.

HEWITT, E. J. **Principles of plant nutrition**. [s.l: s.n.]. v. 278

HORST, W. J.; WANG, Y.; ETICHA, D. The role of the root apoplast in aluminium-induced inhibition of root elongation and in aluminium resistance of plants: A review. **Annals of Botany**, v. 106, n. 1, p. 185–197, 2010.

INKOTTE, J. et al. Métodos de avaliação da ciclagem de nutrientes no bioma Cerrado : uma revisão sistemática Methods of evaluation of nutrient cycling in the Cerrado biome : a systematic review Resumo O entendimento do funcionamento e variáveis que influenciam a estabilidade. **Ciência florestal**, v. 29, n. 2, p. 988–1003, 2019.

JUNIOR, E. S. F. P. **ESTUDO DOS MÉTODOS DE EXTRAÇÃO E COMPORTAMENTO DO FÓSFORO NA TERRA PRETA ARQUEOLÓGICA DA MESORREGIÃO CENTRAL DO ESTADO DO AMAZONAS**. [s.l.]

Universidade Federal do Amazonas, 2016.

KÜLZER, R. G. **EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE DIFERENTES FERTILIZANTES FOSFATADOS NA CULTURA DA SOJA**. [s.l.] UNIVERSIDADE FEDERAL FRONTEIRA SUL CAMPUS CERRO LARGO, 2019.

- KUMAR, M. et al. Lime Pelleting to Improve Pulse Production on Acid Soils: Evidence from Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Research Biotica**, v. 3, n. 2, p. 116–120, 2021.
- LINDSAY, W. L. Chemical equilibrium in soils. **New York: John Wiley and Sons**, p. 449, 1979a.
- LINDSAY, W. L. (COLORADO S. U. C. **Chemical Equilibria in Soils**. New York: John Wiley & Sons, Ltd, 1979b.
- LINDSAY, W.L.; FRAZIER, A.W.; STEPHENSON, H. F. Identification of reaction products from phosphate fertilizers in soils. In: **Soil Science Society of America Proceedings**. [s.l: s.n.]. p. 446–452.
- LOIDE, V. About the effect of the contents and ratios of soil's available calcium, potassium and magnesium in liming of acid soils. **Agronomy Research**, v. 2, n. 1, p. 71–82, 2004.
- LOPES, A. S. ; et al. **Fertilidade do Solo**. 1 edição ed. Viçosa: [s.n.].
- LUÍZA BEUTER BARATTO, N. et al. Liming and Gessage of the Soil: a Literature Review. p. 1–11, 2021.
- MACHADO, V. J.; DE SOUZA, C. H. E. Phosphorus availability in soils with different textures after application of growing doses of slow release monoammonium phosphate. **Bioscience Journal**, v. 28, n. SUPPL. 1, p. 1–7, 2012.
- MANOHARAN, V. et al. Changes in soil solution composition and aluminium speciation under legume based pastures in response to long term phosphate fertiliser applications. **Soil Research**, v. 34, n. 6, p. 985–998, 1996.
- MANOHARAN, V. **Impacts of phosphate fertiliser application on soil acidity and aluminium phytotoxicity: a thesis presented in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Soil Science at Massey University**. Palmerston North, New Zealand: Massey University, 1997.
- MARSCHNER, PETRA. The Role of the Rhizosphere in Nutrient use Efficiency in Crops. In: HAWKESFORD, MALCOLM.J; BARRACLOUGH, PETER. (Ed.). . **The molecular and physiological basis of nutrient use efficiency in crops**. WILEY-BLAC ed. [s.l: s.n.]. p. 47–64.
- MATOS, C. H. L. DE et al. Utilização De Colunas De Solo Na Avaliação Da Lixiviação Do Fósforo Em Roraima / Use of Soil Columns in the Evaluation of Phosphorine Leaching in Roraima. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 11051–11059, 2021.
- MELO, L. N. DE. **DESLOCAMENTO VERTICAL DE FÓSFORO EM SOLO ARENOSO COM ADUBAÇÕES CONTINUAS DE ESTERCO, SOB CONDIÇÕES CONTROLADAS**. [s.l.] Universidade Federal da Paraíba, 2015.
- MENGEL, KONRAD. The pH effect and the calcium effect. In: MENGEL, K. (UNIVERSITY J. L. et al. (Eds.). . **Principles of plant nutrition**. 5. ed. [s.l: s.n.]. p. 513–538.
- MIGUEL, P. S. B. ET AL. Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento das plantas: mecanismos de tolerância, sintomas, efeitos fisiológicos, bioquímicos e controles genéticos. 2010.

- MONTEIRO, F. P. et al. Exsudatos radiculares de plantas de cobertura no desenvolvimento de sclerotinia sclerotiorum. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 1, p. 87–93, 2012.
- MOREIRA, A. et al. Agronomic Efficiency of Two Types of Lime and Phosphate Fertilizer Sources in Brazilian Cerrado Soils Cultivated with Soybean. <http://dx.doi.org/10.1080/00103624.2014.932372>, v. 45, n. 17, p. 2319–2330, 2014.
- MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E.; MORAES, L. A. C. Eficiência de fontes e doses de fósforo na alfafa e centrosema cultivadas em Latossolo Amarelo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 10, p. 1459–1466, 2002.
- MUIDI, E. MWENDE. Understanding Soil Phosphorus. **International Journal of Plant & Soil Science**, v. 31, p. 1–18, 2019.
- MUMBACH, G. L. et al. Quantificação de fósforo por Mehlich 1, Mehlich 3 e Resina Trocadora de Ânions em solos com diferentes teores de argila. **Revista Ceres**, v. 65, n. 6, p. 546–554, 2018.
- MWENDE MUIDI, E. Effects of Liming on Dithionate and Oxalate Extractable Aluminium in Acid Soils. **Asian Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 5, n. 3, p. 1–9, 2020.
- NASCENTE, A. S. et al. **Nutrição e adubação de grandes culturas na região do cerrado**. 1. ed. Goiânia: [s.n.].
- NATALE, W.; ROZANE, D. E.; PRADO, R. DE M. **Diagnose Foliar na Cultura da Goiaba e da Carambola**. [s.l.] Universidade Estadual Paulista-UNESP, [s.d.].
- NOLLA, A. et al. Correction of soil acidity and availability of phosphorus and potassium in an oxisol submitted to surfaced and incorporated liming. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 3, n. 3, 2020.
- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa-MG: UFV, 1999.
- NUNES, J. G. DA S. **EFEITOS DAS ÉPOCAS DE PLANTIO E DAS DOSES DE FÓSFORO SOBRE A PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE CULTIVARES DE BATATA-DOCE**. [s.l.] Universidade Estadual de São Paulo UNESP, 2019.
- NUNES, R. D. S. **EFICIÊNCIA DE USO DO FÓSFORO EM SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO E ADUBAÇÃO FOSFATADA POR UM LONGO PERÍODO**. [s.l.] Universidade Federal de Brasília, 2014.
- OLIVEIRA, A. P. DE et al. Avaliação de espécies do Cerrado quanto à tolerância ao alumínio. **Embrapa - Boletim de pesquisa e desenvolvimento**, v. 355, n. February, p. 26, 2019.
- OLIVEIRA, M. DE S. Tolerância de variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) à toxidez por alumínio em solução. p. 109, 2012.
- OPALA, P. ASBORN. Influence of Lime and Phosphorus Application Rates on Growth of Maize in an Acid Soil. **Advances in Agriculture**, v. 2017, 2017.
- PROCHNOW, L. I.; ALCARDE, J. C.; CHIEN, S. H. Eficiência agrônômica dos fosfatos totalmente acidulados. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. E (Eds.). **Fósforo na Agricultura Brasileira**. Piracicaba-SP: Potafos, 2004. p. 605–664.

QU, X. et al. Phosphorus relieves aluminum toxicity in oil tea seedlings by regulating the metabolic profiling in the roots. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 152, p. 12–22, 2020.

RAHMAN, M. A. et al. Importance of mineral nutrition for mitigating aluminum toxicity in plants on acidic soils: Current status and opportunities. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 19, n. 10, 2018a.

RAHMAN, MD. A. et al. Importância da Nutrição Mineral para Mitigação da Toxicidade do Alumínio em Plantas em Solos Ácidos: Situação Atual e Oportunidades. **International Journal of Molecular Sciences**, 2018b.

RAIJ, B. VAN. **Fertilidade do solo e Manejo de Nutrientes**. Internatio ed. Piracicaba: [s.n.].

RAMPIM, L.; LANA, M. DO C. Mecanismo De Tolerância Interna Das Plantas Ao Alumínio. **Colloquium Agrariae**, v. 9, n. 2, p. 72–89, 2013.

REBECHI, L. G.; KOLOGESKI, A. **Estimativa indireta de Al³⁺ no solo através de eletrodo de F**. Bento Gonçalves-RS: 2019.

REIS, J. V. DOS. **POTENCIAL DO EXTRATOR MEHLICH-3 NA AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO DE DIFERENTES SOLOS**. [s.l.]

Universidade Federal de Viçosa, 2016.

RIAZA, M. et al. Mechanisms of organic acids and boron induced tolerance of aluminum toxicity: A review. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 165, p. 25–35, 2018.

RODRIGUES, A. A. **TOXIDAZ DO ALUMÍNIO EM *Eugenia dysenterica* DC. E *Hancornia speciosa* GOMES**. [s.l.] Instituto Federal Goiano Campus Rio Verde, 2015.

RODRIGUES, A. A. et al. Influence of aluminum on root growth and of anatomy *Stenocalyx dysentericus* (DC.) O. Berg. **African Journal of Biotechnology**, v. 15, n. 24, p. 1193–1200, 2016.

ROSA, A.; CAPONI, L. H.; JÚNIOR, L. A. ZANÃO. DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO EM UM LATOSSOLO VERMELHO EM FUNÇÃO DO pH DO SOLO. **Acta Iguazu**, v. 5, n. 5, p. 108–115, 2016.

SAGALA, D.; SUZANNA, E. The critical period of aluminum stress on soybean root growth. v. 1, n. June, p. 21–26, 2020.

SAHA, B; SWAIN, D; BORGHAIN, P; ROUT, G.R; KOYAMA, H; PANDA, S. K. Enhanced exudation of malate in the rhizosphere due to AtALMT1 overexpression in blackgram (*Vigna mungo* L.) confers increased aluminium tolerance. **Plant biology**, p. 701–708, jul. 2020.

SANTOS, A. D. DOS et al. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília-DF: [s.n.].

SANTOS, M. O. C. et al. Utilização de adubo fosfatado e inoculante à base de fungo micorrízico no cultivo do feijão. **Revista Ciências Agroambientais**, v. 19, n. 1, p. 17–24, 2021.

SCANLAN, C. A. et al. The interaction between soil pH and phosphorus for wheat yield and the impact of lime-induced changes to soil aluminium and potassium. **Soil Research**, v. 55, n. 4, p. 341–353, 9 jan. 2017.

- SEVERIANO, E. DA C. et al. Structural changes in latosols of the cerrado region: I - relationships between soil physical properties and least limiting water range. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 35, n. 3, p. 773–782, 2011.
- SHILIANG, L. et al. Study on transformation and availability of different P in rhizosphere of maize. **Journal of Yangzhou University, Agricultural and Life Sciences Edition**, v. 24, n. 2, p. 54–58, 17 jun. 2003.
- SILVA, C. O. Efeitos Do Alumínio Em Raízes De Soja: Alterações Morfoanatômicas, Fisiológicas E Metabólicas. 2018.
- SILVA, C. O. et al. Differential accumulation of aluminum in root tips of soybean seedlings. **Revista Brasileira de Botanica**, v. 43, n. 1, p. 99–107, 2020.
- SILVA, F. A.; CARPINTIERI, F. C.; SANGLADE, M. ; L. F. **APROVEITAMENTO DE FÓSFORO PELA CANA ENERGIA**. [s.l: s.n.].
- SILVA, M. PAULA. **O MEIO DE CULTURA SÓLIDO DIMINUI A EXSUDAÇÃO DE ÁCIDOS ORGÂNICOS EM RAÍZES DE PLANTAS EXPOSTAS AO ALUMÍNIO EM RELAÇÃO À SOLUÇÃO NUTRITIVA?** [s.l.] UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO” Unesp, 2019.
- SOUZA, H. A. DE et al. Agronomic Efficiency and Productivity of Sorghum in Response to Fertilizers With Different Phosphorus Solubilities in Greenhouse Conditions. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 17, p. 177, 15 out. 2019.
- STAUFFER, MARK. D. et al. **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: [s.n.].
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 5 edição ed. [s.l: s.n.].
- TAKAHARA, L. H.; FRANCISCO, J. P.; LOPES, A. D. Adubação fosfatada em soja : Potencialidades de diferentes fontes Phosphate fertilization in soy : Potentiality from different sources Fertilización con fosfato en la soja : Potencial de diferentes fuentes. v. 2021, p. 1–9, 2021.
- TEIXEIRA, A. M. S. et al. Estudo do uso de serpentinito como corretivo de solos agrícolas. **Anais do II Simpósio de Minerais Industriais do Nordeste**, p. 133–143, 2010.
- TIAN, J. et al. Phosphorus fertilization affects soybean rhizosphere phosphorus dynamics and the bacterial community in karst soils. **Plant and Soil**, 2020.
- TVM, W. C. et al. **MASSA SECA DE RAÍZ EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DO SUPERFOSFATO TRIPLO REVESTIDO POR POLÍMEROS NA CULTURA DO CAFÉ**. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br/bitstream/handle/123456789/7572/Documentos_89.pdf?sequence=1>.
- YANG, Y. et al. Organic Acids Exuded From Roots Increase the Available Potassium Content in the Rhizosphere Soil: A Rhizobag Experiment in *Nicotiana tabacum*. **American Society for Horticultural Science**, v. 54, n. 1, 2019.
- ZHAO, Y. et al. Effects of various phosphorus fertilizers on maize yield and phosphorus uptake in soils with different pH values. <https://doi.org/10.1080/03650340.2021.1926997>, 2021.
- FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. **ExpDes.pt: Pacote Experimental Designs (Portugues). R package version 1.2.1.**

LOPES, A. S. et al. Suprimentos e extensão das reservas de nutrientes no Brasil. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (Eds.). . **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: Nutrientes**. Piracicaba-SP: IPNI-Brasil, 2014. v. 2p. 283–305.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**.

SANTOS, H. G. DOS et al. **Brazilian Soil Classification System**. 5ed. ed. Brasília-DF: EMBRAPA, 2018.

SILVA, F. C. DA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2a Edição ed. Brasília-DF: EMBRAPA Informações Tecnológicas, 2009.

TEIXEIRA, P. C. et al. **Manual de métodos de análise de solo**. 3a edição ed. BrasíliaDF: EMBRAPA, 2017.

ANEXOS.

ANEXO 1 Disposição dos rizotrons em blocos e nos cavalete com ângulo de 45° e revestidos com papael alumínio plastificado.



GLOSSÁRIO.

Alíquota: fração da quantidade total de uma solução.

Clorose: produção insuficiente de clorofila que altera a coloração natural das folhas.