

**MAGDA DO NASCIMENTO FARIAS**

**CALAGEM E GESSAGEM NA VULNERABILIDADE DA PALMA DE ÓLEO AO  
DÉFICIT HÍDRICO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Hidelblandi Farias de Melo

Coorientadores: Eric Victor de O. Ferreira  
Rafael da Silva Teixeira

**VIÇOSA - MINAS GERAIS  
2023**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

F224c  
2023 Farias, Magda do Nascimento, 1992-  
Calagem e gessagem na vulnerabilidade da palma de óleo  
ao déficit hídrico / Magda do Nascimento Farias. – Viçosa, MG,  
2023.

1 dissertação eletrônica (71 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Hidelblandi Farias de Melo.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,  
Departamento de Solos, 2023.

Referências bibliográficas: f. 56-71.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2023.744>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Solos - Acidez. 2. Estresse hídrico. 3. Solos - Correção.  
4. Calagem dos solos. 5. *Elaeis guineensis* - Efeito da acidez dos  
solos. I. Melo, Hidelblandi Farias de, 1987-. II. Universidade  
Federal de Viçosa. Departamento de Solos. Programa de  
Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas. III. Título.

CDD 22. ed. 631.821

**MAGDA DO NASCIMENTO FARIAS**

**CALAGEM E GESSAGEM NA VULNERABILIDADE DA PALMA DE ÓLEO AO  
DÉFICIT HÍDRICO**


Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Hidelblandi Farias de Melo

Coorientadores: Eric Victor de O. Ferreira  
Rafael da Silva Teixeira

APROVADA: 31 de outubro de 2023.


Assentimento:

 Documento assinado digitalmente  
**MAGDA DO NASCIMENTO FARIAS**  
Data: 29/11/2023 12:10:22-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Magda do Nascimento Farias

Autor

 Documento assinado digitalmente  
**HIDELBLANDI FARIAS DE MELO**  
Data: 01/12/2023 15:54:04-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Hidelblandi Farias de Melo

Orientador

Ao meu Deus fiel e a minha família  
**Dedico**

## AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida, por ter me dado discernimento, força e fé durante toda essa árdua caminhada.

À toda minha família, em especial aos meus pais Maurício de Jesus do Nascimento Farias e Leci Sodré do Nascimento por serem minha fonte de força, fé e amor. Obrigada por sempre acreditarem nos meus sonhos e me impulsionarem a ir além, vocês são incríveis na minha vida.

Aos meus irmãos Mauro Farias e Mayra Farias e aos meus sobrinhos Humberto Maia, Manuela Maria e Ariela Farias por todo amor a mim demonstrado, principalmente nos momentos ruins ao longo dessa etapa.

A pessoa crucial nessa caminhada, meu parceiro de todas as horas Júnior Rocha, obrigada por todo amor, incentivo e compreensão. Obrigada por ter ido longe ao meu lado.

Aos amigos Milton Costa, Sales Júnior, Jeani Sandin, Liliane Marques, Adaíla Oliveira, Madson Canafistula, Dyenne Santiago, Henrique Amoras, Lara Souza e Camila Reis por serem fundamentais durante essa jornada.

Ao meu orientador Hidelblandi Farias de Melo e coorientadores Eric Ferreira e Rafael Teixeira por toda a dedicação, incentivo e orientações.

À Universidade Federal de Viçosa - Campus Viçosa pela oportunidade e por contribuir com a minha formação profissional.

Ao Departamentos de Solos (DPS) e ao Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas (PPGSNP), em especial ao corpo docente e profissionais dos laboratórios de Isótopos estáveis (LIE), Geoquímica, Fertilidade do solo e Análise de plantas, por toda a paciência e conhecimentos transmitidos.

À Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Capitão Poço – PA pelo espaço cedido para a realização da pesquisa.

Aos membros da banca avaliadora pela participação e valiosas contribuições.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos, sendo fundamental para a conclusão dessa pesquisa.

**Muito obrigada!**

*“Somente aqueles que se arriscam a ir longe, sabem até onde podem chegar”.*

(Eliot)

## RESUMO

FARIAS, Magda do Nascimento, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, outubro de 2023. **Calagem e gessagem na vulnerabilidade da palma de óleo ao déficit hídrico.** Orientador: Hidelblandi Farias de Melo. Coorientadores: Eric Victor de Oliveira Ferreira e Rafael da Silva Teixeira.

A acidez e a baixa fertilidade natural associadas ao déficit hídrico constituem importantes fatores limitantes ao manejo nutricional adequado no cultivo de palma de óleo em solos tropicais. Desta forma, a utilização das práticas corretivas tem demonstrado resultados promissores quanto às melhorias das características químicas do solo e a redução da vulnerabilidade das plantas a eventos de déficit hídrico. Assim, o trabalho objetivou avaliar a interação de diferentes regimes hídricos e das práticas corretivas no status nutricional, hídrico e na massa seca das plantas jovens de palma de óleo e nos atributos químicos de um Latossolo Amarelo. O delineamento experimental foi em blocos inteiramente casualizados, com três repetições, em um esquema fatorial duplo (2 x 4); sendo duas lâminas de água (25 e 100 % da evapotranspiração- E<sub>Tc</sub>) e quatro condições de práticas corretivas do solo (sem aplicação de gesso e calagem (testemunha) – T1, com calagem – T2, com gessagem – T3 e associação da calagem e gessagem – T4). A parcela experimental foi caracterizada por uma planta de palma de óleo, cultivada em tubos de policloreto de vinila-PVC (diâmetro de 30 cm e altura de 60 cm, volume= 42,4 dm<sup>3</sup>) preenchido com solo. O calcário foi aplicado 20 dias antes da instalação do experimento sendo incorporado na camada superficial (0 – 20 cm), visando a elevação da saturação por bases para 60 %. O gesso foi aplicado na superfície do solo, sem incorporação, na época de transplântio das plantas. Aos 360 dias do transplântio, nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm do solo, foram avaliados os seguintes atributos químicos do solo: pH (H<sub>2</sub>O), teores de Al<sup>3+</sup>, cálcio - Ca<sup>2+</sup>, magnésio - Mg<sup>2+</sup>, enxofre - S, potássio - K<sup>+</sup>, fósforo – P e o carbono (C) lábil do solo rizosférico (camada de 20-40 cm) e não rizosférico (camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm). A saturação por bases (V %), a saturação por Al<sup>3+</sup> (m %) e a CTC potencial (T), foram então estimados. Em seguida, foi determinada a massa seca das folhas, estipe e raiz das plantas, para determinação do status nutricional das plantas por meio da análise dos teores e acúmulos de Ca, Mg, S, K e P. Posteriormente, foi avaliado também o status hídrico das plantas, por meio das análises de teor relativo de água (TRA) e potencial hídrico foliar. De modo geral, a aplicação do calcário incorporado na camada superficial, demonstra melhorias nas propriedades químicas do solo na camada superficial e subsuperficial. Destacam-se aumento na disponibilidade de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, S, K<sup>+</sup>, P nos teores de C lábil do solo rizosférico. Além disso, a menor

disponibilidade hídrica afetou o processo de transporte desses nutrientes em direção às raízes das plantas, levando a maiores concentrações desses nutrientes no solo, principalmente de bases trocáveis, assim favorecendo menores teores de  $Al^{3+}$  e aumento na m %, V % e CTC potencial. Por outro lado, as plantas submetidas a maior lâmina de água e à calagem apresentaram expansão no sistema radicular, aumentando a capacidade na absorção dos nutrientes e água do solo. Assim, há contribuição com maiores acúmulos dos nutrientes e produção da massa seca da parte aérea e raiz. Ainda, tais tratamentos influenciaram positivamente na hidratação celular, evidenciado pelo incremento no teor relativo de água e no potencial hídrico foliar da palma de óleo.

Palavras-chaves: Acidez do solo. Estresse hídrico. Práticas corretivas. Teor de nutriente.

## ABSTRACT

FARIAS, Magda do Nascimento, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, October, 2023. **Liming and gypsum on the vulnerability of oil palm to water deficit.** Adviser: Hidelblandi Farias de Melo. Co-advisors: Eric Victor de Oliveira Ferreira e Rafael da Silva Teixeira.

Acidity and low natural fertility associated with water deficit constitute important factors limiting adequate nutritional management in oil palm cultivation in tropical soils. In this way, the use of corrective practices has demonstrated promising results in terms of improving the chemical characteristics of the soil and reducing the vulnerability of plants to water deficit events. Thus, the work aimed to evaluate the interaction of different water regimes and corrective practices on the nutritional, water and dry mass status of young oil palm plants and on the chemical attributes of a Yellow Oxisol. The experimental design was in completely randomized blocks, with three replications, in a double factorial scheme (2 x 4); being two water depths (25 and 100% of evapotranspiration - E<sub>Tc</sub>) and four conditions of soil corrective practices (without application of plaster and liming (control) - T1, with liming - T2, with plaster - T3 and association of liming and plaster - T4). The experimental plot was characterized by an oil palm plant, grown in polyvinyl chloride-PVC tubes (diameter 30 cm and height 60 cm, volume = 42,4 dm<sup>3</sup>) filled with soil. Limestone was applied 20 days before the installation of the experiment and was incorporated into the surface layer (0 – 20 cm), aiming to increase base saturation to 60%. Gypsum was applied to the soil surface, without incorporation, at the time of plant transplantation. At 360 days after transplanting, in the 0-20, 20-40 and 40-60 cm layers of the soil, the following soil chemical attributes were evaluated: pH (H<sub>2</sub>O), Al<sup>3+</sup> content, calcium - Ca<sup>2+</sup>, magnesium - Mg<sup>2+</sup>, sulfur - S, potassium - K<sup>+</sup>, phosphorus - P and labile carbon (C) from rhizospheric soil (20-40 cm layer) and non-rhizospheric soil (0-20, 20-40 and 40-60 cm layers). Base saturation (V %), Al<sup>3+</sup> saturation (m %) and potential CEC (T) were then estimated. Next, the dry mass of the leaves, stems and roots of the plants was determined to determine the nutritional status of the plants through the analysis of the contents and accumulations of Ca, Mg, S, K and P. Subsequently, the water status of the plants was also evaluated, through analyzes of relative water content (TRA) and leaf water potential. In general, the application of limestone incorporated into the surface layer demonstrates improvements in the chemical properties of the soil in the surface and subsurface layers. The increase in the availability of Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, S, K<sup>+</sup>, P in the labile C contents of the rhizospheric soil stands out. Furthermore, the lower water availability affected the transport process of these nutrients

towards the plant roots, leading to higher concentrations of these nutrients in the soil, mainly exchangeable bases, thus favoring lower levels of  $Al^{3+}$  and an increase in m %, V % and potential CTC. On the other hand, plants subjected to greater water depth and liming showed expansion in the root system, increasing the capacity to absorb nutrients and water from the soil. Thus, there is a contribution to greater accumulation of nutrients and production of dry mass of the shoot and root. Furthermore, such treatments positively influenced cellular hydration, evidenced by the increase in the relative water content and leaf water potential of the oil palm.

Keywords: Soil acidity. Hydrical stress. Corrective practices. Nutrient Content

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1.** Médias de temperatura e umidade relativa do ar máximas e mínimas durante o período do estudo ..... 17
- Figura 2.** Unidade experimental composta por planta jovem de palma de óleo (híbrido interespecífico entre caiaué [*Elaeis oleífera* (Kunth) Cortés] x dendezeiro [*Elaeis guineenses* Jacq.]), cultivada em tubo de policloreto de vinila-PVC..... 19
- Figura 3.** pH em H<sub>2</sub>O (a, b, c) e saturação por bases (V %) (d, e, f) por camada (0-20, 20-40 e 40-60 cm) de solo cultivado com palma de óleo submetida a lâminas de água - LA (25 % e 100 %) e a práticas corretivas - PC do solo (calagem e gessagem) aos 360 dias a após o transplântio. Diferentes letras maiúsculas indicam diferenças entre lâminas de água e diferentes letras minúsculas indicam diferenças entre práticas corretivas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).....25
- Figura 4.** Teores trocáveis de Ca<sup>2+</sup> (a, b, c), Mg<sup>2+</sup> (d, e, f) e S (g, h, i) por camada (0-20, 20-40 e 40-60 cm) de solo cultivado com palma de óleo submetida a lâminas de água - LA (25 % e 100 %) e a práticas corretivas - PC do solo (calagem e gessagem) aos 360 dias após o transplântio. Diferentes letras maiúsculas indicam diferenças entre lâminas de água e diferentes letras minúsculas indicam diferenças entre práticas corretivas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).  
.....27
- Figura 5.** Teores de Al<sup>3+</sup> trocável (a, b, c), saturação por Al<sup>3+</sup> (m %) (d, e, f) e capacidade de troca de cátions - CTC potencial (T) (g, h, i) por camada (0-20, 20-40 e 40-60 cm) de solo cultivado com palma de óleo submetida a lâminas de água - LA (25 % e 100 %) e a práticas corretivas - PC do solo (calagem e gessagem) aos 360 dias após o transplântio. Diferentes letras maiúsculas indicam diferenças entre lâminas de água e diferentes letras minúsculas indicam diferenças entre práticas corretivas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).....29
- Figura 6.** Teores de K<sup>+</sup> (a, b, c) e de P (d, e, f) por camada (0-20, 20-40 e 40-60 cm) de solo cultivado com palma de óleo submetida a lâminas de água - LA (25 % e 100 %) e a práticas corretivas - PC do solo (calagem e gessagem) aos 360 dias após o transplântio. Diferentes letras maiúsculas indicam diferenças entre lâminas de água e diferentes letras minúsculas indicam diferenças entre práticas corretivas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ )..... 30
- Figura 7-** Teores de carbono lábil (a, b, c, d) por camada (0-20, 20-40 e 40-60 cm) de solo não rizosférico e rizosférico (20-40 cm), cultivado com palma de óleo submetida a lâminas de água - LA (25 % e 100 %) e a práticas corretivas - PC do solo (calagem e gessagem) aos 360 dias após o transplântio. Diferentes letras maiúsculas indicam diferenças entre lâminas de água e

diferentes letras minúsculas indicam diferenças entre práticas corretivas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).....	31
<b>Figura 8.</b> Teores de Ca (a, b, c), Mg (d, e, f) e S (g, h, i) na folha, no estipe e na raiz de palma de óleo submetida a lâminas de água - LA (25 % e 100 %) e às práticas corretivas do solo - PC (calagem e gessagem) aos 360 dias após o transplantio. Diferentes letras maiúsculas indicam diferenças entre lâminas de água e diferentes letras minúsculas indicam diferenças entre práticas corretivas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). .....	32
<b>Figura 9.</b> Teores de K (a, b, c) e P (d, e, f) na folha, no estipe e na raiz de palma de óleo submetida a lâminas de água - LA (25 % e 100 %) e às práticas corretivas do solo – PC (calagem e gessagem) aos 360 dias após o transplantio. Diferentes letras maiúsculas indicam diferenças entre lâminas de água e diferentes letras minúsculas indicam diferenças entre práticas corretivas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). .....	34
<b>Figura 10.</b> Acúmulos de Ca (a, b, c), Mg (d, e, f) e S (g, h, i) na folha, no estipe e na raiz de palma de óleo submetida a lâminas de água - LA (25 % e 100 %) e às práticas corretivas do solo - PC (calagem e gessagem) aos 360 dias após o transplantio. Diferentes letras maiúsculas indicam diferenças entre lâminas de água e diferentes letras minúsculas indicam diferenças entre práticas corretivas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). .....	35
<b>Figura 11.</b> Acúmulos de K (a, b, c) e P (d, e, f) na folha, no estipe e na raiz de palma de óleo submetida a lâminas de água - LA (25 % e 100 %) e às práticas corretivas do solo - PC (calagem e gessagem) aos 360 dias após o transplantio. Diferentes letras maiúsculas indicam diferenças entre práticas corretivas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). .....	36
<b>Figura 12.</b> Teor relativo de água – TRA (a) e potencial hídrico foliar (b) de palma de óleo submetida a lâminas de água - LA (25 % e 100 %) e às práticas corretivas do solo - PC (calagem .....	37
<b>Figura 13.</b> Massa seca das folhas - MSF (a), do estipe - MSE (b) e da raiz - MSR (c) de palma de óleo submetida a lâminas de água - LA (25 % e 100 %) e às práticas corretivas do solo - PC (calagem e gessagem) aos 360 dias após o transplantio. Diferentes letras maiúsculas indicam diferenças entre lâminas de água e diferentes letras minúsculas indicam diferenças entre práticas corretivas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). .....	38

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Características químicas do solo (0 - 20 e 20 - 60 cm) utilizado nas parcelas experimentais.....	18
<b>Tabela 2.</b> Granulometria e concentração de micronutrientes no solo (0-20 e 20-60 cm) utilizado nas parcelas experimentais .....	18

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	14
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	17
2.1 Caracterização do local experimental.....	17
2.2 Delineamento experimental e tratamentos.....	18
2.3 Instalação das parcelas experimentais e imposição dos tratamentos.....	19
2.4 Manejo da adubação.....	21
2.5 Análises químicas do solo .....	22
2.6 Análise da massa seca e do status nutricional das plantas.....	23
2.7 Análise do status hídrico das plantas .....	23
2.7.1 Teor relativo de água (TRA).....	23
2.7.2 Potencial hídrico foliar.....	24
2.8 Análises estatísticas .....	24
3. RESULTADOS .....	24
3.1 pH, saturação por bases (V %), teores de Ca, S e Mg do solo .....	24
3.2 Teor de Al <sup>3+</sup> , saturação por Al (m %) e CTC potencial (T).....	28
3.3 Disponibilidade de K <sup>+</sup> , P e C lábil no solo .....	30
3.4 Teores de Ca, Mg e S na folha, estipe e raiz em plantas jovens de palma de óleo .....	31
3.5 Teores de K e P na folha, estipe e raiz em plantas jovens de palma de óleo .....	33
3.6 Acúmulos de Ca, Mg e S na folha, estipe e na raiz em plantas jovens de palma de óleo .....	34
3.7 Acúmulo de K e P na folha, no estipe e na raiz em plantas jovens de palma de óleo.....	36
3.8 Teor relativo de água (TRA) e potencial hídrico foliar da palma de óleo .....	37
3.9 Produção de massa seca da folha, estipe e raiz em plantas jovens de palma de óleo .....	37
4. DISCUSSÃO .....	38
4.1 Acidez, disponibilidade de Ca, Mg e S no solo e aumento da CTC potencial (T) .....	38
4.2 Disponibilidade de nutrientes no solo.....	43
4.3 Teores de Ca, Mg, S, K e P nos componentes vegetais da planta .....	45
4.4 Acúmulos de Ca, Mg, S, K e P nos componentes vegetais da planta .....	49
4.5 Teor relativo de água (TRA) e potencial hídrico foliar .....	51
4.6 Produção de massa seca dos componentes vegetais da planta .....	53
5. CONCLUSÕES .....	54
REFERÊNCIAS.....	56

## 1. INTRODUÇÃO

A palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.) é originária da África Ocidental e representa uma das principais fontes de óleo vegetal e comercialização no mundo (COSTA, 2016; BENEZOLI et al., 2021). A produção mundial de óleo de palma bruto alcançou 73 milhões de toneladas, representando 40 % da produção global de óleo vegetal (USDA, 2020–2021).

Com a alta demanda na sua produção a partir do século XX, devido a vasta utilização na produção de alimentos, cosméticos e biodiesel (QAIM et al., 2020), em regiões tropicais como no Brasil, a produção de palma de óleo registrou uma notável expansão, com área colhida cerca de 200.527 hectares (CORLEY; TINKER, 2003; IBGE, 2022). Com destaque para o estado do Pará, como principal produtor no país e com área colhida de 185.963 hectares (IBGE, 2022). Esses dados demonstram a relevância da cultura para o estado, tanto em termos econômicos quanto de produção agrícola.

Com os elevados rendimentos da palma de óleo a demanda nutricional e hídrica também são elevadas (LIM et al., 2023). A cultura requer por elevada disponibilidade de nutrientes do solo para sustentar a formação dos tecidos vegetais, tais como folhas, caule, raízes, cachos e frutos (CORLEY; TINKEY, 2016; OBENG et al., 2020; SIANG; WAHID; SUNG, 2022).

Entretanto, em regiões tropicais, as altas temperaturas e grandes precipitações podem levar à lixiviação das bases trocáveis do solo e, conseqüentemente, contribuir na acidificação e na deficiência de nutrientes no solo (QIN; CHEN, 2005; CRUSCIOL et al., 2016; XU et al., 2016). Quando os cátions básicos são perdidos no solo, aumenta a concentração do  $Al^{+3}$  e do Mn, tornando o pH ácido (BOXMAN et al., 2008). O pH está relacionado com diferentes propriedades do solo, dentre elas o equilíbrio na hidrólise de íons, comunidades microbianas e o teor de matéria orgânica (DAI et al., 2017; HONG et al., 2018). As camadas superficiais dos solos tropicais (0-20 cm) geralmente apresentam o pH abaixo de 5,5 (LI et al., 2018). Assim como, a acidez em subsuperfície é um problema muito recorrente em cultivos e pode afetar a expansão do sistema radicular e diminuir a absorção de nutrientes e água em profundidade no solo (FAGERIA; NASCENTE, 2014).

Além disso, com o aumento do aquecimento global atualmente, intensifica a incidência de eventos meteorológicos extremos, aumentando a ameaça à produtividade agrícola e à segurança alimentar global (QI et al., 2018). Dentre os quais se destacam o aumento na temperatura e períodos de escassez nas precipitações, favorecendo longos períodos de estiagem na região.

Em situações de déficit hídrico, geralmente a absorção de nutrientes pelas plantas diminui, devido a uma série de fatores relacionados à baixa disponibilidade de água e às respostas fisiológicas das plantas, tais como a redução na taxa de transpiração, na fotossíntese, no transporte ativo de nutrientes e a permeabilidade da membrana (LEVITT, 1980). O estresse hídrico inicialmente se dá pelas folhas, com redução na absorção de CO<sub>2</sub> e transpiração e, conseqüentemente, diminuindo o conteúdo relativo de água na parte aérea da planta e a abertura estomática (GERAKIS et al., 1975). Além disso, a absorção do nutriente da solução do solo é dependente da extensão do sistema radicular da planta e do status hídrico do solo (MANZOOR ALAM, 1999). Sendo o primeiro, influenciado pelo teor de alumínio em subsuperfície, que, quando em teores elevados, pode atuar como uma barreira química ao crescimento das raízes, limitando o volume de solo disponível para absorção de água e nutrientes pelas plantas (YANG; RAO; HORST, 2013).

A disponibilidade de nutrientes tem impacto também na microbiota da rizosfera, a qual é influenciada diretamente pelas raízes das plantas e é importante fonte de carbono orgânico para o solo, dentre estes o carbono (C) lábil (RENGEL; MARSCHNER, 2005; LEI et al., 2023). O C lábil é constituinte de compostos orgânicos mais facilmente mineralizados pelos microrganismos do solo (RANGEL et al., 2008) e, ainda, possui um baixo tempo de residência (LENO et al., 2021). Por outro lado, a presença do Ca<sup>2+</sup> desempenha um papel fundamental na agregação do solo, promovendo sua estruturação e a proteção da matéria orgânica e, conseqüentemente, a proteção do C do solo (BRIEDIS et al., 2016). E ainda a retenção de água no solo apresenta alta correlação com o C lábil (BONGIORNO et al., 2019).

Nesse contexto, a calagem é uma estratégia de manejo eficiente para diminuir a acidez do solo, aumentar a saturação por bases, promover a expansão do sistema radicular e a disponibilidade de nutrientes, tais como Ca e Mg (SOUSA et al., 2007; MESQUITA et al. 2016; KUNHIKRISHNAN et al., 2016). Entretanto, o calcário aplicado superficialmente no solo (0-20 cm) tende a interferir no sistema radicular das plantas e nos atributos químicos apenas das camadas superficiais do solo (LEITE et al., 2006).

Por outro lado, a aplicação de gesso agrícola (CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O) é uma alternativa capaz de estimular o desenvolvimento do sistema radicular em profundidade no perfil do solo, podendo aumentar a absorção de água e nutrientes pela planta (CARVALHO; RAIJ, 1997; CAIRES et al., 2003). Isso é possível devido ao gesso, na presença de umidade, sofrer dissolução e induzir à movimentação em profundidade do sulfato e de cátions básicos, aumentando o teor de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e K<sup>+</sup>) (SOUSA et al., 2007; MESQUITA et al. 2016). Os quais são altamente

demandados pela palma de óleo para manter seus altos níveis de biomassa e produção de matéria seca (NG, 1968; NG, 1997; GOH, 1997).

A importância da disponibilidade de  $\text{Ca}^{2+}$  no solo se deve principalmente à sua função no crescimento radicular, pela ação na divisão celular e por esse nutriente ser imóvel no floema (HAWKESFORD et al., 2011). O Ca também atua como regulador secundário das aquaporinas, sendo crucial para os processos de transporte de água nas células e tecidos, desempenhando um papel importante na homeostase hídrica e na resposta das plantas às variações ambientais, como mudanças na disponibilidade de água e estresse hídrico (ALLEVA et al., 2006; SRIVASTAVA et al., 2014). O Mg tem grande importância na formação de frutos e de óleo da cultura. Tal nutriente é responsável por regular o ciclo de Calvin ativando várias enzimas, aumentando o acúmulo de matéria seca das plantas e sua concentração pode variar de 0,15 a 0,35 g kg<sup>-1</sup> (SHAUL, 2002; AYANDA et al., 2020; LI et al., 2023) O S é essencial e sua deficiência pode levar a vários efeitos negativos, principalmente em relação à biossíntese de óleo e à formação de órgãos de armazenamento de ácidos graxos saturados (MATOS et al., 2019).

Estudos anteriores verificaram os efeitos da calagem e da gessagem nos atributos químicos do solo cultivado com diversas culturas (MARTINI et al., 1974; AHMAD; TAN, 1986; CAIRES et al., 2003; CRUSCIOL et al., 2016; CRUSCIOL et al., 2017; ESPER NETO et al., 2019; HAMMERSCHMITT et al., 2021). No entanto, pouco se sabe da influência do déficit hídrico sobre o uso dessas práticas nos atributos químicos do solo cultivado com palma de óleo, no status nutricional, hídrico e na produção de massa seca dessa cultura (VILLALOBOS; UMAÑA; CHINCHILLA, 1992; CHAVES et al., 2003; CHA-UM et al., 2013; HASTUTI; ROHMIYATI, 2020; JAZAYERI et al., 2020).

O estado do Pará possui solos ácidos e de baixa fertilidade química natural, bem como períodos longos de déficit hídrico e pode representar um desafio para o crescimento e desenvolvimento adequado da cultura. Portanto, entender o impacto dessas práticas corretivas nos atributos químicos do solo, no estado hídrico e nutricional das plantas jovens pode ser crucial para otimizar a produção dessa cultura tão importante para a região. Desta forma, este trabalho tem como objetivo avaliar a interação de diferentes regimes hídricos e das práticas corretivas no status nutricional, hídrico e na massa seca das plantas jovens de palma de óleo e nos atributos químicos de um Latossolo Amarelo.

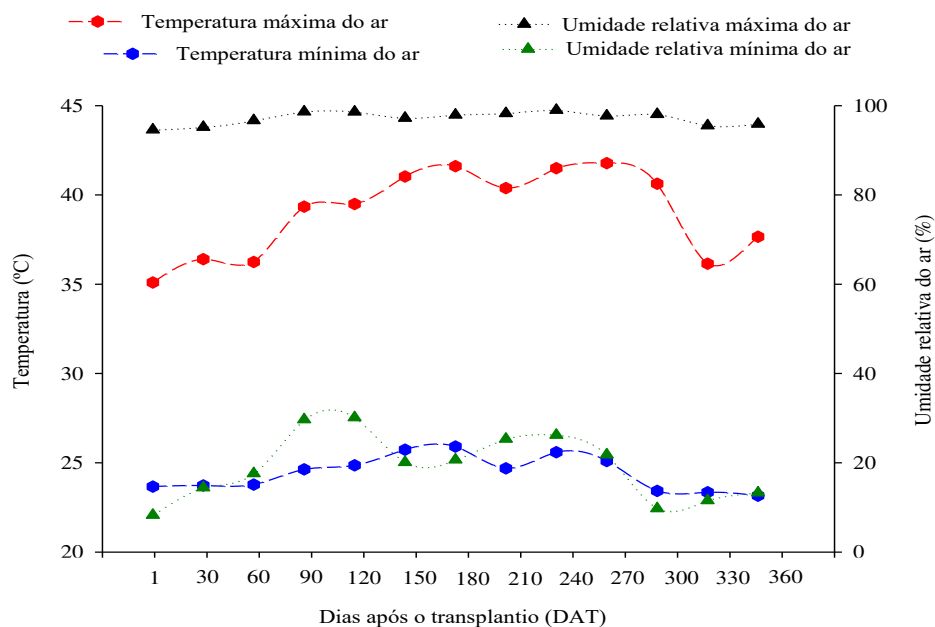
## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Caracterização do local experimental

O experimento foi realizado em casa de vegetação, entre fevereiro/2021 e fevereiro/2022, na Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), *Campus* Capitão Poço (CCP), no estado do Pará, microrregião do Guamá (01°44'47''S e 47°03'34''O). O clima da região é classificado do tipo Ami (KOPPEN, 1918) e a temperatura média na região é de 26,2 °C, com média de pluviosidade anual de 2.500 mm e umidade relativa do ar entre 75 e 89 % (INMET, 2021). Durante a condução do experimento, o monitoramento da temperatura e umidade relativa do ar foi realizado diariamente (Figura 1), por meio do Termo-Higroanemômetro-Luxímetro Digital.

Segundo Gonçalves et al. (2010), maiores rendimentos na produção da palma de óleo são obtidos com uma média anual entre 24 e 28 °C e sem ocorrência de temperaturas mínimas abaixo de 16 °C por períodos prolongados. Além disso, a umidade relativa do ar média mensal situada entre 75 % e 90%. Durante o período do estudo a temperatura do ar máxima apresentou uma média de 40 °C na casa de vegetação, entretanto, não afetou o crescimento das plantas.

**Figura 1.** Médias de temperatura e umidade relativa do ar máximas e mínimas durante o período do estudo



A principal classe de solo da região é caracterizada como Latossolo Amarelo distrófico, textura média (SANTOS et al., 2018). O local de coleta do solo usado no estudo foi em uma

área de capoeira dentro da UFRA-CCP, tal local não tem histórico de uso agrícola, mas apresentava vegetação secundária.

De modo a simular o perfil de solo da região (0-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade), o solo do experimento foi coletado em duas camadas, sendo a primeira coleta realizada na camada superficial (0-20 cm) e a segunda coleta na camada subsuperficial (20-60 cm). Após a coleta, foram retiradas amostras compostas, a partir de amostras simples de cada camada, as quais foram enviadas ao laboratório para determinação de suas características químicas e granulométrica (Tabela 1 e 2).

**Tabela 1.** Características químicas do solo (0 - 20 e 20 - 60 cm) antes da instalação do experimento.

Prof. (cm)	pH	MOS (g kg <sup>-1</sup> )	P (mg dm <sup>-3</sup> )	K (mg dm <sup>-3</sup> )	Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	H+Al	T	m (%)	V (%)
0-20	4,3	16,30	1,40	12,5	0,03	0,10	0,64	2,70	2,86	79,8	5,66
20-60	4,7	10,01	10,02	32	0,20	0,06	0,78	2,92	3,26	69,53	10,48

\*Matéria orgânica do solo (MOS): extração com dicromato e determinado por titulação; P e K: extração com Mehlich-1 e determinação por colorimetria (P) e fotometria de chama (K); Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Al<sup>3+</sup>: extração com KCl (1 mol/L) e determinação por espectrofotometria de absorção atômica (Ca e Mg) e por titulometria (Al); H+Al: extração com acetato de Ca a pH 7; m (%): saturação por Al; V (%): saturação por bases.

**Tabela 2.** Granulometria e concentração de micronutrientes no solo (0-20 e 20-60 cm) utilizado nas parcelas experimentais

Profundidade (cm)	Argila (g kg <sup>-1</sup> )	Silte (g kg <sup>-1</sup> )	Areia (g kg <sup>-1</sup> )	B	Cu <sup>2+</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	Fe <sup>2+</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	Mn <sup>2+</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	Zn <sup>2+</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )
0-20	127	18	855	0,05	0,2	70	1,3	0,5
20-60	152	26	822	0,12	0,2	82	1,3	0,6

\*Determinação pelo método de Boyoucos; B: extração com água quente e determinação por colorimetria; Cu<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup> e Zn<sup>2+</sup>: extração por Mehlich-1 e determinação por espectrofotometria de absorção atômica.

## 2.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado (DIC), com três repetições, em esquema fatorial duplo (2 x 4), sendo duas lâminas de água (25 ou 100 % da água evaporada do lisímetro) e quatro tratamentos de práticas corretivas do solo (Testemunha – sem aplicação de gesso e calagem (T1), com calagem – T2, com gessagem – T3 e com calagem e gessagem – T4). A parcela experimental foi caracterizada por uma planta de palma de óleo (híbrido interespecífico entre caiaué [*Elaeis oleífera* (Kunth) Cortés] x dendezeiro [*Elaeis guineenses*

Jacq.]), cultivada em tubo de policloreto de vinila-PVC (diâmetro de 30 cm e altura de 60 cm, volume= 42,4 dm<sup>3</sup>) preenchido com solo (Figura 2).

**Figura 2.** Unidade experimental composta por planta jovem de palma de óleo (híbrido interespecífico entre caiaué [*Elaeis oleífera* (Kunth) Cortés] x dendezeiro [*Elaeis guineenses* Jacq.]), cultivada em tubo de policloreto de vinila-PVC.



Visando criar cultivares com níveis de produtividade comparáveis à cultivares (Tenera) do dendezeiro africano e dotadas de características do caiaué que conferem resistência a doenças, especialmente ao amarelecimento-fatal (AF), juntamente com elevado teor de ácidos graxos insaturados e um menor crescimento vertical do estipe (CUNHA et al., 2006), diversos programas de melhoramento genético têm se voltado à produção de híbridos interespecíficos, por meio de cruzamentos entre o dendezeiro africano (*Elaeis guineensis* Jacq.) e o dendezeiro americano (*Elaeis oleífera* (Kunth) Cortés), também conhecido como caiaué (CUNHA; LOPES, 2010).

As plantas utilizadas no experimento foram obtidas com três meses de idade do viveiro da empresa Denpasa S/A, comportadas em tubetes com substrato de fibra de coco até o momento do transplântio. Ao longo do cultivo em viveiro, as plantas receberam manejos nutricionais iguais com adubação foliar a cada quatro dias de NPK (30-10-10) por meio de solução nutritiva (3,33 g L<sup>-1</sup>).

### 2.3 Instalação das parcelas experimentais e imposição dos tratamentos

O solo foi seco ao ar e passado em peneira de 2 mm, em seguida, cada camada do solo foi disposta de forma separada nas secções dos tubos; o solo coletado na camada subsuperficial

(20-60 cm) foi colocado nas secções de 20- 40 e 40-60 cm dos tubos, enquanto o solo coletado na camada superficial (0-20 cm) foi colocado na secção superior dos tubos (0-20 cm).

As doses de calcário e gesso foram calculadas a partir dos resultados da análise química e granulométrica do solo (Tabela 1 e 2). O calcário dolomítico (32 % CaO, 15 % MgO e PRNT 92 %) foi aplicado 20 dias antes da instalação do experimento, na dose equivalente a 1,70 t/ha, e incorporado na camada superficial do solo (0-20 cm) para correção da sua acidez, visando a elevação da saturação por bases para 60 %, conforme recomendação para a cultura na região (FRANZINI et al., 2020).

Para o cálculo da gessagem (30 % CaO e 13 % S), foi considerada a correção do solo até a profundidade de 20-60 cm, sendo aplicado em toda a superfície do solo, na dose equivalente a 3,40 t/ha e sem incorporação, na época do transplântio das plantas, de acordo com a recomendação para cultura perene no Pará (Equação 1) (BRASIL et al., 2020), convertendo a dose para g tubo<sup>1</sup>.

$$QG = 75 * A * \frac{EC}{20} \quad (1)$$

QG: Quantidade de gesso (t ha<sup>-1</sup>)

A: Argila (152 g kg<sup>-1</sup>)

EC: Espessura da camada de solo a ser corrigida (20-60 cm)

Para a determinação da capacidade de retenção de água no solo (CRA), foram realizadas coletas de amostras indeformadas do solo e a curva de retenção de água foi construída por meio de testes em mesa de tensão e câmara de pressão de Richards (KLUTE, 1986). Em seguida, foram estabelecidas as condições hídricas, adotando-se 25 % e 100 % da CRA. O valor mínimo adotado foi levado em consideração à boa adaptabilidade às alterações climáticas pela palma de óleo (BARCELOS; CUNHA; NOUY, 2001) e ao baixo valor de água disponível no solo arenoso do estudo.

As entradas de água nesse sistema foi a água de irrigação e a saída de água considerada foi a evapotranspiração da cultura (ETc), a qual foi mensurada por meio de lisímetros de drenagem próximos às parcelas experimentais dentro da casa de vegetação, os quais foram instalados em tubos de PVC similares aos utilizados nas parcelas experimentais, entretanto foi realizada uma adaptação na última camada do solo (40-60 cm) visando a drenagem da água para monitoramento diário da água evaporada e, posteriormente, a aplicação das lâminas de água, conforme os tratamentos.

Após a montagem do lisímetro, o solo foi saturado e aguardou-se a drenagem do excesso de água adicionada. Em seguida, a leitura da quantidade de água drenada foi realizada e a diferença nos valores da quantidade de água irrigada e drenada foi utilizada para estimar o volume de água para aplicar no solo das parcelas experimentais. Após a primeira saturação do lisímetro, foi realizada novamente a cada dois dias a saturação do solo dos mesmos e calculada a (ETc), com base no percentual de água evaporada por lisímetros (equação 2).

$$ETC = \frac{(I-D)}{i} \quad (2)$$

ETC: Evapotranspiração (mm dia<sup>-1</sup>)

I: quantidade de água irrigada (mL)

D: quantidade de água drenada (mL)

i: intervalo de leitura (dias)

Após obtenção do valor da ETC, a irrigação dos tratamentos foi realizada, conforme as equações 3 e 4, a seguir:

$$\text{Lâmina 25 \%} = ETC \times 0,25 \quad (3)$$

$$\text{Lâmina 100 \%} = ETC \times 1,00 \quad (4)$$

Lâmina 25 % - corresponde à lâmina de reposição de 25 % da água evaporada; Lâmina 100 % - corresponde à lâmina de reposição de 100 % da água evaporada; ETC- água evaporada do lisímetro.

A aplicação dos tratamentos de lâmina de água foi iniciada 30 dias após o transplântio (DAT), onde os vasos foram inicialmente umedecidos até atingirem a capacidade de campo. Em seguida, a reposição da água perdida devido à evapotranspiração foi realizada a cada dois dias conforme a metodologia detalhada anteriormente. Antes de estabelecer os tratamentos de lâmina de água, todos os tratamentos receberam o equivalente a 100 % da perda de água por evapotranspiração.

#### 2.4 Manejo da adubação

Todos os tratamentos receberam adubações de N, utilizando inicialmente como fonte o fosfato monoamônico - MAP (12 % de N) e a quantidade faltante foi suprida com o sulfato de amônio (20 % de N) nos tratamentos T1 e T2 ou ureia (46 % de N) nos tratamentos T3 e T4. O tratamento T1 (testemunha) diferiu dos demais tratamentos somente em relação ao suprimento com calagem e gessagem. Também foram feitas adubações de P (fosfato monoamônico MAP -

44 % de  $P_2O_5$ ) e K (cloreto de potássio – 58 % de  $K_2O$ ). Tais adubações foram realizadas na superfície do solo, considerando o volume de solo da camada de 0-20 cm e após as aplicações era realizada a irrigação para melhor eficiência dos fertilizantes.

No tratamento que recebeu apenas a calagem (T2), também foi realizado o suprimento complementar de S (Sulfato de amônio – 24 % de S), igual à quantidade deste nutriente fornecida no tratamento com aplicação exclusiva do gesso (T3). Nestes, foi realizada a padronização no suprimento de Mg (Óxido de magnésio - 96 % MgO), similar aos tratamentos com calagem.

A adubação foi realizada de acordo com Botelho et al. (1998), adaptada do plano de adubação em viveiro utilizada pela empresa Agropalma S/A ( $g\ planta^{-1}$ ), considerando o tempo de condução do experimento. Assim, foram aplicadas como doses totais ( $g\ planta^{-1}$ ) 9,0 de N, 6,0 de  $P_2O_5$  e 7,2 de  $K_2O$ , sendo as doses parceladas e aplicadas aos 1, 30, 60, 150 e 210 DAT.

A adubação com micronutrientes foi realizada em todos os tratamentos, sendo aplicada somente na época do transplântio seguindo as recomendações para experimentos em casa de vegetação (MALAVOLTA, 1980), por meio da aplicação dos mesmos em solução nutritiva na superfície do solo de cada vaso. Para tal, foram utilizadas fontes de reagentes puro para análise (p.a) aplicando-se ( $mg\ dm^{-3}$ ) 0,50 de B (ácido bórico), 1,50 de Cu (sulfato de Cu), 3,00 de Mn (sulfato de Mn), 0,20 de Mo (molibdênio de amônio) e 5,00 de Zn (sulfato de Zn).

## 2.5 Análises químicas do solo

Ao término do experimento, o solo foi coletado e separado por profundidade (0-20, 20-40 e 40-60 cm). Após homogeneização do solo em cada unidade experimental, amostras de solo foram coletadas para cada uma das profundidades. Em seguida, as amostras foram secas ao ar, passadas em peneira de 2 mm, para posterior análises quanto às características químicas, por profundidade do solo. Os atributos químicos analisados foram pH em água (relação 1:2,5), alumínio trocável -  $Al^{3+}$ , cálcio -  $Ca^{2+}$  e magnésio -  $Mg^{2+}$  (extraídos por KCl - 1 mol/L), enxofre – S (extraído por fosfato monocálcico em ácido acético), acidez potencial - H + Al (extraído por acetato de cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0), P e  $K^+$  (extrator Mehlich-1) e o carbono (C) lábil do solo via oxidação com  $KMnO_4$  (WEIL et al., 2003). A saturação por bases ( $V\% = SB \times 100 / T$ ), a saturação por  $Al^{3+}$  ( $m\% = Al \times 100 / t$ ) e a CTC potencial – ( $T = SB + H + Al$ ) foram então estimados.

Para os teores de  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ , S,  $K^+$  e P foi considerado o valor mínimo na classe de disponibilidade no solo para o estado do Pará, de acordo com Brasil e Cravo (2020). No caso do C lábil, foi feita a determinação tanto no solo não rizosférico (profundidade de 0-20, 20-40

e 40-60 cm) como no solo rizosférico (profundidade de 20-40 cm). Considera-se solo rizosférico, o solo que tem maior influência da atividade biológica, sendo mais influenciado diretamente pelas raízes das plantas, diferentemente do solo não rizosférico (KUMAR et. al., 2012).

## 2.6 Análise da massa seca e do status nutricional das plantas

Aos 360 DAT as plantas foram retiradas dos vasos e separadas em folhas, estipe e raízes. Em seguida, às raízes foram lavadas em água corrente para retirada do excesso de solo, e posteriormente foi obtido o peso de massa fresca desses componentes da planta. Logo em seguida, esse material foi acondicionado em sacos de papel e colocado em estufa de circulação forçada a 65 °C por 72 h, para obtenção de peso constante e determinação da massa de seca (MS). Na sequência as amostras foram moídas em moinho tipo Willey e submetidas à digestão nítrica perclórica e à espectrometria (ICP OES OPTIMA 8300) para análise dos teores de Ca, Mg, S, K e P (CARMO et al., 2009).

Por fim, os conteúdos de macronutrientes (g planta<sup>-1</sup>) foram determinados, multiplicando-se o teor de cada nutriente pelo peso de massa seca em cada componente da planta.

## 2.7 Análise do status hídrico das plantas

### 2.7.1 Teor relativo de água (TRA)

O teor relativo de água (TRA) foi determinado aos 360 DAT, a partir da coleta antes do amanhecer de 20 discos foliares pequenos do limbo da folha nº 5, por parcela experimental. Após a coleta, os discos foliares foram pesados em balança semi-analítica para avaliação da massa fresca (Mf). Posteriormente, o material pesado foi colocado em placas de petri, sendo submersos em água destilada e colocado por 24 h em refrigerador e ausência de luz. Após esse tempo, os discos foram retirados das placas de petri, dispostos em papel toalha para retirada do excesso de água e pesados em balança semi-analítica para determinação da massa turgida (Mt). Por fim, os discos foram colocados em envelope de papel, secos em estufa com circulação forçada de ar (65 °C) por 48 h e pesados em balança semi-analítica para a determinação da massa seca (Ms). O TRA foi estimado a partir da equação 5 (GONZÁLEZ; GONZÁLEZ-VILAR, 2001):

$$\text{TRA} = \frac{Mf - Ms}{Mt - Ms} * 100 \quad (5)$$

TRA: Teor relativo de água (%)  
 Mf: massa fresca (g)  
 Ms: massa seca (g)  
 Mt: massa túrgida (g)

### 2.7.2 Potencial hídrico foliar

Também aos 360 DAT foi determinado o potencial hídrico foliar das plantas durante o período da antemanhã (4h 30 min – 5 h 30 min) com utilização da câmara de pressão (SCHOLANDER et al., 1965), sendo aplicada uma pressão hidroestática negativa, na folha nº 10 de cada planta por parcela experimental, até que ocorresse a exsudação da seiva, a qual foi obtida através de um corte no pecíolo (TURNER, 1981).

### 2.8 Análises estatísticas

Todos os resultados foram submetidos aos testes de pressuposições (normalidade de Shapiro-Wilk e homogeneidade de Levene) (ROYSTON, 1995; GASTWIRTH et al., 2009). Posteriormente, foi realizada a análise de variância (Teste F) e, quando significativo, foi feito o teste de comparação de médias de Tukey ( $p < 0,05$ ), por meio do software estatístico R Studio.

## 3. RESULTADOS

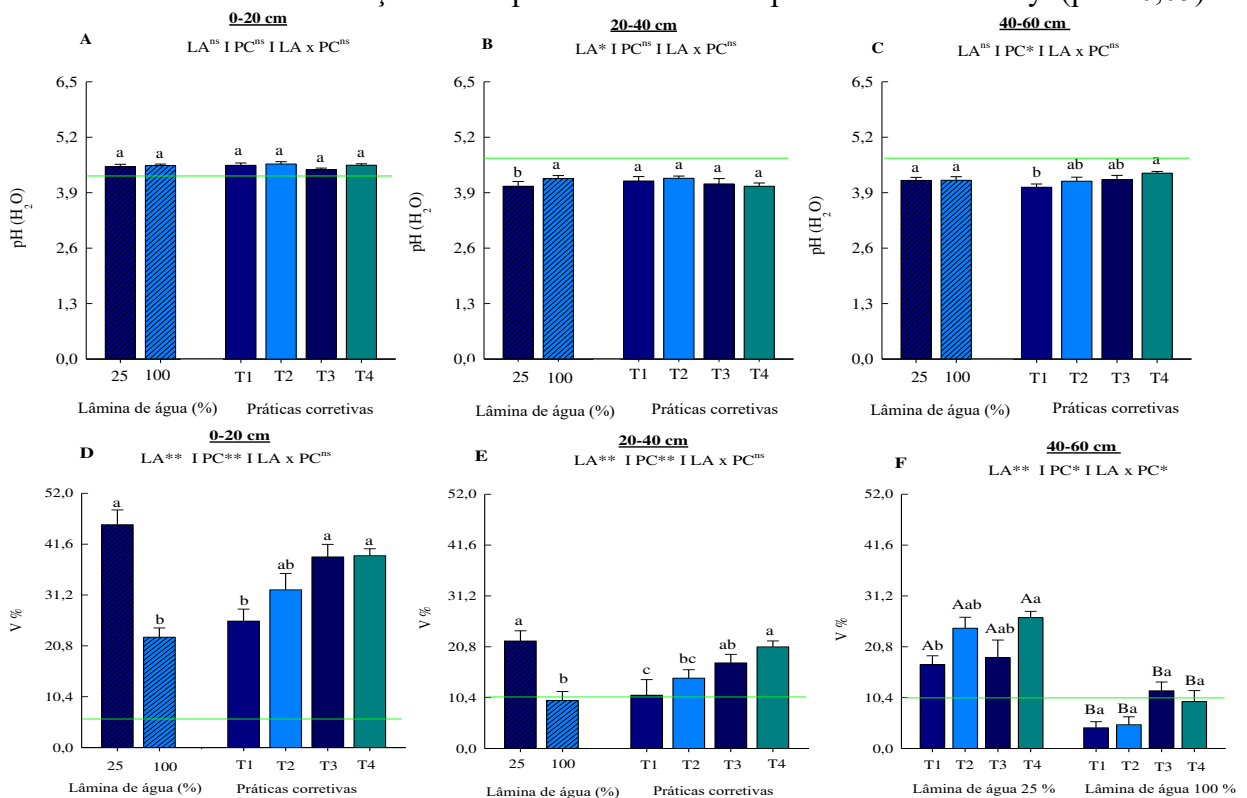
### 3.1 pH, saturação por bases (V %), teores de Ca, S e Mg do solo

Aos 360 dias após o transplântio, o pH (H<sub>2</sub>O) do solo na camada de 0-20 cm não foi influenciado pelas lâminas de água e práticas corretivas do solo (Figura 3a). No entanto, na camada de 20-40 cm houve resposta significativa, com maior valor para a lâmina de água de 100 %, enquanto para as práticas corretivas não houve resposta significativa (Figura 3b). O pH do solo na camada de 40-60 cm apresentou resposta significativa somente às práticas corretivas; apenas o tratamento com a associação da calagem e gessagem (T4) obteve maiores valores em relação à testemunha (T1), porém o tratamento T4 não diferiu estatisticamente dos tratamentos somente com calagem (T2) e somente com gessagem (T3), que não diferiram da testemunha (T1) (Figura 3c).

Para a saturação por bases (V %), na camada de 0-20 cm do solo, os maiores valores foram observados na lâmina de água de 25 % e nos tratamentos que receberam gesso (T3 e T4) quando comparados a testemunha (T1), entretanto, os tratamentos T3 e T4, não diferiram estatisticamente do tratamento T2, que não diferiu da testemunha (T1) (Figura 3d). Na camada

de 20-40 cm, também foram observados os maiores valores na lâmina de água de 25 % e no tratamento com associação de calcário e gesso (T4) quando comparado à testemunha (T1), entretanto, o tratamento que T4 não diferiu estatisticamente do tratamento somente com gessagem (T3), que não diferiu do tratamento que recebeu somente calcário (T2), que não diferiu da testemunha (T1) (Figura 3e). Na camada de 40-60 cm, houve interação significativa, com o maior valor da V % na lâmina de água de 25 % (Figura 3f). No tratamento T4 foram observados os maiores valores da V % em relação à testemunha (T1) na lâmina de água de 25 %, porém o tratamento T4 não diferiu estatisticamente dos tratamentos T2 e T3, que não diferiram da testemunha (T1) (Figura 3f). Para a lâmina de água de 100 %, não houve resposta significativa para às práticas corretivas nessa camada do solo (Figura 3f).

**Figura 3.** pH em H<sub>2</sub>O (a, b, c) e saturação por bases (V %) (d, e, f) por camada (0-20, 20-40 e 40-60 cm) de solo cultivado com palma de óleo submetida a lâminas de água - LA (25 % e 100 %) e a práticas corretivas - PC do solo (calagem e gessagem) aos 360 dias a após o transplântio. Diferentes letras maiúsculas indicam diferenças entre lâminas de água e diferentes letras minúsculas indicam diferenças entre práticas corretivas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).



\*A linha vertical contínua indica o valor inicial do atributo químico do solo

Para o teor de Ca<sup>2+</sup> trocável nas camadas de 0-20 e 20-40 cm do solo, houve interação, com maior valor na lâmina de água de 25 %, quando comparada à lâmina de água de 100 % (Figuras 4a, 4b e 4c). Na camada de 0-20 cm, os tratamentos T3 e T4 obtiveram maiores teores de Ca<sup>2+</sup> que o testemunha (T1) e o tratamento com calagem (T2) na lâmina de água de 25 % (Figura 4a).

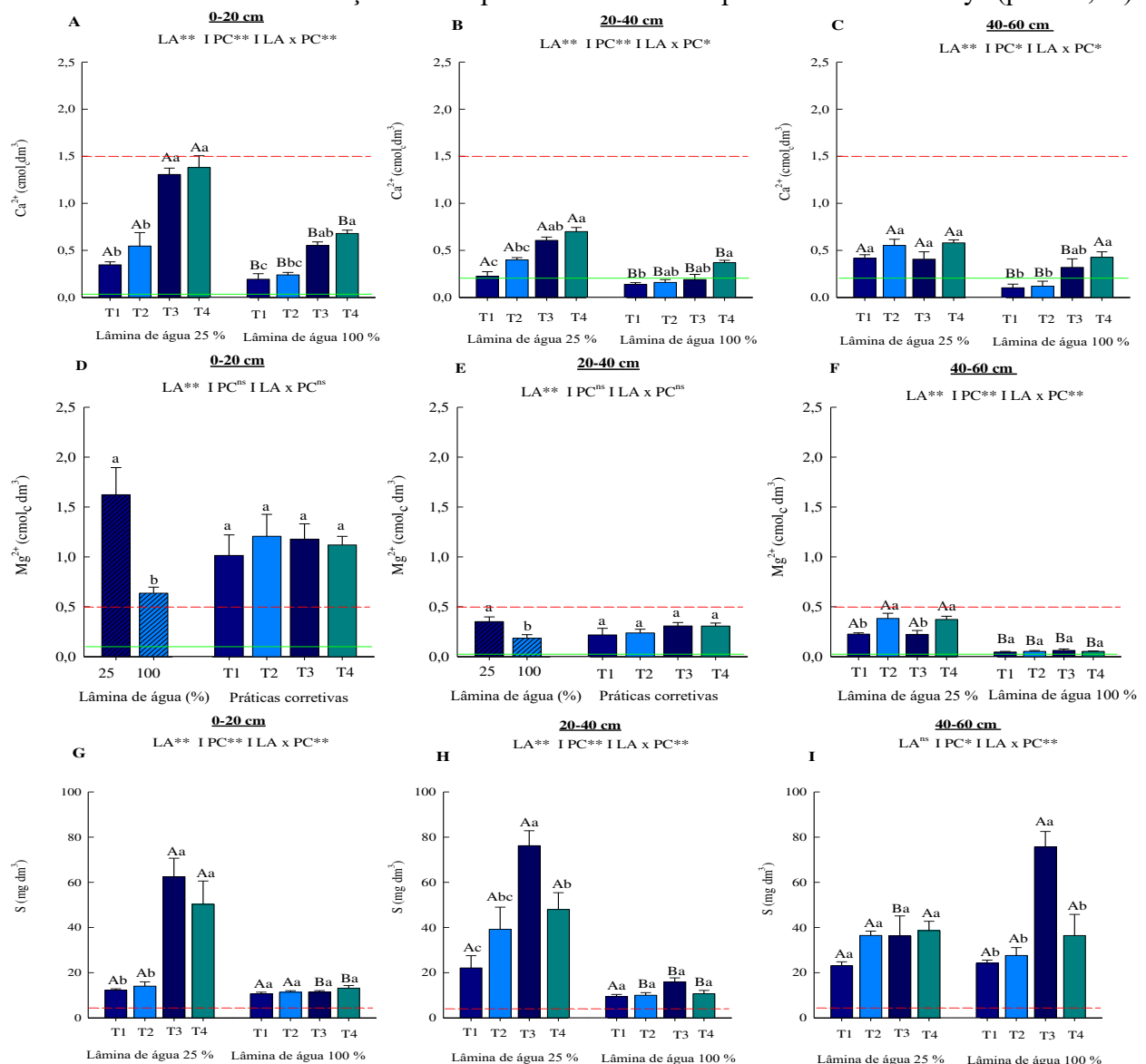
Enquanto na lâmina de água de 100 % somente o tratamento T4, obteve maior teor em relação à testemunha (T1) e o tratamento T2, porém, o tratamento T4 não diferiu estatisticamente do tratamento T3, que não diferiu do tratamento T2, que não diferiu da testemunha (T1) (Figura 4a). Na camada de 20-40 cm, foram observados os maiores teores de  $\text{Ca}^{2+}$  na lâmina de água de 25 % quando comparada à lâmina de água de 100 % (Figura 4b). O tratamento T4 obteve maior teor em relação à testemunha (T1) e o tratamento somente com calcário (T2) na lâmina de água de 25 %, entretanto, o tratamento T4 não diferiu estatisticamente do tratamento T3, que não diferiu do tratamento T2, que não diferiu da testemunha (T1) (Figura 4b). Na lâmina de água de 100 %, o maior valor foi observado no tratamento T4 quando comparado à testemunha (T1), entretanto, o tratamento T4 não diferiu estatisticamente dos tratamentos T2 e T3, que não diferiram da testemunha (T1) (Figura 4b). Na camada de 40-60 cm para o teor de  $\text{Ca}^{2+}$ , não houve diferença significativa no tratamento T4 entre as lâminas de água, enquanto, os tratamentos T1, T2 e T3 apresentaram os maiores teores na lâmina de água de 25 % (Figura 4c). Na lâmina de água de 25 % não houve resposta significativa às práticas corretivas do solo. Por outro lado, na lâmina de água de 100 % o tratamento T4 obteve maior teor que o testemunha (T1) e o tratamento somente com calagem (T2), entretanto, o tratamento T4 não apresentou diferença estatística ao tratamento T3, que não diferiu do tratamento T2 e da testemunha (T1) (Figura 4c).

O teor de  $\text{Mg}^{2+}$  na camada de 0-20 e 20-40 cm do solo, não houve interação e diferiu apenas entre as lâminas de água, com maior valor para a lâmina de 25 % de água (Figuras 4d e 4e). Na camada de 40-60 cm, houve interação, com maior valor para a lâmina de água de 25 % quando comparada à lâmina de água de 100 % (Figura 4f). Os tratamentos T2 e T4 obtiveram maiores teores em relação à testemunha (T1) e o tratamento somente com gessagem (T3) na lâmina de água de 25 % (Figura 4f). Entretanto, na lâmina de água de 100 % não houve resposta significativa as práticas corretivas do solo (Figura 4f).

Para o teor de S na camada de 0-20 cm do solo, houve interação significativa e não houve diferença estatística nos tratamentos T1 e T2 entre as lâminas de água, entretanto, nos tratamentos T3 e T4 foram observados os maiores teores na lâmina de água de 25 % (Figura 4g). Na lâmina de água de 25 % foram observados os maiores teores nos tratamentos T3 e T4 em relação à testemunha (T1) e o tratamento T2, enquanto, na lâmina de água de 100 %, não houve resposta significativa entre as práticas corretivas na camada de 0-20 cm do solo (Figura 4g). Na camada de 20-40 cm, não houve diferença estatística no tratamento T1, entre as lâminas de água, enquanto, na lâmina de água de 25 %, foram observados os maiores teores de S nos tratamentos T2, T3 e T4 (Figura 4h). Na lâmina de água de 25 %, o maior teor de S foi observado no tratamento somente com gesso (T3) quando comparado à testemunha (T1) e demais tratamentos (T2 e T3), entretanto

os tratamentos T2 e T3 não diferiram estatisticamente entre si, que não diferiram da testemunha (T1). Na lâmina de água de 100 % não houve resposta significativa às práticas corretivas na camada de 20-40 cm do solo (Figura 4h). Na camada de 40-60 cm do solo, não houve diferença estatística nos tratamentos T1, T2 e T4, entretanto, o tratamento T3 apresentou o maior teor de S na lâmina de água de 100 % (Figura 4i). Na lâmina de água de 25 % não houve resposta significativa às práticas corretivas, enquanto na lâmina de água de 100 %, o tratamento somente com gesso (T3) apresentou maior teor em relação à testemunha (T1) e aos demais tratamentos (T2 e T4), entretanto os tratamentos T1, T2 e T4 não apresentaram diferença estatística, camada de 40-60 cm (Figura 4i).

**Figura 4.** Teores trocáveis de  $\text{Ca}^{2+}$  (a, b, c),  $\text{Mg}^{2+}$  (d, e, f) e S (g, h, i) por camada (0-20, 20-40 e 40-60 cm) de solo cultivado com palma de óleo submetida a lâminas de água - LA (25 % e 100 %) e a práticas corretivas - PC do solo (calagem e gessagem) aos 360 dias após o transplante. Diferentes letras maiúsculas indicam diferenças entre lâminas de água e diferentes letras minúsculas indicam diferenças entre práticas corretivas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).



\*A linha horizontal tracejada indica o valor mínimo do teor do nutriente no solo na classe de disponibilidade média, conforme o manual de adubação para o estado do Pará e a linha vertical contínua indica o valor inicial do atributo químico do solo.

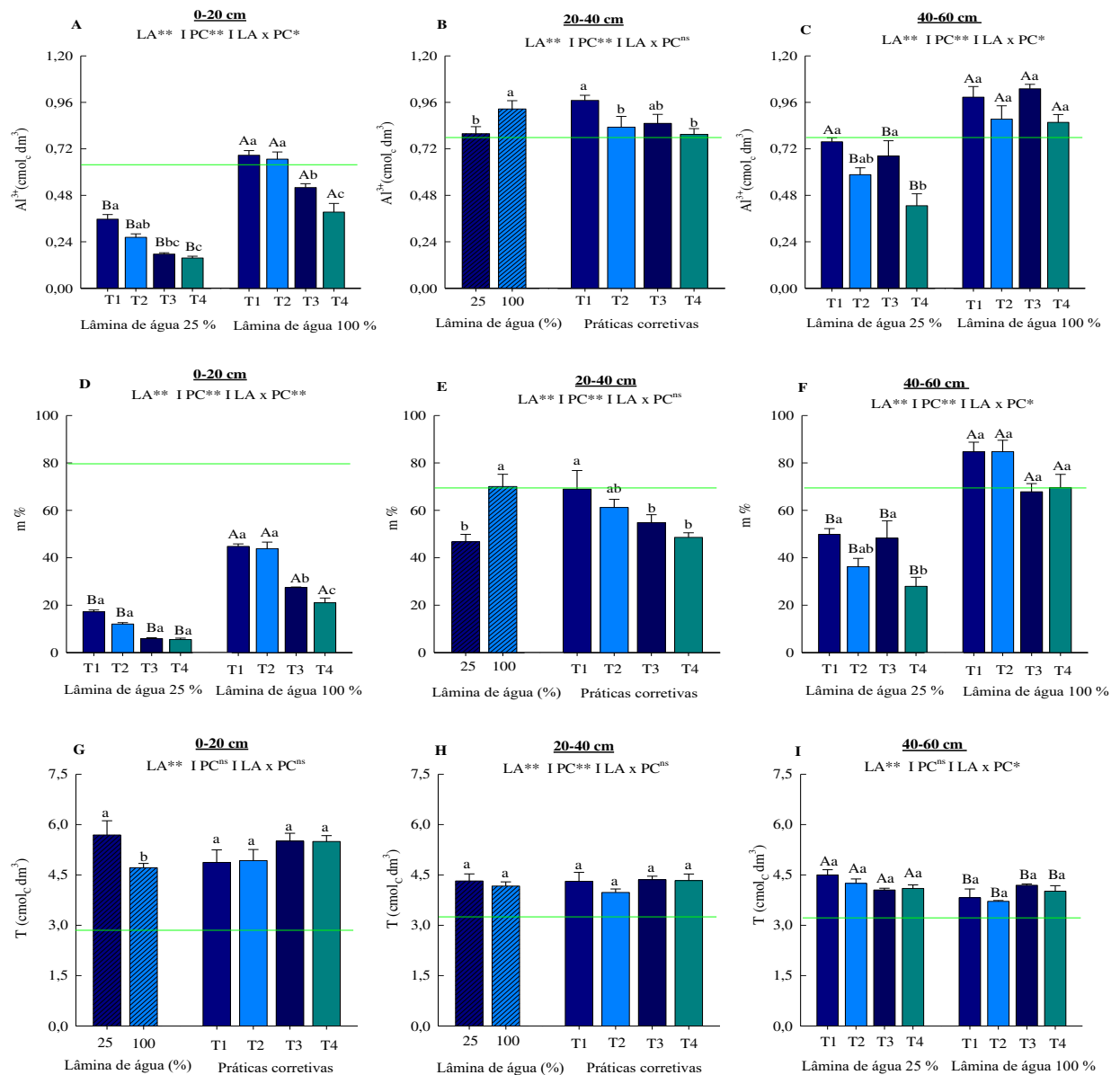
### 3.2 Teor de $Al^{+3}$ , saturação por Al (m %) e CTC potencial (T)

Na camada de 0-20 cm, a acidez trocável ( $Al^{+3}$ ) apresentou o menor teor na lâmina de água de 25 %, quando comparada à lâmina de água de 100 % (Figura 5a). Também, em ambas as lâminas de água, os menores teores de  $Al^{+3}$  foram observados no tratamento T4 quando comparado à testemunha e aos demais tratamentos (T2 e T3), entretanto na lâmina de água de 25 % o tratamento T4 não diferiu estatisticamente do tratamento T3, que não diferiu do T2 e este por sua vez não diferiu da testemunha (T1) (Figura 5a). Na camada de 20-40 cm, não houve interação e o menor teor de  $Al^{+3}$  foi observado na lâmina de água de 25 % e nos tratamentos T2 e T4 quando comparados à testemunha (T1), entretanto, o tratamento T3 não diferiu estatisticamente dos tratamentos testemunha (T1), T2 e T4 (Figura 5b). Na camada de 40-60 cm, não houve resposta significativa no tratamento T1 para lâmina de água, enquanto, nos tratamentos T2, T3 e T4 foram observados os menores teores na lâmina de água de 25 % (Figura 5c). Também foi observado o menor teor no tratamento T4 na lâmina de água de 25 %, em relação à testemunha (T1) e o tratamento T3, entretanto, o tratamento T4 não diferiu estatisticamente do tratamento T2, que não diferiu também dos tratamentos testemunha (T1) e T3 (Figura 5c). Na lâmina de água de 100 %, não houve resposta significativa às práticas corretivas na camada de 40-60 cm (Figura 5c).

A saturação por Al (m %), na camada de 0-20 cm houve o menor valor na lâmina de água de 25 % (Figura 5d). Também foram observados nesta camada do solo, menores valores de m % no tratamento T4 em relação à testemunha (T1) e aos demais tratamentos (T2 e T3) na lâmina de água de 100 %, enquanto na lâmina de água de 25 % não houve resposta significativa às práticas corretivas (Figura 5d). Na camada de 20-40 cm, não houve interação, com menores valores na lâmina de água de 25 % e nos tratamentos T3 e T4 em relação à testemunha (T1), entretanto, os tratamentos T3 e T4 não diferiu estatisticamente do T2, que não diferiu da testemunha (T1) (Figura 5e). Na camada de 40-60 cm, a lâmina de água de 25 % apresentou o menor valor de m % (Figura 5f). Também nesta lâmina de água, o tratamento T4 obteve o menor valor de m % quando comparado à testemunha (T1) e ao tratamento T3, entretanto o tratamento T4 não diferiu estatisticamente do tratamento T2, que não diferiu da testemunha (T1) e do tratamento T3 (Figura 5f). Na lâmina de água de 100 %, não houve diferença significativa entre as práticas corretivas do solo na camada de 40-60 cm (Figura 5f).

A capacidade de troca de cátions - CTC potencial (T) na camada de 0-20 cm houve resposta significativa somente às lâminas de água, com maior valor para a lâmina de água de 25 % (Figura 5g). Na camada de 20-40 cm, não houve resposta significativa às lâminas de água e práticas corretivas do solo (Figura 5h). Na camada de 40-60 cm do solo, houve interação, com resposta significativa somente às lâminas de água, com maior valor para a lâmina de água de 25 % (Figura 5i).

**Figura 5.** Teores de  $Al^{3+}$  trocável (a, b, c), saturação por  $Al^{3+}$  (m %) (d, e, f) e capacidade de troca de cátions - CTC potencial (T) (g, h, i) por camada (0-20, 20-40 e 40-60 cm) de solo cultivado com palma de óleo submetida a lâminas de água - LA (25 % e 100 %) e a práticas corretivas - PC do solo (calagem e gessagem) aos 360 dias após o transplântio. Diferentes letras maiúsculas indicam diferenças entre lâminas de água e diferentes letras minúsculas indicam diferenças entre práticas corretivas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).



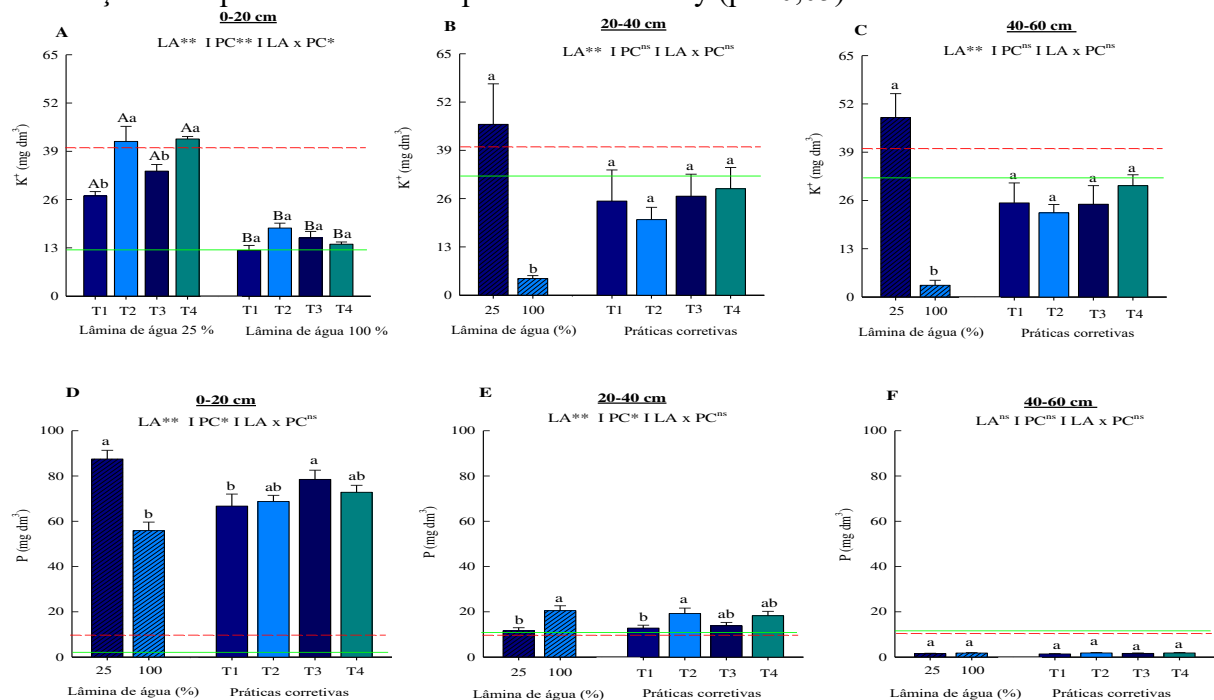
\*A linha vertical contínua indica o valor inicial do atributo químico do solo.

### 3.3 Disponibilidade de K<sup>+</sup>, P e C lábil no solo

Para o teor de K<sup>+</sup> na camada de 0-20 cm, houve interação e o maior valor foi observado na lâmina de água de 25 % (Figura 6a). Nesta lâmina de água os tratamentos T2 e T4 obtiveram os maiores teores de K<sup>+</sup> em relação à testemunha (T1) e ao tratamento T3, enquanto na lâmina de água de 100 %, não houve resposta significativa às práticas corretivas (Figura 6a). O teor de K<sup>+</sup> nas camadas de solo de 20-40 e 40-60 cm, foi influenciado significativamente somente pelas lâminas de água, com maior valor na lâmina de água de 25 % quando comparada a lâmina de água de 100 % (Figuras 6b e 6c).

Para o teor de P na camada de 0-20 cm, não houve interação, sendo que a lâmina de água de 25 % e o tratamento T3 obtiveram os maiores teores de P, quando comparado à testemunha (T1), entretanto, o tratamento T3 não diferiu estatisticamente dos tratamentos T2 e T4, que não diferiram da testemunha (T1) (Figura 6d). Diferentemente da camada de 20-40 cm, a qual apresentou maior teor de P na lâmina de água de 100 % e no tratamento T2 em relação à testemunha (T1), porém o tratamento T2 não diferiu estatisticamente dos tratamentos T3 e T4, que não diferiram da testemunha (T1) (Figura 6e). Na camada de 40-60 cm, não houve efeito significativo no teor do P no solo entre as lâminas de água e práticas corretivas (Figura 6f).

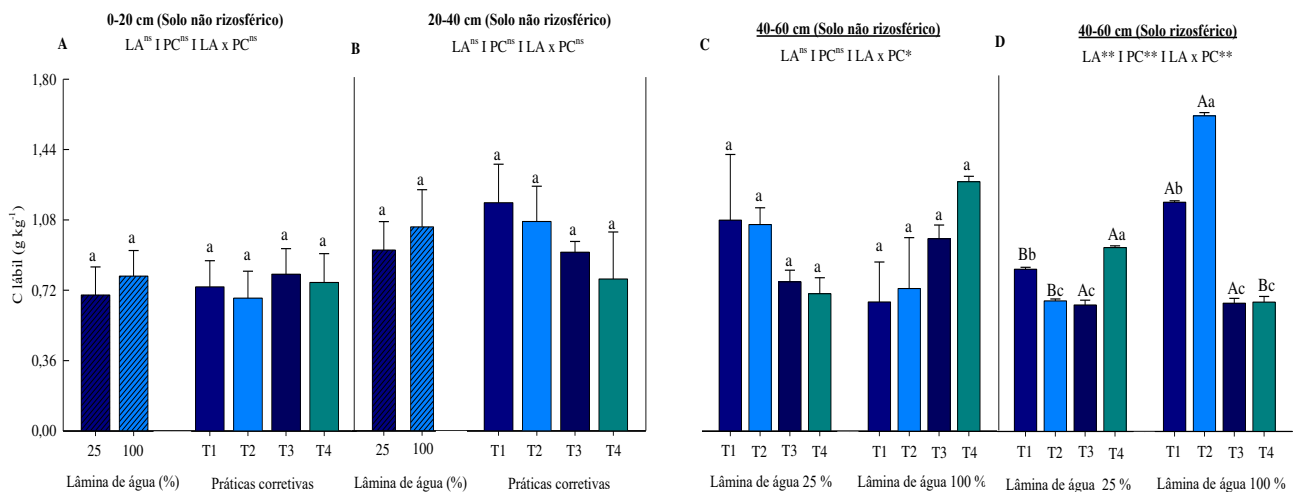
**Figura 6.** Teores de K<sup>+</sup> (a, b, c) e de P (d, e, f) por camada (0-20, 20-40 e 40-60 cm) de solo cultivado com palma de óleo submetida a lâminas de água - LA (25 % e 100 %) e a práticas corretivas - PC do solo (calagem e gessagem) aos 360 dias após o transplântio. Diferentes letras maiúsculas indicam diferenças entre lâminas de água e diferentes letras minúsculas indicam diferenças entre práticas corretivas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).



\*A linha horizontal tracejada indica o valor mínimo do teor do nutriente no solo na classe de disponibilidade média, conforme o manual de adubação para o estado do Pará e a linha vertical contínua indica o valor inicial do atributo químico do solo.

O C lábil do solo não rizosférico, em todas as profundidades avaliadas, não diferiu entre as lâminas de água e práticas corretivas do solo (Figuras 7a, 7b e 7c). Contudo, para o C lábil do solo rizosférico na camada de 20-40 cm, houve interação, entretanto, não houve resposta significativa no tratamento T3 às lâminas de água. Por outro lado, a testemunha (T1) e o T2 obtiveram os maiores teores de C lábil na lâmina de água de 100 %, enquanto o tratamento T4 obteve o maior teor na lâmina de água de 25 % (Figura 7d). Resultado semelhante foi observado para diferença entre as práticas corretivas, exceto a testemunha (T1) na lâmina de água de 100 % que não obteve o maior teor de C (Figura 7d).

**Figura 7-** Teores de carbono lábil (a, b, c, d) por camada (0-20, 20-40 e 40-60 cm) de solo não rizosférico e rizosférico (20-40 cm), cultivado com palma de óleo submetida a lâminas de água - LA (25 % e 100 %) e a práticas corretivas - PC do solo (calagem e gessagem) aos 360 dias após o transplântio. Diferentes letras maiúsculas indicam diferenças entre lâminas de água e diferentes letras minúsculas indicam diferenças entre práticas corretivas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).



### 3.4 Teores de Ca, Mg e S na folha, estipe e raiz em plantas jovens de palma de óleo

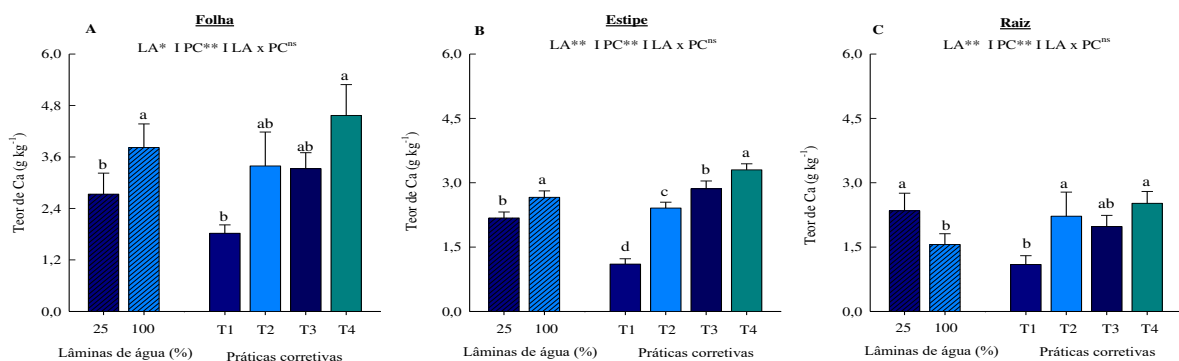
Para o teor de Ca na folha, os maiores valores foram observados nas plantas sob a lâmina de água de 100 % e no tratamento com associação da calagem e gessagem (T4) em relação à testemunha (T1), porém o tratamento T4 não diferiu estatisticamente dos tratamentos T2 e T3, que não diferiram da testemunha (T1) (Figuras 8a). No estipe, o teor de Ca também foi maior na lâmina de água de 100 %, enquanto somente no tratamento T4 houve o maior valor em relação à testemunha (T1) e aos demais tratamentos (T2 e T3) (Figura 8b). Diferentemente do teor de Ca na raiz, em que a lâmina de água de 25 % e os tratamentos T2 e T4 apresentaram os

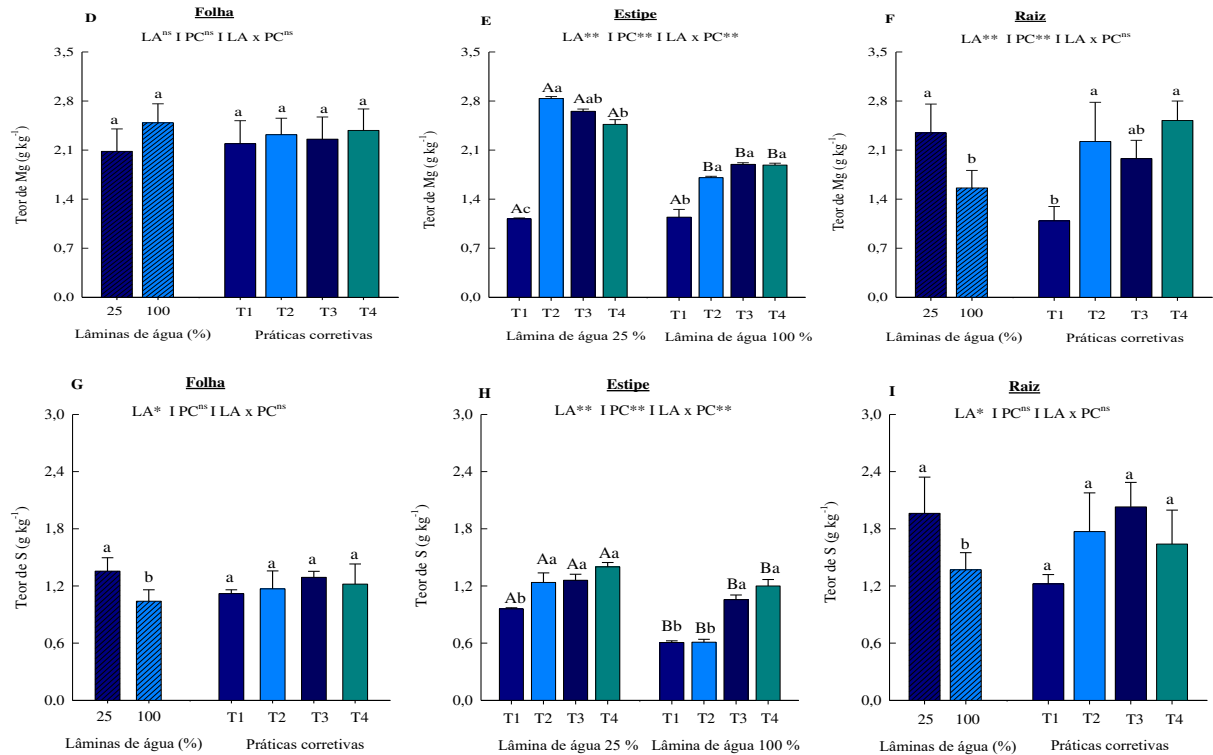
maiores valores em relação à testemunha (T1), entretanto os tratamentos T2 e T4 não diferiram estatisticamente do tratamento T3, que não diferiu da testemunha (T1) (Figura 8c).

O teor de Mg na folha, não apresentou resposta significativa às lâminas de água e práticas corretivas do solo (Figura 8d). Entretanto, no estipe houve interação significativa, e para lâmina de água os maiores valores foram observados nos tratamentos T2, T3 e T4 na lâmina de água de 25 %, enquanto, no tratamento testemunha (T1) não houve diferença significativa às lâminas de água (Figura 8e). No estipe para práticas corretivas, o maior teor de Mg foi observado no tratamento T2 em relação à testemunha (T1) na lâmina de água de 25 %, porém o tratamento T2 não apresentou diferença estatística do tratamento T3, que não diferiu do tratamento T4 (Figura 8e). Para a lâmina de água de 100 % os maiores teores de Mg no estipe, foram observados nos tratamentos T2, T3 e T4 em relação à testemunha (T1) (Figura 8e). Para o teor de Mg na raiz, os maiores valores foram observados na lâmina de água de 25 % e nos tratamentos T2 e T4 quando comparados à testemunha (T1), porém os tratamentos T2 e T4 não diferiram estatisticamente do tratamento T3, que não diferiu da testemunha (T1) (Figura 8f).

Para o teor de S na folha, houve resposta significativa somente às lâminas de água, com maior valor na lâmina de água de 25 % (Figura 8g). No estipe houve interação significativa, com maior valor na lâmina de água de 25 % (Figura 8h). Para práticas corretivas no estipe, os maiores teores de S, foram observados nos tratamentos T2, T3 e T4 em relação à testemunha (T1) na lâmina de água de 25 %, enquanto, os tratamentos T3 e T4 apresentaram os maiores valores na lâmina de água de 100 % em relação à testemunha (T1) e ao tratamento T2 (Figura 8h). Na raiz o teor de S, houve resposta significativa somente às lâminas de água, com maior valor na lâmina de água de 25 % (Figura 8i).

**Figura 8.** Teores de Ca (a, b, c), Mg (d, e, f) e S (g, h, i) na folha, no estipe e na raiz de palma de óleo submetida a lâminas de água - LA (25 % e 100 %) e às práticas corretivas do solo - PC (calagem e gessagem) aos 360 dias após o transplântio. Diferentes letras maiúsculas indicam diferenças entre lâminas de água e diferentes letras minúsculas indicam diferenças entre práticas corretivas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).



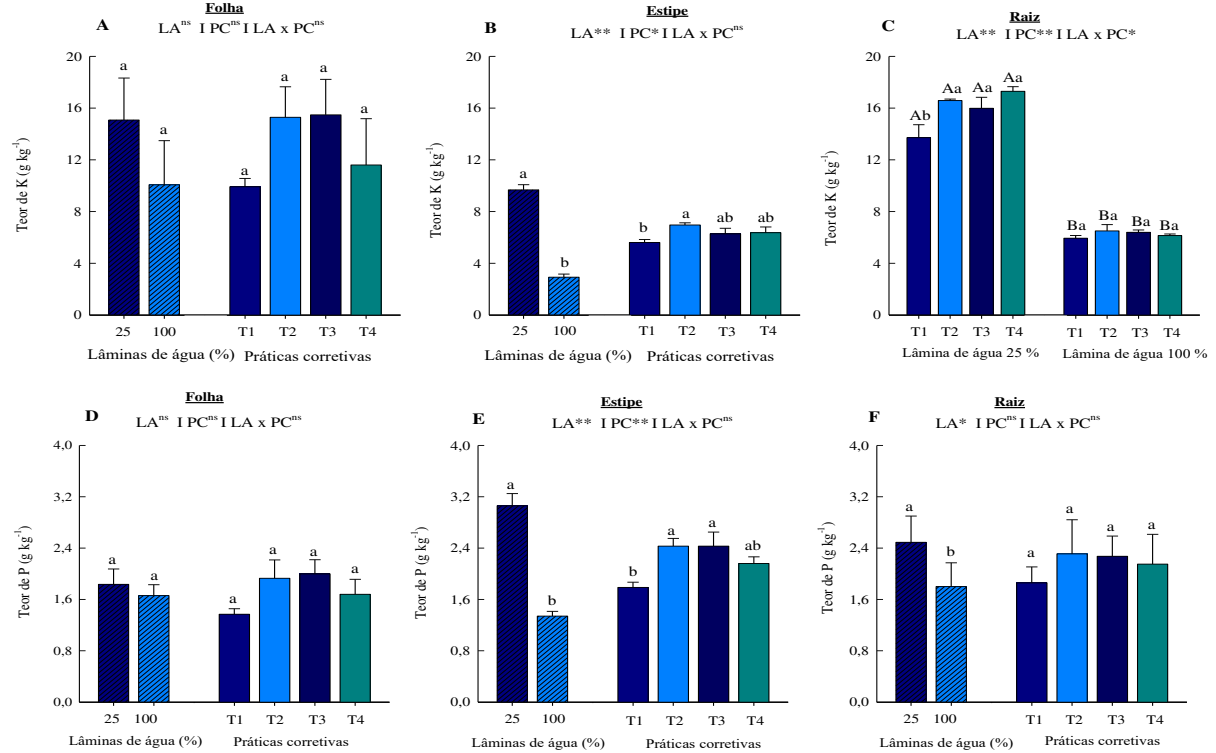


### 3.5 Teores de K e P na folha, estipe e raiz em plantas jovens de palma de óleo

Para o teor de K nas folhas, não houve resposta significativa às lâminas de água e práticas corretivas no solo (Figura 9a). Entretanto, para o teor de K no estipe, os maiores valores foram observados na lâmina de água de 25 % e no tratamento T2 quando comparado à testemunha (T1), porém o tratamento T2 não diferiu estatisticamente dos tratamentos T3 e T4, que não diferiram da testemunha (T1) (Figura 9b). Na raiz, houve interação, e a lâmina de água de 25 % obteve o maior teor de K quando comparada à lâmina de água de 100 % (Figura 9c). Para práticas corretivas, o maior teor de K foi observado nos tratamentos T2, T3 e T4 em relação à testemunha (T1) na lâmina de água de 25 %, enquanto na lâmina de água de 100 %, não houve resposta significativa às práticas corretivas (Figura 9c).

Para o teor de P na folha não houve resposta significativa às lâminas de água e práticas corretivas do solo (Figura 9d). No estipe os maiores teores de P, foram observados na lâmina de água de 25 % e nos tratamentos T2 e T3 em relação à testemunha (T1), entretanto os tratamentos T2 e T3 não diferiram estatisticamente do tratamento T4, que não diferiu da testemunha (T1) (Figura 9e). Na raiz o maior teor de P, foi observado na lâmina de água de 25 %, enquanto às práticas corretivas não houve resposta significativa (Figura 9f).

**Figura 9.** Teores de K (a, b, c) e P (d, e, f) na folha, no estipe e na raiz de palma de óleo submetida a lâminas de água - LA (25 % e 100 %) e às práticas corretivas do solo – PC (calagem e gessagem) aos 360 dias após o transplante. Diferentes letras maiúsculas indicam diferenças entre lâminas de água e diferentes letras minúsculas indicam diferenças entre práticas corretivas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).



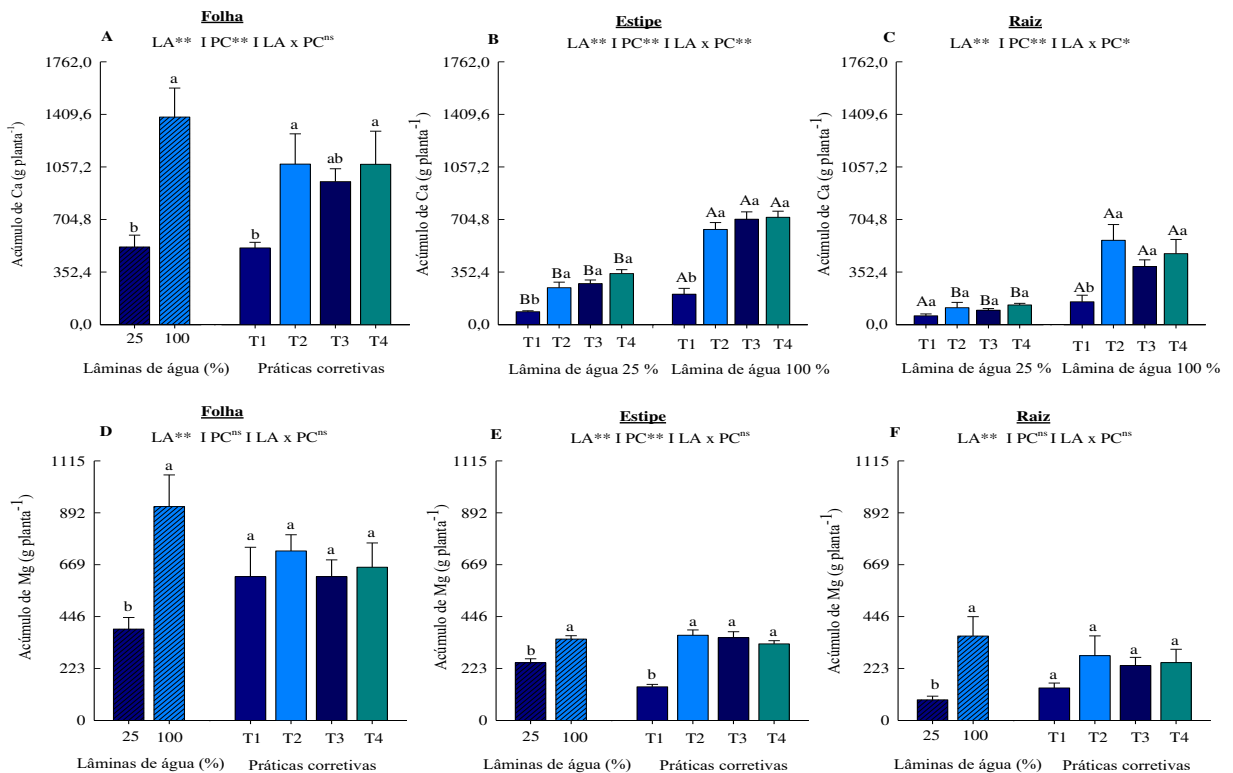
### 3.6 Acúmulos de Ca, Mg e S na folha, estipe e na raiz em plantas jovens de palma de óleo

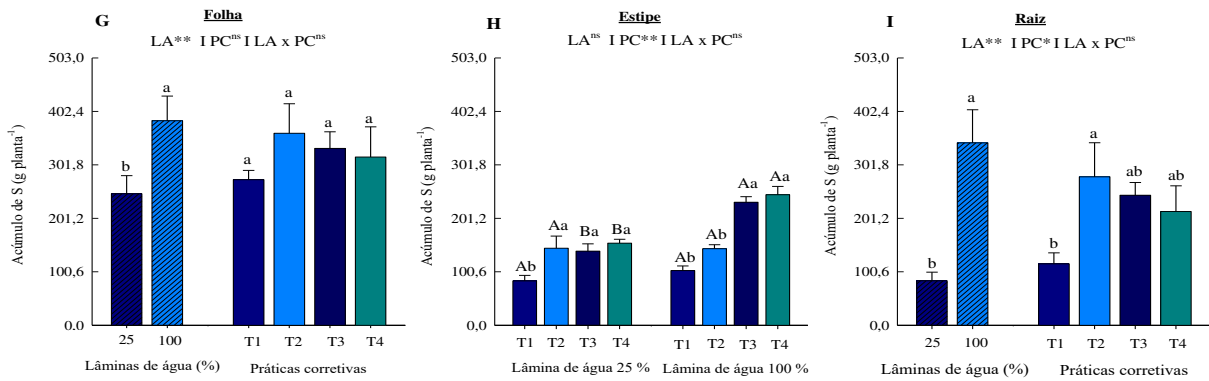
Para o acúmulo de Ca na folha, foram observados os maiores valores na lâmina de água de 100 % e nos tratamentos T2 e T4 quando comparados à testemunha (T1), entretanto os tratamentos T2 e T4 não diferiram estatisticamente do tratamento T3, que não diferiu da testemunha (T1) (Figura 10a). Para o acúmulo de Ca no estipe, houve interação, sendo observado maior valor na lâmina de água de 100 %, quando comparada à lâmina de água de 25 % (Figura 10b). Para práticas corretivas foram observados os maiores acúmulos de Ca no estipe, nos tratamentos T2, T3 e T4 quando comparados à testemunha (T1) em ambas às lâminas de água (Figura 10b). Na raiz também houve interação, sendo observado os maiores acúmulos de Ca nos tratamentos T2, T3 e T4 na lâmina de água de 100 %, entretanto, no tratamento T1 não houve diferença significativa às lâminas de água (Figura 10c). Para práticas corretivas, os maiores acúmulos de Ca na raiz foram obtidos nos tratamentos T2, T3 e T4 na lâmina de água de 100 % quando comparados à testemunha (T1), enquanto na lâmina de água de 25 % não houve resposta significativa às práticas corretivas (Figura 10c).

Para o acúmulo de Mg na folha e raiz, houve resposta significativa somente às lâminas de águas, com maior valor na lâmina de água de 100 % (Figuras 10d e 10f). Para o acúmulo de Mg no estipe, os maiores valores foram observados na lâmina de água de 100 % e nos tratamentos T2, T3 e T4 quando comparados à testemunha (T1) (Figura 10e).

Para o acúmulo de S na folha houve resposta significativa somente às lâminas de água, com maior valor para a lâmina de água de 100 % (Figura 10g). No estipe houve interação, e para lâminas de água os maiores valores foram observados nos tratamentos T3 e T4 na lâmina de água de 100 %, enquanto nos tratamentos T1 e T2 não houve diferença significativa entre lâminas de água (Figura 10h). Para práticas corretivas, foram observados os maiores acúmulos de S nos tratamentos T2, T3 e T4 na lâmina de água de 25 % em relação à testemunha (T1), enquanto na lâmina de água de 100 % os maiores acúmulos foram observados nos tratamentos T3 e T4 em relação à testemunha e o tratamento T2 (Figura 10h). Na raiz, os maiores acúmulos de S foram observados na lâmina de água de 100 % e no tratamento T2 quando comparado à testemunha, porém o tratamento T2 não diferiu estatisticamente dos tratamentos T3 e T4, que não diferiram da testemunha (T1) (Figura 10i).

**Figura 10.** Acúmulos de Ca (a, b, c), Mg (d, e, f) e S (g, h, i) na folha, no estipe e na raiz de palma de óleo submetida a lâminas de água - LA (25 % e 100 %) e às práticas corretivas do solo - PC (calagem e gessagem) aos 360 dias após o transplântio. Diferentes letras maiúsculas indicam diferenças entre lâminas de água e diferentes letras minúsculas indicam diferenças entre práticas corretivas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).



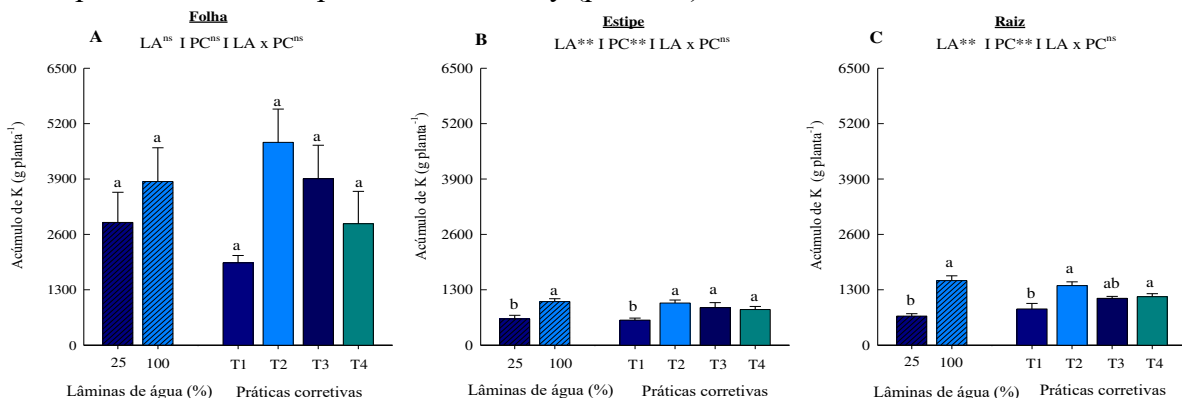


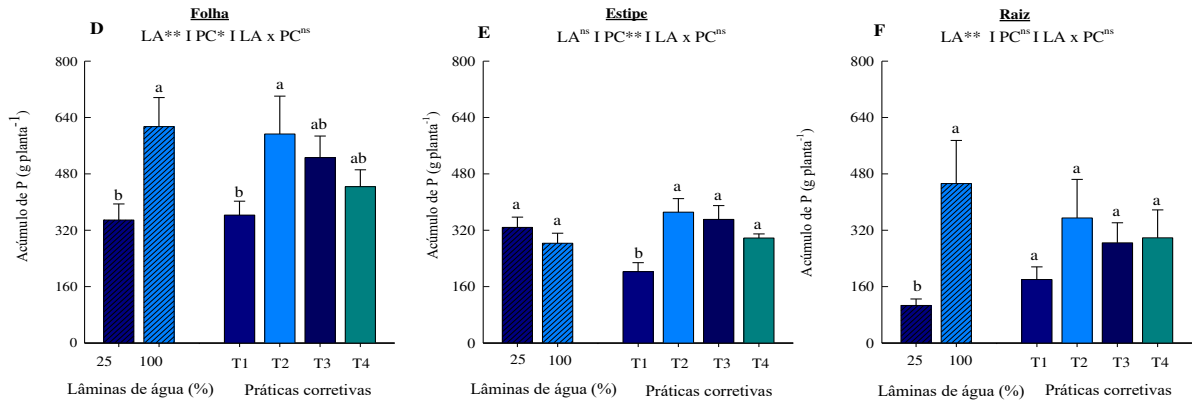
### 3.7 Acúmulo de K e P na folha, no estipe e na raiz em plantas jovens de palma de óleo

Para o acúmulo de K na folha, não houve resposta significativa às lâminas de água e práticas corretivas (Figura 11a). No estipe, os maiores acúmulos de K foram observados na lâmina de água de 100 % e nos tratamentos T2, T3 e T4 quando comparados à testemunha (T1) (Figuras 11b). Na raiz, os maiores acúmulos de K foram observados na lâmina de água de 100 % e nos tratamentos T2 e T4 quando comparados à testemunha (T1), entretanto, os tratamentos T2 e T4 não diferiram estatisticamente do tratamento T3, que não diferiu da testemunha (T1) (Figura 11c).

Para o acúmulo de P na folha, foram observados os maiores valores na lâmina de água de 100 % e no tratamento T2 quando comparado à testemunha (T1), porém o tratamento T2 não diferiu estatisticamente dos tratamentos T3 e T4, que não diferiram da testemunha (T1) (Figura 11d). No estipe houve resposta significativa apenas às práticas corretivas, com maiores valores nos tratamentos T2, T3 e T4 quando comparados à testemunha (T1) (Figura 11e). Na raiz houve resposta significativa somente às lâminas de água, com maior valor na lâmina de água de 100 % (Figura 11f).

**Figura 11.** Acúmulos de K (a, b, c) e P (d, e, f) na folha, no estipe e na raiz de palma de óleo submetida a lâminas de água - LA (25 % e 100 %) e às práticas corretivas do solo - PC (calagem e gessagem) aos 360 dias após o transplantio. Diferentes letras maiúsculas indicam diferenças entre práticas corretivas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).



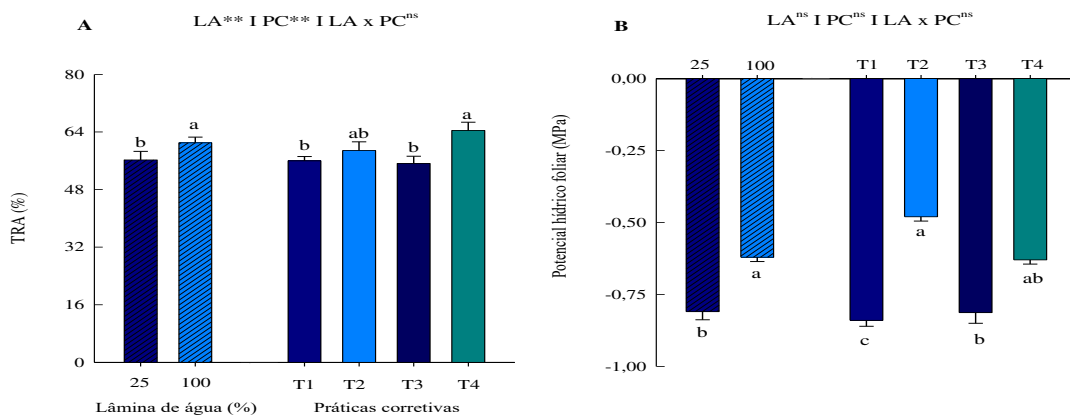


### 3.8 Teor relativo de água (TRA) e potencial hídrico foliar da palma de óleo

Para o TRA os maiores valores foram observados na lâmina de água de 100 % e no tratamento com associação de calcário e gesso (T4), quando comparado à testemunha (T1) e ao tratamento T3, entretanto o tratamento T4 não diferiu estatisticamente do tratamento T2, que não diferiu da testemunha (T1) e do tratamento T3 (Figuras 12a).

Para o potencial hídrico foliar os maiores valores foram observados na lâmina de água de 100 % e no tratamento somente com calcário (T2), quando comparado à testemunha (T1), porém o tratamento T2 não diferiu estatisticamente do tratamento com associação do calcário e gesso (T4), que não diferiu do tratamento que recebeu somente gesso (T3) (Figura 12b).

**Figura 12.** Teor relativo de água – TRA (a) e potencial hídrico foliar (b) de palma de óleo submetida a lâminas de água - LA (25 % e 100 %) e às práticas corretivas do solo - PC (calagem

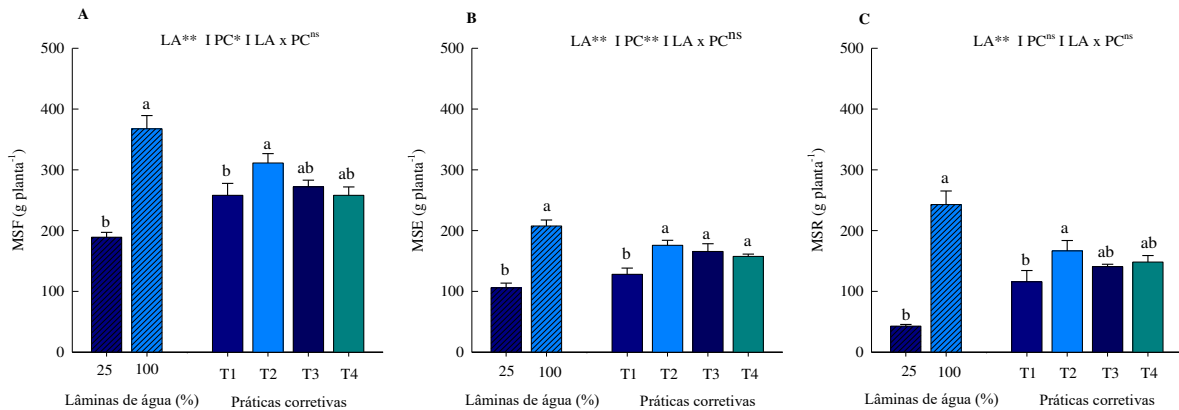


### 3.9 Produção de massa seca da folha, estipe e raiz em plantas jovens de palma de óleo

Para a massa seca da folha e da raiz, foram observados os maiores valores na maior na lâmina de água de 100 % e no tratamento somente com calagem (T2) quando comparado à testemunha (T1), porém o tratamento T2 não diferiu estatisticamente dos tratamentos T3 e T4, que não diferiram da testemunha (T1) (Figura 13a e 13c). Para massa seca do estipe, foram

observados maiores valores lâmina de água de 100 % e nos tratamentos T2, T3 e T4 quando comparados à testemunha (T1) (Figura 13b).

**Figura 13.** Massa seca das folhas - MSF (a), do estipe - MSE (b) e da raiz - MSR (c) de palma de óleo submetida a lâminas de água - LA (25 % e 100 %) e às práticas corretivas do solo - PC (calagem e gessagem) aos 360 dias após o transplante. Diferentes letras maiúsculas indicam diferenças entre lâminas de água e diferentes letras minúsculas indicam diferenças entre práticas corretivas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).



## 4. DISCUSSÃO

### 4.1 Acidez, disponibilidade de Ca, Mg e S no solo e aumento da CTC potencial (T)

O pH do solo na camada subsuperficial (20-40 cm) foi maior com a lâmina de 100 % de água (Figura 3b), indicando que este suprimento de água disponível foi suficiente para umedecer o solo e promover a dissociação dos carbonatos de Ca e Mg, disponibilizando estes cátions e os ânions  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{OH}^-$  no solo (ESPER NETO et al., 2019). Da mesma forma, o gesso agrícola, por ser um sal solúvel em água, quando aplicado no solo com a presença de umidade inicia o processo de hidrólise do sulfato de cálcio, fornecendo  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{SO}_4^-$  às plantas em camadas mais profundas do perfil do solo (BRASIL et al., 2020).

Na camada de 40-60 cm do solo, houve resposta significativa somente às práticas corretivas, com maior valor do pH no tratamento com associação da calagem e gessagem (T4) em relação à testemunha (T1), entretanto o tratamento T4 não diferiu estatisticamente dos tratamentos somente com calagem (T2) e somente com gessagem (T3) e estes não diferiram da testemunha (T1) (Figura 3c). Tal resultado pode estar relacionado à lixiviação dos carbonatos no perfil do solo, o qual é caracterizado como arenoso (Tabela 2). Assim, favorecendo o aumento do pH na camada mais profunda do solo com a prática da calagem. Além disso, a associação da calagem e da gessagem, pode suprir o efeito limitado do calcário na camada superficial e o gesso agrícola atuará

no subsolo (CAIRES et al., 2003). Embora a gessagem não tenha a capacidade de correção da acidez do solo, como a calagem (ZOCA; PENN, 2017).

O pH (H<sub>2</sub>O) na camada superficial obteve aumento cerca de 5,12 %, enquanto nas camadas subsuperficiais houve redução cerca de 11,28 % (Figura 3b e 3c). Nota-se que os valores do pH do solo ao final do experimento, encontram-se abaixo da faixa ideal (5 a 6) para a cultura (GAMARRA, 2013) e isso pode estar relacionado à ureia (fertilizante amoniacal), utilizada na adubação das plantas do presente estudo, a qual pode favorecer também a acidificação do solo (HEDE et al., 2001). Assim como, às próprias plantas, pois ao absorverem cátions podem liberarem íons (H<sup>+</sup>) acidificando o solo (HEDE et al., 2001).

O resultado observado para a saturação por bases (V %) pode estar relacionado a menor absorção das bases (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e K<sup>+</sup>) trocáveis do solo por plantas submetidas à lâmina de água de 25 %, o qual favoreceu a maior V % (Figuras 3d, 3e e 3f). Além disso, tal condição possa ter propiciado a menor lixiviação desses cátions no solo arenoso (Tabela 2) e com menor teor de MO.

Na camada de 0-20 cm do solo, maiores valores foram observados nos tratamentos somente com gessagem (T3) e no tratamento com associação da calagem e gessagem (T4) quando comparados à testemunha (T1) (Figura 3d). Nas camadas 20-40 e 40-60 cm do solo maiores valores foram observados somente no tratamento com associação da calagem e gessagem (T4) quando comparado à testemunha (T1) (Figuras 3e e 3f). A resposta positiva do tratamento com calcário na camada superficial estar relacionado a melhoria dos atributos químicos do solo que este corretivo pode proporcionar na camada superficial do solo. Resultados semelhantes foram obtidos por Antonangelo et al. (2022), em que a aplicação do calcário aumentou a saturação por bases em um Latossolo em até 10 cm. Também De Vargas et al. (2019) verificaram que a aplicação do calcário alterou a concentração de Ca<sup>2+</sup>, a saturação por bases, o teor de Al<sup>3+</sup> e o pH do solo, em até 20 cm de profundidade.

O gesso tem alta solubilidade em relação ao calcário e mesmo com a menor lâmina de água teve a sua dissolução favorecida. Estas respostas também foram observadas por Costa (2018); a aplicação do calcário associada a gessagem proporcionou aumento da V % nas camadas do subsolo. Semelhante, Crusciol et al. (2017) também verificaram que a calagem e a gessagem proporcionaram aumento de 44,96 % da V % em camadas mais subsuperficiais do solo. Estes autores constataram ainda que a aplicação do gesso isoladamente contribuiu em aumento de 7,18 % da V % em camadas abaixo de 20 cm.

Recomenda-se para a palma de óleo no Pará a aplicação de calcário visando elevar a saturação por bases a 60 % (FRANZINI et al., 2020). A V % do solo do presente trabalho aumentou cerca de 13,34 % (camada superficial) e 45,99 % (camada subsuperficial), quando comparada à V

% antes da instalação do experimento (Tabela 1), embora não tenha atingido o valor indicado para a cultura, mesmo sendo registrados aumentos dos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$ , comparando os teores iniciais destes cátions no solo (Tabela 1). Nota-se um aumento (78,10 %) na V % no tratamento testemunha (T1) em relação a V % antes da instalação do experimento (Tabela 1) na camada de 0-20) cm (Figura 3d). Tal fato pode estar relacionado ao suprimento de K (cloreto de K) e Mg (óxido de Mg) aplicados neste tratamento durante o período experimental, bem como, o alto teor de K presente no solo antes do transplântio (Tabela 1).

O aumento (95,76 %) no teor de  $\text{Ca}^{2+}$  no solo, quando comparado ao início do experimento (Tabela 1), foi maior principalmente na camada superficial do solo, a qual encontra-se próximo do valor mínimo ( $\leq 2,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) do teor na classe de disponibilidade (BRASIL; CRAVO, 2020) (Figuras 4a, 4b e 4c). Este fato pode ser explicado pela baixa mobilidade do  $\text{Ca}^{2+}$  no perfil do solo, devido à sua maior retenção nas cargas negativas das argilas e da matéria orgânica do solo (MOS) (VITTI et al., 2006). Na camada superficial (0-20 cm) os maiores teores de  $\text{Ca}^{2+}$  foram observados no tratamento somente com gessagem (T3) e com associação da calagem e gessagem (T4) em relação à testemunha (T1) e ao tratamento somente com calagem (T2) na lâmina de água de 25 %. Enquanto na lâmina de 100 % o maior teor foi observado no tratamento somente no tratamento T4 em relação à testemunha (T1) (Figura 4a). A gessagem favoreceu o incremento dos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  na profundidade de 10 cm do solo (BASSO et al., 2015). Hammerschmitt et al. (2021) também observaram que aplicação de calcário e gesso implicou no maior acúmulo de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  na camada superficial do solo.

Nas camadas de 20-40 e 40-60 cm, o tratamento com associação da calagem e da gessagem (T4) favoreceu maiores teores (62,96 %) de  $\text{Ca}^{2+}$  quando comparado à testemunha (T1) em ambas as lâminas de água, exceto na camada de 40-60 cm que não houve resposta significativa às práticas corretivas na lâmina de água de 25 % (Figuras 4b e 4c). Tal resultado pode estar relacionado a descida do gesso agrícola da camada superficial e mesmo com a menor lâmina de água, favoreceu a sua solubilidade. O efeito da gessagem no subsolo é a troca iônica do  $\text{Al}^{3+}$  pelo  $\text{Ca}^{2+}$ , resultando na formação do par iônico com sulfato de Al ( $\text{AlSO}_4^+$ ) e ainda promover precipitação do Al na forma de oxihidróxido (SOUSA et al., 2007). O  $\text{Ca}^{2+}$  tem função no crescimento radicular, devido sua ação na divisão celular e, por ser imóvel na planta, é fundamental a presença deste elemento em profundidade (HAWKESFORD et al., 2011). O aumento no teor de  $\text{Ca}^{2+}$  nas camadas mais profundas após aplicação da calagem pode ter relação com a incorporação do calcário até a camada de 20 cm e ter favorecido a descida do  $\text{Ca}^{2+}$  a camadas mais profundas. Esse resultado corrobora com os De Moraes et al. (2023). Os autores observaram aumento nos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  na camada de 0-20 e 20-40 cm quando o calcário foi incorporado na profundidade de 0-40 cm.

Crusciol et al. (2016), ao avaliarem os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  do solo após 12 meses do cultivo de arroz, verificaram aumento dos valores nas camadas de 10-20 e 20-40 cm com aplicação do calcário. O uso combinado da calagem e da gessagem proporcionou aumento do teor do  $\text{Ca}^{+2}$  na camada de 30 cm de um solo ácido aos 365 dias de cultivo (ANDERSON et al., 2020).

O maior teor de  $\text{Mg}^{2+}$  nas camadas do solo (0-20, 20-40 e 40-60 cm) na lâmina água de 25 % (Figuras 4d, 4e e 4f), pode estar relacionado à absorção de Mg pelas raízes que se dá principalmente por fluxo de massa e sob condições de baixa disponibilidade de água no solo, a entrega desse nutriente às raízes é prejudicada (GRANSEE; FÜHRS, 2013). Assim, a lâmina de água de 100 % (maior disponibilidade de água), pode ter favorecido a melhor eficiência na absorção do  $\text{Mg}^{2+}$ , principalmente nas camadas subsuperficiais do solo (Figura 4). Somente a camada superficial obteve o valor mínimo ( $\leq 0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) do teor de Mg no solo na classe de disponibilidade em ambos os fatores avaliados (Figura 4d).

Os tratamentos somente com calagem (T2) e com associação da calagem e gessagem (T4), também obtiveram os maiores teores de  $\text{Mg}^{2+}$  na camada de 40-60 cm do solo em relação à testemunha (T1) e ao tratamento somente com gessagem (T3) (Figura 4f). A concentração de  $\text{Ca}^{2+}$  no solo, influenciada pela aplicação de gesso e calcário, pode favorecer também o deslocamento do  $\text{Mg}^{2+}$  dos sítios de troca dos coloides e ainda formar par iônico com o  $\text{SO}_4^{-2}$  ou ser lixiviado na forma de íons  $\text{Mg}^{2+}$ , esta é a sua forma preferencial de mobilidade no solo (ZAMBROSI, 2007). Além disso, devido a sua mobilidade no solo, está sujeito a lixiviação, e pode ser explicada por vários fatores que afetam a magnitude desse processo no solo, como a presença de íons  $\text{H}^+$ , teor de Ca, teor de bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) e a CTC, afetada pelo teor e tipo de argila e o conteúdo de MOS (GRANSEE; FÜHRS, 2013).

O aumento no teor de S no tratamento que recebeu somente gessagem (T3) e a associação da calagem e gessagem (T4) em relação à testemunha e ao tratamento somente com calagem (T2) na camada de 0-20 cm do solo (Figura 4g), pode estar relacionado ao fornecimento do sulfato por meio do gesso agrícola e com a sua alta solubilidade. Tal condicionador pode atuar também na fertilidade do solo da camada superficial (ZOCA; PENN, 2017). A eficácia da gessagem e a disponibilidade de sulfato no solo, depende de algumas características do solo, como temperatura, textura, teor de matéria orgânica, disponibilidade hídrica, capacidade de troca catiônica do solo e condutividade elétrica (SOUSA et al., 2007; WEN et al., 2001).

O fluxo de massa é o principal mecanismo de suprimento de S às raízes e está associado ao gradiente de potencial hídrico provocado pela absorção de água pelas plantas (SILVA, ALVAREZ; RUIZ, 1998). Assim, tal fato pode estar relacionado ao maior teor de S presente no solo (0-20 e 20-40 cm) na lâmina de água de 25 % (Figuras 4g e 4h). As plantas desse tratamento

possam ter absorvido menos S do solo, quando comparada às plantas da lâmina de água de 100 %, as quais obtiveram maiores valores de massa seca (Figura 13).

Nas camadas de 20-40 e 40-60 cm do solo, o tratamento somente com a gessagem (T3) promoveu o maior teor de S em relação à testemunha (T1) e os demais tratamentos, na lâmina de 25 % e 100 %, respectivamente (Figura 4i). Tal fato pode estar relacionado à descida do sulfato da camada superficial para as camadas subsuperficiais do solo. O gesso pode melhorar a estrutura do solo, aumentando a estabilidade de agregação e a infiltração da água em solos altamente intemperados. Assim, levando a uma melhor penetração das raízes no subsolo e conseqüentemente a melhor utilização da umidade no solo (MALIK ET AL., 1991; SUMNER et al.; 1990). Embora essa dinâmica no solo, o teor de S no solo foi superior ao valor mínimo ( $\leq 4,0 \text{ mg dm}^{-3}$ ) na classe de disponibilidade em todas as profundidades avaliadas (Figuras 4g, 4h e 4i).

Os menores teores de  $\text{Al}^{3+}$  nas camadas de 0-20 e 40-60 cm, foram observados no tratamento com associação da calagem e gessagem (T4) em relação à testemunha (T1) (Figuras 5a e 5c). Enquanto na camada de 20-40 cm menores teores de  $\text{Al}^{3+}$  foram observados nos tratamentos somente gessagem (T3) e a com associação da calagem e gessagem (T4) (Figura 5b), os quais apresentaram redução cerca de 57,03 % do valor inicial do  $\text{Al}^{3+}$  (Tabela 1). Os maiores teores observados podem estar relacionados com a menores concentrações de  $\text{Ca}^{2+}$  nestes tratamentos (Figura 4a). Hammerschmitt et al. (2021) também encontraram resultados semelhantes, onde observaram menor teor de  $\text{Al}^{3+}$  na camada de 20 cm com uso do calcário e do gesso. Menores valores de  $\text{Al}^{3+}$  no solo foram observados por Parecido (2020) na profundidade de 0-10 cm com a utilização dessas práticas corretivas, aos 18 meses de cultivo de café Arábica.

A ocorrência de menores teores de  $\text{Al}^{3+}$  no solo nas camadas subsuperficiais no tratamento com a associação da calagem e gessagem (T4), a qual obteve redução cerca de 20,51 % quando comparada ao valor inicial de  $\text{Al}^{3+}$  (Tabela 1) (Figuras 5b e 5c), pode estar relacionado a utilização em conjunto do calcário e do gesso. Esses insumos proporcionam resultados positivos quanto aos atributos químicos do solo em profundidade (CAIRES et al., 2003; RAMPIM et al., 2011; PAULETTI et al., 2014). Anderson et al. (2020) também verificaram, após o uso combinado do calcário e do gesso redução no teor do  $\text{Al}^{3+}$  na profundidade de 30-50 cm do solo. Em decorrência da melhor absorção das bases trocáveis por plantas sob a maior lâmina de água, há um maior teor de  $\text{Al}^{3+}$  nos tratamentos com maior suprimento de água no solo (Figuras 5a, 5b e 5c). Nas plantas, o  $\text{Al}^{3+}$  pode substituir o  $\text{Ca}^{2+}$  e alterar a estrutura e a estabilidade da parede celular, levando à redução da divisão, expansão e alongamento das células radiculares, favorecendo à formação de raízes curtas e grossas (MERIÑO-GERGICHEVICH et al., 2010; DE CAMPOS et al., 2022).

A melhor absorção das bases no solo por plantas submetidas ao maior suprimento de água, afetou também a  $m\%$ , com a lâmina de água de 100 % favorecendo os maiores teores de  $Al^{3+}$  em todas as profundidades do solo (Figuras 5d, 5e e 5f). Por outro lado, observou-se o efeito positivo do tratamento com associação da calagem e gessagem (T4) em relação à testemunha (T1), o qual apresentou redução cerca de 56,66 % (Figuras 5d, 5e e 5f). Essa diminuição da  $m\%$  nesse tratamento pode ser explicada, devido a menor concentração de  $Al^{3+}$  (Figuras 5a, 5b e 5c) e maiores concentrações de  $Ca^{2+}$  (Figuras 4a, 4b e 4c). O  $Ca^{2+}$  desloca o  $Al^{3+}$  para a solução, diminuindo a saturação e o seu efeito tóxico (PAULETTI et al., 2014). Os referidos autores constaram ainda a redução da  $m\%$  na camada de 40-60 cm, após 36 meses em sistema de plantio direto, com a aplicação do gesso.

A CTC potencial (T) sofreu influência somente das lâminas de água nas camadas de 0-20 e 40-60 cm do solo, com maior valor na lâmina de água de 25 % (Figuras 4g e 4i). Neste tratamento houve as maiores concentrações dos cátions ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e  $K^+$ ), assim refletiu no resultado desta variável. De acordo com Santos et al. (2002), solos com alta CTC tem maior capacidade de adsorção de cátions e tornam-se menos suscetíveis à lixiviação. O pH do solo também é determinante na CTC; com aumento do pH, a CTC se eleva, uma vez que há a geração de cargas menos variáveis (SANTOS et al., 2002).

A CTC do solo depende diretamente do teor de matéria orgânica do solo (MOS) e dos teores de argila (LEAL et al., 2015). O solo do estudo atual tem alto teor de areia (Tabela 2) e, assim, baixos (Tabela 2) valores de CTC (Figura 5). Além disso, conforme as características do solo da região do estudo, há a predominância de argilas 1:1, com menor área superficial. Desta forma, o solo usado para cultivo das plantas apresentava baixa capacidade de adsorção de cátions (BRADY; WEIL, 2013; COSTA, 2018). Mesmo não havendo diferença significativa na CTC potencial entre os tratamentos de práticas corretivas do solo, destaca-se que, em relações à condição inicial do solo (Tabela 1), houve um aumento cerca de 63,40 % nos valores desta variável.

#### 4.2 Disponibilidade de nutrientes no solo

O movimento do  $K^+$  até à superfície das raízes ocorrer por fluxo de massa e difusão, entretanto o mecanismo por fluxo de massa é mais predominante (BALIGAR, 1985; BARBER, 1962). Quando a concentração de  $K^+$  na solução do solo é elevada, esse mecanismo é dependente da disponibilidade de água e da transpiração (RUIZ et al., 1999). Assim, a lâmina de água de 100 % pode ter favorecido a eficiência da absorção do  $K^+$  pelas raízes das plantas, ao contrário das plantas sob a menor disponibilidade de água, onde apresentou maiores teor de  $K^+$  nas três camadas do solo (Figuras 6a, 6b e 6c). Nas três profundidades do solo, nota-se ainda, na lâmina

de água de 25 % que o valor mínimo ( $\leq 40 \text{ mg dm}^{-3}$ ) do teor de  $\text{K}^+$  na classe de disponibilidade foi alcançado (BRASIL; CRAVO, 2020) (Figuras 6a, 6b e 6c).

Sabe-se que a calagem e a gessagem podem favorecer o desenvolvimento e crescimento do sistema radicular. Conforme Barber (1985) a absorção do  $\text{K}^+$  é influenciada pela cinética de absorção desse íon pelas raízes da planta, tamanho e morfologia do sistema radicular, pelas taxas de crescimento da planta e pelas propriedades de fornecimento de K do solo. Dessa forma, tal fato pode ter relação com o maior teor de  $\text{K}^+$  nos tratamentos somente com calagem (T2) e com a associação do calcário e gesso (T4) quando comparados à testemunha (T1) e ao tratamento somente com gesso (T3), na camada de 0-20 cm do solo (Figura 6a), os quais apresentaram aumento cerca de 30,22 % e 32,28 % do valor inicial do teor de  $\text{K}^+$  (Tabela 1).

A maior parte do P nos solos tropicais não está naturalmente disponível às plantas, devido à adsorção aos óxidos de Fe e Al (AMEYU, 2019), componentes da fração argila dos Latossolos. Entretanto, as plantas podem desenvolver uma série de mecanismos adaptativos em meio a baixos teores de P no solo (LIAO et al., 2006). Estes mecanismos incluem a exsudação de solutos por meio das raízes, como ácidos orgânicos, fosfatases e outros compostos que podem mobilizar o P semi lábil ligado aos óxidos de Fe e Al (LIAO et al., 2006). Isso pode contribuir para a eficiência na absorção de P pelas plantas (LIAO et al., 2006). Assim, tal fato pode estar relacionado ao maior teor de P no tratamento somente a gessagem (T3) quando comparado à testemunha (T1) na camada de 20-40 cm do solo (Figura 6d) e maior teor no tratamento que recebeu somente calagem (T2) quando comparado à testemunha (T1) (Figura 6e), tais tratamentos favoreceram aumento cerca de 69,78 % do valor inicial (Tabela 1), uma vez que a calagem e a gessagem podem favorecer o desenvolvimento do sistema radicular ao longo do perfil do solo.

Observou-se uma redução no teor de P ao longo do perfil do solo e somente as camadas de 0-20 e 20-40 cm do solo, atingiram o valor mínimo ( $\leq 10 \text{ mg dm}^{-3}$ ) na classe de disponibilidade do nutriente em ambos os fatores avaliados (Figuras 6a, 6b e 6c) (BRASIL; CRAVO, 2020). Tal comportamento pode ter relação com a sua baixa mobilidade no solo, que ocorre via difusão. Além disso, seus teores disponíveis são maiores na camada superficial do solo (ANTONANGELO et al., 2022), principalmente quando a adubação foi feita em cobertura, como é caso da adubação realizada no presente estudo.

Conforme Young e Ross (2018) a dissolução do P depende de fatores físicos, como a textura e a umidade do solo. Conforme estes autores, a disponibilidade de água influencia a difusão desse nutriente na solução do solo. Dessa forma, isso pode estar relacionado ao maior teor de P na lâmina de água de 100 % na camada de 20-40 cm do solo (Figura 6e).

O C lábil é encontrado especialmente nas proximidades das raízes das plantas, onde há uma maior exsudação de compostos orgânicos. Tal fato pode explicar a resposta não significativa do calcário, do gesso e das lâminas de água no C lábil do solo não rizosférico (Figuras 7a, 7b e 7c).

A calagem em solos ácidos tem mostrado resultados benéficos no aumento da atividade microbiana na rizosfera (AMEYU, 2019). Portanto, induzindo a formação do C lábil no solo do presente estudo (LENO et al., 2021). O efeito do calcário é eficaz na presença de água disponível, assim, este fato pode explicar, a influência da calagem sob a maior disponibilidade de água no C lábil do solo (Figura 7d).

O efeito do tratamento com associação da calagem e gessagem (T4) no C lábil na menor lâmina de água (25 %) (Figura 7d), pode ser explicado pela maior solubilidade do gesso agrícola no solo, em comparação ao calcário. Além disso, segundo Castellano e Dick (1991), as transformações do S no solo por parte da planta são por meio principalmente do aumento da biomassa microbiana presente na rizosfera. Inagaki et al. (2017) também observaram efeitos positivos no carbono orgânico do solo (COS) com a aplicação do calcário e gesso em sistema plantio direto.

#### 4.3 Teores de Ca, Mg, S, K e P nos componentes vegetais da planta

Os maiores teores de Ca na folha e no estipe foi verificado na lâmina de água de 100 % (Figuras 8a e 8b). A disponibilidade de água leva ao aumento da concentração de íons de Ca no citoplasma das células vegetais (GILROY; BETHKE; JONES, 1993). As plantas sob estresse hídrico reduzem o potencial hídrico nas raízes e folhas e, conseqüentemente, a absorção de Ca devido a menor disponibilidade de água (LEE et al., 2006). Por outro lado, o Ca também desempenha um papel importante no controle da estrutura e função da membrana celular (SIDDIQUI; AL-WHAIBI; BASALAH, 2011; SIDDIQUI et al., 2012). Atuando na mitigação dos efeitos adversos do estresse abiótico por meio da regulação do metabolismo antioxidante e das relações hídricas das plantas (SIDDIQUI et al., 2012; ZORRIG et al., 2012). As variações nos níveis de Ca são percebidas por proteínas específicas, sensores de Ca, que ativam várias respostas adaptativas (LEE; SEO, 2021).

Na raiz, o maior teor de Ca foi observado nas plantas da menor disponibilidade de água (Figura 8c). E isso pode estar relacionado com a baixa mobilidade do Ca, uma vez depositado em um órgão, há pouca ou nenhuma redistribuição (SAURE et al., 2005). Além disso, quaisquer condições que reduzam a taxa de transpiração, como o aumento do déficit de pressão de vapor

entre a superfície foliar e a atmosfera, ou o fechamento dos estômatos, podem inibir o transporte de cálcio das raízes para as folhas e frutos (DE FREITAS; MITCHAM, 2012).

Na folha o teor de Ca encontrar-se abaixo da faixa de suficiência (7,6 a 10 g kg<sup>-1</sup>) para palma de óleo (MATOS et al., 2016), embora o tratamento com associação da calagem e gessagem (T4) favoreceu o aumento de Ca foliar e no estipe (Figura 8a). A absorção desse íon também pode ser inibida pela presença de outros cátions como K<sup>+</sup> e Mg<sup>2+</sup> (TUTEJA; MAHAJAN, 2007). Jiang et al. (2020) observaram que a calagem aumentou a teor de Ca<sup>2+</sup>, mas inibiu o teor de N e Mg<sup>2+</sup> nas folhas de plantas de tabaco. O pH do solo (<5) também pode ter limitado a absorção deste nutriente pelas plantas, pois a disponibilidade de Ca<sup>2+</sup> às plantas é reduzida em solos ácidos (BUKVIĆ; STJEPANOVIĆ; ANTUNOVIĆ, 2002).

Na raiz os tratamentos somente com calagem (T2) e com associação da calagem e gessagem (T4) quando comparados à testemunha favoreceram os maiores teores de Ca (Figura 8c), enquanto na folha e estipe, somente o tratamento com associação do calcário e gesso (T4) propiciou o incremento no teor de Ca (Figuras 8a e 8b). Os resultados do presente estudo concordam com alguns autores, onde observaram o aumento no teor de Ca no tecido vegetal em plantas de trigo, arroz e soja após a aplicação de calcário e gesso (CAIRES et al., 2002; CRUSCIOL et al., 2016; SCHENFERT et al., 2020).

Observou-se no estipe e raiz os maiores teores de Mg na lâmina de água de 25 % (Figuras 8e e 8f). No entanto, essa absorção pelas raízes não foi o suficiente para manter o crescimento adequado das plantas (Figura 13), pois o Mg não está fisiologicamente disponível em condições de déficit hídrico (MERHAUT, 2007). Diferentemente das plantas sob lâmina de água de 100 % em que apresentaram melhor crescimento da parte aérea e da raiz (Figura 13).

O Mg é fisiologicamente móvel nas plantas e pode ser realocado, por meio do floema, de partes mais antigas para as partes mais jovens da planta em resposta a sua deficiência (AHANGER et al., 2016). Quando há deficiência de Mg, tal nutriente pode ser realocado de partes mais velhas e transportado por meio do floema para tecidos de crescimento ativo, como os meristemas de crescimento e as folhas jovens (AHANGER et al., 2016). Desta forma, essa realocação pode estar relacionada com o maior teor de Mg no estipe quando comparado às raízes, onde foi transferido das folhas mais velhas para o meristema apical das plantas (Figuras 9e e 9f).

A faixa de suficiência de Mg (2,2 a 2,9 g kg<sup>-1</sup>) na folha foi alcançada, mesmo não apresentando resposta significativa às lâminas de água e práticas corretivas (Figura 8d). Ao contrário do observado no presente trabalho, Caires et al. (2002) observaram efeito significativo no teor de Mg em folhas de plantas de trigo após a aplicação do calcário incorporada ao solo.

Assim como, Bossolani et al. (2018) verificaram aumento no teor de Mg foliar de plantas de milho após aplicação da gessagem.

Solos com temperaturas mais quentes e úmidos (Figura 8), como é o caso do ambiente deste estudo, tendem a maiores taxas de mineralização de S orgânico, o qual é convertido em  $\text{SO}_4^{2-}$  e absorvido pelas plantas (CAMBERATO; CASTEEL, 2017). A disponibilidade de S para as plantas está diretamente relacionada à taxa de mineralização do S orgânico e à presença de sulfatos no solo (SCHOENAU; MALHI, 2008). Tal fato pode estar relacionado ao maior teor de S no estipe das plantas por meio do tratamento somente com gessagem (T3) e com associação da calagem e gessagem (T4) (Figura 8h), o qual possui alta solubilidade e favoreceu a melhor absorção por plantas submetidas à menor disponibilidade de água (Figuras 8g, 8h e 8i). Este resultado concorda com alguns estudos, em que observaram aumentos no teor de S em plantas de trigo, arroz e solo, após a aplicação da gessagem (CAIRES et al., 2002; CRUSCIOL et al., 2016; SCHENFERT et al., 2020). O S desempenha um papel essencial na construção da síntese de proteínas e clorofila (DUKE et al., 1986; FOX et al., 2014).

Vários estudos demonstraram o impacto positivo da calagem sobre a atividade microbiana do solo (ARANTES; LAVORENTI; TORNISIELO, 2011; FUENTES et al., 2006; GARBUIO et al., 2011). A biomassa microbiana presente na rizosfera é capaz de mineralizar compostos orgânicos contendo S, convertendo-os em formas disponíveis para as plantas, como o sulfato (SAHA et al., 2019). Assim, isso pode estar relacionado ao efeito positivo dos tratamentos que receberam calagem (T2 e T4) na absorção de S pelas plantas deste estudo, favorecendo o maior teor no estipe (Figura 8h). Diferentemente do observado por Schenfert et al., (2020), em que constataram redução no teor de S foliar em plantas de soja com a aplicação do calcário. Além disso, embora nas folhas o teor de S não tenha apresentado resposta significativa às lâminas de água e práticas corretivas, mas a faixa de suficiência de S (1,1 a 1,7  $\text{g kg}^{-1}$ ) foi alcançado neste estudo (Figura 8g).

O teor de K no estipe e raiz foi maior na lâmina de água de 25 % (Figuras 9b e 9c). Na folha o teor de K, alcançou a faixa de suficiência (7,1 a 9  $\text{g kg}^{-1}$ ), embora a resposta não significativa às lâminas de água e práticas corretivas (MATOS et al., 2016) (Figura 9a). Em condições de seca o K pode ser utilizado por várias espécies como osmólito compatível durante a acumulação de solutos para manter a pressão de turgescência celular (OOSTERHUIS; WULLSCHLEGER, 1987).

A disponibilidade adequada de K, pode contribuir para a melhoria do ajuste osmótico, resultando em uma manutenção de maior pressão de turgor, conteúdo relativo de água e potencial osmótico mais negativo. Assim, melhorando a capacidade das plantas de tolerar o

estresse hídrico (KANT; KAFKAFI, 2002; EGUILA; DAVIES; BOUTTON, 2005). Os resultados do presente estudo corroboram Cheng-xu et al. (2011), em que observaram aumento no teor foliar de K em palma de óleo submetida ao déficit hídrico. Egilla; Davies; Drew, (2001) verificaram ainda que a adequada nutrição de K as plantas, pode minimizar os danos causados às raízes e aumentar a resistência da planta diante o déficit hídrico.

O tratamento somente com a calagem (T2) apresentou maior teor de K no estipe em relação à testemunha (T1), porém o tratamento somente com calagem (T2) não diferiu estatisticamente do tratamento somente com gessagem (T4) e com associação da gessagem e calagem (T4), que não diferiram do testemunho (T1) (Figura 9b). Enquanto na raiz, o tratamento que recebeu somente a calagem (T2), somente gessagem (T3) e associação da calagem e gessagem (T4) promoveram maiores teores em relação à testemunha (T1) (Figura 9c). Diferentemente de Schenfert et al., (2020), em que verificaram redução no teor de K em plantas de soja, após utilização de calcário e gesso. Egilla; Davies; Drew (2001) observaram em plantas de *Hibiscus rosa-sinensis* L. cv. Leprechaun menores teores de K no tecido vegetal com o aumento no teor de Ca.

O teor de P na folha atingiu a faixa de suficiência (1,6 a 2,0 g kg<sup>-1</sup>) (MATOS et al., 2016) para a cultura nas lâminas de água e nos tratamentos que receberam calcário e gesso (T2, T3 e T4), apesar da resposta não significativa (Figura 9d). No estipe e raiz os teores de P apresentaram resultados semelhantes, com maior valor na lâmina de água de 25 % (Figuras 9b e 9c). Conforme Suriyagoda et al. (2014) as diferenças no crescimento das plantas e a quantidade de P absorvida do solo, podem ser influenciadas por diversos fatores, tais como a taxa de secagem, umidade do solo, capacidade de absorção pela planta e a plasticidade do sistema radicular. O resultado do presente estudo diferiu de Getachew (2014), onde observou o teor de P no tecido vegetal de soja ser afetada pelos níveis de deficiência hídrica. O P pode atenuar também os efeitos de déficit hídrico e melhorar o crescimento tanto da parte aérea quanto de raízes das plantas (SAWWAN et al., 2000).

O teor de P no estipe foi maior nos tratamentos que receberam somente a calagem (T2) e somente a gessagem (T3) em relação à testemunha (T1), entretanto, os tratamentos T2 e T3 não diferiram do tratamento T4 e este não diferiu da testemunha (T1) (Figura 9b). A aplicação de calcário e adubação fosfatada (SP-36), favoreceram o teor de P no estipe de palma de óleo (HASTUTI; ROHMIYATI, 2020). Estes autores verificaram o maior teor de P no estipe em comparação às folhas. Schenfert et al. (2020) também observaram resultados significativos com aplicação de gesso no aumento de P em plantas de soja. Diante disso, a maior absorção de P verificada neste estudo trabalho, pode estar associada a exploração do solo em profundidade,

aumentando o volume de solo alcançado para camadas mais subsuperficiais (WANG; SHEN; LIAO, 2010).

#### 4.4 Acúmulos de Ca, Mg, S, K e P nos componentes vegetais da planta

O efeito positivo no acúmulo de Ca nos componentes da planta pelos tratamentos que receberam somente calagem (T2), somente gessagem (T3) e associação da calagem e gessagem (T4) quando comparados à testemunha (T1), na lâmina de água de 100 % (Figuras 10a, 10b e 10c), pode estar relacionado aos benefícios que tais práticas proporcionam, como o fornecimento de Ca na camada superficial e subsuperficiais do solo. Além disso, o Ca é imóvel e em condições de seca a absorção pelo sistema radicular e o acúmulo nas folhas são reduzidos, devido ao declínio na taxa de transpiração (BROWN et al., 2006). Desta forma, em condições de água disponível em quantidade compatível com as necessidades hídricas, as plantas tendem a absorver e acumular Ca de acordo com suas necessidades fisiológicas (NAEEM et al., 2017).

Conforme Karley et al. (2000) uma grande quantidade de Ca na seiva do xilema está relacionada à distribuição desse íon para a parte aérea da planta. No presente estudo observou-se maior acúmulo de Ca nas folhas (Figura 10a) em relação às raízes (Figura 10c). Assim, tal fato pode estar relacionado com a grande quantidade de Ca na seiva do xilema. Na folha, o Ca geralmente percorre a rota apoplástica do fluxo de transpiração e se acumula nas células do mesofilo, tricomas, ou células epidérmicas adjacentes às células guarda, isso varia conforme a espécie vegetal (KARLEY et al., (2000).

Em condições de déficit hídrico a assimilação de macronutrientes do solo é reduzida e afeta o teor na planta (SURIYAGODA et al., 2014). Tal fato pode ter relação com o maior acúmulo de Mg na lâmina de água de 100 % na folha, estipe e raiz (Figuras 10d, 10e e 10f). Por outro lado, Li et al. (2023) observaram aumento de Mg no tecido vegetal em plantas de pepino sob déficit hídrico aos 15 dias de cultivo. A disponibilidade de Mg pode ser afetada também pela presença de outros íons ( $K^+$ ;  $Ca^{2+}$  e  $NH_4^+$ ) no solo (CAZZOLA et al., 2020). O  $K^+$  pode ser um potente antagonista do Mg, uma vez que as células da raiz possuem sistemas de transporte específicos para o  $K^+$  que competem pela absorção com o  $Mg^{2+}$  (SENBAYRAM et al., 2015).

O maior acúmulo de Mg no estipe, favorecido pelo tratamento que recebeu somente calagem (T2), somente gessagem (T3) e associação da calagem e gessagem (T4) quando comparados à testemunha (T1) (Figura 10e), pode ter relação com o Mg fornecido pela calagem, a qual é fonte deste nutriente às plantas (ASSUNÇÃO et al., 2020). Os resultados deste estudo corroboram com Rengel (1992), em que verificou o maior acúmulo de Mg pela parte aérea de

plantas de azevém com aplicação de calcário. O gesso pode reduzir a toxidez do  $Al^{3+}$  e pode ser benéfico a absorção do Mg, pois este nutriente pode ser deslocado para camadas mais profundas do solo e coincidir com a zona de absorção mais ativas das raízes.

As plantas absorvem o S principalmente na forma de íons sulfato ( $SO_4^{2-}$ ) pelas raízes, e o transporte desse nutriente ocorre, geralmente, através do xilema (VITTI et al., 2018). Entretanto, em condições de seca a disponibilidade de  $SO_4^{2-}$  é limitada para a parte aérea, acarretando a regulação negativa da via de assimilação de S nas folhas (AHANGER et al., 2016). Assim, tal fato pode explicar o maior acúmulo de S nos componentes vegetais da palma de óleo no tratamento da maior disponibilidade de água (Figuras 10g, 10h e 10i).

O maior acúmulo de S na raiz favorecido pelo tratamento somente com calagem (T2) quando comparado à testemunha (T1) (Figura 10i) e o maior acúmulo no estipe, favorecido pelo tratamento que recebeu somente calagem (T2), somente gessagem (T3) e com associação da calagem e gessagem (T4) quando comparados à testemunha (T1) (Figuras 10h), pode ser explicado pelo S proporcionado por meio do sulfato de amônio e gesso agrícola, sendo as fontes de S usadas no presente estudo. Resultados semelhantes foram observados por Gomes Vieira et al. (2022), em que observaram incremento na absorção de S com a aplicação de calcário em cladódios de plantas de pitaia. Sanderson; Gupta (1993) também observaram que a absorção de S aumentou com aplicação de gesso em plantas de batata.

Sob condições de déficit hídrico a capacidade da planta em absorver K pode ser reduzida (WANG et al., 2013). Isso ocorre devido a quantidade de água disponível no solo influenciar a atividade dos transportadores iônicos nas membranas das células radiculares. (WANG et al., 2013). Assim, em condições de seca, a taxa de transporte de K para dentro das células das raízes diminui, limitando assim sua alocação na parte aérea e na raiz da planta (WANG et al., 2013). Desta forma, é possível inferir que houve uma maior absorção de K na maior disponibilidade de água, favorecendo o maior acúmulo em plantas submetidas à lâmina de água de 100 % (Figuras 11b e 11c).

A calagem favorece a disponibilidade do  $Ca^{2+}$  no solo, o qual ocupa os sítios de troca e promove a liberação do K trocável no solo, uma vez que o  $CO_3^{2-}$  liberado na dissociação precipita o  $Al^{3+}$  na forma de hidróxidos (DAS; SAHA, 2014). O S pode aumentar a absorção de K pelas oleaginosas e sua produtividade (DALIPARTHY; BARKER; MONDAL, 1994). Portanto, isso pode explicar o efeito positivo dos tratamentos que receberam somente calagem (T2), somente gessagem (T3) e associação da calagem e gessagem (T4) em relação à testemunha (T1), no acúmulo do  $K^+$  nas plantas do presente estudo (Figuras 11b e 11c). O

suprimento de S também favoreceu o incremento da absorção de K por plantas de alfafa e crotalária (RAZMJOO; HENDERLONG, 1997; SAHA et al., 2013).

Sob condições de redução da umidade do solo a capacidade da planta de absorver o P disponível pode ser reduzida (SURIYAGODA et al., 2014). Tal condição pode levar ainda a menor atividade de microrganismos no solo responsáveis pela ciclagem de nutrientes, como a mineralização de P a partir da MOS. Tal fato pode estar relacionado ao maior acúmulo de P por plantas de palma de óleo submetidas à maior disponibilidade de água (Figuras 11d e 11f). Por outro lado, as plantas desenvolvem diversas características para lidar com a absorção do P em condições variadas de disponibilidade hídrica e do nutriente no solo para manterem suas funções metabólicas ativas dentro de uma ampla faixa de condições ambientais (SURIYAGODA et al., 2014).

Os maiores acúmulos de P na folha foi observado no tratamento somente com calagem (T2) quando comparado à testemunha (T1), porém o tratamento T2 não apresentou diferença estatística dos tratamentos somente com gessagem (T3) e com associação da calagem e gessagem (T4), da mesma forma que estes não diferiram da testemunha (T1) (Figura 11d). Enquanto no estipe, os tratamentos que receberam somente calagem (T2), somente gessagem (T3) e com associação da calagem e gessagem (T4) favoreceram maiores acúmulos em relação à testemunha (T1) (Figura 11e). A aplicação de calcário em solos ácidos contribui com a absorção de P, favorecendo o desenvolvimento das raízes das plantas (SILVEIRA et al., 2018). O P presente no gesso como impureza, pode ser importante para a nutrição das plantas quando são aplicadas altas doses de gesso (SUMNER et al., 1986). O uso do gesso pode resultar no aumento da capacidade das plantas de tolerar e resistir a fatores de estresse bióticos e abióticos, auxiliando na síntese de proteínas, compostos contendo clorofila e no aumento da absorção de P e N (WIEDENFELD et al., 2011; CAPALDI et al., 2015).

Além disso, estudos verificaram plantas aumentarem a sua capacidade de absorção de fosfato, em meio ao déficit de tal nutriente no solo (CLARKSON; LUETTGE, 1991; CLARKSON; SCATTERGOOD, 1982). Aumentos no teor foliar de P em três culturas de soja, acompanhando os ganhos na disponibilidade do nutriente no solo com a aplicação de altas doses de gesso, foram obtidos por Caires et al. (2003).

#### 4.5 Teor relativo de água (TRA) e potencial hídrico foliar

O TRA constitui parâmetro direto e promissor para monitorar o risco de mortalidade da planta induzida pela seca, uma vez que representa o percentual em relação ao máximo de

hidratação que o tecido avaliado poderia apresentar em condições hídricas ótimas (TRIFILÒ et al., 2023). Tal parâmetro tem relação com o potencial hídrico, visto que quanto mais hidratado um tecido, mais alto o potencial hídrico nas plantas. Assim, a pressão na qual ocorre o extravasamento de seiva reflete a tensão com que a água está retida nos tecidos, sendo mais negativo, quanto menor o potencial hídrico destas plantas (ASEMOTA; CONAIRE, 2010). Assim, em plantas que não dispõem de mecanismos de tolerância à seca, em condições de estresse hídrico, há um declínio contínuo do teor de água foliar da planta (ASEMOTA; CONAIRE, 2010). Comportamento este que foi observado nas plantas submetidas à lâmina de água de 25 % do presente estudo (Figura 12a).

Conforme Blanch et al. (2017), o TRA inferior a 30 % tem o potencial de induzir danos irreversível ao desempenho do processo fotossintético da planta. Diferentemente do resultado observado nas plantas submetidas ao déficit hídrico que obtiveram o TRA superiores (56,23 %) (Figura 12b). A redução no TRA também pode ocorrer em resposta a elevadas temperaturas, como mostrado por Sameena; Sabina (2021). Apesar das plantas terem sido cultivadas em temperaturas relativamente altas (Figura 1), observa-se o TRA superior a 50 % para ambas às lâminas aplicadas (Figura 12a).

O maior valor do TRA foi observado no tratamento com associação da calagem e gessagem (T4) em relação à testemunha (Figura 12a). Este resultado pode estar relacionado com o papel do  $\text{Ca}^{2+}$  como sinalizador de déficit hídrico para a ativação de diferentes mecanismos fisiológicos de tolerância à seca, bem como nas atividades fotossintéticas, absorção de nutrientes minerais e transporte de água dentro da planta (PATHAK et al., 2020). Além disso, ele exerce controle sobre o desequilíbrio osmótico ao influenciar diretamente a condutância estomática e a taxa de transpiração da planta (GILLIHAM et al., 2011; GUO et al., 2018).

Em resposta às condições mais secas, as plantas podem adotar estratégias para aumentar a resistência à formação de embolia no xilema (BLACKMAN et al., 2014), diminuindo o potencial hídrico foliar através da perda de turgor nas folhas e ou concentração de osmólitos compatíveis (BARTLETT et al., 2012). Caso os potenciais hídricos atinjam níveis moderadamente baixos, o fluxo de água pode ser completamente interrompido, resultando em dessecação total e levando à morte das plantas (CHOAT et al., 2012; TYREE; SPERRY, 1988). Desta forma, isso pode estar relacionado ao menor valor do potencial hídrico foliar em plantas submetidas à menor disponibilidade hídrica (Figura 12b). Silva et al. (2017) constataram valores de -1,12 MPa de potencial hídrico foliar em plantas cultivadas com a lâmina de água de 20 % e de -0,57 MPa na lâmina de água de 100 % da ETc aos 121 DAT em plantas de coqueiro.

O potencial hídrico com valor inferior a  $-1,5$  MPa foi reconhecido como indicativo de uma condição de seca severa em inúmeras espécies vegetais, devido ao seu impacto substancial sobre as funções fisiológicas. Tais como redução da taxa fotossintética, condutância estomática e modificações em certos metabólitos da planta (VÁSQUEZ ROBINET et al., 2010; LIU et al., 2011; KAKUMANU et al., 2012; JAZAYERI et al., 2015). Contudo, vale ressaltar que o valor mínimo de potencial hídrico suportado pela planta sem que haja sua morte depende da espécie em questão e do grau de tolerância à seca que esta apresenta. As plantas do presente estudo submetidas ao déficit hídrico obtiveram valores superiores a  $-1,5$  MPa (Figura 12b), entretanto, foi o suficiente para causar estresse hídrico e causar redução no crescimento das plantas e conseqüentemente, na produção de massa seca (Figura 13).

O maior valor do potencial hídrico foliar foi observado no tratamento somente com calagem (T2) em relação à testemunha (T1) e o tratamento somente com gessagem (T3), entretanto, o tratamento T2 não apresentou diferença estatística em relação ao tratamento com associação da calagem e gessagem (T4) (Figura 12b). Este resultado pode estar relacionado à correção da acidez do solo e à expansão do sistema radicular na camada superficial e subsuperficial do solo. As raízes da palma de óleo estão concentradas em grande proporção na camada superficial do solo e possuem grandes quantidades de raízes finas e pêlos radiculares, principais absorvedores da água do solo (ZURAI DAH; ZULKIFLI, 2015; XIAO et al., 2020;). De acordo com Silva et al. (2019) o desenvolvimento do sistema radicular em profundidade pode mitigar o estresse hídrico das plantas. Villalobos; Umaña; Chinchilla (1992) verificaram que plantas de palma de óleo aos 10 meses do plantio, não conseguiram manter um alto nível de água foliar, possivelmente atribuída à ausência de um estipe volumoso e de um sistema radicular desenvolvido.

#### 4.6 Produção de massa seca dos componentes vegetais da planta

A maior disponibilidade hídrica e os tratamentos que receberam calagem e gessagem em relação à testemunha (T1), promoveram a maior produção de massa seca das plantas de palma de óleo (Figura 13a, 13b e 13c). As plantas quando em déficit hídrico tem a capacidade de suas raízes reduzida para absorver água e nutriente, pois há um declínio na demanda por nutrientes (MANZOOR ALAM, 1999). Conforme este autor, o status hídrico da planta estar relacionado ao desenvolvimento do sistema radicular e durante o período de estresse hídrico, a sua atividade e a sua permeabilidade podem ser alteradas substancialmente para níveis mais baixos.

As plantas submetidas à maior lâmina de água apresentaram os menores teores e maiores acúmulos dos nutrientes. Tal fato pode estar relacionado a uma possível diluição nos teores dos nutrientes conforme o aumento na produção da massa seca. Para manter seus altos níveis de biomassa e produção de massa seca, a palma de óleo demanda por grande quantidade de nutrientes tais como o N, Ca, Mg, K e P (GOH et al., 1997; NG, 1977; MOHAMAD; DOMAT, 2006). O Mg desempenha papéis específicos e importantes no metabolismo das plantas, especialmente na formação de matéria seca e partição de carbono para formação dos órgãos (CAKMAK et al. 1994a; CAKMAK et al. 1994b; DING et al., 2006). O suprimento com K e S também favoreceu o incremento da produção de matéria seca em plantas de batata (*Solanum tuberosum* L.) (MOINUDDIN; UMAR, 2004).

## 5. CONCLUSÕES

De modo geral, a aplicação do calcário incorporado na camada superficial, demonstra melhorias nas propriedades químicas do solo na camada superficial e subsuperficial. Destacam-se aumento na disponibilidade de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , S,  $\text{K}^+$ , P nos teores de C lábil do solo rizosférico. Além disso, a menor disponibilidade hídrica afetou o processo de transporte desses nutrientes em direção às raízes das plantas, levando a maiores concentrações desses nutrientes no solo, principalmente de bases trocáveis, assim favorecendo menores teores de  $\text{Al}^{3+}$  e aumento na m %, V % e CTC potencial.

Por outro lado, as plantas submetidas a maior lâmina de água e à calagem apresentaram expansão no sistema radicular, aumentando a capacidade na absorção dos nutrientes e água do solo. Assim, há contribuição com maiores acúmulos dos nutrientes e produção da massa seca da parte aérea e raiz. Embora tais plantas submetidas à maior lâmina de água apresentarem menores teores dos nutrientes, provavelmente devido uma possível diluição, conforme o aumento na produção da massa seca. Ainda, tais tratamentos influenciaram positivamente na hidratação celular, evidenciado pelo incremento no teor relativo de água e no potencial hídrico foliar da palma de óleo.

A calagem e a gessagem contribuem ao aumento da disponibilidade de nutrientes, porém somente estas práticas de manejo não são suficientes para atenderem a demanda nutricional da palma de óleo. A partir desse cenário, novas pesquisas com fertilizantes são necessárias, pois em condições ótimas de disponibilidade hídrica, aumenta-se a demanda de nutrientes pela planta, considerando o aumento no seu potencial de crescimento e, conseqüentemente, a

quantidade recomendada de adubação não consegue suprir totalmente a sua demanda nutricional.

## REFERÊNCIAS

- AHANGER, M. et al. **Water Stress and Crop Plants: A Sustainable Approach**. Em: AHMAD, P. (Ed.). **Water stress and crop plants: a sustainable approach**. John Wiley & Sons ed. [s.l: s.n.]. v. 2p. 649–668.
- AHMA, F.; TAN, K. H. **Effect of Lime and Organic Matter on Soybean Seedlings Grown in Aluminum-toxic Soil**. *Soil Science Society of America Journal*, v. 50, p. 656–66, 1986.
- ALEMU, E.; SELASSIE, Y. G.; YITAFERU, B. **Effect of lime on selected soil chemical properties, maize (*Zea mays* L.) yield and determination of rate and method of its application in Northwestern Ethiopia**. *Heliyon*, v. 8, n. 1, 1 jan. 2022.
- ALLEONI, L. R. F. et al. **Acidity and Aluminum Speciation as Affected by Surface Liming in Tropical No-Till Soils**. *Soil Science Society of America Journal*, v. 74, n. 3, p. 1010–1017, maio 2010.
- ALLEVA et al. **Plasma membrane of beta vulgaris storage root shows high water channel activity regulated by cytoplasmic pH and a dual range of calcium concentrations**. *Journal of Experimental Botany*, v. 57, n.3, p. 609–621, 2006.
- AMEYU, T. A **Review on the potential effect of lime on soil properties and crop productivity improvements**. *Journal of Environment and Earth Science*, v. 9, n. 2225– 0948, p. 17–23, 2019.
- ANDERSON, G. C. et al. **Short-and long-term effects of lime and gypsum applications on acid soils in a water-limited environment: 2. soil chemical properties**. *Agronomy*, v. 10, n. 12, 1 dez. 2020.
- ANTONANGELO, J. A. et al. **Lime and calcium-magnesium silicate cause chemical attributes stratification in no-till fields**. *Soil and Tillage Research*, v. 224, 1 out. 2022.
- ARANTES, S. A. DO C.; LAVORENTI, A.; TORNISIELO, V. L. **Effect of liming on the mineralization of 14 C-glyphosate in soils**. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 35, n. 2, p. 234–241, 2011.
- ASEMOTA, O.; CONAIRE, B. **Identification of moisture stress tolerant oil palm genotypes**. *African Journal of Agricultural Research*, v. 5, n. 22, p. 3116–3121, 2010.
- ASSUNÇÃO, N. S. et al. **Tuber yield and allocation of nutrients and carbohydrates in potato plants as affected by limestone type and magnesium supply**. *Journal of Plant Nutrition*, v. 43, n. 1, p. 51–63, 2 jan. 2020.
- AYANDA, A. F. et al. **Utilization of magnesium-rich synthetic gypsum as magnesium fertilizer for oil palm grown on acidic soil**. *PLoS ONE*, v. 15, n. 6 June, 1 jun. 2020.
- BALIGAR, V.C. **Potassium uptake by plants, as characterized by root density, species and K/Rb ratio**. *Plant and Soil*, v.85, p. 43–53, 1985.

BARBER, S.A. **A diffusion and mass flow concept of soil nutrient availability.** Soil Sci. v, 93, p.39-49,1962.

BARBER, S.A. Potassium availability at the soil-root interface and factors influencing potassium uptake. In: **Potassium in Agriculture.** (Org.). MUNSON, R.D., Ed., ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI, 1985, pp. 309-342.

BARCELOS, E.; CUNHA, R. N. V.; NOUY, B. Recursos genéticos de dendê (*Elaeis guineensis*, Jacq. e *Elaeis oleifera* (Kunth), Cortés) disponíveis na Embrapa e sua utilização. In: MÜLLER, A. A.; FURLAN JÚNIOR, J. **Agronegócio do dendê: uma alternativa social, econômica e ambiental para o desenvolvimento sustentável da Amazônia.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2001. v. 1, p. 131-143.

BARTLETT MK, SCOFFONI C, SACK L. **The determinants of leaf turgor loss point and prediction of drought tolerance of species and biomes: a global meta-analysis.** Ecology Letters, v.15: 393–405, 2012.

BASSO, C. J. et al. **Intervenção mecânica e gesso agrícola para mitigar o gradiente vertical de cátions sob sistema de plantio direto.** Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 45, n. 4, p. 456–463, 1 out. 2015.

BENEZOLI, V. H. et al. **Modeling oil palm crop for Brazilian climate conditions.** Agricultural Systems, v. 190, n. 1, 2021.

BLACKMAN CJ, GLEASON SM, CHANG Y, COOK AM, LAWS C, WESTOBY M. **Leaf hydraulic vulnerability to drought is linked to site water availability across a broad range of species and climates.** Annals of Botany v.114, p.435–440, 2014.

BLANCH, M. et al. **Water relations, short-chain oligosaccharides and rheological properties in lettuces subjected to limited water supply and low temperature stress.** Scientia Horticulturae, v. 225, p. 726–735, 18 nov. 2017.

BONGIORNO, G. et al. **Sensitivity of labile carbon fractions to tillage and organic matter management and their potential as comprehensive soil quality indicators across pedoclimatic conditions in Europe.** Ecological Indicators, v. 99, p. 38–50, 1 abr. 2019.

BOSSOLANI, J. W. et al. **Surface reapplication of lime and gypsum on maize cultivated sole and Intercropped with Urochloa.** Communications in Soil Science and Plant Analysis, v. 49, n. 15, p. 1855–1868, 22 ago. 2018.

BOTELHO, S. M.; VIEGA, I., J., M.; SHU, E., Y. **Doses de N, P e K na nutrição e no crescimento de mudas de dendzeiro.** Embrapa CPATU. Belém-PA, n. 93, 1998. 15p. Boletim técnico.

BOXMAN, A. W.; PETERS, R. C. J. H.; ROELOFS, J. G. M. **Long term changes in atmospheric N and S throughfall deposition and effects on soil solution chemistry in a Scots pine forest in the Netherlands.** Environmental Pollution, v. 156, n. 3, p. 1252–1259, dez. 2008.

BRADY, N.C.; WEIL, R.R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos.** (3. Ed). Porto Alegre: Bookman, 2013. 790p.

BRASIL, E. C.; CRAVO, M. S. Interpretação dos resultados da análise de solo. In BRASIL, E. C.; CRAVO, M. S.; VIEGAS, E. J. M. (Org.). **Recomendações de calagem e adubação para o estado do Pará.** 2. ed. Brasília: Embrapa, 2020. p. 61-64.

BRASIL, E. C.; LIMA, E. V.; CRAVO, M. S. Uso de gesso na agricultura. In BRASIL, E. C.; CRAVO, M. S.; VIEGAS, E. J. M. (Org.). **Recomendações de calagem e adubação para o estado do Pará.** 2. ed. Brasília: Embrapa, 2020. p. 135-145.

BRIEDIS, C. et al. **Can highly weathered soils under conservation agriculture be C saturated?** *Catena*, v. 147, p. 638–649, 1 dez. 2016.

BROADLEY, M., BROWN, P., CAKMAK, I., RENGEL, Z., ZHAO, F. Function of nutrients: micronutrientes. IN: MARCHNER, P. **Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants.** 3. ed. Oxford: Elsevier, 2012. p.191–249.

BROWN, C.E., PEZESHKI, S.R. PEZESHKI; DELAUNE, R.D. **The effects of salinity and soil drying on nutrient uptake and growth of *Spartina alterniflora* in a simulated tidal system.** *Environ. Exp. Bot.*, v.58, p.140-148, 2006.

BUKVIĆ, G.; STJEPANOVIĆ, M.; ANTUNOVIĆ, M. **Effect of soil pH on p and ca uptake to the above ground biomass of Alfalfa (*Medicago sativa* L.).** Original scientific paper, v. 25, p. 1–10, 18 jul. 2002.

CAIRES, E. F. et al. **Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicado na implantação do sistema plantio direto.** *Revista Brasileira de Ciência do solo*, v. 27, p. 275–286, 2003.

CAIRES, E. F. et al. **Lime and gypsum application on the wheat crop.** *Scientia Agricola*, v. 59, n. 2, p. 357–364, 2002.

CAKMAK, I.; HENGELER, C.; MARSCHNER, H. **Changes in phloem export of sucrose in leaves in response to phosphorus, potassium and magnesium deficiency in bean plants.** *J Exp Bot*, v. 45, p.1251–1257, 1994b.

CAKMAK, I.; HENGELER, C.; MARSCHNER, H. **Partitioning of shoot and root dry matter and carbohydrates in bean plants suffering from phosphorus, potassium and magnesium deficiency.** *J Exp Bot*, v. 45, p.1245–1250, 1994a.

CAMBERATO, J.; CASTEEL S. **Sulfur deficiency.** Purdue Univ Dep of Agronomy, Soil Fertility Update. 2017.

CAPALDI, F.R.; GRATÃO, P.L.; REIS, A.R.; LIMA, L.W.; AZEVEDO, R.A. **Sulfur metabolism and stress defense responses in plants.** *Trop. Plant Biol.* v. 8, p.60–73, 2015.

CARMO, C.A.F.S. et al. **Métodos de análise de tecidos vegetais.** Embrapa Solos: Rio de Janeiro, (Embrapa Solos. Circular Técnica; 6), 2009, 41p.

CARVALHO, M.C.S.; RAIJ, B. **Calcium sulphate, phosphogypsum and calcium carbonate in the amelioration of acid subsoils for root growth.** *Plant and Soil*, v. 192, p.37-48, 1997.

CASTELLANO, S.D.; DICK, R.P. **Influence of cropping and sulfur fertilization on transformations of sulfur in soils.** *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.55, n.1, p.283-285, 1991.

CAZZOLA, R. et al. **Going to the roots of reduced magnesium dietary intake: A tradeoff between climate changes and sources.** *Heliyon*, v. 6, n. 11, 1 nov. 2020.

CHA-UM, S. et al. **Physiological features and growth characters of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) in response to reduced water-deficit and rewatering.** *Australian Journal Crop Science*, v.7, n. 3, p. 432-439, 2013.

CHAVES, C.A. **Effect of liming the growth of oil palm seedlings and in the chemical properties of a yellow latosol from Santa Bárbara, PA, Brazil.** *Revista de Ciência Agrária*. n. 40, p.81-92, 2003.

CHENG-XU, S et al. **Growth and physiological responses to water and nutrient stress in oil palm.** *African J of Biotechnology*, v.10, n.51, p.10465-10471, 2011.

CHOAT B.; JANSEN S.; BRODRIBB T.J.; COCHARD H., DELZON S.; BHASKAR R.; ZANNE A.E. **Global convergence in the vulnerability of forests to drought.** *Nature*, v.491, p.752–755, 2012.

CLARKSON D. T.; LÜTTGE U. **Mineral nutrition: Inducible and repressible nutrient transport systems.** *Progr. Bot.* v.52, p.61–83, 1991.

CLARKSON D. T.; SCATTERGOOD C. B. **Growth and phosphate transport in barley and tomato plants during development of and recovery from phosphate stress.** *J. Exp. Bot.* v.33, p.865–875, 1982.

CORANDI JUNIOR, E. et al. **Effects of Liming on Soil Physical Attributes: A Review.** *Journal of Agricultural Science*, v. 12, n. 10, p. 278, 15 set. 2020.

CORLEY, R.H.V., TINKER, P.B. **The Oil Palm.** 4 ed. Blackwell Science, Ltd., Oxford, UK, 2003.

CORLEY, R.H.V.; TINKER, P.B. **The Oil Palm.** 5. ed.; John Wiley & Sons: Oxford, UK, pp. 341–342, 2016.

COSTA, Sérgio José da. **Avaliação biométrica e fisiológica na fase vegetativa do dendezeiro (*Elaeis Guineensis* Jacq.) em Região de Cerrado do Tocantins.** 2016. Tese (Doutorado em produção vegetal) - Universidade Federal do Tocantins, Gurupi-TO, 2016.

COSTA, Sidney Daniel Araújo. **Uso combinado de calcário e gesso sobre atributos químicos do solo, nutrição e produção de milho.** Orientador: Mário Lopes da Silva Júnior. 2018. 99f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA, Belém, PA, 2018.

COTRINA CABELLO, G. G. et al. **Plant adaptability to climate change and drought stress for crop growth and production.** CABI Reviews, v. 2023, jan. 2023.

CRUSCIOL, C. A. C. et al. **Soil fertility, plant nutrition, and grain yield of upland rice affected by surface application of lime, silicate, and phosphogypsum in a tropical no-till system.** Catena, v. 137, p. 87–99, 1 fev. 2016.

CRUSCIOL, C. A. C. et al. **Soil Fertility, Sugarcane Yield Affected by Limestone, Silicate, and Gypsum Application.** Communications in Soil Science and Plant Analysis, v. 48, n. 19, p. 2314–2323, out. 2017.

CRUZ, F.J.R. Toxic Aluminum and Water Deficit Interaction in Plants: Physiological Aspects and Chemical Soil Management to Improve Root Environment in the Context of Global Climate Change. In: OLIVEIRA, M.T.T.; SILVA, A.A.A.F. (Org.). **Abiotic Stress in Plants - Adaptations to Climate Change.** 2023, p. 1-16.

CUNHA, R. N. V. et al. Produção de híbridos interespecíficos entre o caiaué (*Elaeis oleifera* Kunt, Cortez) e o dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jacq.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 2., 2006, Varginhas- MG. **Anais...** Varginhas - MG: UFLA, 2006, p. 292-297.

CUNHA, R. N.V.; LOPES, R. **BRS Manicoré: híbrido interespecífico entre o caiaué e o dendezeiro africano recomendado para áreas de incidência de amarelecimento-fatal.** Embrapa: Manaus – AM, 2010. Comunicado técnico 85, 4 p.

DAI, Z. et al. **Potential role of biochars in decreasing soil acidification - A critical review.** Science of the Total Environment, v. 581–582, p. 601–611, 1 mar. 2017.

DALIPARTHY, J.; BARKER, A. V.; MONDAL, S. S. **Potassium fractions with other nutrients in crops: A review focusing on the tropics.** Journal of Plant Nutrition, v. 17, n. 11, p. 1859–1886, 1 out. 1994.

DAS, R.; SAHA, D. **Effect of liming on the changes of different forms of potassium in an acid soil treated with N and K fertilizers.** J. Indian Chem. Soc., v. 91, p. 1–7, 2014.

DE CAMPOS, M. et al. **Deep tilling and localized liming improve soil chemical fertility and sugarcane yield in clayey soils.** Soil and Tillage Research, v. 222, p. 1–6, 1 ago. 2022.

DE FREITAS, T.; MITCHAM, E.J. **Factors involved in fruit calcium deficiency disorders.** Hortic. Rev. v.40, 107–146, 2012.

DE MORAES, F. A. et al. **Lime incorporation up to 40 cm deep increases root growth and crop yield in highly weathered tropical soils.** European Journal of Agronomy, v. 144, 1 mar. 2023.

DE VARGAS, J. P. R. et al. **Application forms and types of soil acidity corrective: Changes in depth chemical attributes in long term period experiment.** Soil and Tillage Research, v. 185, p. 47–60, 1 jan. 2019.

DING, Y.; LUO, W.; XU, G. **Characterisation of magnesium nutrition and interaction of magnesium and potassium in rice.** *Ann Appl Bio*, v.1149, p.111–123, 2006.

DORDAS, C.; BROWN, P.H. **Permeability of boric acid across lipid bilayers and factors affecting it.** *J. Membr. Biol.* v.175, p.95–105, 2000.

DUKE, S.H; REISENAUER, H. **Funções e requisitos de enxofre na nutrição de plantas.** *Enxofre na agricultura*, p.123–168, 1986.

EGILLA, J. N.; DAVIES, F. T.; DREW, M. C. **Effect of potassium on drought resistance of Hibiscus rosa-sinensis cv. Leprechaun: Plant growth, leaf macro- and micronutrient content and root longevity.** *Plant and Soil*, v. 229, n. 2, p. 213–224, 2001.

EGUILA, JN; DAVIES, TF; BOUTTON, TW. **O estresse hídrico influencia o conteúdo de água nas folhas, a fotossíntese e a eficiência do uso da água do hibiscus rosa-sinensis em três concentrações de potássio.** *Photosynthetica*, v.43, p.135–140, 2005.

ESPER NETO, M. et al. **Short-term effects of liming on chemical attributes of tropical sandy soil and soybean (*Glycine max* L.) yield.** *Australian Journal of Crop Science*, v. 13, n. 6, p. 889–894, 1 jun. 2019.

FAGERIA, N. K.; NASCENTE, A. S. **Management of soil acidity of South American soils for sustainable crop production.** *Advances in Agronomy*, v. 128 p. 221–275, 2014.

FARINA, M.P.W., 1997. Management of subsoil acidity in environments outside the humid tropics. In: MONIZ, A.C. et al. (Org.). **Plant-Soil Interactions at Low pH: Sustainable Agriculture and Forestry Production.** Brazilian Soil Science Society, Campinas, Brazil, 1997. 179–190p.

FOX, A., KWAPINSKI, W., GRIFFITHS, BS & SCHMALENBERGER, A. **O papel das bactérias mobilizadoras de enxofre e fósforo na promoção do crescimento induzido por biochar de *Lolium perenne*.** *FEMS Microbiol. Eco.* v.90, p.78–91, 2014.

FRANZINI, V. I.; MATOS, G. S. B.; MACHADO, D. N.; ASSUNÇÃO, E. A.; VIEGAS, E. J. M.; BOTELHO, S. M. **Palma de óleo (Dendzeiro).** In BRASIL, E. C.; CRAVO, M. S.; VIEGAS, E. J. M. (Org.). **Recomendações de calagem e adubação para o estado do Pará.** 2. ed. Brasília: Embrapa, 2020. p. 281-284.

FUENTES, J. P. et al. **Microbial activity affected by lime in a long-term no-till soil.** *Soil and Tillage Research*, v. 88, n. 1–2, p. 123–131, jul. 2006.

GAMARRA, Yara Paola López. **Modelo de recomendação de adubação e calagem para a cultura de dendê (*Elaeis guineensis* Jacq.) com base em balanço nutricional.** Orientador: Júlio Cesar Lima Neves. 2013. 61f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Departamento de Solos. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2013.

GARBUIO, F. J. et al. **Carbon and Nitrogen Dynamics in an Oxisol as Affected by Liming and Crop Residues under No-Till.** *Soil Science Am.*, v. 75, p. 1723–1730, 4 ago. 2011.

GASTWIRTH, J. L.; GEL, Y. R.; MIAO, W. **The impact of levene's test of equality of variances on statistical theory and practice.** *Statis. Sci.* v. 24, p. 343–360, 2009.

GERAKIS, P.A., GUERRERO, E.P. AND WILLIAMS, W.A. **Growth, water relations and nutrition of three grassland annuals as affected by drought.** *Journal of Applied Ecology.* v.12, p.125-135, 1975.

GETACHEW, M. **Influence of soil water deficit and application of phosphorus in the absorption of phosphorus and soybean yield (*Glycine max* L.) in Dejen, northwest Ethiopia.** *American Journal of Plant Sciences,* v. 05, n. 13, p. 1889–1906, 2014.

GILLIHAM, M., DAYOD, M., HOCKING, B.J., XU, B., CONN, S.J., KAISER, B.N., TYERMAN, S.D., 2011. **Calcium delivery and storage in plant leaves: exploring the link with water flow.** *J. Exp.* v.62, n.7, p.2233–2250, 2011.

GILROY, S.; BETHKE, P. C.; JONES, R. L. **Calcium homeostasis in plants.** *Journal of Cell Science,* v. 106, p. 453–461, 1993.

GOH, K.J.; CHEW, P.S.; TEOH, K.C. **Dry matter production and nutrient budget in the mature oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) agroecosystem: III N budget.** *AAR Confid. Rep.* v.3, 39, 1997.

GOLDBERG, S. Chemistry and mineralogy of boron in soils. In: GUPTA, U.C. **Boron and its role in crop production.** CRC Press, Boca Raton, FL, 1993, p. 3–44.

GOMES VIEIRA, I. et al. **Soil fertility, growth, nutrition and production of red pitaya subjected to liming.** *Journal of Plant Nutrition,* v. 45, n. 15, p. 2277–2291, 2022.

GONÇALVES et al. Procedimento metodológico da Avaliação da Aptidão Climática para a cultura da palma de óleo nas áreas desmatadas da Amazônia Legal. In: RAMALHO FILHO, A; FREITAS, P. L. **Zoneamento agroecológico, produção e manejo da cultura de palma de óleo na Amazônia.** Embrapa Solos, Rio de Janeiro, 2010. p. 47-50.

GONZÁLEZ, L. & GONZÁLEZ, M. Determination of relative water content. In: ROGER, M. J. R. (Ed.). **Handbook of Plant Ecophysiology Techniques.** New York: Kluwer Academic Publishers, 2001. p. 207–212.

GRANSEE, A.; FÜHRS, H. **Magnesium mobility in soils as a challenge for soil and plant analysis, magnesium fertilization and root uptake under adverse growth conditions.** *Plant and Soil,* v. 368, n. 1–2, p. 5–21, jul. 2013.

GUO, J., ZHOU, R., REN, X., JIA, H., HUA, L., XU, H., LV, X., ZHAO, J., WEI, T. **Effects of salicylic acid, Epi-brassinolide and calcium on stress alleviation and Cd accumulation in tomato plants.** *Ecotoxicol. Environ. Saf.* v.157, p.491–496, 2018.

GUPTA, N.; RAM, H.; KUMAR, B. **Mecanismo de absorção de zinco em plantas: absorção, transporte, translocação e acumulação.** *Rev. Environ. ciência Biol. Tecnol.* v.15, 89–109, 2016.

HAFEEZ, B.; KHANIF, M. Y.; SALEEM, M. **Role of Zinc in Plant Nutrition- A Review.** American Journal of Experimental Agriculture, v. 3, n.2, p. 374-391, 2013.

HAMMERSCHMITT, R. K. et al. **Limestone and gypsum reapplication in an oxisol under no-tillage promotes low soybean and corn yield increase under tropical conditions.** Soil and Tillage Research, v. 214, p. 1–13, 1 out. 2021.

HASTUTI, P. B.; ROHMIYATI, S. M. **Application of Empty Fruit Bunches Compost and Types of P Fertilizer on the Growth and Phosphorus Uptake in Oil Palm Seedlings.** Agrotechnology Research Journal, v. 4, n. 2, p. 59, 1 dez. 2020.

HAWKESFORD, M. et al. **Functions of Macronutrients. Em: Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants: Third Edition.** [s.l.] Elsevier Inc., 2011. p. 135–189.

HEDE, A. R., SKOVMAND, B., LÓPEZ-CESATI, J. Acid soil and aluminum toxicity. In: REYNOLDS, M.P.; ORTIZ-MONASTERIO, J.J.; MCHAB, A. (Org.). **Application of physiology in wheat breeding.** International Maize and Wheat Improvement Center, 2001, p.172 – 182.

HOLLAND, J. E. et al. **Liming impacts on soils, crops and biodiversity in the UK: A review.** Science of the Total Environment, v. 610–611, p. 316–332, 1 jan. 2018.

HOMMA, A. K. O.; RABELLO, F. K. Aspectos econômicos da adubação e da calagem na Amazônia. In: BRASIL, E. C.; CRAVO, M. S.; VIEGAS, E. J. M. (Org.). **Recomendações de calagem e adubação para o estado do Pará.** 2. ed. Brasília: Embrapa, 2020, p. 185-204.

HONG, S. et al. **Afforestation neutralizes soil pH.** Nature Communications, v. 9, n. 1, p. 1-7, 1 dez. 2018.

INAGAKI, T. M. et al. **Why does carbon increase in highly weathered soil under no-till upon lime and gypsum use?.** Science of the Total Environment, v. 599–600, p. 523–532, 1 dez. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA (Brasil). **Produção de dendê 2022.** Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/dende/br>. IBGE, 2021. Acesso em: 15 out. 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (Brasil). 2021. Estações automáticas. Brasília: DF: INMET. Disponível em: <https://mapas.inmet.gov.br/#>. Acesso em: 03 maio 2023.

JAZAYERI, S. M. et al. **Physiological effects of water deficit on two oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) genotypes.** Agronomia Colombiana, v. 33, n. 2, p. 164–173, 21 set. 2015.

JIANG, C. et al. **Optimal lime application rates for ameliorating acidic soils and improving the yield and quality of tobacco leaves.** Applied Ecology and Environmental Research, v. 18, n. 4, p. 5411–5423, 2020.

JORIS, H.A.W. et al. **Effects of soil acidity and water stress on corn and soybean performance under a no-till system.** Plant Soil, v.365, p.409–424, 2013.

KAKUMANU, A., AMBAVARAM, M.M.R.; KLUMAS, C.; KRISHNAN, A.; BATLANG, U.; MYERS, E.; GRENE, R.; PEREIRA, A. **Effects of drought on gene expression in maize reproductive and leaf meristem tissue revealed by RNA-Seq.** *Plant Physiology*, v. 160, p. 846-867, 2012.

KANT, S.; KAFKAFI, U. **Potássio e estresse abiótico em plantas. Em Potássio para Produção Agrícola Sustentável;** Pasricha, NS, Bansal, SK, Eds.; Instituto de Potassa da Índia: Gurgaon, Índia, 2002; p. 233–251.

KARLEY A. J. et al. **Differential ion accumulation and ion fluxes in the mesophyll and epidermis of barley.** *Plant Physiol*, v.122, p. 835–844, 2000.

KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: BLACK, C.A., ed. **Methods of Soil Analysis. I. Physical and mineralogical methods.** Madison: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986. p. 635-662.

KOPPEN, W. **Klassifikation der klimate nach temperatur, niederschlag und jahreslauf.** *Petermanns Geographische Mitteilungen*, v. 64, p.193–203, 1918.

KUMAR, A. et al. **Isolation, screening and characterization of bacteria from Rhizospheric soils for different plant growth promotion (PGP) activities: an in vitro study.** *Recent Research in Science and Technology*, v. 4, n.1, p.01-05, 2012.

KUNHIKRISHNAN, A. et al. **Functional relationships of soil acidification, liming, and greenhouse gas flux.** *Advances in Agronomy*, v. 139, p. 1-71, 2016.

LEAL, A. J. F. et al. **Redes neurais artificiais na predição da produtividade de milho e definição de sítios de manejo diferenciado por meio de atributos do solo.** *Bragantia*, v. 74, n. 4, p. 436–444, 1 out. 2015.

LEE, H. J.; SEO, P. J. **Ca<sup>2+</sup>talyzing initial responses to environmental stresses.** *Trends in Plant Science*, v. 26, n. 8, p. 849–870, 1 ago. 2021.

LEE, S. et al. **Efeito do estresse do solo no desenvolvimento de Células pétreas em carne de pêra (*Pyrus pyrifolia*, CV Nthaka).** *Scientia Horticulturae*, v.110, n.3, p.247 – 253, 2006.

LEI, X. et al. **Root exudates mediate the processes of soil organic carbon input and efflux.** *Plants*, v. 12, n. 3, 1 fev. 2023.

LEITE, G.H.M.N.; ELTZ, F.L.P.; AMADO, T.J.C.; COGO, N.P. **Atributos químicos e perfil de enraizamento de milho influenciados pela calagem em semeadura direta.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 30, p. 685-693, 2006.

LENO, N. et al. **Thermochemical digestate fertilizer from solid waste: Characterization, labile carbon dynamics, dehydrogenase activity, water holding capacity and biomass allocation in banana.** *Waste Management*, v. 123, p. 1–14, 15 mar. 2021.

LEVITT, J. **Responses of Plants to Environmental Stresses.** 2. ed. New York: Academic Press, 1980.

LI, Y. et al. **Irrigation has more influence than fertilization on leaching water quality and the potential environmental risk in excessively fertilized vegetable soils.** Plos One, v. 13, n. 9, 1 set. 2018.

LIAO, H. et al. **Phosphorus and aluminum interactions in soybean in relation to aluminum tolerance. Exudation of specific organic acids from different regions of the intact root system.** Plant Physiology, v. 141, pp. 674–684, june, 2006.

LIM, L.Y. et al. **Too little, too imbalanced: Nutrient supply in smallholder oil palm fields in Indonesia,** Agricultural Systems, v. 210, p. 1-21, 2023.

LIU, C.; LIU, Y.; GUO, K.; FAN, D.; LI, G.; ZHENG, Y.; YU, L.; YANG, R. **Effect of drought on pigments, osmotic adjustment and antioxidant enzymes in six woody plant species in karst habitats of southwestern China.** Environmental and Experimental Botany, v. 71, p. 174-183, 2011.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas.** São Paulo: Ceres, 1980. 251p.

MALIK, M., AMRHEIN, C., LETEY, J., 1991. **Polyacrylamide to improve water flow and salt removal in a high shrink-swell soil.** Soil Sci. Soc. Am. J. v.55, p.1664–1667, 1991.

MANZOOR ALAM, S. **Nutrient Uptake by Plants Under Stress Conditions.** 12. ed. [s.l: s.n.].

MARSCHNER, H. **Nutrição mineral de plantas superiores.** Londres Reino Unido, Academic Press, 1997.

MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of Higher Plants.** Academic Press, San Diego, 889p. 1995.

MARTINI, A, J. et al. **Response of Soybeans to Liming as Related to Soil Acidity, Al and Mn Toxicities, and P in Some Oxisols of Brazil.** Soil Science Society of America Journal, v.38, p. 616-620, 1974.

MATOS, G. S. B.; FERNANDES, A. R.; WADT, P. G. S. **Níveis críticos e faixas de suficiência de nutrientes derivados de métodos de avaliação do estado nutricional da palma-de-óleo.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 51, n. 9, p.1557-1567, 2016.

MATOS, G. S. B.; RODRIGUES, G. R.; GAMA, M. A. P.; GALVÃO, J. R.; VIÉGAS, I. J. M.; MACEDO NETO, A. A. L. **Compositional nutrient diagnosis in two oil palm genetic materials.** Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais, v.10, n.6, p.1-5, 2019.

MERHAUT, D. J. Magnesium. In: BARKER, A. V.; PILBEAM, D. J (Org). **Handbook of Plant Nutrition.** 1. Ed., CRC Taylor and Francis, NY, 2007, pp 145-181.

MERIÑO-GERGICHEVICH, C. et al. **Al<sup>3+</sup>-Ca<sup>2+</sup> interation in plants growing in acid soil: Al-Phytotoxicity response to calcareous amendments.** J. soil. sci. plant nutr., v. 10, p. 217–243, 2010.

MESQUITA, C. M.; REZENDE, J. E.; CARVALHO, J. S.; FABRI JÚNIOR, M. A.; MORAES, N.C. **Manual do café: manejo de cafezais em produção**. Belo Horizonte: Emater-MG. 2016, p.1-52.

MOHAMAD, T. A.; DOLMAT, T. M. **Demandas de nutrientes do dendezeiro Tenera plantado em solos do interior da Malásia**. J. Oil Palm Res. v.18, p. 204–209, 2006.

MOINUDDIN; UMAR, S. **Influence of combined application of potassium and sulfur on yield, quality, and storage behavior of potato**. Communications in Soil Science and Plant Analysis, v. 35, n. 7–8, p. 1047–1060, 2004.

NAEEM, M. et al. **Foliar-applied calcium induces drought stress tolerance in maize by manipulating osmolyte accumulation and antioxidative responses**. Pak. J. Bot, v. 49, n. 2, p. 427–434, 2017.

NG, S.K. **Review of oil palm nutrition and manuring. Scope for greater economy in fertiliser usage**. Oléagineux, v. 32, 197–209, 1977.

NG, S.K.; THAMBOO, S.; DE SOUZA, P. **Nutrient contents of oil palms in Malaya. II Nutrients in vegetative tissues**. Malays. Agric. J. v. 46, p.332–391, 1968.

OBENG, A. S. et al. **Evaluation of soil fertility status in oil palm plantations in the Western Region of Ghana**. AIMS Agriculture and Food, v. 5, n. 4, p. 938–949, 2020.

OOSTERHUIS, D. M.; WULLSCHLEGER, S. D. **Osmotic adjustment in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) Leaves and Roots in Response to water stress**. Plant Physiol, v. 84, p. 1154–1157, 1987.

PACHECO, A. R.; TAILLIEZ, B. J.; VIÉGAS, I. J. M. **Resposta de N-P-K-Ca e Mg no desenvolvimento de mudas de dendê na região de Manaus-AM**. Embrapa Amazônia Oriental, Belém-PA, n. 4, 1987. Boletim de pesquisa, 21 p.

PARECIDO, Renan José. **Nutrição e produtividade da cultura do café Arábica afetadas pela forma de aplicação de calcário e gesso na cultura já implantada**. Orientador: Rogério Peres Soratto. 2020. 145 f. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Botucatu, SP, 2020.

PATHAK, J. et al. **Role of Calcium and Potassium in Amelioration of Environmental Stress in Plants**. In: **Protective Chemical Agents in the Amelioration of Plant Abiotic Stress**. [s.l.] Wiley, 2020. p. 535–562.

PAULETTI, V. et al. **Efeitos em longo prazo da aplicação de gesso e calcário no sistema de plantio direto**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 38, p. 495–505, 2014.

PIRKER, J. et al. **What are the limits to oil palm expansion?**. Global Environmental Change, v. 40, p. 73–81, set. 2016.

QAIM M, SIBHATU K T, SIREGAR H. **Environmental, economic, and social consequences of the oil palm boom** Ann. Rev. Resour. Econ. v. 12, p.321–44, 2020.

QI, J et al. **ROS signaling and stomatal movement in plant responses to drought stress and pathogen attack.** *J Integr Planta Biol.*, v.60, n.9, p. 805-826, 2018.

QIN, R.; CHEN, F. **Amelioration of aluminum toxicity in red soil through use of barnyard and green manure.** *Communications in Soil Science and Plant Análises*, v. 36, p.1875–1889, 2005.

RAMPIM, L. et al. **Atributos químicos de solo e resposta do trigo e da soja ao gesso em sistema semeadura direta.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, p. 1687–1698, 2011.

RANGEL, O.J.P. et al. **Frações oxidáveis do carbono orgânico de Latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio.** *Ciência e Agrotecnologia*, v.32, p.429-437, 2008.

RAZMJOO, K.; HENDERLONG, P. R. **Effect of potassium, sulfur, boron, and molybdenum fertilization on alfalfa production and herbage macronutrient contents.** *Journal of Plant Nutrition*, v. 20, n. 12, p. 1681–1696, 1997.

RENGEL, Z. **Modeling Magnesium Uptake from an Acid Soil: IV. Depletion of Magnesium, Calcium, and Potassium from Soluble and Exchangeable Phase.** *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 23, n. 1–2, p. 165–174, 1 jan. 1992.

RENGEL, Z.; MARSCHNER, P. **Nutrient availability and management in the rhizosphere: Exploiting genotypic differences.** *New Phytologist*, v. 168, n. 2, p. 305–312, nov. 2005.

ROYSTON, P.; REMARK, A. S. **A remark on algorithm AS 181: The W-test for normality.** *J. R. Statist. Soc.* v. 44, p.547–551, 1995.

RUIZ, H.A.; MIRANDA, J.; CONCEIÇÃO, J.C.S. **Contribuição dos mecanismos de fluxo de massa e de difusão para o suprimento de K, Ca, Mg às plantas de arroz.** *R. Bras. Ci. Solo*, v.23, p.1015-1018, 1999.

SAHA, B. et al. **Biofertilizantes e Biopesticidas na Agricultura Sustentável.** Em: KAUSHIK, B. D.; KUMAR, D.; SHAMIM, M. D. (Eds.). **Biofertilizantes e Biopesticidas na Agricultura Sustentável.** 1. ed. [s.l: s.n.]. p. 14–20.

SAHA, S. et al. **Interaction effect of potassium and sulfur fertilization on productivity and mineral nutrition of sunnhemp.** *Journal of Plant Nutrition*, v. 36, n. 8, p. 1191–1200, jan. 2013.

SAMEENA, C.; SABINA, A. **The effects of rising temperature on cell viability, relative water content and proline accumulation of Plants.** *Copyright@ in International*, v. 27, p. 214–2018, 2021.

SANDERSON, J. B.; GUPTA, U. C. **Effect of sulfur, calcium, and boron on tissue nutrient concentration and potato yield.** *Journal of Plant Nutrition*, v. 16, n. 6, p. 1013–1023, 1 jun. 1993.

SANTOS, A. B.; FAGERIA, N. K.; ZIMMERMANN, F. J. **Atributos químicos do solo afetado pelo manejo da água e do fertilizante potássico na cultura do arroz irrigado.** Revista de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 6, p. 12–16, 2002.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; FILHO, J. C. A.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

SAURE, M.C. **Calcium translocation to fleshy fruit: Its mechanism and endogenous control.** Sci. Hort. v.105, 65–89, 2005.

SAWWAN, J. et al. **Phosphorus regulates osmotic potential and growth of African violet under in vitro-induced water deficit.** Journal of Plant Nutrition, v. 23, n. 6, p. 759–771, 2000.

SCHENFERT, T. A. et al. **Lime and gypsum in the implantation no-till system promote the nutrition and yield of soybean.** Journal of Plant Nutrition, v. 43, n. 5, p. 641–654, 15 mar. 2020.

SCHOENAU, J. J.; MALHI, S. S. Sulfur Forms and Cycling Processes in Soil and Their Relationship to Sulfur Fertility. In: JEZ, J. **Sulfur: A Missing Link between Soils, Crops, and Nutrition.** American Agronomy ed. USA: [s.n.]. p. 1–10.

SCHOLANDER, P. F.; HAMMEL, H. T.; BRADSTREET, E. D.; HEMMINGSEN, E. A. **Sap pressure in vascular plants.** Science, v. 148, n. 3668, p. 339-346, 1965.

SENBAYRAM, M. et al. **Role of magnesium fertilisers in agriculture: Plant-soil continuum.** Crop and Pasture Science, v. 66, n. 12, p. 1219–1229, 2015.

SHAMSHUDDIN J.; ANDA M. **Aumentando a produtividade de Argissolos e Latossolos na Malásia usando basalto e/ou composto.** Pedologista. v. 55, p.382 – 391, 2012.

SHAUL, O. **Magnesium transport and function in plants: the tip of the iceberg.** BioMetals, v.15, p.309-323, 2002.

SIANG, C. S.; WAHID, S. A. A.; SUNG, C. T. B. **Standing Biomass, Dry-Matter Production, and Nutrient Demand of Tenera Oil Palm.** Agronomy, v. 12, n. 2, 1 fev. 2022.

SIDDIQUI, M.H.; AL-WHAIBI, M.H.; BASALAH, M.O. **Interactive effect of calcium and gibberellin on nickel tolerance in relation to antioxidant systems in *Triticum aestivum* L.** Protoplasm, v.248, p.503–511, 2011.

SIDDIQUI, M.H.; AL-WHAIBI, M.H.; SAKRAN, A.M.; BASALAH, M.O.; ALI H.M. **Effect of calcium and potassium on antioxidant system of *Vicia faba* L. under cadmium stress.** Int J Mol Sci, v.13, p.6604–6619, 2012.

SILVA, A. R. A. DA et al. **Pigmentos fotossintéticos e potencial hídrico foliar em plantas jovens de coqueiro sob estresses hídrico e salino.** Revista Agro ambiente on-line, v. 10, n. 4, p. 317, 5 jan. 2017.

SILVA, B. M. et al. **Soil moisture associated with least limiting water range, leaf water potential, initial growth and yield of coffee as affected by soil management system.** Soil and Tillage Research, v. 189, p. 36–43, 1 jun. 2019.

SILVA; D. J.; ALVAREZ V. H.; RUIZ, H.A. **Fluxo de massa e difusão de enxofre para raízes de milho em solos ácidos de minas gerais.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.22, p.109-114, 1998.

SILVEIRA, T. C. et al. **Sorghum yield after liming and combinations of phosphorus sources.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 22, n. 4, p. 243–248, 1 abr. 2018.

SORATTO, R.P.; CRUSCIOL, C.A.C. **Chemical soil attributes as affected by lime and phosphogypsum surface application in a recently established no-tillage system.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.32, p.675–688, 2008.

SOUSA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAEIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Org.). **Fertilidade do solo.** 1. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 206 – 268p.

SRIVASTAVA, A. K. **Multifaceted roles of aquaporins as molecular conduits in plant responses to abiotic stresses.** Critical Reviews in biotechnology, p. 1-10, 2014.

SUMNER, M.E. et al. **Gypsum as a ameliorant for subsoil hardpans.** Soil Technol. v.3, p.253–258, 1990.

SURIYAGODA, L. D. B. et al. **Plant responses to limited moisture and phosphorus availability: A meta-analysis.** Advances in Agronomy, v. 124, p. 143–200, 2014.

SUZUKI, A.; ARGENTA, L.C. **Teores minerais na polpa das cvs. Gala, Golden Delicious e Fuji.** Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal, v.16, n.1, p.92-104, 1994.

TIRITAN, C. S. et al. **Tillage system and lime application in a tropical region: Soil chemical fertility and corn yield in succession to degraded pastures.** Soil and Tillage Research, v. 155, p. 437–447, 1 jan. 2016.

TRIFILO, P. et al. **Critical water contents at leaf, stem and root level leading to irreversible drought-induced damage in two woody and one herbaceous species.** Plant Cell and Environment, v. 46, n. 1, p. 119–132, 1 jan. 2023.

TURNER, N. C. **Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status.** Plant and Soil, v. 58, n. 1/3, p. 339-366, 1981.

TUTEJA, N.; MAHAJAN, S. **Calcium signaling network in plants: An overview.** Plant Signaling and Behavior, v. 2, n. 2, p. 79–85, 2007.

TYREE M.T.; SPERRY J.S. **Do woody plants operate near the point of catastrophic xylem dysfunction caused by dynamic water stress? Answers from a model.** *Plant Physiology*, v.88, p.574–580, 1988.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, FOREIGN AGRICULTURAL SERVICE(USDA).2022.**Oilseeds:WorldMarketsandTrade**.Disponível em:<[https://www.oilworld.ru/data/postfiles/333364/oilseeds\\_0922.pdf](https://www.oilworld.ru/data/postfiles/333364/oilseeds_0922.pdf). Acesso em 05 de out de 2023.

VÁSQUEZ-ROBINET, C.; WATKINSON, J. I.; SIOSON, A. A.; RAMAKRISHNAN, N.; HEATH, L.S.; GRENE, R. **Differential expression of heat shock protein genes in preconditioning for photosynthetic acclimation in water-stressed loblolly pine.** *Plant Physiology and Biochemistry*, v. 48, p. 256-264, 2010.

VIEGAS, Ismael de Jesus Matos. **Crescimento do dendezeiro (*Elaeis guineenses* Jacq), concentração, conteúdo e exportação de nutrientes nas diferentes partes de plantas com 2 a 8 anos de idade, cultivada em Latossolo amarelo distrófico, Tailândia, Pará.** 1993. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola superior de Agricultura Luiz Queiroz da Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1993.

VILLALOBOS, E.; UMAÑA, C. H.; CHINCHILLA, C. **Oil palm water status in response to drought in Costa Rica.** *Oléagineux*, v. 47, p. 1–7, 1992.

VITTI, G. C.; OTTO, R.; SAVIETO, J.; LIMA, E.; SANTOS, L. A. Enxofre. In: FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R.; SANTOS, L. A. (Eds.). **Nutrição Mineral de Plantas.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2018. 377 – 400 p.

VITTI, G.C.; LIMA, E. & CICARONE, F. Cálcio, magnésio e enxofre. In: FERNANDES, M.S. (Org). **Nutrição mineral de plantas.** 2. ed. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 299-326.

WANG, M. et al. **The critical role of potassium in plant stress response.** *Int J Mol Sci* v.14, n.4, p.7370–7390, 2013.

WANG, X.; SHEN, J.; LIAO, H. **Acquisition or utilization, which is more critical for enhancing phosphorus efficiency in modern crops?** *Plant Science*, v. 179, n. 4, p. 302–306, out. 2010.

WEIL, R.W., ISLAM, K.R., STINE, M.A., GRUVER, J.B., SAMSON-LIEBIG, S. E. **Estimating active carbon for soil quality assessment: a simplified method for laboratory and field use.** *Am. J. Altern. Agric.* v.18, p.3–17, 2003.

WEN, G., JJ SCHOENAU, T. YAMAMOTO E M. INOUE. **Um modelo de oxidação de um fertilizante de enxofre elementar em solos.** *Ciência do Solo*, v.166, 607–613, 2001.

WHITE, P. J., BOWEN, H. C., DEMIDCHIK, V., NICHOLS, C., AND DAVIES, J. M. **Genes for calcium-permeable channels in the plasma membrane of plant root cells.** *Biochim. Biophys. Acta Biomembr.* v.1564, p.299–309, 2002.

WIEDENFELD, B. **Sulfur application effects on soil properties in calcareous soil and on sugarcane growth and yield.** J. Plant Nutr. v.34, p.1003–1013, 2011.

WYMER, C. L., BIBIKOVA, T. N., AND GILROY, S. **Cytoplasmic free calcium distributions during the development of root hairs of Arabidopsis thaliana.** Plant J. v.12, p. 427–439, 1997.

XIAO, S. et al. Fine root and root hair morphology of cotton under drought stress revealed with RhizoPot. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 206, n. 6, p. 679–693, 1 dez. 2020.

XU, R. K. et al. **Adsorption properties of subtropical and tropical variable charge soils: implications from climate change and biochar amendment.** Advances in Agronomy, v. 135, p. 1–58, 2016.

YANG, Z. B.; RAO, I. M.; HORST, W. J. **Interaction of aluminium and drought stress on root growth and crop yield on acid soils.** Plant and Soil, v. 372, n. 1–2, p. 3–25, nov. 2013.

YOUNG, E.O.; ROSS, D.S. **Phosphorus mobilization in flooded riparian soil from the Lake Champlain Basin.** Frontiers in Environmental Science, v. 6, n. 120, p.1-12, 2018.

ZAMBROSI, F.C.B.; ALLEONI, L.R.F.; CAIRES, E.F. **Aplicação de gesso agrícola e especificação iônica da solução de uma Latossolo sob sistema plantio direto.** Ciência Rural, v. 37, n. 1, p. 110–117, 2007.

ZOCA, S. M.; PENN, C. **An important tool with no instruction manual: a review of gypsum use in agriculture.** Advances in Agronomy, v. 144, p. 1–44, 2017.

ZURAIDAH, M.; ZULKIFLI, H. M. H. **Oil palm roots adaptation under soil compacted by mechanization.** International Journal of Agricultural, v. 5, p. 331–332, 2015.