

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

NATASHA MIRELLA INHÃ GODOI

**EFEITO IMEDIATO E RESIDUAL DA ADUBAÇÃO NITROGENADA, FOSFATADA
E POTÁSSICA NO EUCALIPTO CULTIVADO EM SISTEMA TALHADIA NA
REGIÃO DE CERRADO**

Ilha Solteira
2023

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
(SISTEMAS DE PRODUÇÃO)

NATASHA MIRELLA INHÃ GODOI

**EFEITO IMEDIATO E RESIDUAL DA ADUBAÇÃO NITROGENADA,
FOSFATADA E POTÁSSICA NO EUCALIPTO CULTIVADO EM
SISTEMA TALHADIA NA REGIÃO DE CERRADO**

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP como parte dos requisitos para a obtenção do título de doutor em Agronomia. Especialidade: Sistemas de Produção.

Prof. Dr. Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho
Orientador

Prof. Dr. Alan Rodrigo Panosso
Coorientador

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

G588e Godoi, Natasha Mirella Inhã.
Efeito imediato e residual da adubação nitrogenada, fosfatada e potássica no eucalipto cultivado em sistema talhadia na região de cerrado / Natasha Mirella Inhã Godoi. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2023
146 f. : il.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Sistema de Produção, 2023

Orientador: Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho

Coorientador: Alan Rodrigo Panosso

Inclui bibliografia

1. Eucalyptus Sp. 2. Extração de nutrientes. 3. Volume total de madeira. 4. Análise multivariada. 6. Ciclagem de nutrientes.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Ilha Solteira

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: EFEITO IMEDIATO E RESIDUAL DA ADUBAÇÃO NITROGENADA, FOSFATADA E POTÁSSICA NO EUCALIPTO CULTIVADO EM SISTEMA TALHADIA NA REGIÃO DE CERRADO

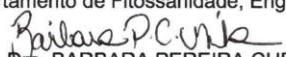
AUTORA: NATASHA MIRELLA INHÃ GODOI

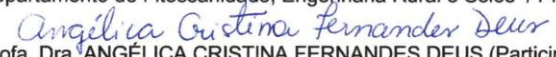
ORIENTADOR: MARCELO CARVALHO MINHOTO TEIXEIRA FILHO

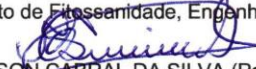
COORDENADOR: ALAN RODRIGO PANOSSO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em Agronomia, área: Sistemas de Produção pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. MARCELO CARVALHO MINHOTO TEIXEIRA FILHO (Participação Presencial)
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP


Profa. Dra. BARBARA PEREIRA CHRISTOFARO SILVA (Participação Presencial)
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Profa. Dra.


Profa. Dra. ANGÉLICA CRISTINA FERNANDES DEUS (Participação Presencial)
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP


Prof. Dr. EDSON CABRAL DA SILVA (Participação Presencial)
Departamento de Agronomia / Instituto Federal Goiano - IF Goiano

Profa. Dra. ELISANGELA DUPAS (Participação Presencial)
Faculdade de Ciências Agrárias / Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD

Ilha Solteira, 11 de dezembro de 2023

DEDICATÓRIA

A Deus, por me guiar.

Aos meus pais, Sebastião Miguel de Godoi e Marta Lúcia Inhã de Godoi, por estarem sempre junto a mim, pelo apoio nos momentos difíceis e pelo amor dedicado a mim e minhas irmãs.

Às minhas irmãs, Bianca Luany Inhã de Godoi e Maria Eduarda Inhã de Godoi, que são a força que busco para superar os obstáculos da minha trajetória (tudo é por elas e para elas).

Ao meu noivo amado, Luis Armando De Oro Arenas, que me apoiou incondicionalmente e que suportou com veemência todos os altos e baixos do meu caminho, que segurou a minha mão sempre que precisei, e que é minha maior inspiração para seguir na área acadêmica.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que até aqui me amparou em todos os momentos, sejam eles difíceis ou não.

À Nossa Senhora Aparecida, Jesus Cristo, São Judas Tadeu e São Bento, pois nada seria sem a intercessão e a benção deles, aos quais dedico minha devoção e fé.

Aos meus pais, por serem meu esteio e pelos esforços que fizeram para que eu conseguisse alcançar todos os meus sonhos. Obrigado pelo exemplo e instrução de vida que me passam até hoje.

Às minhas irmãs, por estarem ao meu lado em qualquer momento da minha trajetória, por me apoiarem nas minhas batalhas e por serem minha alegria em todos os momentos.

Ao meu noivo, Luis Armando de Oro Arenas, por não medir esforços, pela ajuda em todos os momentos que precisei, pelos abraços nos momentos de angústia, pelos conselhos nos momentos de desilusões, por ser minha inspiração diária para seguir firme na escolha profissional.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho, pela orientação dessa etapa e das demais etapas que conclui desde a graduação e pelos ensinamentos, sempre com paciência e compreensão, estando presente em todas as etapas envolvidas.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Alan Rodrigo Panosso, pelos ensinamentos, pelo tempo dedicado à pesquisa, por sempre estar disponível quando eu precisei de ajuda no desenvolvimento da tese.

Ao Kleve Freddy Ferreira Canteral, aluno e orientado do Prof. Dr. Alan Panosso, pela disponibilidade e auxílio sempre que solicitei sua ajuda na condução das análises estatísticas realizadas.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de estudo do Doutorado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela bolsa de estudo do Doutorado.

À Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Ilha Solteira, pelas oportunidades.

À empresa Cargill Agrícola S/A por ter fornecido a área experimental.

E a todos que contribuíram para a realização desse trabalho.
Muito obrigada!

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e com o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) (Processo 2020/11615-0).

RESUMO

As áreas com florestas plantadas de eucalipto no Brasil estão em crescente expansão, cuja parte destas são manejados no sistema talhadia, que tem por base a condução das brotações de cepa. Portanto, objetivou-se com esta pesquisa avaliar o efeito residual de doses de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) aplicados no primeiro ciclo produtivo, assim como o efeito da reaplicação (“efeito imediato”) desses nutrientes no eucalipto (híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* (clone I144)) cultivado em sistema talhadia, em um Neossolo Quartzarênico Órtico de baixa fertilidade natural, no município de Três Lagoas-MS. Esta pesquisa foi realizada em três experimentos independentes, conduzidos simultaneamente, com cada um dos macronutrientes primários (N, P e K), cujo delineamento experimental foi em blocos casualizados com oito tratamentos cada, dispostos em esquema fatorial 4 x 2, com cinco repetições. No experimento de N, foram aplicados quatro doses de N no primeiro ciclo (Nr0: 0 kg ha⁻¹ de N, Nr1: 70 kg ha⁻¹ de N, Nr2: 105 kg ha⁻¹ de N e Nr3: 140 kg ha⁻¹ de N, na forma de nitrato de amônio), e duas doses no segundo ciclo (Ns0: 0 kg ha⁻¹ de N e Ns1: 160 kg ha⁻¹ de N, na forma nitrato de amônio). No experimento de P, foram quatro doses de P₂O₅ no primeiro ciclo (Pr0: 0 kg ha⁻¹ de P₂O₅, Pr1: 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅, Pr2: 70 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e Pr3: 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅, na forma de superfosfato triplo), e duas doses no segundo ciclo (Ps0: 0 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e Ps1: 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅, na forma de superfosfato triplo). No experimento de K, foram quatro doses no primeiro ciclo (Kr0: 0 kg ha⁻¹ de K₂O, Kr1: 90 kg ha⁻¹ de K₂O, Kr2: 135 kg ha⁻¹ de K₂O e Kr3: 180 kg ha⁻¹ de K₂O, na forma de cloreto de potássio), e duas doses no segundo ciclo (Ks0: 0 kg ha⁻¹ de K₂O e Ks1: 180 kg ha⁻¹ de K₂O, na forma de cloreto de potássio). Foram aplicados os seguintes métodos estatísticos de Análise Multivariada: Análise de Componentes Principais e Análise de Correlação Canônica; cujas principais variáveis selecionadas foram: volume total de madeira, massa seca (folha, galho, casca e lenho), acúmulo de macronutrientes, altura de plantas, teores de P no solo, K⁺ trocável e teor matéria orgânica. A reaplicação das doses de N proporcionou maiores acúmulos de fósforo e magnésio na biomassa das folhas, maiores acúmulos de fósforo e cálcio na biomassa dos galhos e maiores acúmulos totais de nitrogênio, fósforo, potássio, magnésio e enxofre. A Análise de Correlação Canônica na parte aérea do eucalipto, no experimento de N, demonstrou que existe forte correlação linear entre os dois grupos formados, evidenciando a grande dependência que o volume total de madeira tem em relação ao acúmulo dos macronutrientes na parte

aérea. No segundo ciclo de produção, a reaplicação de P_2O_5 proporcionou aumento radial no lenho do diâmetro das árvores de eucalipto e, conseqüentemente, incremento no volume de madeira e na biomassa da parte aérea produzida no segundo ciclo. A Análise de Componentes Principais, para o experimento de P, correlacionou os parâmetros biométricos do eucalipto, evidenciando a existência de uma correlação negativa entre o diâmetro radial do lenho e altura de plantas, isto é, quando houve um crescimento em altura das plantas resultou em menor diâmetro do caule. O residual de doses de K_2O influenciou positivamente as biomassas da folha, lenho e total, e aumentou linearmente a altura de planta e volume de madeira do eucalipto.

Palavras-chave: *Eucalyptus sp.*; extração de nutrientes; exportação de nutrientes; volume total de madeira; análise multivariada; ciclagem de nutrientes.

IMMEDIATE AND RESIDUAL EFFECTS OF NITROGEN, PHOSPHORUS AND POTASSIUM FERTILIZATION ON EUCALYPTUS CULTIVATED UNDER COPPICING SYSTEM IN THE CERRADO REGION

ABSTRACT

The areas with planted eucalyptus forests in Brazil are experiencing continuous expansion, with some of them managed under the coppicing system, which is based on the management of stump sprouts. Therefore, the objective of this research was to evaluate the residual effect of nitrogen (N), phosphorus (P), and potassium (K) doses applied in the first productive cycle, as well as the effect of reapplication ("immediate effect") of these nutrients on eucalyptus (*Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* hybrid (clone I144)) grown under the coppicing system in a low-nutrient Quartzarenic Orthic Neosol in Três Lagoas-MS municipality. This research was conducted in three independent experiments, carried out simultaneously, with each of the primary macronutrients (N, P, and K). The experimental design was randomized blocks with eight treatments each, arranged in a 4 x 2 factorial scheme, with five replications. In the N experiment, four N doses were applied in the first cycle (Nr0: 0 kg ha⁻¹ of N, Nr1: 70 kg ha⁻¹ of N, Nr2: 105 kg ha⁻¹ of N, and Nr3: 140 kg ha⁻¹ of N, as ammonium nitrate), and two doses in the second cycle (Ns0: 0 kg ha⁻¹ of N and Ns1: 160 kg ha⁻¹ of N, as ammonium nitrate). In the P experiment, four P₂O₅ doses were applied in the first cycle (Pr0: 0 kg ha⁻¹ of P₂O₅, Pr1: 40 kg ha⁻¹ of P₂O₅, Pr2: 70 kg ha⁻¹ of P₂O₅, and Pr3: 100 kg ha⁻¹ of P₂O₅, as triple superphosphate), and two doses in the second cycle (Ps0: 0 kg ha⁻¹ of P₂O₅ and Ps1: 60 kg ha⁻¹ of P₂O₅, as triple superphosphate). In the K experiment, four K₂O doses were applied in the first cycle (Kr0: 0 kg ha⁻¹ of K₂O, Kr1: 90 kg ha⁻¹ of K₂O, Kr2: 135 kg ha⁻¹ of K₂O, and Kr3: 180 kg ha⁻¹ of K₂O, as potassium chloride), and two doses in the second cycle (Ks0: 0 kg ha⁻¹ of K₂O and Ks1: 180 kg ha⁻¹ of K₂O, as potassium chloride). Multivariate analysis methods, Principal Component Analysis, and Canonical Correlation Analysis, were applied. The main selected variables were total wood volume, dry mass (leaf, branch, bark, and wood), macronutrient accumulation, plant height, soil P content, exchangeable K⁺, and organic matter content. The reapplication of N doses resulted in higher accumulations of phosphorus and magnesium in leaf biomass, higher accumulations of phosphorus and calcium in branch biomass, and higher total accumulations of nitrogen, phosphorus, potassium, magnesium, and sulfur. Canonical Correlation Analysis on the eucalyptus aerial part in the N experiment showed a strong linear correlation between the two

formed groups, highlighting the significant dependence of total wood volume on macronutrient accumulation in the aerial part. In the second production cycle, the reapplication of P_2O_5 led to radial growth in eucalyptus tree wood diameter, consequently increasing wood volume and aerial part biomass produced in the second cycle. Principal Component Analysis for the P experiment correlated eucalyptus biometric parameters, revealing a negative correlation between radial wood diameter and plant height. In other words, an increase in plant height resulted in a smaller stem diameter. The residual doses of K positively influenced leaf, wood, and total biomass and linearly increased eucalyptus plant height and wood volume.

Keywords: *Eucalyptus sp.*; nutrient extraction; nutrient export; total wood volume; multivariate analysis; nutrient cycling.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Área de estudo no município de Três Lagoas, Mato Grosso do Sul, Brasil (20° 34' S, 51° 50' O, altitude média de 305 m). 36
- Figura 2.** (a) Precipitação pluvial mensal (mm) e temperatura (C°) registrada na estação meteorológica automática de Três Lagoas – MS, de janeiro de 2018 a janeiro de 2019. (b) Precipitação pluvial mensal (mm) e temperatura (C°) registrada na estação meteorológica automática de Três Lagoas – MS, de janeiro de 2019 a janeiro de 2020. 37
- Figura 3.** Atributos químicos do solo (0-0,20m): **(a)** $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$); **(b)** $\text{H} + \text{Al}$ ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$); **(c)** Al ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$); **(d)** CTC ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$); **(e)** M.O. (g dm^{-3}); **(f)** SB ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$); **(g)** V%; **(h)** Saturação por alumínio (m%); **(i)** P-resina (mg dm^{-3}); **(j)** K ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$); **(k)** Ca ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) no solo (0-0,20 m); **(l)** Mg ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) em função das doses residuais de N. 46
- Figura 4** Atributos químicos do solo (0-0,20m): **(a)** V% **(b)** Saturação por alumínio (m%) **(c)** P-resina (mg dm^{-3}) **(d)** K ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) **(e)** Ca ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) **(f)** Mg ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) em função das doses residuais de N. 47
- Figura 5.** **(a)** Diâmetro a altura do peito (cm); **(b)** altura de planta (m); **(c)** volume de madeira ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$); **(d)** biomassa de folha (t ha^{-1}); **(e)** biomassa de galho (t ha^{-1}); **(f)** biomassa de casca (t ha^{-1}); **(g)** biomassa de lenho (t ha^{-1}); **(h)** biomassa total (t ha^{-1}) em função das doses residuais de N. 49
- Figura 6.** **(a)** Acúmulo de N nas folhas do eucalipto; **(b)** acúmulo de P nas folhas do eucalipto; **(c)** acúmulo de K nas folhas do eucalipto; **(d)** acúmulo de Ca nas folhas do eucalipto; **(e)** acúmulo de Mg nas folhas do eucalipto; **(f)** acúmulo de S nas folhas do eucalipto em função das doses residuais de N. 54
- Figura 7.** **(a)** Acúmulo de N nos galhos do eucalipto; **(b)** acúmulo de P nos galhos do eucalipto; **(c)** acúmulo de K nos galhos do eucalipto; **(d)** acúmulo de Ca nos galhos do eucalipto; **(e)** 55

acúmulo de Mg nos galhos do eucalipto; **(f)** acúmulo de S nos galhos do eucalipto em função das doses residuais de N.

Figura 8. **(a)** Acúmulo de N na casca do eucalipto; **(b)** acúmulo de P na casca do eucalipto; **(c)** acúmulo de K na casca do eucalipto; **(d)** acúmulo de Ca na casca do eucalipto; **(e)** acúmulo de Mg na casca do eucalipto; **(f)** acúmulo de S na casca do eucalipto em função das doses residuais de N.

56

Figura 9. **(a)** Acúmulo de N no lenho do eucalipto; **(b)** acúmulo de P no lenho do eucalipto; **(c)** acúmulo de K no lenho do eucalipto; **(d)** acúmulo de Ca no lenho do eucalipto; **(e)** acúmulo de Mg no lenho do eucalipto; **(f)** acúmulo de S no lenho do eucalipto em função das doses residuais de N.

60

Figura 10. **(a)** Acúmulo de N total do eucalipto; **(b)** acúmulo de P total do eucalipto; **(c)** acúmulo de K total do eucalipto; **(d)** acúmulo de Ca total do eucalipto; **(e)** acúmulo de Mg total do eucalipto; **(f)** acúmulo de S total do eucalipto em função das doses residuais de N.

61

Figura 11. **(a)** Gráfico biplot dos componentes principais CP1 e CP2 da análise de componentes principais com todos os pontos amostrais no compartimento folha e as seguintes variáveis: matéria seca de folha (MS Folha), matéria seca de galho (MS Galho), matéria seca do lenho (MS Lenho), pH, saturação por bases (V%), Mg no solo, acúmulo de N na folha, acúmulo de Mg na folha, diâmetro na altura do peito (DAP), volume total de madeira (V). **(b)** Gráfico biplot dos componentes principais PC1 e PC2 da análise de componentes principais com todos os pontos amostrais no compartimento galho e as seguintes variáveis: MS Folha, MS Galho, MS lenho, pH, V%, Mg no solo, N, Mg, DAP, V. **(c)** Gráfico biplot dos componentes principais PC1 e PC2 da análise de componentes principais com todos os pontos amostrais no compartimento casca e as seguintes variáveis: MS Folha, MS Galho, MS Lenho, pH, V%, Mg no solo, N, Mg, DAP, V. **(d)** Gráfico biplot dos componentes

66

principais PC1 e PC2 da análise de componentes principais com todos os pontos amostrais no compartimento lenho e as seguintes variáveis: MS Galho, MS Lenho, pH, V%, Mg no solo, N, Mg, DAP, V.

- Figura 12.** Gráfico Biplot dos componentes principais CP1 e CP2 da análise de componentes principais com todos os pontos amostrais nos compartimentos (folha, galho, casca e lenho) e as seguintes variáveis: matéria seca de folha (MS Folha), matéria seca do lenho (MS Lenho), matéria seca total (MS Total), pH, saturação por bases (V%), Mg no solo, acúmulo de N total (N), acúmulo de Mg total (Mg), diâmetro a altura do peito (DAP), volume total de madeira (V). 70
- Figura 13.** Atributos químicos do solo (0-0,20m): **(a)** P-resina (mg dm^{-3}) no solo (0-0,20 m); **(b)** K ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$); **(c)** Ca ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$); **(d)** Mg ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$); **(e)** pHCaCl_2 ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$); **(f)** H + Al ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$); **(g)** Al ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$); **(h)** CTC ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$); **(i)** M.O. (g dm^{-3}); **(j)** SB ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$); **(k)** V% no solo; **(l)** Saturação por alumínio (m%) em função das doses residuais de P. 79
- Figura 14.** Atributos químicos do solo (0-0,20m): **(a)** Al ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$); **(b)** CTC ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$); **(c)** M.O. (g dm^{-3}); **(d)** SB ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$); **(e)** V%; **(f)** Saturação por alumínio (m%) em função das doses residuais de P. 80
- Figura 15.** **(a)** Diâmetro a altura do peito (cm); **(b)** Altura de planta (m); **(c)** Volume de madeira ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$); **(d)** Biomassa de folha (t ha^{-1}); **(e)** Biomassa de galho (t ha^{-1}); **(f)** Biomassa de casca (t ha^{-1}); **(g)** Biomassa de lenho (t ha^{-1}); **(h)** Biomassa total (t ha^{-1}) em função das doses residuais de P_2O_5 . 84
- Figura 16.** **(a)** Acúmulo de N nas folhas do eucalipto; **(b)** acúmulo de P nas folhas do eucalipto; **(c)** acúmulo de K nas folhas do eucalipto; **(d)** acúmulo de Ca nas folhas do eucalipto; **(e)** acúmulo de Mg nas folhas do eucalipto; **(f)** acúmulo de S nas folhas do eucalipto em função das doses residuais de P_2O_5 . 89

- Figura 17.** (a) Acúmulo de N nos galhos do eucalipto; (b) acúmulo de P nos galhos do eucalipto; (c) acúmulo de K nos galhos do eucalipto; (d) acúmulo de Ca nos galhos do eucalipto; (e) acúmulo de Mg nos galhos do eucalipto; (f) acúmulo de S nos galhos do eucalipto em função das doses residuais de P_2O_5 . 90
- Figura 18.** (a) Acúmulo de N na casca do eucalipto; (b) acúmulo de P na casca do eucalipto; (c) acúmulo de K na casca do eucalipto; (d) acúmulo de Ca na casca do eucalipto; (e) acúmulo de Mg na casca do eucalipto; (f) acúmulo de S na casca do eucalipto em função das doses residuais de P_2O_5 . 91
- Figura 19.** (a) Acúmulo de N no lenho do eucalipto; (b) acúmulo de P no lenho do eucalipto; (c) acúmulo de K no lenho do eucalipto; (d) acúmulo de Ca no lenho do eucalipto; (e) acúmulo de Mg no lenho do eucalipto; (f) acúmulo de S no lenho em função das doses residuais de P_2O_5 . 96
- Figura 20.** (a) Acúmulo de N total do eucalipto; (b) acúmulo de P total do eucalipto; (c) acúmulo de K total do eucalipto; (d) acúmulo de Ca total do eucalipto; (e) acúmulo de Mg total do eucalipto; (f) acúmulo de S total em função das doses residuais de P_2O_5 . 97
- Figura 21.** Gráfico Biplot dos componentes principais CP1 e CP2 da análise de componentes principais com todos os pontos amostrais e as seguintes variáveis: (a) altura do eucalipto, diâmetro a altura do peito (dap), massa seca de folha (ms_folha), massa seca de galho (ms_galho), massa seca de casca (ms_casca) saturação por bases (v), acúmulo de fósforo na folha (p_2) e teor de fósforo no solo (P-resina). (b) altura do eucalipto, diâmetro a altura do peito (dap), massa seca de folha (ms_folha), massa seca de galho (ms_galho), massa seca de casca (ms_casca) saturação por bases (v), acúmulo de fósforo na casca (p_2) e teor de fósforo no solo (P-resina). (c) altura do eucalipto, diâmetro a altura do peito (dap), massa seca de folha (ms_folha), massa seca de galho (ms_galho), massa seca de casca (ms_casca) saturação por bases (v), 101

acúmulo de fósforo no galho (p_2) e teor de fósforo no solo (P-resina).

- Figura 22.** Gráfico Biplot dos componentes principais PC1 e PC2 da análise de componentes principais com todos os pontos amostrais e as seguintes variáveis: altura do eucalipto, diâmetro a altura do peito (dap), massa seca de folha (ms_folha), massa seca de galho (ms_galho), massa seca de casca (ms_casca) saturação por bases (v), acúmulo de fósforo nos compartimentos (galho, casca, folha) (p_2) e teor de fósforo no solo (P-resina). 106
- Figura 23.** Atributos químicos do solo (0-0,20m): **(a)** Teor de P-resina (mg dm⁻³); **(b)** Teor de K (mmol_c dm⁻³); **(c)** Ca (mmol_c dm⁻³); **(d)** Mg (mmol_c dm⁻³); **(e)** M.O. (g dm³); **(f)** SB (mmol_c dm⁻³) em função das doses residuais de K₂O. 115
- Figura 24.** Atributos químicos do solo (0-0,20m): **(a)** pH_{CaCl2}; **(b)** H+Al (mmol_c dm⁻³); **(c)** Al (mmol_c dm⁻³); **(d)** CTC (mmol_c dm⁻³); **(e)** Saturação por bases (V%); **(f)** Saturação por alumínio (m%) em função das doses residuais de K₂O. 116
- Figura 25.** **(a)** Diâmetro a altura do peito (cm); **(b)** Altura de planta (m); **(c)** Volume de madeira (m³ ha⁻¹); **(d)** Biomassa de folha (t ha⁻¹); **(e)** Biomassa de galho (t ha⁻¹); **(f)** Biomassa de casca (t ha⁻¹); **(g)** Biomassa de lenho (t ha⁻¹); **(h)** Biomassa total (t ha⁻¹) em função das doses residuais de K₂O. 119
- Figura 26.** **(a)** Acúmulo de N nas folhas do eucalipto; **(b)** acúmulo de P nas folhas do eucalipto; **(c)** acúmulo de K nas folhas do eucalipto; **(d)** acúmulo de Ca nas folhas do eucalipto **(e)** acúmulo de Mg nas folhas do eucalipto; **(f)** acúmulo de S nas folhas do eucalipto em função das doses residuais de K₂O. 124
- Figura 27.** **(a)** Acúmulo de N nos galhos do eucalipto; **(b)** acúmulo de P nos galhos do eucalipto; **(c)** acúmulo de K nos galhos do eucalipto; **(d)** acúmulo de Ca nos galhos do eucalipto; **(e)** acúmulo de Mg nos galhos do eucalipto; **(f)** acúmulo de S nos galhos do eucalipto em função das doses residuais de K₂O. 125

- Figura 28.** (a) Acúmulo de N na casca do eucalipto; (b) acúmulo de P na casca do eucalipto; (c) acúmulo de K na casca do eucalipto; (d) acúmulo de Ca na casca do eucalipto; (e) acúmulo de Mg na casca do eucalipto; (f) acúmulo de S na casca do eucalipto em função das doses residuais de K₂O. 126
- Figura 29.** (a) Acúmulo de N no lenho do eucalipto; (b) acúmulo de P no lenho do eucalipto; (c) acúmulo de K no lenho do eucalipto; (d) acúmulo de Ca no lenho do eucalipto; (e) acúmulo de Mg no lenho do eucalipto; (f) acúmulo de S no lenho do eucalipto em função das doses residuais de K₂O. 129
- Figura 30.** (a) Acúmulo de N total do eucalipto; (b) acúmulo de P total do eucalipto; (c) acúmulo de K total do eucalipto; (d) acúmulo de Ca total do eucalipto; (e) acúmulo de Mg total do eucalipto; (f) acúmulo de S total do eucalipto em função das doses residuais de K₂O. 130
- Figura 31.** Gráfico Biplot dos componentes principais PC1 e PC2 da análise de componentes principais com todos os pontos amostrais nos compartimentos (folha, galho, casca e lenho) e as seguintes variáveis: (a) M.O., altura de plantas (H) MS Lenho, Ca no solo, MS Galho, MS Folha, K. (b) M.O., altura de plantas (H), MS Lenho, diâmetro a altura do peito (DAP), MS Galho, K, MS Folha. (c) Volume, Ca no solo, MS Folha, MS Casca, K, MS Lenho. (d) MS Lenho, K, Ca no solo, Volume (V), MS Galho, MS Folha. 135
- Figura 32.** Gráfico Biplot dos componentes principais PC1 e PC2 da análise de componentes principais com todos os pontos amostrais e as seguintes variáveis: MS Lenho, MS Total, DAP, altura (H), pH, M.O., Al no solo, K no solo. 137

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Análise granulométrica do solo da área experimental. Três Lagoas - MS, 2011.	35
Tabela 2.	Médias dos atributos químicos do solo na profundidade de 0-0,20 m em função da reaplicação de N e a interação entre doses x reaplicação, em cultivo de eucalipto (Híbrido de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i> - clone I144), em sistema talhadia. Três Lagoas-MS, Brasil.	45
Tabela 3.	Diâmetro a altura do peito (DAP), altura de planta (H), volume de madeira (V), biomassa dos compartimentos (folha, galho, casca, lenho) e biomassa total de eucalipto (Híbrido de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i> - clone I144), em função da reaplicação com N e a interação entre doses x reaplicação. Três Lagoas – MS, Brasil.	49
Tabela 4.	Acúmulo de macronutrientes nas biomassas (folhas, galhos e casca) do eucalipto (Híbrido de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i> - clone I144), em função da reaplicação com N e a interação entre doses x reaplicação. Três Lagoas – MS, Brasil.	53
Tabela 5.	Desdobramentos da interação doses residuais de N x reaplicação das doses de N no acúmulo de Mg nas folhas, acúmulo de N na casca, acúmulo de K na casca, acúmulo de Ca na casca e acúmulo de Mg na casca de eucalipto (Híbrido de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i> - clone I144). Três Lagoas – MS, Brasil.	58
Tabela 6.	Acúmulo de macronutrientes nas biomassas (lenho e total) do eucalipto (Híbrido de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i> - clone I144), em função da reaplicação com N e a interação entre doses x reaplicação. Três Lagoas – MS, Brasil.	59
Tabela 7.	Desdobramentos da interação doses residuais de N e reaplicação das doses de N no acúmulo de P no lenho, acúmulo de Mg no lenho, acúmulo de S total em eucalipto	63

(Híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* - clone I144).
Três Lagoas-MS, Brasil.

Tabela 8.	Autovalores, quantidade de variância explicada e variância acumulada para as variáveis massa seca de folha (MS Folha), massa seca de galho (MS Galho), massa seca do lenho (MS Lenho), acúmulo de N (N) nos compartimentos (folha, galho, casca e lenho), acúmulo de Mg (Mg) na folha, galho, casca e lenho, DAP, volume total de madeira (V) de eucalipto (Híbrido de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i> - clone I144), pH, saturação por bases (V%), Mg no solo.	64
Tabela 9.	Autovalores, quantidade de variância explicada e variância acumulada para as variáveis saturação por bases, Mg no solo, pH, acúmulo de N total, acúmulo de Mg total, volume de madeira (V), diâmetro a altura do peito (DAP), massa seca do lenho (MS Lenho), massa seca da folha (MS Folha) e massa seca total (MS Total) de eucalipto (Híbrido de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i> - clone I144).	69
Tabela 10.	Autovalores e correlação canônica para as variáveis: volume, biomassa dos compartimentos (folha, galho, casca e lenho), teor de P no solo, acúmulo dos macronutrientes na biomassa dos compartimentos (folha, galho, casca e lenho), altura e DAP de eucalipto (Híbrido de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i> - clone I144).	72
Tabela 11.	Correlações entre as variáveis: volume, biomassa (folha, galho), M.O., Mg no solo, acúmulos de macronutrientes (folha, galho), altura de plantas e diâmetro a altura do peito (DAP) de eucalipto (Híbrido de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i> - clone I144), a partir da análise de correlação canônica.	74
Tabela 12.	Correlações entre as variáveis: volume total de madeira (V), biomassa (casca, lenho), matéria orgânica (M.O.), Mg no solo, acúmulos de macronutrientes (casca, lenho), altura de plantas e diâmetro a altura do peito (DAP) de eucalipto (Híbrido de	76

Eucalyptus urophylla x *E. grandis* - clone I144), a partir da análise de correlação canônica.

Tabela 13.	Médias dos atributos químicos do solo na profundidade de 0-0,20 m em função da reaplicação de P_2O_5 e a interação entre doses x reaplicação, em eucalipto (Híbrido de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i> - clone I144), em sistema talhadia. Três Lagoas – MS, Brasil.	78
Tabela 14.	Diâmetro a altura do peito (DAP), altura de plantas (H) e volume (V), biomassa dos órgãos (folha, galho, casca, lenho) e biomassa total em função da reaplicação com P_2O_5 e a interação entre doses x reaplicação, em eucalipto (Híbrido de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i> - clone I144), em sistema talhadia. Três Lagoas – MS, Brasil.	83
Tabela 15.	Desdobramentos da interação doses residuais de P_2O_5 pela reaplicação das doses de P_2O_5 na biomassa de casca, em eucalipto (Híbrido de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i> - clone I144), em sistema talhadia. Três Lagoas – MS, Brasil.	85
Tabela 16.	Acúmulo de macronutrientes nas biomassas (folhas, galhos e casca) do eucalipto em função da reaplicação com P_2O_5 e a interação entre doses x reaplicação, em eucalipto (Híbrido de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i> - clone I144), em sistema talhadia. Três Lagoas – MS, Brasil.	88
Tabela 17.	Acúmulo de macronutrientes nas biomassas (folhas, galhos e casca) do eucalipto em função da reaplicação com P_2O_5 e a interação entre doses x reaplicação, em eucalipto (Híbrido de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i> - clone I144), em sistema talhadia. Três Lagoas – MS, Brasil.	93
Tabela 18.	Acúmulo de macronutrientes nas biomassas (lenho e total) do eucalipto (Híbrido de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i> - clone I144) em função da reaplicação com P_2O_5 e a interação entre “doses x reaplicação”. Três Lagoas – MS, Brasil.	95
Tabela 19.	Desdobramentos da interação doses residuais de P_2O_5 e reaplicação das doses de P_2O_5 no acúmulo de Mg no lenho,	98

acúmulo de N no lenho e acúmulo de Ca total, em eucalipto (Híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* - clone I144), em sistema talhadia. Três Lagoas – MS, Brasil.

- Tabela 20.** Autovalores, quantidade de variância explicada e variância acumulada para as variáveis saturação por bases, P- resina, massa seca casca, diâmetro a altura do peito (DAP), massa seca do galho, massa seca da folha e acúmulo de P na folha, em eucalipto (Híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* - clone I144), em sistema talhadia. 100
- Tabela 21.** Autovalores, quantidade de variância explicada e variância acumulada para as variáveis saturação por bases, P- resina, massa seca casca, diâmetro a altura do peito (DAP), massa seca do galho, massa seca da folha e acúmulo de P na casca, em eucalipto (Híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* - clone I144), em sistema talhadia. 103
- Tabela 22.** Autovalores, quantidade de variância explicada e variância acumulada para as variáveis saturação por bases, P- resina, massa seca casca, diâmetro a altura do peito (DAP), massa seca do galho, massa seca da folha e acúmulo de P no galho, em eucalipto (Híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* - clone I144), em sistema talhadia. 104
- Tabela 23.** Autovalores, quantidade de variância explicada e variância acumulada para as variáveis saturação por bases, P- resina, massa seca casca, diâmetro a altura do peito (DAP), massa seca do galho, massa seca da folha e acúmulo de P nos compartimentos galho, folha e casca, em eucalipto (Híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* - clone I144), em sistema talhadia. 105
- Tabela 24.** Autovalores e correlação canônica para as variáveis: volume, biomassa de folha, teor de P no solo, acúmulo dos macronutrientes na biomassa de folha, altura e diâmetro a altura do peito (DAP). Autovalores e correlação canônica para as variáveis: volume, biomassa do galho, teor de P no solo, 108

acúmulo dos macronutrientes na biomassa do galho, altura e DAP. Autovalores e correlação canônica para as variáveis: volume, biomassa da casca, teor de P no solo, acúmulo dos macronutrientes na biomassa da casca, altura e DAP. Autovalores e correlação canônica para as variáveis: volume, biomassa do lenho, teor de P no solo, acúmulo dos macronutrientes na biomassa do lenho, altura e DAP, em eucalipto (Híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* - clone I144), em sistema talhadia.

- Tabela 25.** Correlações entre as variáveis: volume, biomassa (folha, galho), teor de P no solo, acúmulos de macronutrientes na folha, altura e diâmetro a altura do peito (DAP), em eucalipto (Híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* - clone I144), em sistema talhadia, a partir da análise de correlação canônica. 110
- Tabela 26.** Correlações entre as variáveis: volume, biomassa (casca, lenho), teor de P no solo, acúmulos de macronutrientes na casca, altura e diâmetro a altura do peito (DAP), em eucalipto (Híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* - clone I144), em sistema talhadia, a partir da análise de correlação canônica. 112
- Tabela 27.** Médias dos atributos químicos do solo na profundidade de 0-0,20 m em função da reaplicação com K₂O e a interação entre doses x reaplicação, em eucalipto (Híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* - clone I144), em sistema talhadia. Três Lagoas – MS, Brasil. 114
- Tabela 28.** Diâmetro a altura do peito (DAP), altura de planta (H), volume de madeira (V), biomassa dos órgãos (folha, galho, casca, lenho) e biomassa total de eucalipto (Híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* - clone I144), em sistema talhadia, em função da reaplicação com K₂O e a interação entre doses x reaplicação. Três Lagoas – MS, Brasil. 119
- Tabela 29.** Desdobramentos da interação doses residuais de K₂O e reaplicação das doses de K₂O na biomassa do lenho e biomassa total de eucalipto (Híbrido de *Eucalyptus urophylla* x 121

E. grandis - clone I144), em sistema talhadia. Três Lagoas – MS, Brasil.

- Tabela 30.** Acúmulo de macronutrientes nas biomassas (folhas, galhos e casca) do eucalipto (Híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* - clone I144), em sistema talhadia, em função da reaplicação com K₂O e a interação entre doses x reaplicação. Três Lagoas – MS, Brasil. 123
- Tabela 31.** Desdobramentos da interação doses residuais de K₂O e reaplicação das doses de K₂O, no acúmulo de Ca na casca e no acúmulo de Mg na casca, em eucalipto (Híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* - clone I144), em sistema talhadia. Três Lagoas – MS, Brasil. 127
- Tabela 32.** Acúmulo de macronutrientes nas biomassas (lenho e total) do eucalipto em função da reaplicação com K₂O e a interação entre doses x reaplicação, em eucalipto (Híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* - clone I144), em sistema talhadia. Três Lagoas – MS, Brasil. 128
- Tabela 33.** Desdobramentos da interação doses residuais de K₂O e reaplicação das doses de K₂O nove meses após a definição dos brotos, no acúmulo de N total, no cúmulo de K total e de S total, em eucalipto (Híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* - clone I144), em sistema talhadia. Três Lagoas – MS, Brasil. 131
- Tabela 34.** Autovalores, quantidade de variância explicada e variância acumulada para as variáveis massa seca de folha (MS Folha), massa seca de galho (MS Galho), massa seca do lenho (MS Lenho), acúmulo de N (N) nos compartimentos (folha, galho, casca e lenho), acúmulo de K nos compartimentos (folha, galho, casca e lenho), DAP, altura de plantas (H), Ca no solo, em eucalipto (Híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* - clone I144), em sistema talhadia. 133
- Tabela 35.** Autovalores, quantidade de variância explicada e variância acumulada para as variáveis massa seca de folha (MS Folha), 136

massa seca de galho (MS Galho), massa seca do lenho (MS Lenho), acúmulo de N (N) nos compartimentos (folha, galho, casca e lenho), acúmulo de Mg (Mg) na folha, galho, casca e lenho, diâmetro a altura do peito (DAP), volume total de madeira (V), pH, saturação por bases (V%), Mg no solo, no segundo ciclo de eucalipto (Híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* - clone I144), em cultivo talhadia.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	25
2	REVISÃO DE LITERATURA	27
2.1	Cultura do Eucalipto	27
2.2	Sistema Talhadia	28
2.3	Adubação Nitrogenada	29
2.4	Adubação Fosfatada	30
2.5	Adubação Potássica	31
2.6	Estatística Multivariada	32
3	OBJETIVOS	34
3.1	Objetivos específicos	34
4	MATERIAL E MÉTODOS	35
4.1	Localização e Clima	35
4.2	Histórico de manejo	36
4.3	Tratamentos e esquema experimental	38
4.3.1	Experimento 1 – Nitrogênio	38
4.3.2	Experimento 2 – Fósforo	38
4.3.3	Experimento 3 – Potássio	39
4.4	Avaliações	39
4.5	Análise dos dados	41
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
5.1	EXPERIMENTO 1 – Nitrogênio	44
5.2	EXPERIMENTO 2 – Fósforo	77
5.3	EXPERIMENTO 3 – Potássio	113
6	CONCLUSÕES	138
6.1	Experimento de nitrogênio	138
6.2	Experimento de fósforo	138
6.3	Experimento de potássio	139
6.4	Experimentos de nitrogênio, fósforo e potássio	139
	REFERÊNCIAS	140

1 INTRODUÇÃO

Em 2021, a produção de florestas plantadas no Brasil ocupou área estimada em 9,93 milhões de hectares, com destaque para a área plantada com eucalipto de 76,9% (aproximadamente 7,3 milhões de hectares), e produtividade média nacional de 38,9 m³ ha⁻¹ ano (IBÁ, 2022), sendo exportados do país, aproximadamente 2,73 mil toneladas de produtos florestais provenientes do eucalipto (CEPEA, 2022).

O Mato Grosso do Sul (MS), é o estado que possui o maior número de municípios com florestas de eucalipto no País, destacando-se o município de Três Lagoas, com área de 237,3 mil ha, com um dos maiores valores de produção florestal primário, em torno de R\$ 389,9 milhões, ocupando assim a quarta posição dos 20 municípios do País (IBGE, 2021). O MS ocupa lugar de destaque nas plantações de eucalipto, por liderar a expansão de áreas nos últimos anos (IBÁ, 2021) e por sua expressividade na cadeia produtiva de base florestal, formada por agentes econômicos ligados à produção, distribuição e consumo de bens e serviço, responsáveis pelos segmentos de produção de mudas, fertilizantes, máquinas e equipamentos, celulose, papel, serrados entre outros relacionados ao cultivo do eucalipto (ORTIGOZA; SENNA, 2016).

O sistema de talhadia se caracteriza por originar vegetativamente um novo sítio florestal a partir de brotos das cepas ou tocos deixados por árvores cortadas de ciclos anteriores (BARROS; MACEDO; VENTURIN, 2017; UNRAU *et al.*, 2018). Este manejo florestal, dispõe da aparente vantagem de elevada taxa de crescimento inicial das brotações (talhadia) comparada com manejo alto fuste, especialmente por estas primeiras apresentarem sistema radicular já estabelecido que contém reservas orgânicas e inorgânicas, sujeitas a utilização imediata (REIS; REIS, 1997), sendo que, a utilização deste manejo florestal, requer poucos insumos em comparação ao sistema alto fuste (UNRAU *et al.*, 2018; VENANZI *et al.*, 2019), apresentando rápido crescimento inicial das brotações, resultando em obtenção de produção de madeira máxima rápido do que aquele da primeira rotação.

A grande maioria das plantações de eucalipto, manejadas no sistema de talhadia, estão sendo conduzidas em áreas com déficit hídrico e nutricionais em diferentes graus de severidade (GONÇALVES *et al.*, 2014). Além disso, a ação antrópica por longos anos por meio da pecuária extensiva reduziu mais ainda os nutrientes destes solos, modificando os atributos químicos do solo.

Tem-se registrado decréscimo de produtividade nos ciclos subsequentes do eucalipto, que nem sempre está associado à redução do número de troncos do povoamento original (REIS; REIS, 1997). Faria *et al.* (2002) constataram decréscimo médio de 52% na produtividade do primeiro para o segundo ciclo produtivo, atribuído à exportação de nutrientes, em especial de potássio (K), no ciclo anterior, ocasionando a redução na fertilidade do solo. Contudo, vale destacar que aproximadamente 86% do volume de madeira do eucalipto em segundo ciclo pode ser obtido a partir do suprimento de reservas de nutrientes do solo e raízes e 14% desta produtividade foi devida à fertilização mineral (GODOI *et al.*, 2018). Portanto, estes autores verificaram que a adubação adequada no primeiro ciclo do eucalipto atende quase toda a demanda nutricional da floresta no segundo ciclo de produção na região de Cerrado.

Entender a resposta da adubação em segundo ciclo produtivo é de grande valia, diante das mudanças nas condições do sítio florestal propiciada pelo ciclo antecessor, como a disponibilidade dos nutrientes, alterada pela exportação destes pela colheita da madeira, pelo residual da adubação e por sua deposição e mineralização dos resíduos florestais advindo da ciclagem dos nutrientes ao longo do primeiro ciclo de cultivo, decomposição das raízes e dos restos da colheita. Além desse fato, a presença do sistema radicular já estabelecido, altera a forma de aquisição dos nutrientes pelas brotações, pois o maior volume do sistema radicular aumenta a capacidade de absorção dos nutrientes. Isto representa uma vantagem das brotações de eucalipto manejadas no sistema de talhadia em relação à prática do replantio da área (reforma), além de apresentar outras vantagens, como o baixo custo de implantação, devido à economia com a aquisição de mudas, preparo do solo e o seu plantio. Nesse sentido, o aumento das doses de fertilizantes resulta em ganhos na produtividade da cultura do eucalipto de primeiro ciclo, devido a maior disponibilidade de nutrientes, principalmente em solos de baixa fertilidade natural, a exemplo dos Neossolos Quartzarênico. No entanto, o aumento na produtividade da cultura implica em maior acúmulo dos nutrientes na planta, e conseqüentemente, na sua maior exportação pela colheita da madeira, o que reforça a importância da adubação para os próximos ciclos. Neste aspecto, a fertilização desses ciclos deve ser diferenciada, pois dependem do manejo adotado: replantio ou rebrota (condução de brotações).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cultura do Eucalipto

A importância da cultura do eucalipto no Brasil é resultado da pesquisa de base florestal, que tornou os plantios comerciais competitivos a nível mundial, destacando o fato de sua produtividade anual ser uma das maiores do mundo, em torno de $40 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}$ (IBÁ, 2022). A crescente produtividade da eucaliptocultura levou a pesquisa científica reavaliar as questões ambientais, com a finalidade de não comprometer a sustentabilidade das plantações florestais, mediante a adoção de melhores manejos silviculturais a serem adotadas, que minimizam os impactos que poderiam ser gerados e torna-os menores se comparados a outras culturas comerciais (OLIVEIRA; PINTO JUNIOR, 2021).

O eucalipto ocupou área plantada de 7,3 milhões de hectares no ano de 2021 (IBÁ, 2022), distribuídos por todo o território nacional, na região Sudeste em maior proporção (54,2%) (ABRAF, 2014), sendo que o estado do Mato Grosso do Sul se destaca nas plantações comerciais por liderar a expansão territorial da cultura em todo país (IBÁ, 2021). A crescente aceitação da cultura em todas as regiões do Brasil se deve ao rápido crescimento do dossel florestal, alta produtividade, múltiplos produtos de base florestal e seus lucros gerados, que correspondeu no ano de 2021 uma receita bruta de R\$ 244,6 bilhões, representando no PIB nacional um valor de 1,2% da economia brasileira, equivalente ao maior valor já obtido pela cadeia de base florestal na última década (IBÁ, 2022).

O rápido crescimento das plantações de eucalipto representa mobilização de nutrientes elevada (GATTO *et al.*, 2014), sendo o lenho maior acumulador da biomassa na parte aérea, podendo representar de 60 a 80% da biomassa total produzida pela planta (FOELKEL, 2005; GATTO *et al.*, 2014; GARLET, 2021; DICK *et al.*, 2017; BENTANCOR *et al.*, 2019), determinando assim o grau de exportação dos nutrientes, onde o acúmulo deste na parte aérea do eucalipto segue a seguinte ordem de exportação, em média: $\text{N} > \text{K} > \text{Ca} > \text{S} > \text{Mg} > \text{P}$ (GATTO *et al.*, 2014; VARGAS *et al.*, 2019; ARAÚJO *et al.*, 2020), $\text{Fe} > \text{Mn} > \text{B} > \text{Zn} > \text{Cu}$ (DICK *et al.*, 2017). Portanto, pode-se inferir que o N e o K são os nutrientes minerais mais extraídos e, conseqüentemente, exportados com a colheita do fuste comercial, que pode levar a uma diminuição da disponibilidade destes para os ciclos subsequentes do eucalipto.

Com base na demanda nutricional e alocação dos nutrientes do eucalipto, nas diferentes frações da biomassa produzida, a manutenção dos resíduos florestais nos sítios de produção torna-se essencial para a conservação e fertilidade do solo (DICK *et al.*, 2017). Essa prática favorece a ciclagem dos nutrientes, que nada mais é que a movimentação dos mesmos nos compartimentos do ecossistema (SOUZA *et al.*, 2018), que contribui para a sustentabilidade do sistema de produção.

A ciclagem de nutrientes do solo, em grande parte, é contribuição da deposição de serrapilheira (AMORIM *et al.*, 2021), que pode representar de 20 a 50% da matéria orgânica total do solo nos ecossistemas florestais, cuja reserva nutricional pode influenciar processos de funcionamento e, pode se tornar, em algumas fases de desenvolvimento do eucalipto, como a principal fonte de nutrientes (VARGAS *et al.*, 2018). O balanço do sistema solo-planta determina, em conjunto com outros fatores, a sustentabilidade do sistema de uma floresta, e a velocidade com que os nutrientes serão reciclados influencia diretamente na produtividade primária do eucalipto (SCHUMACHER *et al.*, 2013).

2.2 Sistema Talhadia

O sistema Talhadia é um manejo florestal que tem por característica a condução das brotações das cepas de árvores cortadas de ciclos anteriores. Esse sistema apresenta como uma das principais vantagens a elevada taxa de crescimento inicial das brotações, em comparação ao manejo alto fuste, principalmente por contar com um sistema radicular estabelecido (ciclo anterior), que contém reservas orgânicas e inorgânicas para a utilização das brotações (REIS; REIS, 1997; BARROS; MACEDO; VENTURIN, 2017; BAIERO, 2017; ROCHA *et al.*, 2019). Além da diferença na taxa de crescimento entre os dois tipos de manejo, Alto Fuste e Talhadia, outras diferenças podem ser citadas, tais como: densidade de plantio, tratamentos silviculturais intensivos e adubações (BENTANCOR *et al.*, 2019), evidenciando a importância de estudos específicos para o manejo do eucalipto no sistema Talhadia.

O eucalipto é uma das espécies florestais utilizada no sistema Talhadia, por apresentar capacidade de brotação das cepas, devido ao estímulo de gemas adventícias, que permite que a mesma plantação seja colhida em novos ciclos de produção (ROCHA *et al.*, 2019). No Brasil, o sistema Talhadia se consolidou como alternativa de manejo para a indústria desde a introdução das espécies de *Eucalyptus*;

no entanto, a diminuição da produtividade do primeiro para os demais ciclos de produção, levou as empresas a partir da década de 90 optarem pelo replantio das áreas florestais com mudas de materiais genético mais produtivo e adaptado, mais tarde, em meados do ano de 2008, as empresas retornaram com o manejo das áreas de eucalipto no sistema Talhadia (GONÇALVES *et al.*, 2013; ROCHA *et al.*, 2018)..

A queda na produtividade entre os ciclos de produção no sistema Talhadia pode ser atribuída à deficiência nutricional, levando em consideração que as demais características do solo e da planta que controlam os fluxos de água e nutrientes se encontram inalterados. Por isso, a importância de desenvolver recomendações de fertilização para as brotações, que otimizem o crescimento das florestas e minimizem os custos de produção (BARROS *et al.*, 1996), além de maior sustentabilidade do sistema. Vale ressaltar que grande parte das plantações de eucalipto manejadas no sistema Talhadia, ocupam áreas com déficit hídrico e nutricionais em diferentes graus de severidade (GONÇALVES *et al.*, 2014). Outro ponto importante é a ação antrópica ao longo dos anos anterior à introdução do eucalipto nos sítios de produção marcada pela pecuária extensiva, que promoveram a redução dos teores de nutrientes e modificaram os atributos químicos do solo (GODOI, 2020). O fornecimento inadequado dos nutrientes no sistema Talhadia resulta em um menor acúmulo destes nas árvores, que, conseqüentemente, diminui a produção de madeira. Por lado, o manejo nutricional adequado dos povoamentos de Talhadia resulta na manutenção ou incremento da produtividade em relação à primeira rotação (SILVA *et al.*, 2020).

2.3 Adubação Nitrogenada

O nitrogênio (N) é um dos elementos minerais mais requeridos pelas plantas de eucalipto, com isso, em razão de a elevada exportação com a colheita do fuste comercial, costumam demandar grandes quantidades de N para suprir os ciclos subsequentes; entretanto, vale ressaltar que as plantas de eucalipto podem apresentar baixa resposta à adubação nitrogenada (OLIVEIRA *et al.*, 2020; LIMA *et al.*, 2017). Lima *et al.* (2017) reportaram que as plantas de eucalipto podem não responder à adubação nitrogenada, no segundo ciclo de produção, até os doze meses após a emissão das brotações, sendo que a mineralização deste nutriente da matéria orgânica foi suficiente para suprir a demanda no desenvolvimento inicial das brotações de eucalipto. Entretanto, Ferreira *et al.* (2004) verificaram que o eucalipto cultivado em sistema Talhadia responde positivamente a adubação nitrogenada, com maiores

respostas em solos de baixa fertilidade, contribuindo assim para o aumento de produtividade das florestas comerciais.

Inúmeros fatores podem contribuir para o aumento da resposta à fertilização nitrogenada nas áreas florestais de eucalipto, tais como: seleção das fontes nitrogenadas adequadas a cada situação de cultivo, época e forma de aplicação, fatores inerentes às espécies florestais, às características do solo de cultivo, das condições ambientais, entre outros (SILVA *et al.*, 2023).

O N tem papel fundamental no crescimento vegetativo e reprodutivo das plantas, este nutriente é essencial para a formação de aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, coenzimas, pigmentos fotossintetizantes, tal como a clorofila, exercendo papel estrutural e metabólico nas plantas (CANTARELLA; MATTOS JUNIOR, 2022; TAIZ; ZEIGER, 2017).

A adubação nitrogenada é uma das formas de disponibilização deste nutriente para as plantas, sendo também umas das principais práticas para aumentar a produtividade nos sítios florestais de eucalipto (ASSIS *et al.*, 2018), em conjunto com a ciclagem de nutrientes proveniente da deposição de serrapilheira e dos restos culturais, minimizando custos com adubação nitrogenada (SILVA *et al.*, 2018).

A reposição adequada dos nutrientes nos sítios florestais é fundamental para garantir a produtividade tanto no manejo Alto Fuste quanto no Talhadia, garantindo a sustentabilidade do sistema de produção e a continuidade dos ciclos subsequentes (MERINO *et al.*, 2005).

2.4 Adubação Fosfatada

O fósforo (P) é dentre os macronutrientes, o menos exigido em quantidade para o crescimento das plantas, em contrapartida, é um dos mais aplicados em adubação nas culturas comerciais do Brasil, fato esse explicado pela baixa disponibilidade de P dos solos tropicais, em decorrência das características dos solos brasileiros, além de fatores inerentes a alta adsorção deste nutriente sobretudo em solos altamente intemperizados (QUAGGIO *et al.*, 2022; MAEDA; BOGNOLA, 2012).

As doses aplicadas de P em solos brasileiros são em torno de 50 kg ha⁻¹ em cada ciclo de cultivo do eucalipto, podendo até a atingir doses de aplicações mais elevadas a depender da fertilidade do solo (GONÇALVES *et al.*, 2008) e disponibilidade P no solo. As árvores de eucalipto são altamente eficientes na absorção e utilização do P, e a ciclagem do nutriente favorece o retorno e a

retranslocação ao longo do crescimento florestal, diminuindo assim a necessidade de reaplicação desse nutriente ao longo do ciclo de produção, portanto, as formas orgânicas de P no solo são essenciais para a manutenção e sustentabilidade do sistema de produção (FOLTRAN *et al.*, 2019). As espécies florestais tendem a ter seu potencial de crescimento reduzido, quando se desenvolvem em solos com baixo teor de P disponível, mostrando-se responsivas à adubação fosfatada. O crescimento inicial das plantas de eucalipto é de grande importância, uma vez que a rápida cobertura florestal garante condições de competição com as plantas invasoras, diminui o escoamento superficial e assoreamento do solo, que podem aumentar ainda mais as perdas dos nutrientes no solo (SILVA *et al.*, 2022).

O P influencia diretamente no crescimento inicial do eucalipto, pois exerce importantes funções no metabolismo das plantas, participando da formação de ácidos nucleicos, nucleotídeos, coenzimas, fosfolípidos, entre outros, tendo assim papel central nas reações que envolvem ATP, por ser o componente principal desta molécula (TAIZ; ZEIGER, 2017; QUAGGIO *et al.*, 2022; SILVA *et al.*, 2022). Segundo as recomendações do BOLETIM 100 (QUAGGIO *et al.*, 2022) a fertilização fosfatada em função das classes texturais dos solos se baseia diretamente no teor de argila e na quantidade de P (mg dm^{-3}) presente no solo, avaliado por meio da análise física e química do solo, respectivamente.

2.5 Adubação Potássica

O potássio (K), assim como o P, é um dos nutrientes que limitam a produção do eucalipto nas áreas de produção, que são naturalmente de baixa fertilidade nutricional, tornando a fertilização com esses nutrientes essenciais para o aumento de produtividade nas áreas plantadas com eucalipto (MATEUS *et al.*, 2019; BOLETIM 100, 2022). A necessidade de adubação nos cultivos é proveniente da premissa que nem sempre o solo é capaz de suprir a demanda nutricional das plantas ao longo do crescimento e desenvolvimento vegetal (GONÇALVES, 1995). Diante disso, a recomendação de adubação potássica de acordo com as classes texturais do solo, assim como para o P, baseia-se no teor de argila e no teor de K^+ (mmolc dm^{-1}) no solo (MATTOS JUNIOR *et al.*, 2022). As maiores respostas a K são observadas em solos originários de rochas sedimentares, solos de textura arenosa a média, sendo que, a depender da dose aplicada, é necessário o parcelamento da adubação com este

nutriente, evitando assim possíveis perdas por lixiviação no sistema (MATTOS JUNIOR *et al.*, 2022).

Para as culturas florestais, o K é importante para o funcionamento regular de inúmeros processos na planta: desempenhando função no metabolismo e transporte de carboidratos, atuando também na regulação osmótica celular (CARDOZO, 2021), cofator enzimático de mais de 40 enzimas (TAIZ; ZEIGER, 2017), taxa transpiratória que reflete na efetividade do consumo de água (BATTIE-LACLAU *et al.*, 2016), entre outros processos. No sistema Talhadia, a adubação com K é importante visando uma possível queda na produtividade entre os ciclos de produção, em que, a manutenção correta deste nutriente pode representar aumento no diâmetro do fuste comercial (SETTE JUNIOR *et al.*, 2010; GAZOLA *et al.*, 2019). Além disso, plantas adequadamente supridas com esse nutriente, possuem maior resistência a déficits hídricos acentuados (SOARES, 2020), o que é comum em cultivos de eucalipto em solos arenosos na região de Três Lagoas - MS.

2.6 Estatística multivariada

O avanço da tecnologia computacional e a necessidade das pesquisas proporcionou maior difusão da técnica estatística da análise multivariada, que por sua vez é amplamente empregada em diversas áreas do conhecimento como geologia, meteorologia, hidrologia, medicina, indústria, agricultura, economia e muitos outros campos, sendo uma maneira eficaz de resolver problemas práticos (SHIKER, 2012).

A finalidade da análise estatística multivariada é descrever e analisar inúmeras variáveis isoladas em um conjunto de dados simultaneamente, buscando correlação entre essas variáveis, podendo obter informações e interpretações que não seriam perceptíveis com a análise univariada e evidenciar o quão importante cada uma é para o resultado final (FREDDI, 2008; SHIKER, 2012; LIMA, 2019). Sendo possível avaliar grupos de atributos buscando verificar as semelhanças e diferenças entre os mesmos, além de ser comum na literatura a utilização da análise multivariada para definir relações entre os atributos químicos e físicos do solo numa área agrícola (ARAÚJO *et al.*, 2018; de CARVALHO *et al.*, 2018; MILSTEIN *et al.*, 2005).

A Análise de Componentes Principais (ACP) é uma das técnicas abrangida pela análise multivariada, que se baseia em gerar um novo conjunto de variáveis, denominados de componentes principais (CP), identificando dentro de cada componente principal variáveis correlacionadas, diminuindo assim o “leque” de

variáveis estudadas, cada componente principal gerado é uma combinação linear de variáveis (VIANA; PONTES, 2018). A ACP pode ajudar na identificação dos principais fatores que afetam a variável dependente, além de auxiliar na análise de fatores sendo um primeiro passo a seguir, entretanto, existe a desvantagem de envolver apenas um conjunto de interdependências entre variáveis, ao contrário da análise de correlação canônica que discute a relação entre duas variáveis (SHIKER, 2012).

A Análise de Correlação Canônica (ACC) tem por objetivo correlacionar linearmente e simultaneamente variáveis dependentes e variáveis independentes, envolvendo uma combinação linear no conjunto de variáveis (HAIR *et al.*, 2005), com a condição de que duas variáveis sejam contínuas e que as informações obedeçam a uma distribuição normal (SHIKER, 2012). Esta análise estatística é frequentemente utilizada como complemento útil à análise de regressão multivariada (SHIKER, 2012).

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivos gerais

Em três experimentos, o objetivo foi avaliar separadamente o residual de doses de N, P e K do primeiro ciclo produtivo do eucalipto e o efeito da reaplicação dos respectivos nutrientes, nos atributos químicos do solo, na nutrição, biomassa produzida e partição dos nutrientes extraídos do eucalipto em sistema de talhadia, em um NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico de baixa fertilidade natural, no município de Três Lagoas - MS.

3.2 Objetivos específicos

- a) Avaliar o efeito residual da adubação nitrogenada, fosfatada e potássica na nutrição e produtividade do eucalipto;
- b) Verificar se a reaplicação de N, P e K interfere positivamente na nutrição e desenvolvimento do eucalipto em um solo arenoso com baixa fertilidade natural;
- c) Averiguar a extração e exportação dos nutrientes na colheita eucalipto, e se ocorre redução da disponibilidade dos nutrientes no solo para os ciclos subsequentes;
- d) Analisar o acúmulo de nutrientes na serapilheira e sua contribuição nos atributos químicos do solo e nutrição de plantas do sítio florestal;
- e) Entender melhor as relações dos atributos químicos do solo, nutrição da planta e produtividade de eucalipto por meio da análise estatística multivariada.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização e Clima

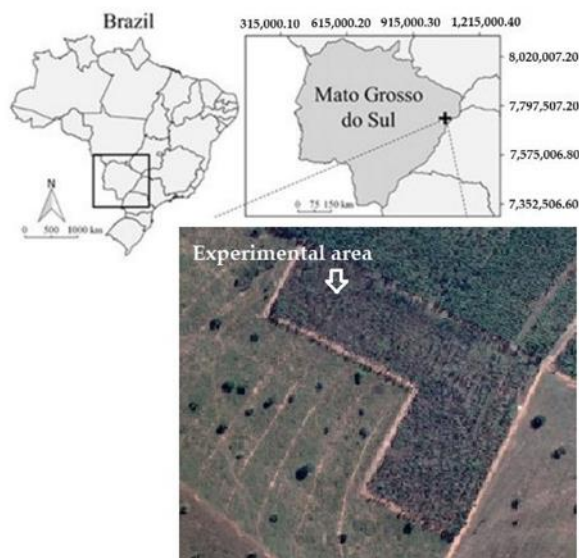
O estudo compreendeu três experimentos, conduzidos, simultaneamente, em áreas distintas e anexas, com o mesmo histórico de uso e manejo, com a principal finalidade de mensurar o efeito residual de N, P e K, aplicados no primeiro ciclo, assim como o efeito da reaplicação, da adubação nitrogenada, fosfatada e potássica, no segundo ciclo de cultivo de eucalipto (Híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* - clone I144). Os experimentos foram conduzidos no período de março de 2018 a janeiro de 2022, na Fazenda Renascença, fundo agrícola administrado pela Cargill Agrícola S/A, com latitude 20° 34' Sul, longitude 51° 50' Oeste e altitude média de 305 m acima do nível do mar, no município de Três Lagoas-MS (Figura 1). A área experimental era ocupada por vegetação natural, principalmente por plantas do bioma Cerrado, e antes do plantio do primeiro ciclo da cultura do eucalipto por pastagem degradada. O solo foi classificado como NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico (NQo) (SANTOS *et al.*, 2018) (Tabela 1).

Tabela 1. Análise granulométrica do solo da área experimental. Três Lagoas - MS, 2011.

Profundidades (m)	Argila	Silte	Areia total
	----- g kg ⁻¹ -----		
0-0,20	85	17	898
0,20-0,40	104	20	876
0,40-0,60	114	17	869
0,60-0,80	121	18	861
0,80-1	130	21	849
1-1,20	145	24	831

Fonte: Gazola, 2014.

Figura 1. Área de estudo no município de Três Lagoas, Mato Grosso do Sul, Brasil (20° 34' S, 51° 50' O, altitude média de 305 m).



Fonte: Compilação da autora (GOOGLE EARTH, 2009).

Anterior a instalação do experimento de primeiro ciclo produtivo do eucalipto, foram coletadas amostras do solo nas profundidades de 0,0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m para determinação dos atributos químicos do solo, segundo a metodologia descrita por Raij *et al.* (2001). Os resultados obtidos com a análise dos atributos químicos na profundidade de 0,0 a 0,20 m foram: pH em CaCl_2 de 4,2; 7,4 g dm^{-3} de M.O.; 1 mg dm^{-3} de P em resina; e teores de K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , $\text{H}+\text{Al}$ e Al^{+3} de 0,2; 4,2; 1,9; 17,0 e 4,3 mmol $_c$ dm^{-3} , respectivamente, e a saturação por bases (V) de 27%. Na profundidade de 0,20 a 0,40 m, foram: pH em CaCl_2 de 4,2 e 6,8 g dm^{-3} de M.O.; 1 mg dm^{-3} de P em resina; teores de K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , $\text{H}+\text{Al}$ e Al^{+3} de 0,3; 1,6; 1,1; 18,0 e 4,5 mmol $_c$ dm^{-3} , respectivamente, e V de 14%.

A classificação climática da região é Aw, de acordo com o sistema de Classificação de Köppen-Geiger (KÖPPEN-GEIGER, 1936), caracterizado por uma estação úmida tropical com um verão chuvoso e um inverno seco (Figura 2).

4.2 Histórico de manejo

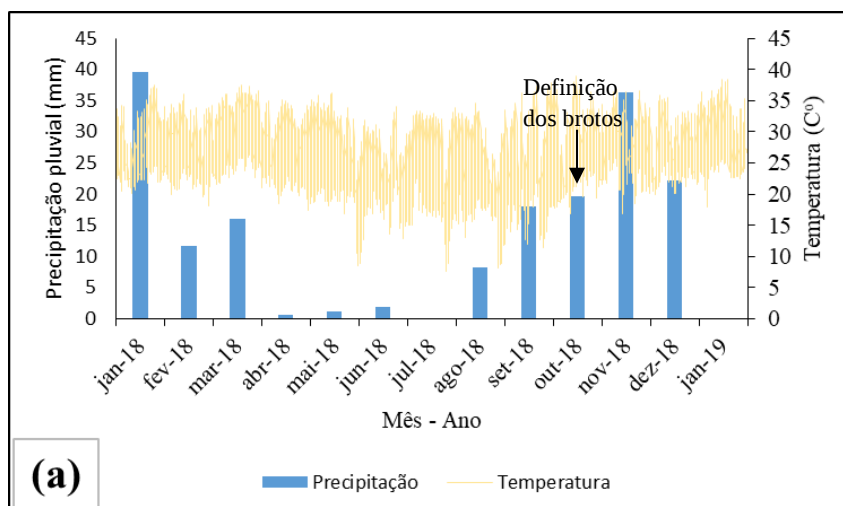
Em setembro de 2011, anterior ao plantio do primeiro ciclo, foram aplicados 1500 kg ha^{-1} de calcário (PRNT de 80%) e 500 kg ha^{-1} de gesso a lanço em área total. O plantio das mudas do híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* (clone I144) foi realizado em janeiro de 2012 (Primeiro ciclo), com espaçamento de 3,0 x 2,5 m. Cada

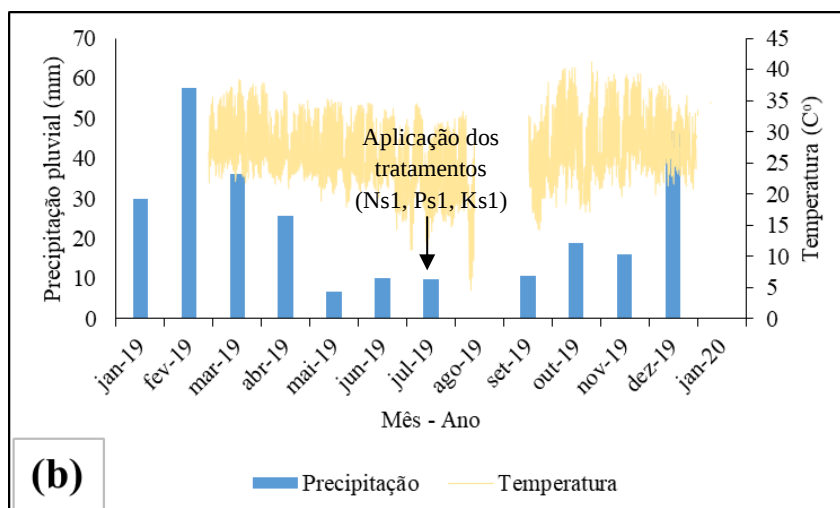
parcela foi composta por 56 plantas, distribuídas em sete linhas de oito plantas cada, totalizando 420 m².

A colheita da área experimental no primeiro ciclo foi realizada em maio de 2018. A desbrota e definição dos brotos foram efetuadas quando as brotações estavam com altura média entre 2,5-3,0 m (outubro de 2018; Figura 2a). A definição dos brotos nessa faixa média de altura favorece a resistência a ação dos ventos, isso porque, nesse estágio de desenvolvimento, as brotações são fortes suficientemente para suportar tais eventos. Selecionou-se os dois brotos mais vigorosos a serem conduzidos por cepa, localizados na parte lateral superior. Ambos vão crescendo e se desenvolvendo, acabam “fechando” mais a área de corte da cepa, o que conferindo melhor “fixação” à cepa, reduzindo a queda e tombamentos. Enquanto os brotos localizados na parte lateral inferior da cepa, ou seja, próximo à superfície do solo, são facilmente quebrados, tombados ou arrancados no caso de contato com máquina e/ou equipamentos.

Nove meses após a definição dos brotos, em julho de 2019, foram aplicados os tratamentos nos experimentos de N, P e K, conforme segue descrição abaixo (Figura 2b).

Figura 2. (a) Precipitação pluvial mensal (mm) e temperatura média (C°) registrada na estação meteorológica automática de Três Lagoas – MS, de janeiro de 2018 a janeiro de 2019. (b) Precipitação pluvial mensal (mm) e temperatura (C°) registrada na estação meteorológica automática de Três Lagoas – MS, de janeiro de 2019 a janeiro de 2020.





Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia, 2020.

4.3 Tratamentos e esquema experimental

4.3.1 Experimento 1 - Nitrogênio

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados dispostos em esquema fatorial 4 x 2, com cinco repetições. As parcelas foram os tratamentos do primeiro ciclo produtivo (Nr0: 0 kg ha⁻¹ de N, Nr1: 70 kg ha⁻¹ de N, Nr2: 105 kg ha⁻¹ de N e Nr3: 140 kg ha⁻¹ de N). No segundo ciclo, cada parcela foi dividida ao meio e composta por 24 plantas, distribuídas em três linhas de oito plantas cada, totalizando 180 m². Nessas foram aplicados um dos dois tratamentos do segundo ciclo (Ns0: 0 kg ha⁻¹ de N e Ns1: 160 kg ha⁻¹ de N, na forma de nitrato de amônio), no tratamento Ns0 não foi aplicado nitrogênio, para permitir mensurar o efeito residual da adubação nitrogenada aplicada no ciclo precedente, e no tratamento Ns1 foi reaplicado o nitrogênio (“efeito imediato”), cuja dose foi em uma única aplicação, aos nove meses após a definição dos brotos (julho de 2019). Sendo 160 kg ha⁻¹ de N, utilizando como fonte o nitrato de amônio. Foram aplicados também 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (superfosfato triplo) e 80 kg ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio) e 100 kg ha⁻¹ de K₂O aos nove meses da definição dos brotos. A aplicação dos fertilizantes foi feita manualmente na entrelinha (projeção da copa), distribuídos em meia-lua na parte superior da linha de plantio.

4.3.2 Experimento 2 – Fósforo

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, dispostos em esquema fatorial 4 x 2, com cinco repetições. As parcelas foram os tratamentos do

primeiro ciclo produtivo (Pr0: 0 kg ha⁻¹ de P₂O₅, Pr1: 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅, Pr2: 70 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e Pr3: 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅; superfosfato triplo). Cada parcela foi dividida ao meio e composta por 24 plantas, distribuídas em três linhas de oito plantas cada, totalizando 180 m². Nessas foram aplicados um dos dois tratamentos do segundo ciclo (Ps0: 0 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e Ps1: 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅; superfosfato triplo; Fig. 2 (b)), no tratamento Ps0 foi avaliado o efeito residual da adubação fosfatada do primeiro ciclo e no tratamento Ps1 foi reaplicado o fósforo (superfosfato triplo) aos nove meses após a definição dos brotos (julho de 2019; Figura 2 (b)), visando mensurar o “efeito imediato” da aplicação do nutriente no segundo ciclo. Foram aplicados 160 kg ha⁻¹ de N (nitrato de amônio) e 180 kg ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio) aos nove meses após a definição dos brotos. A aplicação dos fertilizantes foi manualmente na entrelinha (projeção da copa), distribuídos em meia-lua na parte superior da linha de plantio.

4.3.3 Experimento 3 – Potássio

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, dispostos em esquema fatorial 4 x 2 e com cinco repetições. As parcelas foram os tratamentos do primeiro ciclo produtivo (Kr0: 0 kg ha⁻¹ de K₂O, Kr1: 90 kg ha⁻¹ de K₂O, Kr2: 135 kg ha⁻¹ de K₂O e Kr3: 180 kg ha⁻¹ de K₂O). Cada parcela foi dividida ao meio e composta por 24 plantas, distribuídas em três linhas de oito plantas cada, totalizando 180 m². Nessas foram aplicados um dos dois tratamentos do segundo ciclo (Ks0: 0 kg ha⁻¹ de K₂O e Ks1: 180 kg ha⁻¹ de K₂O), no tratamento Ks0 foi avaliado o efeito residual da adubação potássica do ciclo anterior e no tratamento Ks1 foi reaplicado o potássio (“efeito imediato” em uma única aplicação, nove meses após a definição dos brotos (julho de 2019)). Sendo aplicado 180 kg ha⁻¹ de K₂O, utilizando como fonte o cloreto de potássio. Foram aplicados 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (superfosfato triplo) e 160 kg ha⁻¹ de N (nitrato de amônio) aos nove meses após a definição dos brotos. A aplicação dos fertilizantes foi manualmente na entrelinha (projeção da copa), distribuídos em meia-lua na parte superior da linha de plantio.

4.4 Avaliações

a. Análise dos atributos químicos do solo

Quatro meses após a reaplicação das doses de adubação com N, P₂O₅ e K₂O (novembro de 2019) foram coletadas quatro amostras simples por parcela na entrelinha de plantio (projeção da copa - perpendicular à linha de plantio a distância

de 0,50 m da planta) na profundidade de 0,0-0,20 m, com a utilização de trado de caneca. Essas amostras foram homogeneizadas, e dessas retiradas parte para formar amostra composta, sendo essas acondicionadas em sacos plásticos identificados, secas, passadas em peneira de 2 mm e levadas ao Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, da Unesp/Ilha Solteira onde foram determinados os atributos químicos do solo (M.O., P-resina, K, Ca, Mg, SB, V%, CTC, m%, $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$, H+Al, Al) segundo a metodologia descrita por Van Raij *et al.* (2001).

b. Medições do diâmetro à altura do peito e altura de plantas para estimar o volume de madeira

A medição da circunferência na altura do peito (CAP) foi realizada a 1,30 m de altura da planta com auxílio de uma fita métrica, e posteriormente calculou-se o diâmetro a altura do peito (DAP) por meio da equação (1), e para a altura o hipsômetro Forestor Vertex, ambas as avaliações foram obtidas doze meses após a definição dos brotos (novembro de 2019). Com os dados do DAP e altura de plantas foi estimado o volume de madeira pelas seguintes equações (2) e (3):

$$DAP = \frac{CAP}{\pi} \quad (1)$$

$$V_i = \frac{\pi(DAP_i)^2 \cdot ff \cdot H_i}{4} \quad (2)$$

$$V_{tc} = \sum \frac{V_i}{A_t} 1000 \quad (3)$$

V_i = volume de madeira com casca da planta; A_t = área útil da parcela; V_{tc} = volume total de madeira com casca ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$); DAP_i = diâmetro à altura do peito de cada planta (m); ff = fator de forma; neste caso, devido à inexistência de fatores definidos regionalmente para o clone em estudo, foi atribuído o valor 0,5 e H_i = altura total de cada planta (m).

c. Biomassa

Selecionou-se quatro árvores por tratamento para serem cortadas, sendo uma árvore representativa da classe inferior, duas da classe intermediária e uma da classe superior, segundo a metodologia descrita por Silva (2011). Após serem cortadas, foi

realizada a desfolha das mesmas, sobre lona plástica. A coleta da biomassa ocorreu doze meses após a definição dos brotos (novembro de 2019).

Os diferentes compartimentos (folhas, galhos e caule) foram fracionados e pesados no campo com balança digital com precisão de 0,05 kg e capacidade máxima de 150 kg. Foram retiradas de maneira manual amostras de todos os compartimentos das árvores para determinação da umidade em laboratório e posterior quantificação da biomassa seca. As amostras obtidas do tronco foram separadas em casca e lenho no laboratório, antes da secagem. Com os valores da massa de cada compartimento, foi estimada a produtividade da biomassa dos componentes das plantas de eucalipto, sendo esses valores expressos em $t\ ha^{-1}$.

d. Acúmulo de nutrientes na biomassa do eucalipto

As amostras vegetais (folhas, galhos e caule) dos compartimentos das árvores foram secas em estufas de ventilação forçada ($65\ ^\circ C$, por 72 horas), pesadas em balança com precisão de 0,1 g e moídas em moinho do tipo Willey. Posteriormente, foram realizadas as análises químicas para determinar a concentração dos nutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre) segundo a metodologia descrita por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), no Laboratório de Nutrição de Plantas do Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, da Unesp/Ilha Solteira. Para a determinação das concentrações de nutrientes no lenho e na casca, foram consideradas as concentrações médias obtidas nos discos coletados na base (DAP, 10, 30, 50 e 70% da altura total das plantas).

Com os valores das concentrações em cada compartimento, foi estimado o acúmulo dos nutrientes nos diferentes componentes das árvores (mineralomassa), sendo obtido pela multiplicação do valor da biomassa do compartimento pela concentração do nutriente, sendo expresso em $kg\ ha^{-1}$.

4.5 Análise dos dados

Os resultados dos três experimentos foram analisados separadamente pela análise de variância (teste F), por meio da análise de regressão para efeito de doses residuais de N, P_2O_5 e K_2O ; e pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade para comparação dos tratamentos com ou sem a reaplicação dos respectivos nutrientes.

As pressuposições das análises de variância, normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias, foram checadas pelas teste de Shapiro-Wilk e o teste

de Levene, respectivamente, ($p < 0,05$). O coeficiente de correlação Pearson ($p < 0,05$) entre avaliações propostas foi utilizado para estimar a relação linear entre tais variáveis. Previamente à condução das análises multivariadas, foi avaliada a hipótese de normalidade multivariada por meio do cálculo da distância de Mahalanobis, seguida da aplicação dos seguintes métodos estatísticos multivariados: análise de componentes principais (ACP), análise de agrupamento e análise de correlação canônica (ACC).

A estrutura multivariada contida no conjunto inicial de dados foi avaliada pela PCA que condensou a informação relevante em um conjunto menor de variáveis latentes ortogonais denominados componentes principais (CP - autovetores). Os CP foram gerados por combinações lineares das variáveis originais a partir dos autovalores da matriz de covariância, que condensou as variáveis medidas em novas variáveis não medidas, na tentativa de avaliar o poder discriminatório das variáveis originais. Assim o principal objetivo da ACP foi a diminuição da dimensão do conjunto de dados originais, a partir da seleção das principais variáveis (maior poder discriminatório) para as subseqüentes análises.

Diferentemente do ACP, que visou maximizar a variação total explicada no conjunto de dados inicial, a análise de correlação canônica (ACC) teve por objetivo maximizar a correlação existente entre conjuntos de variáveis de saída (HAIR *et al.*, 2005). Assim, a ACC foi realizada, considerando-se os dados originais observados, após a seleção de variáveis pela ACP, para verificar as associações existentes entre dois grupos de variáveis canônicas:

- **Experimento de N:**

GRUPO 1 (U)_ Volume total de madeira (VW), biomassa (DM), matéria orgânica (O.M.) e Mg no solo; GRUPO 2 (V)_ acúmulo de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) nas folhas, galhos, lenho e casca, altura de planta, DAP.

- **Experimento de P:**

GRUPO 1 (U)_ P (resina), biomassa dos compartimentos da planta (folha, galho, casca e lenho) e volume de madeira com casca; GRUPO 2 (V)_ acúmulo de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) nas folhas, galhos, lenho e casca, altura de planta, DAP.

Tais relações foram medidas pelos parâmetros do modelo, que representam o quão expressivo é o efeito das variáveis independentes sobre as variáveis dependentes (MARÔCO, 2010). O objetivo foi identificar simultaneamente como os

atributos químicos do solo influenciam na nutrição de plantas e nas avaliações do eucalipto.

Todas as análises foram conduzidas por meio dos programas estatístico R versão 4.0.2 21 (R Core Team, 2021).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 EXPERIMENTO 1 – Nitrogênio

a. Análise dos atributos químicos do solo

As médias dos atributos químicos do solo na profundidade de 0-0,20 m em função da reaplicação com N e a interação entre doses x reaplicação estão apresentados na Tabela 2.

Vale ressaltar que, apesar de o teor de matéria orgânica (M.O.) no solo não ter diferença significativa para a reaplicação de N e nem ajuste para o efeito isolado das doses residuais de N e para a interação, houve aumento nos teores de M.O. para a reaplicação das doses de N de 2,9% e de 5,2% no incremento das doses residuais de N; sendo que também se constatou que os teores médios nos tratamentos (Figura 3 e) estão abaixo do teor considerado médio por Raij *et al.* (1997), sinalizando que ocorreu maior mineralização da M.O., levando em consideração o solo da área experimental e o clima da região.

A faixa adequada para o teor de M.O. do solo é de 16 a 40 mg dm⁻³ de M.O. no solo (RAIJ *et al.*, 1997), portanto, os teores baixos de M.O. no solo podem favorecer a resposta a reaplicação das doses de N no segundo ciclo de produção na maioria das avaliações realizadas posteriormente. Ferreira *et al.* (2018), avaliando o efeito da adubação nitrogenada no crescimento inicial de um povoamento de *Eucalyptus dunnii* (primeira rotação) no sul do Brasil, demonstraram que as plantas podem responder positivamente à adubação nitrogenada no crescimento das árvores, além de aumentar os teores de M.O do solo ao longo do ciclo. Silva *et al.* (2020) consideram que teores baixos de M.O. no solo podem favorecer a resposta à adubação nitrogenada, principalmente em solos arenosos.

A adubação adequada do segundo ciclo de produção visa repor os estoques de nutrientes do solo, evitando assim o esgotamento do mesmo à longo prazo (MERINO *et al.*, 2005). Todavia, o residual da adubação (primeiro ciclo) em conjunto com a reaplicação das doses de N levou ao aumento do estoque dos nutrientes do solo, sendo que a CTC do solo, mesmo que não significativo para a reaplicação das doses de N, notou-se incremento de 3,8% (Tabela 2).

A saturação de alumínio (m%) apresentou ajuste significativo para o efeito isolado das doses residuais de N (Figura 4), em que houve ajuste à regressão linear decrescente em função do aumento das doses residuais de N.

O pH_{CaCl₂} e a saturação por alumínio (m%) foram significativos para a reaplicação das doses de N no segundo ciclo de produção, onde o pH_{CaCl₂} foi maior “com a reaplicação do N”, enquanto a m% menor com a reaplicação deste nutriente. No Brasil, as espécies de *Eucalyptus* sp. plantadas são tolerantes a solos ácidos e com elevados teores de Al e Mn, por esse motivo, a calagem realizada nestas áreas visa fornecer as quantidades de Ca e Mg necessárias para o desenvolvimento da cultura e não é tanto para correção da acidez do solo (RAIJ *et al.*, 1997). A interação “doses x reaplicação” não apresentou diferença em nenhum dos atributos químicos do solo avaliados (Tabela 2).

Tabela 2. Médias dos atributos químicos do solo na profundidade de 0-0,20 m em função da reaplicação de N e a interação entre doses x reaplicação, em cultivo de eucalipto (Híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* - clone I144), em sistema talhadia. Três Lagoas-MS, Brasil.

Reaplicação de N	pH _{CaCl₂}	H+Al	Al (mmol _c dm ⁻³)	CTC
sem	4,0 b	21,9 a	3,0 a	27,5 a
com	4,3 a	22,5 a	2,6 a	28,7 a
D.M.S. (5%)	0,1	0,8	0,5	1,7
C.V. (%)	3,01	4,25	20,02	6,94
F doses x reaplicação	0,92 ^{ns}	2,15 ^{ns}	1,87 ^{ns}	1,73 ^{ns}
Reaplicação de N	M.O. (g dm ⁻³)	SB (mmol _c dm ⁻³)	V %	m
sem	13,9a	5,7 a	20,5 a	34,9 a
com	14,3a	6,2 a	21,7 a	30,2 b
D.M.S. (5%)	0,5	1,1	2,6	3,9
C.V. (%)	3,63	21,34	14,11	13,85
F doses x reaplicação	1,26 ^{ns}	2,06 ^{ns}	2,27 ^{ns}	1,18 ^{ns}
Reaplicação de N	P- resina (mg dm ⁻³)	K	Ca (mmol _c dm ⁻³)	Mg
sem	14,44a	2,42a	1,79a	1,33a
com	19,07a	2,54a	1,96a	1,88a
D.M.S. (5%)	5,41	0,69	0,74	0,63
C.V. (%)	20,34#	15,79#	16,24#	16,48#
F doses x reaplicação	0,48 ^{ns}	0,10 ^{ns}	2,40 ^{ns}	0,62 ^{ns}

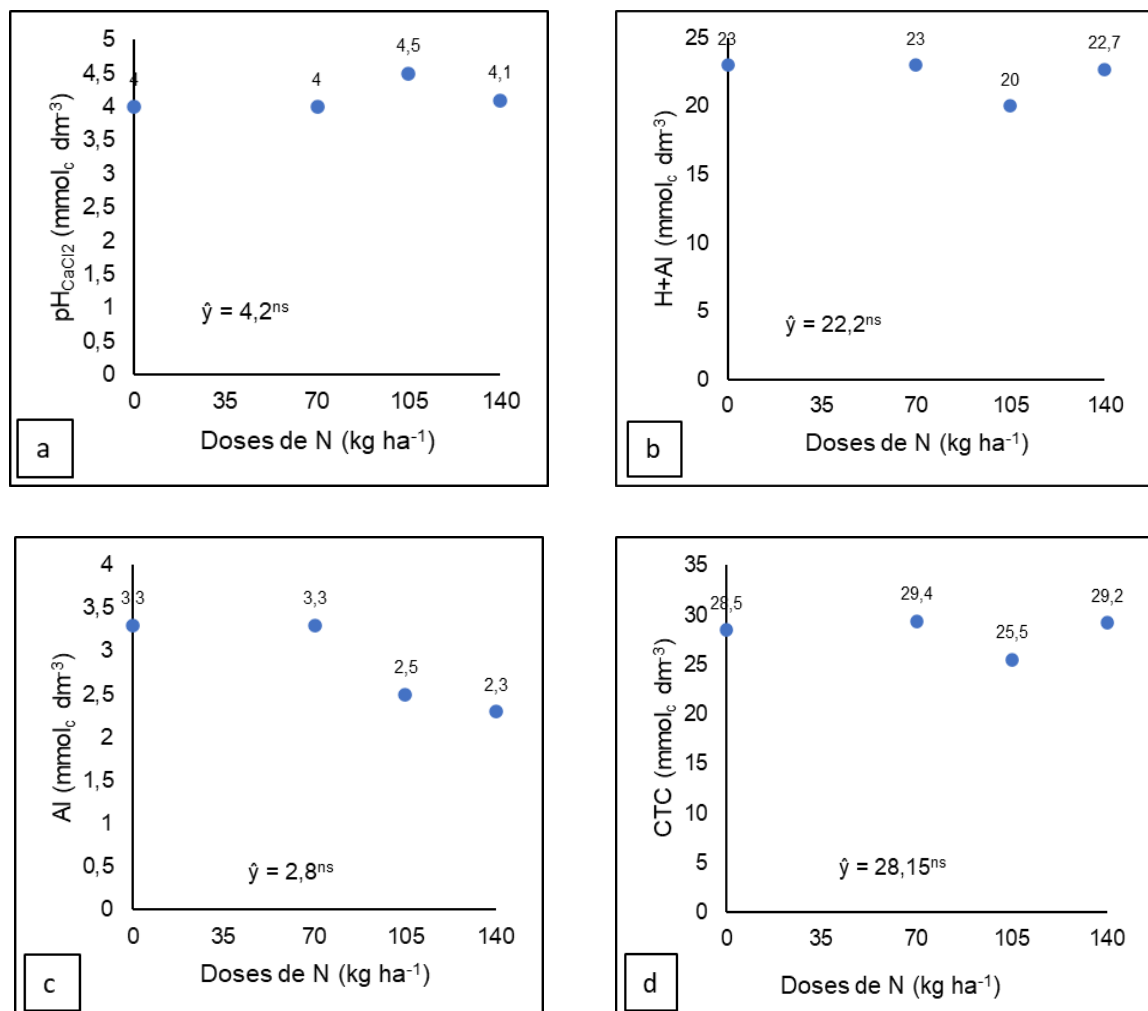
* e ** = significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente; ns = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

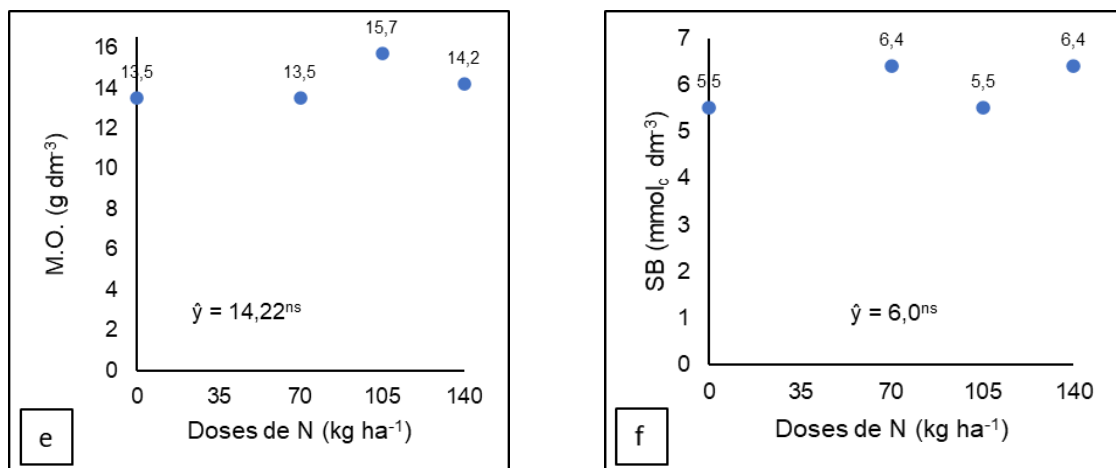
Análise química realizada no Laboratório de Fertilidade do Solo UNESP/FEIS.

#Dados corrigidos pela transformação $(x+0,5)^{0,5}$

Fonte: Autoria própria.

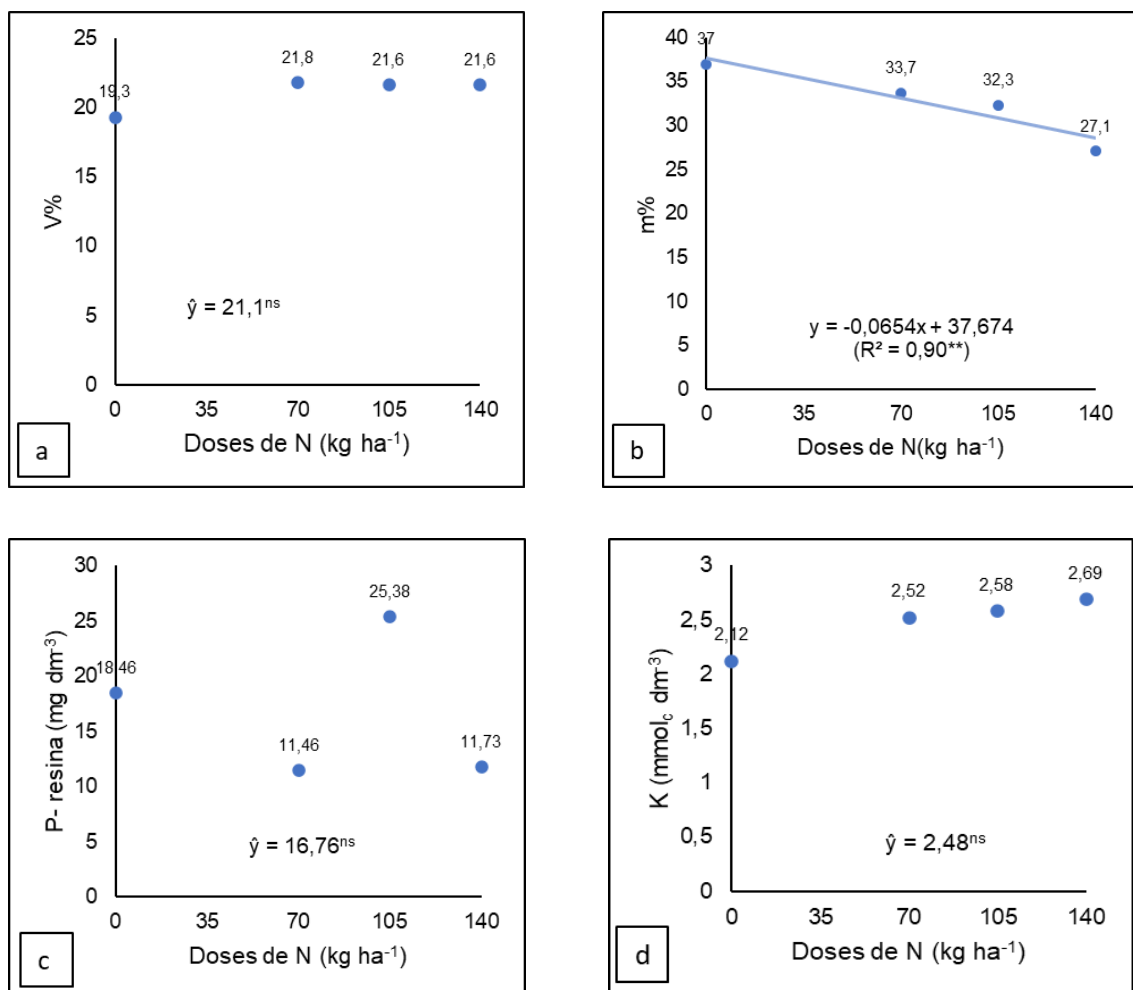
Figura 3. Atributos químicos do solo (0-0,20m): **(a)** $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$); **(b)** $\text{H} + \text{Al}$ ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$); **(c)** Al ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$); **(d)** CTC ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$); **(e)** M.O. (g dm^{-3}); **(f)** SB ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$); **(g)** V%; **(h)** Saturação por alumínio (m%); **(i)** P-resina (mg dm^{-3}); **(j)** K ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$); **(k)** Ca ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) no solo (0-0,20 m); **(l)** Mg ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) em função das doses residuais de N.

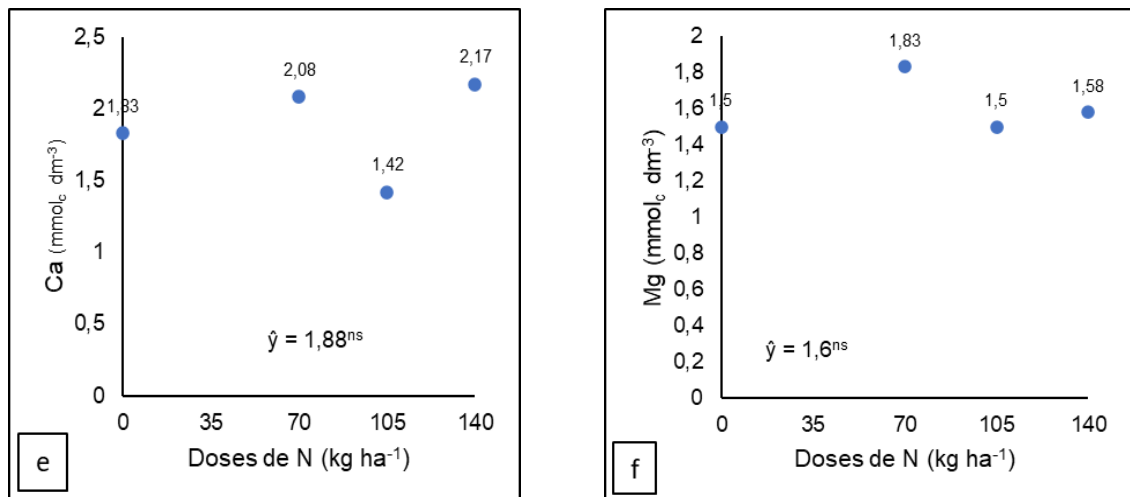




Fonte: Autora própria.

Figura 4. Atributos químicos do solo (0-0,20m): **(a)** V% **(b)** Saturação por alumínio (m%) **(c)** P-resina (mg dm⁻³) **(d)** K (mmol_c dm⁻³) **(e)** Ca (mmol_c dm⁻³) **(f)** Mg (mmol_c dm⁻³) em função das doses residuais de N.





Fonte: Autora própria.

b. Diâmetro a altura do peito, altura de plantas, volume de madeira e biomassa

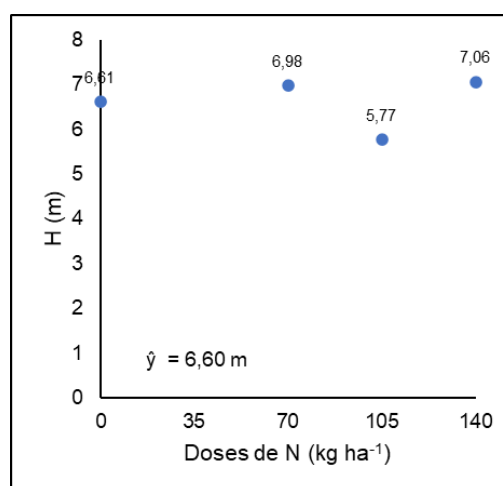
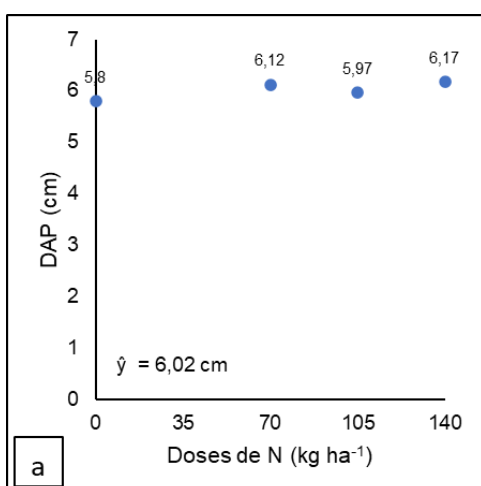
O diâmetro a altura do peito (DAP), altura de plantas (H), volume de madeira (V), biomassa dos compartimentos (folha, galho, casca, lenho) e biomassa total em função da reaplicação de N e a interação entre doses x reaplicação, no segundo ciclo de produção, constam na Tabela 3. Constatou-se que para o efeito isolado do residual das doses da adubação nitrogenada não houve ajuste a nenhum modelo testado (Figura 5), o mesmo ocorreu para o efeito isolado da reaplicação do N no segundo ciclo de produção ("com" ou "sem") (Tabela 3) para as avaliações de crescimento do eucalipto.

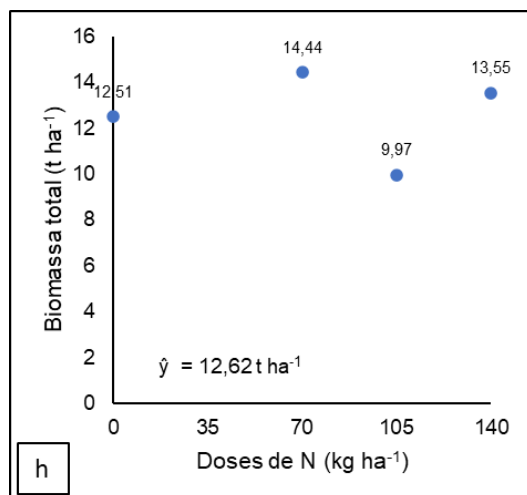
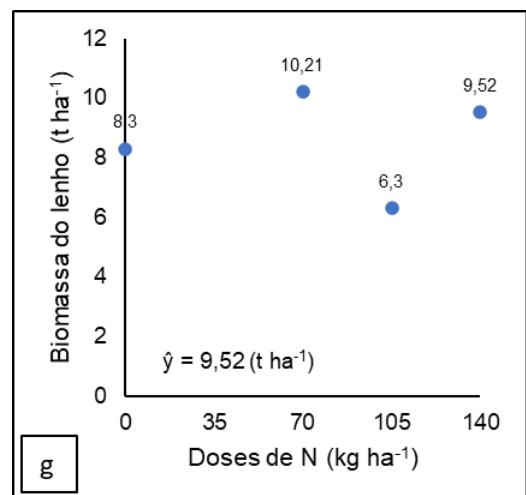
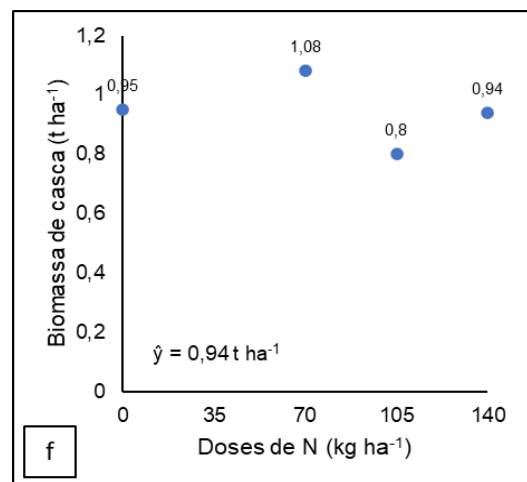
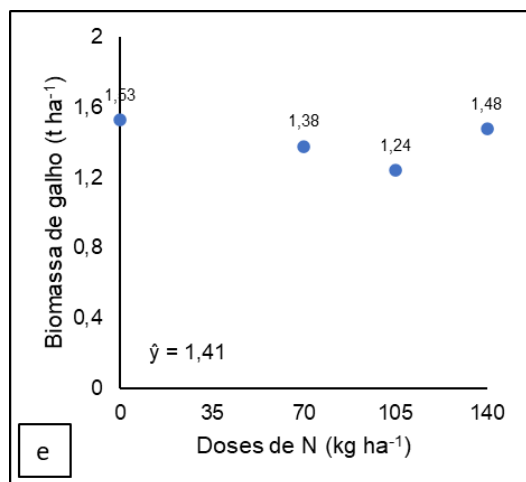
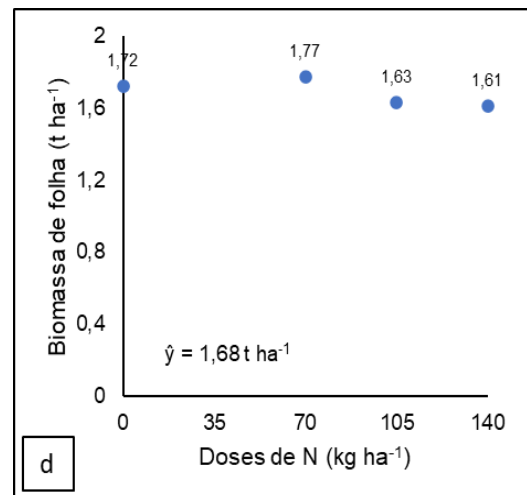
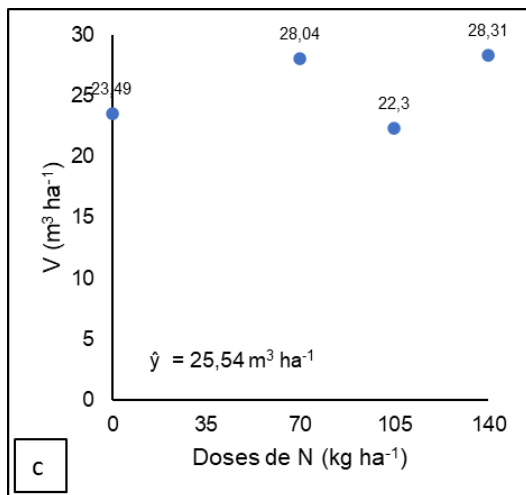
Tabela 3. Diâmetro a altura do peito (DAP), altura de planta (H), volume de madeira (V), biomassa dos compartimentos (folha, galho, casca, lenho) e biomassa total de eucalipto (Híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* - clone I144), em função da reaplicação com N e a interação entre doses x reaplicação. Três Lagoas – MS, Brasil.

Reaplicação de N		DAP (cm)	H (m)	V (m ³ ha ⁻¹)	
sem		5,85a	6,56a	24,18a	
com		6,18a	6,66a	26,89a	
D.M.S. (5%)		0,38	0,42	4,52	
C.V. (%)		7,32	7,23	20,22	
F doses x reaplicação		6,12 ^{ns}	2,83 ^{ns}	5,68 ^{ns}	
Reaplicação de N	Folhas	Galhos	Casca (t ha ⁻¹)	Lenho	Total
sem	1,55a	1,28a	0,93a	6,82b	10,60b
com	1,82a	1,54a	0,95a	10,34a	14,63a
D.M.S. (5%)	0,37	0,37	0,19	2,40	3,07
C.V. (%)	25,12	29,89	23,08	16,99#	27,80
F doses x reaplicação	2,36 ^{ns}	1,39 ^{ns}	2,06 ^{ns}	0,46 ^{ns}	0,83 ^{ns}

* e ** - significativo a 5 e 1% pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. #Dados corrigidos pela equação $(x+0,5)^{0,5}$. Fonte: Própria autora.

Figura 5. (a) Diâmetro a altura do peito (cm); (b) altura de planta (m); (c) volume de madeira (m³ ha⁻¹); (d) biomassa de folha (t ha⁻¹); (e) biomassa de galho (t ha⁻¹); (f) biomassa de casca (t ha⁻¹); (g) biomassa de lenho (t ha⁻¹); (h) biomassa total (t ha⁻¹) em função das doses residuais de N.





Fonte: Própria autora.

A adubação nitrogenada no segundo ciclo de produção favorece o incremento do eucalipto em diâmetro e o aumento no volume, ou seja, o solo e os resíduos

florestais do ciclo anterior podem não serem suficientes para suprir a demanda nutricional dos ciclos de produção posteriores (SILVA *et al.*, 2020).

A biomassa seca dos órgãos (folha, galho, casca e lenho) e biomassa seca total de eucalipto em função da reaplicação de N e a interação entre doses x reaplicação estão descritas na Tabela 3, constatou-se que não houve diferença significativa na interação “doses x reaplicação” em nenhuma destas avaliações. Para o efeito das doses residuais de N (Figura 5), em nenhuma das biomassas secas avaliadas houve ajuste à função de regressão. Entretanto, tem-se que na dose residual de 70 kg ha⁻¹ de N, o valor da biomassa do lenho foi 23% maior que o obtido para a dose residual de 0 kg ha⁻¹, e na biomassa total, a dose residual de 70 kg ha⁻¹ correspondeu a 15,4% a mais que na dose residual de 0 kg ha⁻¹ de N.

Na reaplicação das doses de N, a biomassa seca do lenho e biomassa seca total foram maiores que no tratamento onde não houve reaplicação desse nutriente no segundo ciclo de produção. Estudos mostram que, o eucalipto pode responder ao fornecimento da adubação mineral com N, principalmente em solos tropicais, com o aumento na biomassa das plantas (BARROS *et al.*, 2021). Assis *et al.* (2018), avaliando clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos seis anos de idade, observaram que houve resposta à aplicação nitrogenada e que resultou na tendência de aumento na massa seca dos clones de eucalipto até a dose máxima de 245,72 kg ha⁻¹ de N. Estes autores ainda citaram que esta tendência de resposta é maior principalmente em solos onde o teor de M.O. é considerado baixo, ou ainda em locais que não favorecem à mineralização rápida da matéria orgânica, como no caso do experimento em questão (Tabela 2). Vale ressaltar que a adubação no segundo ciclo de produção em conjunto com os resíduos florestais favorece o aumento da maior produtividade do sítio florestal.

c. Acúmulo de nutrientes na biomassa do eucalipto

O acúmulo de macronutrientes nas biomassas de folha, de galhos e de casca do eucalipto em função da reaplicação com N e a interação entre doses x reaplicação, constam na Tabela 4.

Para a reaplicação das doses de N, no acúmulo dos macronutrientes na biomassa das folhas, verificou-se diferença significativa para os acúmulos de P e Mg (Tabela 4). Ambos foram maiores “com” a reaplicação das doses de N no segundo

ciclo de produção. Para os demais macronutrientes não houve diferença entre os tratamentos.

Na interação das doses residuais de N e a reaplicação no acúmulo do macronutrientes na biomassa das folhas do eucalipto, houve diferença significativa apenas para o acúmulo de Mg (Tabela 4). Na biomassa das folhas do eucalipto, verificou-se que não houve ajuste a nenhum modelo de regressão testado para as doses residuais de N no acúmulo dos macronutrientes (Figura 6). O eucalipto pode não responder à reaplicação das doses de alguns nutrientes, por exemplo o N, o que, possivelmente, em razão de serem fornecidos pela decomposição/mineralização da serapilheira no processo de ciclagem de nutrientes (LIMA *et al.*, 2017). O acúmulo de K nos galhos do eucalipto foi significativamente maior “com” a reaplicação das doses de N (Tabela 4).

O acúmulo de K nas folhas do eucalipto não foi influenciado nem pelas doses residuais de N (Figura 6c), nem pela reaplicação desse nutriente e nem houve interação das doses residuais e reaplicação de N (Tabela 4). Avaliando-se apenas o efeito da reaplicação das doses de N, houve maiores acúmulos de K nas folhas do eucalipto que receberam adubação nitrogenada no segundo ciclo de produção (Tabela 4).

O fornecimento de N no segundo ciclo de produção pode favorecer maiores acúmulos de K nas folhas, cuja acidez do solo pode contribuir para este resultado, aumentando a permeabilidade das membranas, levando ao efluxo de íons e compostos orgânicos de baixo peso molecular, tal como o K (LIMA *et al.*, 2017).

Na interação “residual de doses de N” x “reaplicação de N” na biomassa dos galhos, não se verificou efeito significativo no acúmulo de nenhum dos macronutrientes (Tabela 4). O acúmulo de K na biomassa de galho do eucalipto em função das doses residuais de N apresentou ajuste à função de regressão quadrática (Figura 7c), cujo maior valor foi reportado no residual de 140 kg ha⁻¹ de N. Para os acúmulos de P e Ca na biomassa dos galhos do eucalipto em função da reaplicação das doses de N (Tabela 4), também se constatou que no tratamento “com” houve maiores acúmulos desses macronutrientes nas biomassas em questão. Para os demais macronutrientes, não foi constatada diferença significativa na biomassa dos galhos.

No acúmulo de macronutrientes na casca do eucalipto apenas o Mg apresentou ajuste à equação de regressão (quadrática) para o efeito residual das doses de N no

segundo ciclo de produção, cuja dose ótima estimada, sob aspectos técnicos, ou seja, o ponto de máximo (PM) foi de 60,5 kg ha⁻¹ de N (Figura 8e).

Constatou-se efeito significativo na interação das doses residuais de N e reaplicação de N para o acúmulo dos macronutrientes na biomassa da casca para N, K e Ca (Tabela 4). Avaliando a reaplicação de N, em nenhum dos acúmulos dos macronutrientes na biomassa da casca verificou-se diferença significativa entre os tratamentos “com” ou “sem” a reaplicação (Tabela 4).

Tabela 4. Acúmulo de macronutrientes nas biomassas (folhas, galhos e casca) do eucalipto (Híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* - clone I144), em função da reaplicação com N e a interação entre doses x reaplicação. Três Lagoas – MS, Brasil.

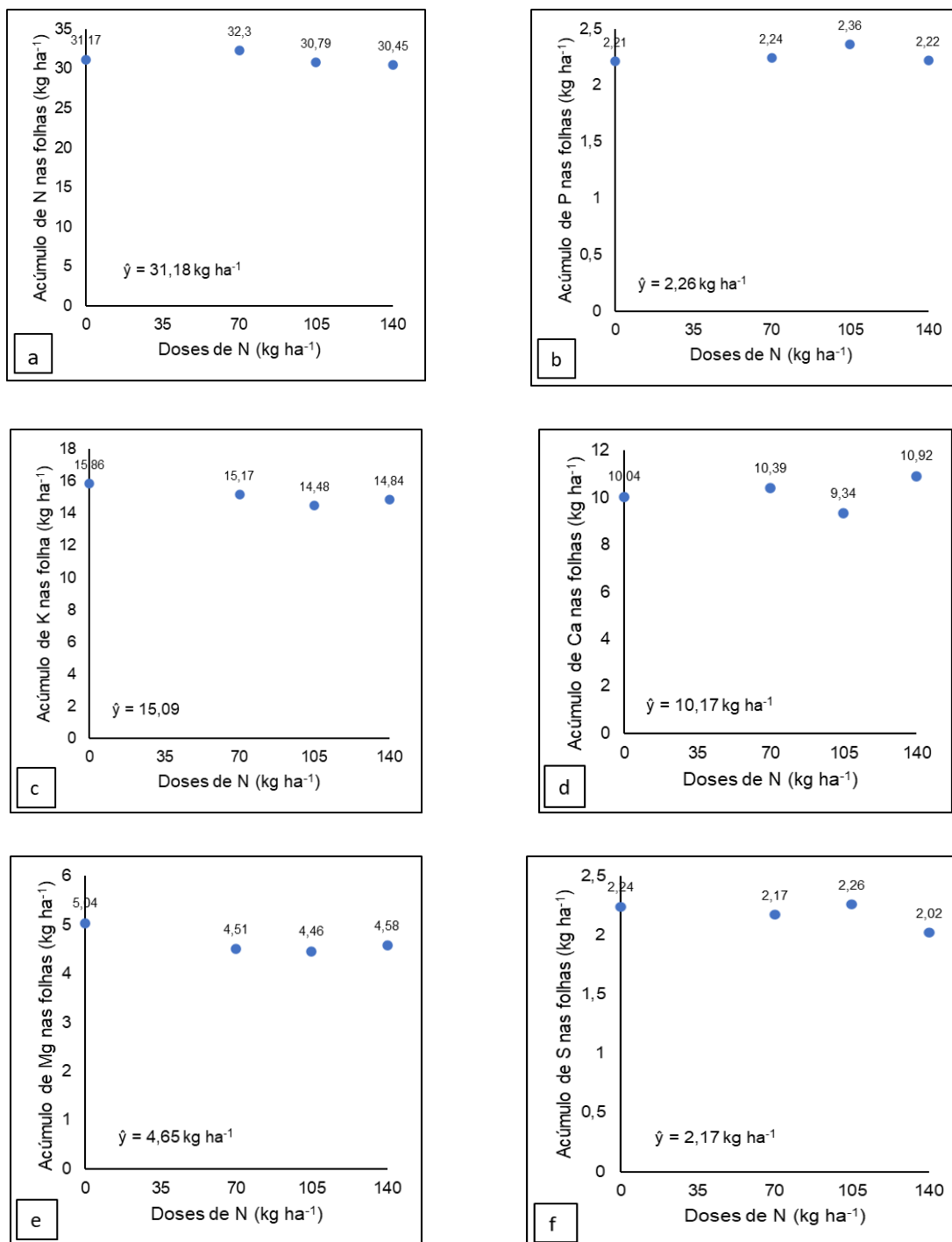
	N	P	K	Ca	Mg	S
	(kg ha ⁻¹)					
Reaplicação de N	Folhas					
sem	29,05a	1,97b	14,11a	9,62a	4,14b	1,96a
com	33,61a	2,54a	16,06a	10,72a	5,16a	2,38a
D.M.S. (5%)	7,27	0,46	3,08	1,77	0,81	0,47
C.V. (%)	26,50	23,11	23,34	19,86	19,89	24,90
F doses x reaplicação	1,83 ^{ns}	1,93 ^{ns}	1,78 ^{ns}	1,92 ^{ns}	5,67 ^{**}	2,54 ^{ns}
	Galhos					
Reaplicação de N						
sem	7,78a	1,36b	8,78b	6,44b	1,76a	0,59a
com	9,78a	1,99a	11,72a	8,78a	2,19a	0,67a
D.M.S. (5%)	2,64	0,53	2,80	1,99	0,84	0,20
C.V. (%)	15,84#	14,40#	15,11#	29,92	19,23#	9,83#
F doses x reaplicação	2,42 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,25 ^{ns}	2,60 ^{ns}	1,10 ^{ns}	1,26 ^{ns}
	Casca					
Reaplicação de N						
sem	3,86	0,78a	7,67a	16,10a	2,58a	0,37a
com	4,04a	0,78a	7,96a	16,28a	2,72a	0,40a
D.M.S. (5%)	0,66	0,30	1,23	2,54	0,65	0,07
C.V. (%)	19,15	12,83#	18,05	17,93	27,89	21,44
F doses x reaplicação	3,57 [*]	0,48 ^{ns}	3,81 [*]	7,50 ^{**}	1,16 ^{ns}	1,30 ^{ns}

* e ** - significativo a 5 e 1% pelo teste F. ns - não significativo a 5% pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

#Dados corrigidos pela equação $(x+0,5)^{0,5}$

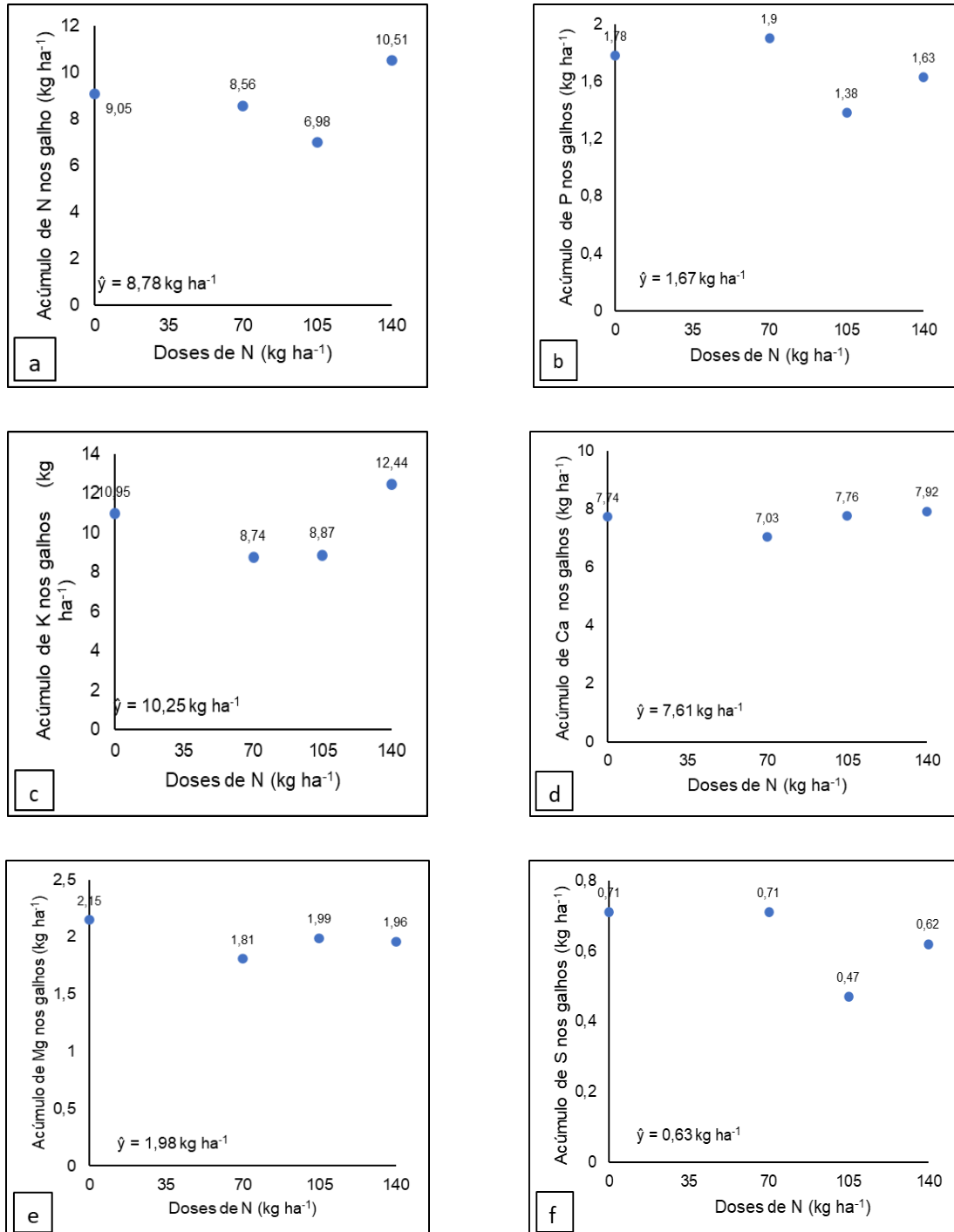
Fonte: Autoria própria.

Figura 6. (a) Acúmulo de N nas folhas do eucalipto; (b) acúmulo de P nas folhas do eucalipto; (c) acúmulo de K nas folhas do eucalipto; (d) acúmulo de Ca nas folhas do eucalipto; (e) acúmulo de Mg nas folhas do eucalipto; (f) acúmulo de S nas folhas do eucalipto em função das doses residuais de N.



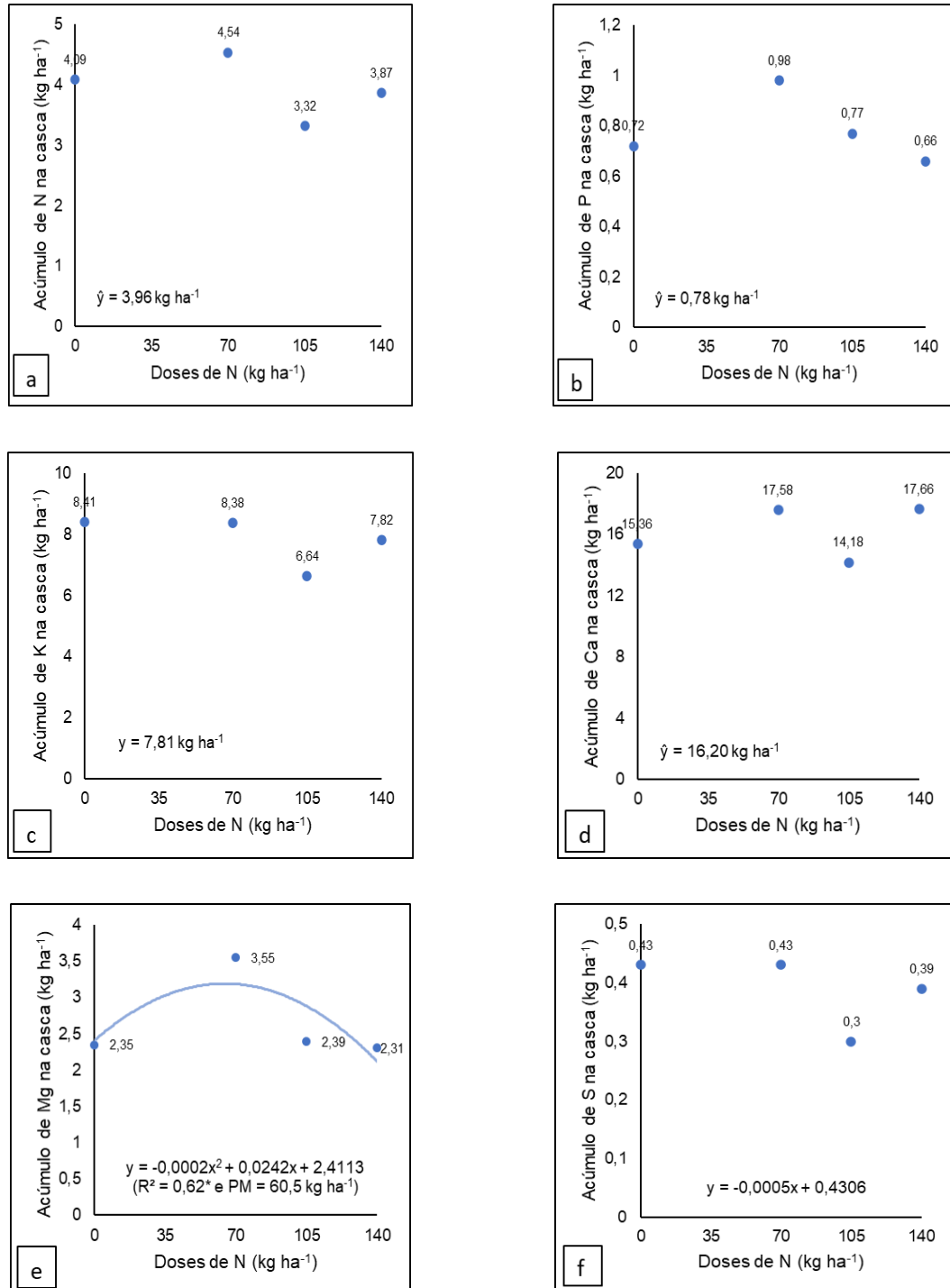
Fonte: Autoria própria.

Figura 7. (a) Acúmulo de N nos galhos do eucalipto; **(b)** acúmulo de P nos galhos do eucalipto; **(c)** acúmulo de K nos galhos do eucalipto; **(d)** acúmulo de Ca nos galhos do eucalipto; **(e)** acúmulo de Mg nos galhos do eucalipto; **(f)** acúmulo de S nos galhos do eucalipto em função das doses residuais de N.



Fonte: Autoria própria.

Figura 8. (a) Acúmulo de N na casca do eucalipto; (b) acúmulo de P na casca do eucalipto; (c) acúmulo de K na casca do eucalipto; (d) acúmulo de Ca na casca do eucalipto; (e) acúmulo de Mg na casca do eucalipto; (f) acúmulo de S na casca do eucalipto em função das doses residuais de N.



Fonte: Autoria própria.

Para o acúmulo de Mg nas folhas, houve efeito significativo para a interação doses de N e reaplicação de N (Tabela 5), “com” a reaplicação do N na dose residual

de N de 105 kg ha⁻¹ de N obteve-se o maior acúmulo do Mg na biomassa das folhas do eucalipto. Quanto ao efeito da reaplicação dentro das doses residuais de N, “sem” a reaplicação de N, constatou-se ajuste à função de regressão linear decrescente (Tabela 5). O Mg nas células das folhas tem importante papel na fotossíntese, presente na estrutura da clorofila, também atuando em outras funções na planta, uma vez que este macronutriente está associado na ativação de enzimas importantes na respiração e na síntese de ácidos nucléicos (TAIZ *et al.*, 2017). No acúmulo de N na casca (Tabela 5), dentro do desdobramento reaplicação de N x doses de N, verificou-se ajuste à função de regressão quadrática para o efeito de “com” dentro das “doses de N”, cujo dose ótima (PM) foi de 54,67 kg ha⁻¹ de N. Para a interação doses de N dentro de reaplicação das doses de N na dose residual de 105 kg ha⁻¹ de N, o maior acúmulo de N na casca foi “com” a reaplicação das doses de N (Tabela 5).

Quanto ao acúmulo de K na casca do eucalipto, houve ajuste à equação de regressão quadrática para o desdobramento da interação doses residuais de N dentro de “sem” a reaplicação desse nutriente, obtendo-se o maior valor com 140 kg ha⁻¹ de N. Também se observou ajuste à função de regressão quadrática para “com” a reaplicação dentro do residual das doses de N, com a dose ótima de 51,38 kg ha⁻¹ de N (Tabela 5). Para o desdobramento da reaplicação de N dentro das doses de N no acúmulo de K na casca, apenas na dose de 70 kg ha⁻¹ de N notou-se diferença significativa entre os tratamentos “com” ou “sem” a reaplicação, sendo maior este acúmulo no “com” a reaplicação de N (Tabela 5).

Com relação ao acúmulo de Ca na casca, observou-se efeito significativo na interação doses de N dentro da reaplicação de N, com ajuste significativo “com” a reaplicação desse nutriente, sendo este quadrático, cuja dose ótima foi de 79,32 kg ha⁻¹ de N (Tabela 5). Na dose residual de N de 105 kg ha⁻¹, o acúmulo de Ca na casca foi significativamente maior com a reaplicação de N no segundo ciclo de produção (Tabela 5). Em relação ao acúmulo de Mg na casca, constatou-se efeito das doses residuais de N dentro da reaplicação de N, sendo o ajuste ótimo “com” a reaplicação do N, na dose residual estimada de 60,50 kg ha⁻¹ de N (Tabela 5).

Tabela 5. Desdobramentos da interação doses residuais de N x reaplicação das doses de N no acúmulo de Mg nas folhas, acúmulo de N na casca, acúmulo de K na casca, acúmulo de Ca na casca e acúmulo de Mg na casca de eucalipto (Híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* - clone I144). Três Lagoas – MS, Brasil.

Doses de N	Reaplicação de N			
	Acúmulo de Mg (kg ha ⁻¹) nas folhas		Acúmulo de N (kg ha ⁻¹) na casca	
	sem ⁽¹⁾	com ^{ns}	sem ^{ns}	com ⁽²⁾
(kg ha ⁻¹)				
0	5,39a	4,70a	4,48a	3,69a
70	4,43a	4,59a	4,03a	5,05a
105	2,73b	6,20a	2,64b	3,99a
140	4,03a	5,13a	4,30a	3,44a
D.M.S. (5%)	1,62		1,32	
Doses de N	Reaplicação de N			
	Acúmulo de K (kg ha ⁻¹) na casca		Acúmulo de Ca (kg ha ⁻¹) na casca	
	sem ⁽³⁾	com ⁽⁴⁾	sem ^{ns}	com ⁽⁵⁾
(kg ha ⁻¹)				
0	8,81a	8,01a	18,29a	12,43b
70	7,13b	9,63a	15,39a	19,77a
105	5,74a	7,54a	10,97b	17,38a
140	8,98a	6,65a	20,48a	14,83b
D.M.S. (5%)	2,47		5,08	
Doses de N	Reaplicação de N			
	Acúmulo de Mg (kg ha ⁻¹) na casca			
	sem ^{ns}		com ⁽⁶⁾	
(kg ha ⁻¹)				
0	2,68a		2,02a	
70	3,67a		3,44a	
105	2,00a		2,79a	
140	2,55a		2,06a	
D.M.S. (5%)	1,29			

ns - não significativo a 5% pelo teste F.

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

⁽¹⁾ $Y = -0,0135x + 5,2050$ ($R^2 = 0,54^*$)

⁽²⁾ $Y = -0,0003x^2 + 0,0328x + 3,7361$ ($R^2 = 0,84^*$ e $^1PM = 54,67$ kg ha⁻¹)

⁽³⁾ $Y = 0,0005x^2 - 0,0725x + 8,9464$ ($R^2 = 0,71^*$)

⁽⁴⁾ $Y = -0,0004x^2 + 0,0411x + 8,0989$ ($R^2 = 0,83^*$ e $PM = 51,38$ kg ha⁻¹)

⁽⁵⁾ $Y = -0,0011x^2 + 0,1745x + 12,5355$ ($R^2 = 0,96^*$ e $PM = 79,32$ kg ha⁻¹)

⁽⁶⁾ $Y = -0,0003x^2 + 0,0363x + 2,0457$ ($R^2 = 0,96^*$ e $PM = 60,50$ kg ha⁻¹)

Fonte: Própria autora.

¹PM = Ponto de máximo, equivalente à dose ótima.

Os acúmulos de macronutrientes no lenho do eucalipto e total em função do residual das doses de N e da reaplicação com N, constam na Tabela 6. O acúmulo de Mg no lenho do eucalipto foi influenciado pelo residual da adubação de N (Figura 9 (e), cujo incremento da dose de N aplicada no primeiro ciclo (residual das doses de N) proporcionou aumento no acúmulo de Mg no lenho no segundo ciclo de produção.

Para os demais macronutrientes, o residual da adubação nitrogenada não influenciou significativamente (Figura 9). A reaplicação de N proporcionou maiores acúmulos de N, K, Mg e S no lenho (Tabela 6). Para os acúmulos dos macronutrientes no lenho, a interação entre “doses x reaplicação” não foi significativa (Tabela 6).

Para a interação das “doses x reaplicação”, o acúmulo de Ca, Mg e S foram influenciados (Tabela 6). Os acúmulos totais dos macronutrientes (N, P, K, Mg e S) foram influenciados pela reaplicação de N, exceto para o acúmulo de Ca total (Tabela 6), em contrapartida, o residual da adubação nitrogenada não influenciou o acúmulo total dos nutrientes na biomassa do eucalipto (Figura 10).

A reaplicação de N no segundo ciclo de produção proporcionou maiores acúmulo destes macronutrientes na biomassa total do eucalipto, destacando o acúmulo de N e K total, que foram os macronutrientes em maiores proporções na planta de eucalipto, mesmo sem a reaplicação do N. A adubação nitrogenada, no regime florestal Talhadia, favorece maiores teores dos macronutrientes (em especial N, K e Mg) na biomassa da parte aérea e maiores teores de P e Ca no lenho (SILVA *et al.*, 2020).

Tabela 6. Acúmulo de macronutrientes nas biomassas (lenho e total) do eucalipto (Híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* - clone I144), em função da reaplicação com N e a interação entre doses x reaplicação. Três Lagoas – MS, Brasil.

	N	P	K	Ca	Mg	S
Reaplicação de N	(kg ha ⁻¹)					
	Lenho					
sem	14,15b	0,53a	21,19b	6,40a	2,55b	1,84b
com	23,51a	0,79a	33,52a	7,13a	4,52a	2,58a
D.M.S. (5%)	7,51	0,33	8,30	2,53	0,74	0,61
C.V. (%)	22,51#	15,31#	19,35#	20,32#	23,86	13,02#
F doses x reaplicação	0,79 ^{ns}	1,60 ^{ns}	0,31 ^{ns}	1,35 ^{ns}	2,39 ^{ns}	2,42 ^{ns}
	Total					
Reaplicação de N						
sem	54,83b	4,64b	51,75b	38,74a	11,18b	4,79b
com	70,94a	6,10a	69,26a	42,72a	14,45a	6,00a
D.M.S. (5%)	15,05	1,37	13,87	5,76	2,26	0,90
C.V. (%)	27,33	29,05	26,17	16,15	20,15	18,96
F doses x reaplicação	1,92 ^{ns}	1,14 ^{ns}	0,67 ^{ns}	5,70 ^{**}	3,44 [*]	4,41 [*]

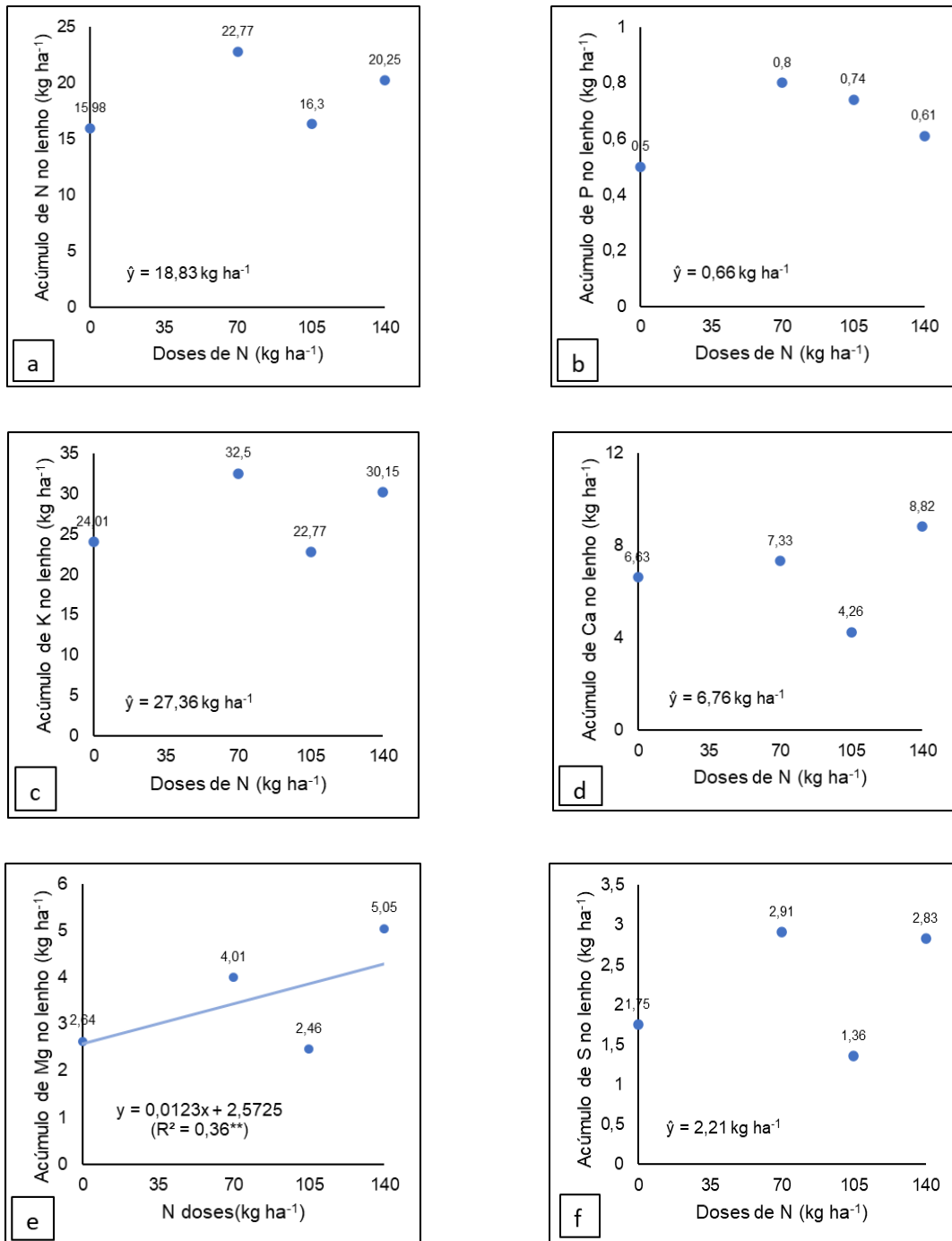
* e ** - significativo a 5 e 1% pelo teste F. ns - não significativo a 5% pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

#Dados corrigidos pela equação $(x+0,5)^{0,5}$

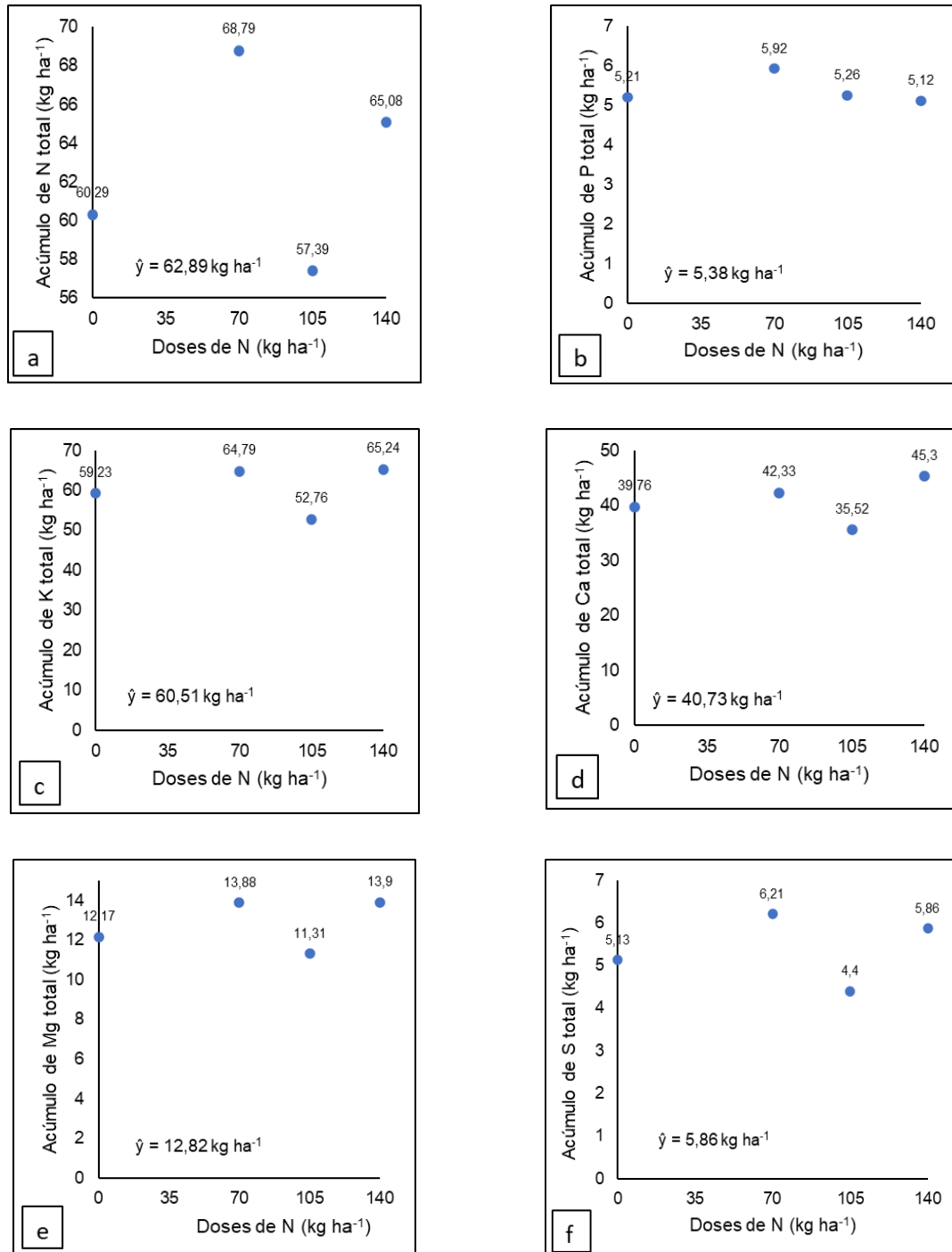
Fonte: Própria autora.

Figura 9. (a) Acúmulo de N no lenho do eucalipto; (b) acúmulo de P no lenho do eucalipto; (c) acúmulo de K no lenho do eucalipto; (d) acúmulo de Ca no lenho do eucalipto; (e) acúmulo de Mg no lenho do eucalipto; (f) acúmulo de S no lenho do eucalipto em função das doses residuais de N.



Fonte: Autoria própria.

Figura 10. (a) Acúmulo de N total do eucalipto em função das doses residuais de N. **(b)** Acúmulo de P total do eucalipto em função das doses residuais de N. **(c)** Acúmulo de K total do eucalipto em função das doses residuais de N. **(d)** Acúmulo de Ca total do eucalipto em função das doses residuais de N. **(e)** Acúmulo de Mg total do eucalipto em função das doses residuais de N. **(f)** Acúmulo de S total do eucalipto em função das doses residuais de N.



Fonte: Autoria própria.

No desdobramento da reaplicação de N dentro de cada dose desse nutriente, houve efeito significativo para o acúmulo de Mg no lenho. Constatou-se que nas doses 70, 105 e 140 kg ha⁻¹ de N, “com” a reaplicação de N, houve maiores acúmulos de Mg no lenho (Tabela 7). Houve ajuste à equação de regressão quadrática para “sem” reaplicação de N dentro das doses de N, e ajuste à regressão linear crescente para “com” reaplicação de N dentro das doses de N, cujo incremento nas doses residuais de N com a reaplicação desse nutriente propiciou um pequeno aumento no acúmulo de Mg no lenho (Tabela 7).

O acúmulo de Mg no lenho teve efeito significativo no desdobramento da reaplicação de N dentro de cada dose de N. Constatou-se que nas doses 70, 105 e 140 kg ha⁻¹ de N, “com” a reaplicação de N, houve maiores acúmulos de Mg no lenho. Houve ajuste à equação de regressão quadrática para “sem” reaplicação de N dentro das doses de N, e ajuste à regressão linear crescente para “com” reaplicação de N dentro das doses de N, cujo incremento nas doses residuais de N com a reaplicação desse nutriente propiciou um pequeno aumento no acúmulo de Mg no lenho (Tabela 7).

Para o acúmulo de S total (Tabela 7), observou-se ajuste à regressão quadrática “com” a reaplicação de N dentro das doses residuais de N, cuja dose ótima foi de 81,83 kg ha⁻¹ de N. Em relação ao desdobramento das doses de N, dentro da reaplicação de N, tem-se que nas doses de 70 e 105 kg ha⁻¹ de N diferença entre os tratamentos da reaplicação, com maiores acúmulos de S total para os tratamentos “com” a reaplicação de N no segundo ciclo produtivo do eucalipto.

Tabela 7. Desdobramentos da interação doses residuais de N e reaplicação das doses de N no acúmulo de P no lenho, acúmulo de Mg no lenho, acúmulo de S total em eucalipto (Híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* - clone I144). Três Lagoas-MS, Brasil.

Doses de N (kg ha ⁻¹)	Reaplicação de N			
	Acúmulo de P (kg ha ⁻¹) no lenho		Acúmulo de Mg (kg ha ⁻¹) no lenho	
	sem ^{ns}	com ⁽¹⁾	sem ⁽²⁾	com ⁽³⁾
0	0,45a	0,55a	2,39a	2,88a
70	0,51a	1,08a	2,54b	5,47a
105	0,44a	1,04a	1,21b	3,72a
140	0,72a	0,50a	4,08b	6,03a
D.M.S. (5%)	0,67		1,48	

Doses de N (kg ha ⁻¹)	Reaplicação de N	
	Acúmulo de S (kg ha ⁻¹) total	
	sem ^{ns}	Com ⁽⁴⁾
0	5,18a	5,07a
70	4,97b	7,44a
105	2,92b	5,87a
140	6,10a	5,62a
D.M.S. (5%)	1,79	

^{ns} - não significativo a 5% pelo teste F.

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

⁽¹⁾ $Y = -0,00012x^2 + 0,01680x + 0,5448$ ($R^2 = 0,97^*$ e PM = 70 kg ha⁻¹)

⁽²⁾ $Y = 0,0003x^2 - 0,0318x + 2,5302$ ($R^2 = 0,48^*$)

⁽³⁾ $Y = 0,0179x + 3,1129$ ($R^2 = 0,53^{**}$)

⁽⁴⁾ $Y = -0,0003x^2 + 0,0491x + 5,1560$ ($R^2 = 0,73^*$ e PM = 81,83 kg ha⁻¹)

Fonte: Própria autora.

d. Análise de Componentes principais

A Tabela 8 apresenta a análise de componentes principais (ACP) avaliando matéria seca de folha (MS Folha), matéria seca de galho (MS Galho), matéria seca do lenho (MS Lenho), pH, saturação por bases (V%), Mg no solo, acúmulo de N (folha, casca, galho, lenho) (N), acúmulo de Mg (folha, casca, galho, lenho) (Mg), diâmetro a altura do peito (DAP) e volume total de madeira (V), em cada compartimento (folha, galho, casca e lenho), e a Figura 11 mostra o gráfico biplot dos dois primeiros componentes principais.

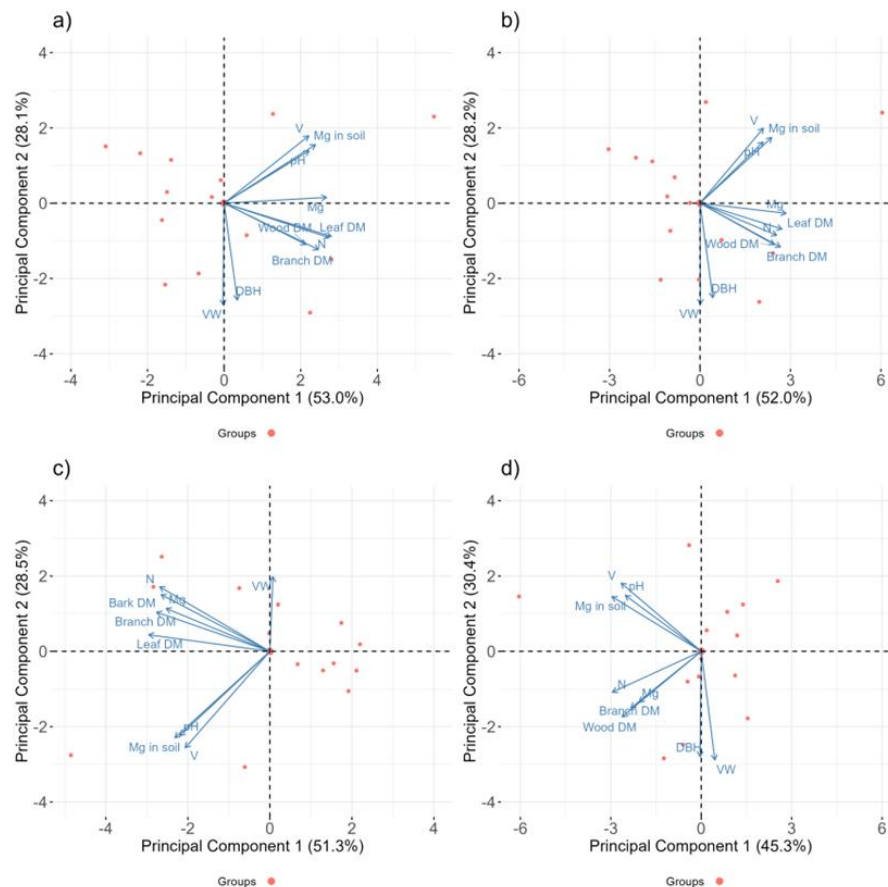
Tabela 8. Autovalores, quantidade de variância explicada e variância acumulada para as variáveis massa seca de folha (MS Folha), massa seca de galho (MS Galho), massa seca do lenho (MS Lenho), acúmulo de N (N) nos compartimentos (folha, galho, casca e lenho), acúmulo de Mg (Mg) na folha, galho, casca e lenho, DAP, volume total de madeira (V) de eucalipto (Híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* - clone I144), pH, saturação por bases (V%), Mg no solo.

(a) Folha		
Componentes	PC1	PC2
Autovalores	5,30	2,81
Variância explicada (%)	53,03	28,09
Variância acumulada (%)	53,03	81,12
Correlação (r)		
MS Folha	0,92	-0,29
MS Galho	0,81	-0,41
MS Lenho	0,71	-0,36
pH	0,73	0,46
V%	0,73	0,59
Mg no solo	0,79	0,51
N	0,90	-0,30
Mg	0,88	0,05
DAP	0,11	-0,85
V	-0,01	-0,89
Interpretação	Ação conjunta entre as variáveis MS Folha, MS Galho, MS Lenho, pH, V%, Mg no solo, N e Mg	Ação conjunta entre DAP e V
(b) Galho		
Autovalores	5,20	2,82
Variância explicada (%)	51,99	28,19
Variância acumulada (%)	51,99	80,18
Correlação		
V	0,00	-0,87
MS Galho	0,86	-0,38
MS Folha	0,88	-0,22
MS Lenho	0,80	-0,36
pH	0,68	0,52
V%	0,68	0,64
Mg no solo	0,77	0,56
N	0,82	-0,28
Mg	0,92	-0,09
DAP	0,14	-0,81
Interpretação	Ação conjunta entre as variáveis MS Folha, MS Galho, MS Lenho, pH, V%, Mg no solo, N e Mg	Ação conjunta entre DAP e V
(c) Casca		
Autovalores	4,62	2,57
Variância explicada (%)	51,34	28,5
Variância acumulada (%)	51,34	79,84

Correlação (r)		
V	0,02	0,59
Continuação		
MS Casca	0,80	0,45
MS Galho	0,83	0,31
MS Folha	0,89	0,13
pH	-0,66	-0,67
V%	-0,62	-0,77
Mg no solo	0,69	-0,69
N	0,80	0,51
Mg	0,76	0,34
Interpretação	Ação conjunta entre as variáveis MS Folha, MS Galho, MS Lenho, Mg no solo, acúmulo de N (N) e acúmulo de Mg (Mg)	V em contraste com pH e V%
(d) Lenho		
Autovalores	4,08	2,74
Variância explicada (%)	45,28	30,44
Variância acumulada (%)	45,28	75,72
Correlação (r)		
V	0,13	-0,84
MS Lenho	-0,77	-0,51
MS Galho	-0,68	-0,44
pH	-0,74	0,44
V%	-0,78	0,53
Mg no solo	-0,87	0,43
N	-0,86	-0,32
Mg	-0,60	-0,39
DAP	-0,01	-0,82
Interpretação	Ação conjunta entre MS Galho, MS Lenho, pH, V%, Mg no solo, N e Mg	Ação conjunta entre V e DAP

V - volume total de madeira, DM - massa seca, DBH - diâmetro a altura do peito, V% - saturação por bases, N - acúmulo do nitrogênio no compartimento, Mg - acúmulo do magnésio no compartimento. Valores em negrito usada para interpretação do componente principal ($r > |0,6|$).

Figure 11. Gráfico biplot dos componentes principais CP1 e CP2 da análise de componentes principais com todos os pontos amostrais no compartimento folha, galho, casca e lenho (respectivamente) e as seguintes variáveis de eucalipto (Híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* - clone I144), em Sistema talhadia: **(a)** matéria seca de folha (MS Folha), matéria seca de galho (MS Galho), matéria seca do lenho (MS Lenho), pH, saturação por bases (V%), Mg no solo, acúmulo de N na folha, acúmulo de Mg na folha, diâmetro na altura do peito (DAP), volume total de madeira (V). **(b)** MS Folha, MS Galho, MS lenho, pH, V%, Mg no solo, N, Mg, DAP, V. **(c)** MS Folha, MS Galho, MS Lenho, pH, V%, Mg no solo, N, Mg, DAP, V. **(d)** MS Galho, MS Lenho, pH, V%, Mg no solo, N, Mg, DAP, V.



Mg in soil – Mg no solo; Mg – Acúmulo de Mg em cada compartimento (folha, galho, casca e lenho); N – Acúmulo de N em cada compartimento (folha, galho, casca e lenho); Leaf DM – MS folha; Branch DM – MS galho; Bark DM – MS casca; DBH – Diâmetro à altura do peito (DAP); VW – Volume total de madeira (V); V – Saturação por bases (V%). Fonte: Autoria própria.

Avaliando os componentes principais no compartimento folha (Tabela 8 (a)), os resultados indicam que 53,03% da variabilidade total foi explicada pelo primeiro componente principal (PC1); o segundo componente principal (PC2), explicou 28,09% da variabilidade, totalizando 81,12% da variabilidade contida nos dados originais. A

representação gráfica biplot, expressou a correlação entre as variáveis originais com os componentes principais no compartimento folha (Figura 11a), no qual observa-se a formação de um grupo (PC1), localizado no lado direito do gráfico, com menos pontos de agrupamento (ou seja, com maior dispersão na representação bidimensional), e formado por MS Folha, MS Galho, MS Lenho, pH, V%, Mg no solo e acúmulo de N e Mg nas folhas, evidenciando uma ação conjunta (associação direta) dessas variáveis dentro da componente principal. Na PC2, tem-se ação conjunta entre o DAP e o volume total de madeira (V), demonstrando que existe associação positiva entre essas duas variáveis.

Para os componentes principais no compartimento galho, a análise apresentou a formação de dois grupos principais, cujas porcentagens de variância explicada são 51,99 e 28,09%, respectivamente, obtendo total de variância acumulada de 80,19% (Tabela 8b). Na PC1, houve ação conjunta entre as variáveis MS Folha, MS Galho, MS Lenho, pH, V%, Mg no solo, acúmulo de N (N) e acúmulo de Mg (Mg) localizado no lado esquerdo do gráfico biplot (Figura 11b). Em PC2, observa-se a formação de um grupo distinto, onde há a ação conjunta entre o volume total de madeira (V) e o diâmetro a altura do peito (DAP) ($|r| > 0,6$) (Figura 11b).

No compartimento casca, as componentes principais formadas, apresentaram valores de variância explicada de 51,34% e 28,50%, para PC1 e PC2 respectivamente (Tabela 8c). Na PC1 tem-se ação conjunta entre as variáveis MS Folha, MS Galho, MS Lenho, pH, V%, Mg no solo, N e Mg (Figura 11c); e as variáveis retidas na PC2 foram VW (0,59), pH (-0,67) e V% (-0,77), indicando uma associação contrastante entre essas variáveis (Figura 11c).

A ACP no lenho apresentou dois componentes principais com uma variância acumulada de 75,72% (Tabela 8d), onde na componente principal 1 explicou um total de 45,28% do conjunto de variáveis, houve ação conjunta entre MS Galho, MS Lenho, pH, V%, Mg no solo, acúmulo de N (N) e acúmulo de Mg (Mg); e na componente principal 2 constatou-se uma ação conjunta entre volume total de madeira (V) e diâmetro a altura do peito (DAP) na representação gráfica (Figura 11d), a PC1 demonstra a formação de dois grupos distintos: grupo I (abaixo do eixo) com menos pontos de agrupamento (ou seja, mais espalhado na representação bidimensional), e formado por acúmulo de N e Mg no lenho; e grupo 2 (acima do eixo) formado por V%, pH, e teor de Mg no solo.

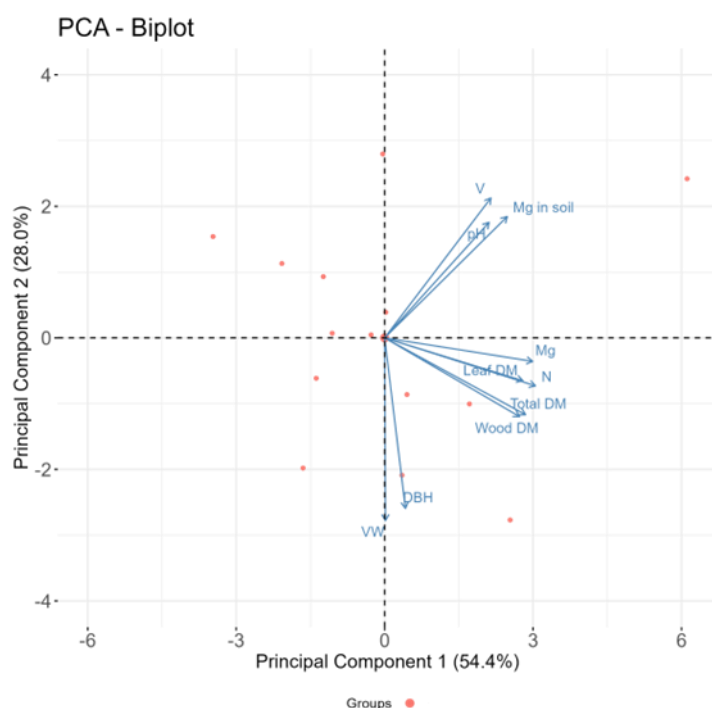
Na Tabela 9 consta os autovalores, quantidade de variância explicada e variância acumulada para as variáveis saturação por bases, Mg no solo, pH, acúmulo de N total, acúmulo de Mg total, volume de madeira (V), diâmetro a altura do peito (DAP), massa seca do lenho (MS Lenho), massa seca da folha (MS Folha) e massa seca total (MS Total). Na matéria seca total, as componentes principais formadas, apresentaram valores de variância explicada de 54,43% e 28,03%, para PC1 e PC2, respectivamente (Tabela 9). Na PC1, tem-se ação conjunta entre as variáveis MS Total, MS Lenho, MS Folha, pH, V%, Mg no solo, acúmulo de N e Mg total (N, Mg) (Figura 12), onde, dentro deste componente principal, temos uma relação positiva entre as variáveis biométricas do eucalipto (MS Total, MS Folha, MS Lenho, acúmulo de N e Mg total) e os atributos químicos do solo (V%, pH e teor de Mg no solo); e na PC2 tem-se uma ação conjunta entre DAP e V, contrastando com V% (Tabela 9).

Tabela 9. Autovalores, quantidade de variância explicada e variância acumulada para as variáveis saturação por bases, Mg no solo, pH, acúmulo de N total, acúmulo de Mg total, volume de madeira (V), diâmetro a altura do peito (DAP), massa seca do lenho (MS Lenho), massa seca da folha (MS Folha) e massa seca total (MS Total) de eucalipto (Híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* - clone I144).

Componentes	PC1	PC2
Autovalores	5,44	2,80
Variância explicada (%)	54,43	28,03
Variância acumulada (%)	54,43	82,46
Correlação		
V	0,00	-0,86
MS Total	0,88	-0,36
MS Lenho	0,84	-0,37
MS Folha	0,86	-0,20
pH	0,65	0,54
V%	0,66	0,66
Mg no solo	0,77	0,57
N	0,94	-0,23
Mg	0,93	-0,11
DAP	0,13	-0,80
Interpretação	Ação conjunta entre MS Total, MS Lenho, MS Folha, pH, V%, Mg no solo, acúmulo de N e Mg total (N, Mg) Ação conjunta entre DAP e V em contraste a V%	

VW - volume total de madeira, DM - massa seca, DBH - diâmetro a altura do peito, V% - saturação por bases, N - acúmulo do nitrogênio no compartimento, Mg - acúmulo do magnésio no compartimento. Valores em negrito usada para interpretação do componente principal ($R > |0,6|$).

Figura 12. Gráfico Biplot dos componentes principais CP1 e CP2 da análise de componentes principais com todos os pontos amostrais nos compartimentos (folha, galho, casca e lenho) e as seguintes variáveis: matéria seca de folha (MS Folha), matéria seca do lenho (MS Lenho), matéria seca total (MS Total), pH, saturação por bases (V%), Mg no solo, acúmulo de N total (N), acúmulo de Mg total (Mg), diâmetro a altura do peito (DAP), volume total de madeira (V) de eucalipto (Híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* - clone I144).



Mg in soil – Mg no solo; Mg – Acúmulo de Mg total; N – Acúmulo de N total; Leaf DM – MS folha; Branch DM – MS galho; Bark DM – MS casca; DBH – Diâmetro à altura do peito (DAP); VW – Volume total de madeira (V); V – Saturação por bases (V%). Fonte: Autoria própria.

e. Análise de Correlação Canônica

A Análise de Correlação Canônica (ACC) foi utilizada para avaliar as correlações lineares entre as variáveis originais e suas variáveis canônicas, sendo que as cargas canônicas cruzadas foram determinadas a fim de representar a correlação existente entre as variáveis originais do grupo e as variáveis estatística canônica do outro. As correlações canônicas para as variáveis: volume, biomassa de folha, M.O., Mg no solo, acúmulo de macronutrientes na biomassa da folha, altura de plantas e DAP, com seus respectivos R^2 canônicos e teste de significância ($p < 0,05$), estão apresentados na Tabela 10. Os pares canônicos significativos foram o primeiro (U1, V1) e segundo (U2, V2) pares, apresentando os seguintes valores 0,999 e 0,993,

respectivamente. Sendo assim, pode-se inferir que os dois primeiros grupos formados não são independentes. O R^2 canônico encontrado foi de 0,999 e 0,987 para os pares canônicos um e dois, respectivamente.

Na ACC para as variáveis: volume, biomassa de galho, M.O., Mg no solo, acúmulo de macronutrientes na biomassa do galho, altura e DAP, tem-se os dois primeiros pares canônicos formados significativos, cujo R^2 foram 0,999 para ambos os pares (Tabela 10). As cargas canônicas obtidas para o primeiro e segundo par formados foram de 0,999 e 0,993, respectivamente.

Os pares de correlações canônicas, os índices de correlações canônicas, os coeficientes de determinação (R^2) e seus respectivos qui-quadrados (χ^2) para as variáveis analisadas: volume, biomassa de casca, M.O., Mg no solo, acúmulo de macronutrientes na biomassa da casca, altura e DAP, estão demonstrados na Tabela 10. Os pares canônicos significativos foram U1V1 e U2V2, cujos coeficientes de determinação foram: 0,999 e 0,991, respectivamente.

As correlações canônicas obtidas entre os conjuntos: volume, biomassa do lenho, M.O., Mg no solo, acúmulo de macronutrientes na biomassa da casca, altura e DAP, com seus coeficientes de determinação canônica (R^2), qui-quadrado (χ^2) e testes de significância (p-valor), encontram-se na Tabela 10. Os dois primeiros pares de correlações canônicas formados foram significativos, contudo, pode inferir que há uma correlação linear entre as variáveis biomassa do lenho (U1) e acúmulo de macronutrientes no lenho, altura e DAP, indicando que tais variáveis, que formam o primeiro par canônico, não são independentes entre si, o mesmo ocorre no segundo para o segundo par canônico formado, onde demonstra que há uma correlação entre a M.O. do solo com as demais variáveis (acúmulo de macronutrientes no lenho, altura e DAP) (Tabela 10).

Tabela 10. Autovalores e correlação canônica para as variáveis: volume, biomassa dos compartimentos (folha, galho, casca e lenho), teor de P no solo, acúmulo dos macronutrientes na biomassa dos compartimentos (folha, galho, casca e lenho), altura e DAP de eucalipto (Híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* - clone I144).

Pares variáveis	Canônicos	Correlação Canônica	R ² canônico (Autovalores)	χ^2	DF	p-valor
Folha						
(U1, V1)		0,999	0,999	91,068	32	< 0,0001
(U2, V2)		0,993	0,987	47,734	21	< 0,0001
(U3, V3)		0,951	0,904	19,587	12	0,075
(U4, V4)		0,699	0,489	4,362	5	0,498
Galho						
(U1, V1)		0,999	0,999	119,253	32	< 0,0001
(U2, V2)		0,999	0,999	62,399	21	< 0,0001
(U3, V3)		0,933	0,871	19,730	12	0,072
(U4, V4)		0,793	0,627	6,406	5	0,269
Casca						
(U1, V1)		0,999	0,999	93,115	32	< 0,0001
(U2, V2)		0,995	0,991	47,331	21	0,0008
(U3, V3)		0,915	0,837	16,798	12	0,157
(U4, V4)		0,733	0,537	5,012	5	0,414
Lenho						
(U1, V1)		0,999	0,999	101,982	32	< 0,0001
(U2, V2)		0,998	0,997	49,819	21	0,0004
(U3, V3)		0,887	0,786	12,378	12	0,416
(U4, V4)		0,550	0,303	2,346	5	0,799

Un: variável canônica para Volume, Biomassa, Mg no solo, M.O., Vn: variável canônica para acúmulos de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) na biomassa (folha, galho, casca e lenho), altura e DAP. DF corresponde ao grau de liberdade.

As correlações entre as variáveis originais e o componente canônico que as representa (U_k e V_k), assim denominados de carregamentos canônicos, e as correlações existentes entre as variáveis de um conjunto e o outro componente canônico (carregamentos cruzados canônicos), são apresentados na Tabela 11. As cargas canônicas obtidas auxiliam na interpretação dos resultados, pois, quanto maior

o índice, em módulo, desses valores maiores é a associação entre a variável original e o respectivo par canônico (de CARVALHO *et al.*, 2018; CANTERL *et al.*, 2023).

A variável U1 representou 31,65% da variação total no grupo (volume, biomassa de folha, M.O., Mg no solo) e V1 representou 20,29% do outro grupo estabelecido (acúmulo de macronutrientes na folha, altura e DAP) (Tabela 11). O índice de redundância (IR) prevê o quanto a variação do grupo V foi explicada pelo grupo U e vice-versa, o IR do primeiro carregamento canônico (V|U) foi de 91,17%, para o segundo carregamento canônico, o IR foi de 83,96% (Tabela 11).

Para o compartimento galho, observou-se que as proporções da variância total explicada pelos grupos U1 e V1 foi de 31,65% e 20,29% (Tabela 11), respectivamente. No primeiro par canônico (U1), os maiores valores de correlação (em módulo) foi para o volume (-0,99), para o segundo par canônico (U2) foi para a biomassa (0,99) e no terceiro e quarto par canônico foi para M.O. ((-0,70); (-0,68)) (Tabela 11). Nos carregamentos canônicos para os pares pertencentes a V, os maiores valores de correlação no V1 foi para DAP (em módulo 0,92), em V2 o acúmulo de S no galho apresentou em módulo a maior correlação canônica (0,97), em V3 o acúmulo de P no galho apresentou o maior valor para correlação (em módulo 0,40) e, para V4 tem-se que o acúmulo de Ca no galho apresentou o maior, sendo de 0,20, em módulo.

Tabela 11. Correlações entre as variáveis: volume, biomassa (folha, galho), M.O., Mg no solo, acúmulos de macronutrientes (folha, galho), altura de plantas e diâmetro a altura do peito (DAP) de eucalipto (Híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* - clone I144), a partir da análise de correlação canônica.

Folha								
Variáveis	Carregamentos canônicos				Carregamentos cruzados canônicos			
	U1	U2	U3	U4	V1	V2	V3	V4
V	-0,99	0,06	-0,08	0,01	-0,99	0,06	-0,08	0,01
Biomassa	-0,16	0,99	-0,04	-0,02	-0,16	0,98	-0,04	-0,02
MO	-0,13	-0,19	-0,70	-0,68	-0,13	-0,19	-0,67	-0,47
Mg no solo	0,49	0,57	-0,64	0,17	0,49	0,57	-0,61	0,12
PVTE (%)	31,65	33,58	22,64	12,13				
IR (%)	91,14							
	Carregamentos canônicos				Carregamentos cruzados canônicos			
	V1	V2	V3	V4	U1	U2	U3	U4
N	-0,13	0,93	-0,14	-0,02	-0,13	0,93	-0,13	-0,02
P	-0,10	0,82	-0,40	0,05	-0,10	0,82	-0,38	0,04
K	-0,13	0,92	-0,11	-0,01	-0,13	0,92	-0,10	0,00
Ca	-0,26	0,71	0,01	0,20	-0,26	0,70	0,01	0,14
Mg	0,16	0,92	0,04	0,14	0,16	0,92	0,04	0,10
S	-0,09	0,97	-0,17	-0,02	-0,09	0,97	-0,16	-0,01
Altura	-0,80	-0,07	0,37	0,14	-0,79	-0,07	0,35	0,10
DAP	-0,92	0,14	-0,28	-0,07	-0,92	0,14	-0,26	-0,05
PVTE (%)	20,29	59,04	5,41	1,11				
IR	83,96							
Galho								
Variáveis	Carregamentos canônicos				Carregamentos cruzados canônicos			
	U1	U2	U3	U4	V1	V2	V3	V4
VW	-0,95	0,29	0,05	0,03	-0,95	0,29	0,05	0,02
Biomassa	0,02	0,95	-0,31	-0,05	0,02	0,95	-0,29	-0,04
MO	-0,36	-0,45	-0,72	-0,40	-0,36	-0,44	-0,67	-0,32
Mg no solo	0,42	0,14	-0,78	0,45	0,42	0,14	-0,72	0,35
PVTE (%)	30,49	30,10	30,33	9,08				
IR (%)	92,66							
	Carregamentos canônicos				Carregamentos cruzados canônicos			
	V1	V2	V3	V4	U1	U2	U3	U4
N	0,05	0,72	-0,39	0,12	0,05	0,72	-0,37	0,09
P	-0,19	0,71	-0,34	0,09	-0,19	0,71	-0,32	0,07
K	0,06	0,74	-0,49	-0,13	0,06	0,74	-0,46	-0,11
Ca	0,20	0,54	-0,57	0,28	0,20	0,54	-0,53	0,22
Mg	0,27	0,79	-0,52	0,03	0,27	0,79	-0,49	0,02
S	0,09	0,90	-0,15	-0,04	0,09	0,90	-0,14	-0,03
Altura	-0,70	0,21	0,52	0,02	-0,70	0,21	0,49	0,02
DAP	-0,91	0,29	-0,18	0,02	-0,91	0,29	-0,17	0,02
PVTE (%)	18,52	42,98	17,91	1,50				
IR	77,98							

PVTE corresponde a Proporção de variância total explicada. IR corresponde ao Índice de Redundância. U = Volume, Biomassa, Teor de P no solo $U = a^T X^{(1)}$. V = Acúmulos de macronutrientes na biomassa, altura, DAP $V = b^T X^{(2)}$.

Na casca, os respectivos carregamentos canônicos do primeiro grupo (U) estabelece que para o primeiro par canônico (U1) formado, o V obteve o maior valor (-0,98); para o segundo par (U2) a maior carga canônica foi de 0,97, sendo para a variável biomassa da casca; M.O. teve o maior valor (-0,71) no terceiro par canônico (U3); por fim, para o quarto par de variáveis canônicas o maior valor foi com Mg no solo (0,87) (Tabela 12). Os carregamentos canônicos cruzados, V1, V2, V3 e V4, foram respectivamente: -0,98 (VW), 0,96 (biomassa), -0,65 (M.O.) e 0,64 (Mg no solo) (Tabela 12).

No lenho, dentro das variáveis independentes, o volume total de madeira (V) apresentou no primeiro carregamento canônico formado, um índice de $|-0,91|$ e um PVTE de 29,44% (Tabela 12), indicando que esta variável explica a maior parte das correlações canônicas no primeiro grupo (U1). Foram formados quatro pares de carregamento cruzados entre as variáveis independentes e os pares canônicos das variáveis independentes (Tabela 12), sendo que, dentro de cada par de carregamentos cruzados (Vk), obteve os maiores índices em módulo para: V (-0,98), biomassa do lenho (0,96), M.O. (-0,65) e Mg no solo (0,64) respectivamente (Tabela 12). Os IR entre as variáveis foram, em sequência, 85,09% (Uk) e 79,84% (Vk) (Tabela 12).

Tabela 12. Correlações entre as variáveis: volume total de madeira (V), biomassa (casca, lenho), matéria orgânica (M.O.), Mg no solo, acúmulos de macronutrientes (casca, lenho), altura de plantas e diâmetro a altura do peito (DAP) de eucalipto (Híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* – clone I144), a partir da análise de correlação canônica.

Casca								
Variáveis	Carregamentos canônicos				Carregamentos cruzados canônicos			
	U1	U2	U3	U4	V1	V2	V3	V4
V	-0,98	-0,19	0,03	-0,01	-0,98	-0,19	0,03	-0,01
Biomassa	-0,20	0,97	0,12	0,09	-0,20	0,96	0,11	0,06
MO	-0,11	-0,45	-0,71	0,53	-0,11	-0,45	-0,65	0,39
Mg no solo	0,37	0,18	0,26	0,87	0,37	0,18	0,24	0,64
PVTE (%)	28,75	30,21	14,60	26,44				
IR (%)	85,09							
	Carregamentos canônicos				Carregamentos cruzados canônicos			
	V1	V2	V3	V4	U1	U2	U3	U4
N	-0,40	0,82	0,27	0,22	-0,40	0,81	0,25	0,16
P	-0,18	0,72	0,07	0,47	-0,18	0,72	0,07	0,34
K	-0,35	0,72	0,16	0,22	-0,35	0,72	0,15	0,16
Ca	-0,11	0,82	0,33	0,16	-0,11	0,81	0,30	0,12
Mg	-0,11	0,85	0,09	0,29	-0,11	0,85	0,08	0,21
S	-0,26	0,84	-0,02	-0,38	-0,26	0,83	-0,02	-0,28
Altura	-0,76	-0,05	0,11	-0,59	-0,76	-0,05	0,10	-0,43
DAP	-0,92	-0,23	0,00	0,27	-0,92	-0,23	0,00	0,20
PVTE (%)	22,91	48,32	2,90	1,24				
IR	79,84							
Lenho								
Variáveis	Carregamentos canônicos				Carregamentos cruzados canônicos			
	U1	U2	U3	U4	V1	V2	V3	V4
V	-0,91	0,40	-0,02	0,03	-0,91	0,40	-0,02	0,02
Biomassa	-0,55	-0,82	0,14	-0,07	-0,55	-0,82	0,12	-0,04
MO	-0,02	0,35	0,72	0,60	-0,02	0,35	0,64	0,33
Mg no solo	0,21	-0,43	0,78	-0,41	0,21	-0,43	0,69	-0,23
PVTE (%)	29,44	28,77	28,57	13,22				
IR (%)	84,58							
	Carregamentos canônicos				Carregamentos cruzados canônicos			
	V1	V2	V3	V4	U1	U2	U3	U4
N	-0,42	-0,75	0,42	-0,21	-0,42	-0,75	0,37	-0,11
P	-0,46	-0,56	0,49	-0,39	-0,46	-0,56	0,44	-0,21
K	-0,58	-0,69	0,36	0,04	-0,58	-0,69	0,32	0,02
Ca	-0,42	-0,58	-0,17	-0,46	-0,42	-0,58	-0,15	-0,25
Mg	-0,34	-0,62	0,07	-0,26	-0,34	-0,62	0,06	-0,14
S	-0,49	-0,57	-0,12	-0,21	-0,49	-0,57	-0,11	-0,12
Altura	-0,64	0,42	-0,50	-0,10	-0,64	0,41	-0,45	-0,06
DAP	-0,89	0,34	0,21	0,10	-0,89	0,34	0,19	0,05
PVTE (%)	30,58	33,53	11,21	6,75				
IR	74,85							

PVTE corresponde a Proporção de variância total explicada. IR corresponde ao Índice de Redundância. U = Volume, Biomassa, Teor de P no solo $U=a^T X^{(1)}$. V = Acúmulos de macronutrientes na biomassa, altura, DAP $V=b^T X^{(2)}$.

5.2 EXPERIMENTO 2 – Fósforo

a. Análise química do solo

As médias dos atributos químicos do solo na profundidade de 0-0,20 m em função da reaplicação com P estão apresentados na Tabela 13, tem-se que para a interação entre o residual das doses de P_2O_5 e reaplicação das doses no segundo ciclo produtivo, houve efeito significativo para o teor de P no solo (P-resina), para o teor de K e para o teor de Mg no solo, avaliados no segundo ciclo produtivo.

O teor de P (resina) no solo foi significativo para o residual das doses de P_2O_5 aplicadas no primeiro ciclo (Figura 13b), aumentando o teor do nutriente no solo com o incremento do residual das doses de fósforo, com ajuste à função linear crescente. Os atributos químicos do solo P-resina, Ca, H+Al, CTC, SB, V% e m% foram maiores quando da reaplicação das doses de P_2O_5 ; além disso, observou-se maior saturação por alumínio (m%) na reaplicação deste macronutriente (Tabela 13).

Constatou-se um aumento linear nos teores de P para o residual das doses de P_2O_5 (Figura 13b), em todas as doses residuais os teores estão acima da faixa considerada adequada de 5 a 7 mg dm⁻³ (PROTÁSIO *et al.*, 2012), com exceção da dose do tratamento controle do residual (0 kg ha⁻¹).

É importante frisar que a eficiência da adubação do primeiro ciclo de produção contribui para a ciclagem dos nutrientes e o retorno de parte dos mesmos, em especial do fósforo, mantendo o ciclo deste nutriente “fechado”, a fim de suprir grande parte da demanda de fósforo nos ciclos posteriores (BAZANII *et al.*, 2014), cujos resultados do presente estudo contribuem para evidenciar tais afirmações.

Para os atributos químicos do solo (0-0,20m): Al (mmol_c dm⁻³); CTC (mmol_c dm⁻³); M.O. (g dm⁻³); SB (mmol_c dm⁻³); V%; saturação por alumínio (m%), não houve diferença em função das doses residuais de P (Figura 14).

Tabela 13. Médias dos atributos químicos do solo na profundidade de 0-0,20 m em função da reaplicação de P_2O_5 e a interação entre doses x reaplicação, em eucalipto (Híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* - clone I144), em sistema talhadia. Três Lagoas – MS, Brasil.

Reaplicação de P_2O_5	P- resina ($mg\ dm^{-3}$)	K	Ca ($mmol_c\ dm^{-3}$)	Mg
sem	5,62b	0,85a	1,58b	1,56a
com	20,07a	1,25a	3,04a	1,56a
D.M.S. (5%)	3,23	0,52	0,70	0,42
C.V. (%)	28,74	17,59#	13,48#	30,54
F doses x reaplicação	13,02**	13,82**	1,84 ^{ns}	4,39*

Reaplicação de P_2O_5	pH $CaCl_2$	H+Al	Al ($mmol_c\ dm^{-3}$)	CTC
sem	4,1 a	24,5 b	3,4 a	28,5 b
com	4,1 a	25,7 a	3,5 a	31,6 a
D.M.S. (5%)	0,1	1,0	0,3	1,9
C.V. (%)	1,10	4,51	10,80	7,09
F doses x reaplicação	0,71 ^{ns}	1,43 ^{ns}	0,78 ^{ns}	1,85 ^{ns}

Reaplicação de P_2O_5	M.O. ($g\ dm^{-3}$)	SB ($mmol_c\ dm^{-3}$)	V %	m
sem	14,1 a	4,0 b	14,3 b	28,5 b
com	14,4 a	5,9 a	18,4 a	31,6 a
D.M.S. (5%)	0,4	1,2	2,9	1,9
C.V. (%)	3,63	27,47	20,02	7,09
F doses x reaplicação	0,50 ^{ns}	1,50 ^{ns}	1,93 ^{ns}	2,11 ^{ns}

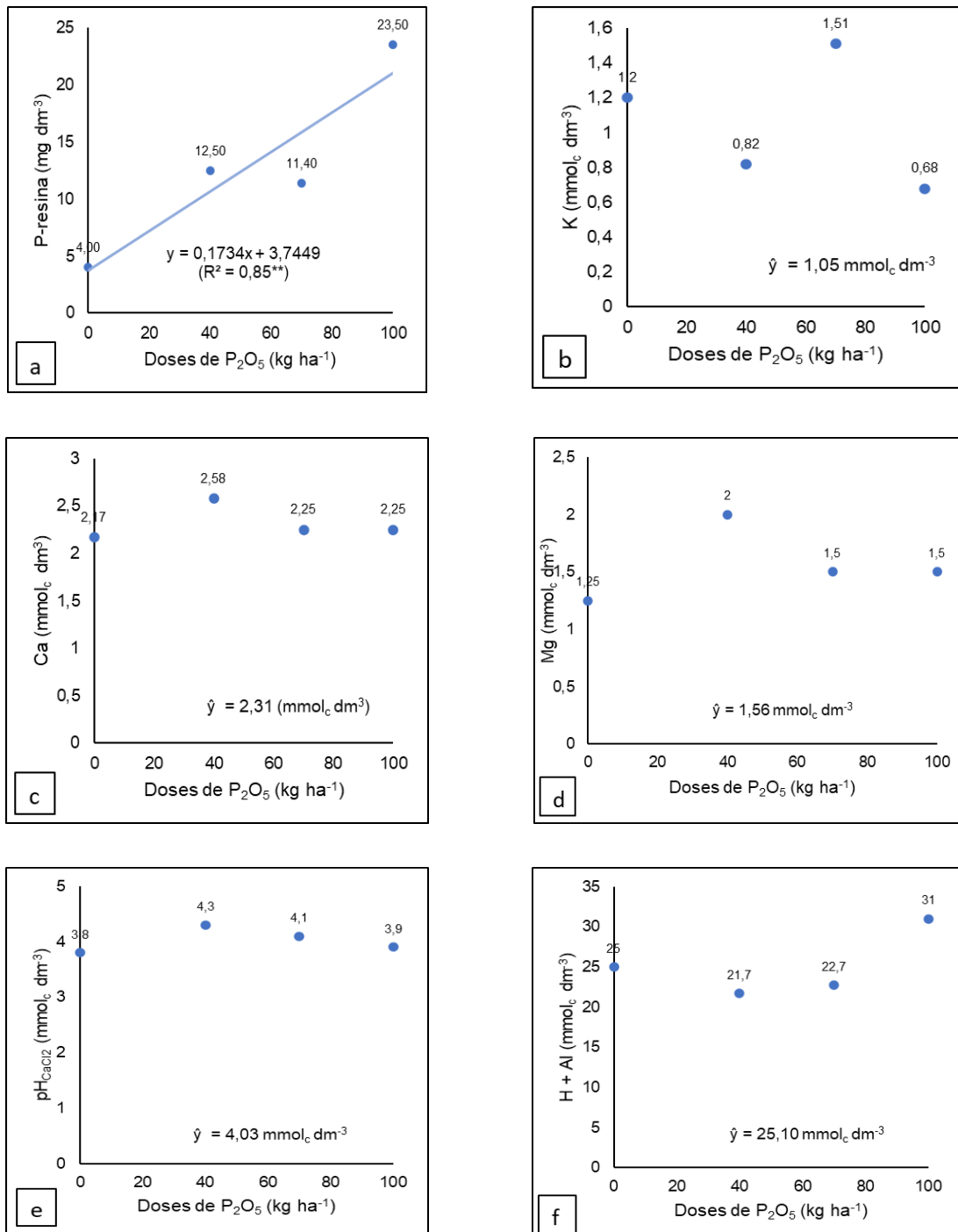
* e ** = significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente; ns = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Análise química realizada no Laboratório de Fertilidade do Solo UNESP/FEIS.

#Dados corrigidos pela transformação $(x+0,5)^{0,5}$

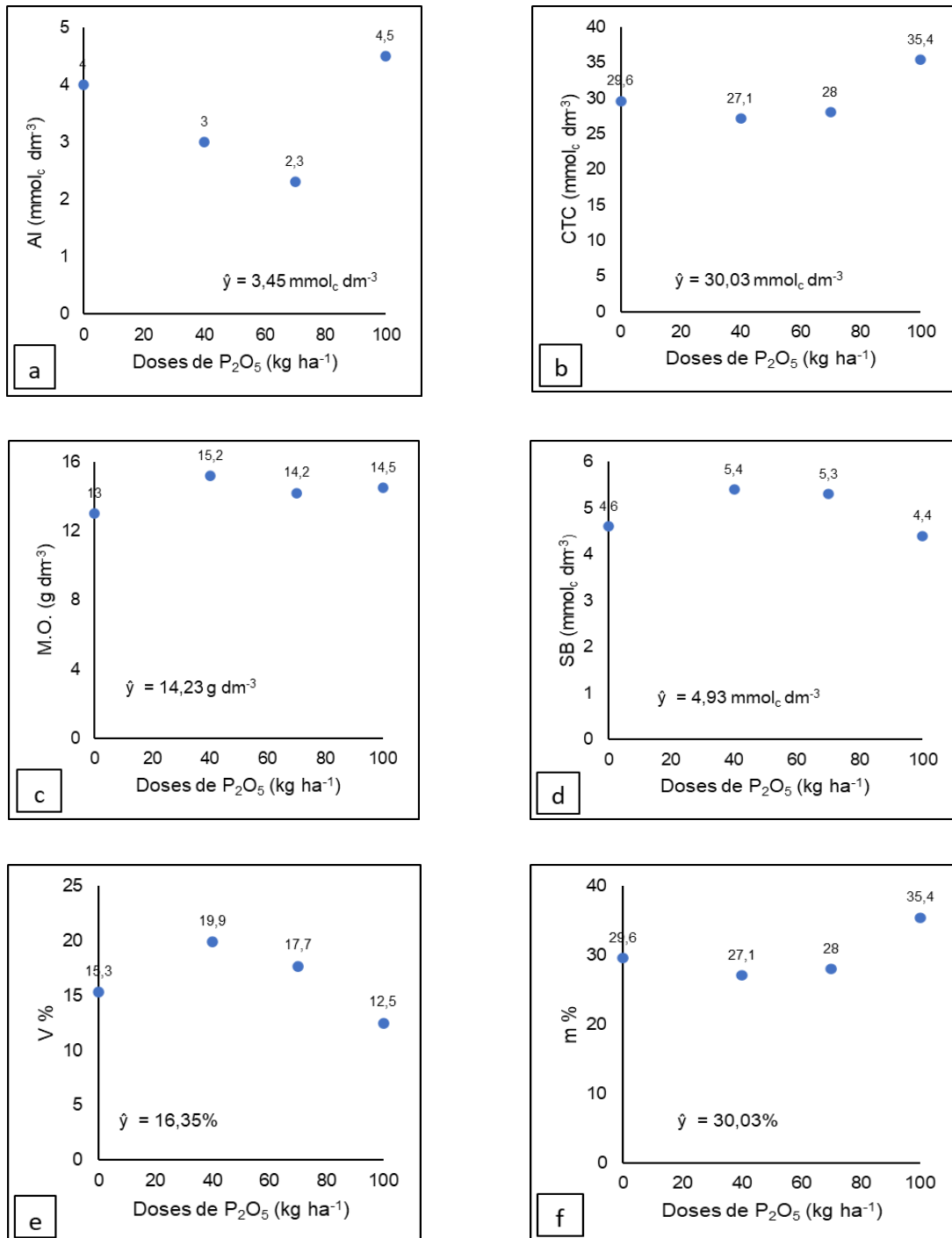
Fonte: Própria autora.

Figura 13. Atributos químicos do solo (0-0,20m): **(a)** P-resina (mg dm^{-3}) no solo (0-0,20 m); **(b)** K ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$); **(c)** Ca ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$); **(d)** Mg ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$); **(e)** $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$); **(f)** H + Al ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$); **(g)** Al ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$); **(h)** CTC ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$); **(i)** M.O. (g dm^{-3}); **(j)** SB ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$); **(k)** V% no solo; **(l)** Saturação por alumínio (m%) em função das doses residuais de P_2O_5 .



Fonte: Própria autora.

Figura 14. Atributos químicos do solo (0-0,20m): **(a)** Al ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$); **(b)** CTC ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$); **(c)** M.O. (g dm^{-3}); **(d)** SB ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$); **(e)** V%; **(f)** Saturação por alumínio (m%) em função das doses residuais de P_2O_5 .



Fonte: Própria autora.

b. Diâmetro a altura do peito, altura de plantas, volume de madeira e biomassa

Os valores de diâmetro a altura do peito (DAP), altura de plantas (H) e volume (V) em função da reaplicação com P_2O_5 e a interação entre doses x reaplicação estão descritos na Tabela 14. Não houve efeito para a interação “doses x reaplicação” em nenhuma das avaliações de crescimento (DAP, V e H) descritos.

O DAP e o V apresentaram diferença para a reaplicação da adubação fosfatada, em que: no tratamento com a reaplicação das doses de P_2O_5 (Tabela 14), para ambas as avaliações de crescimento, proporcionaram maiores valores, demonstrando que a adubação fosfatada contribuiu para o aumento do diâmetro do caule e aumento do volume de madeira do eucalipto.

O DAP e o V apresentaram diferença para a reaplicação da adubação fosfatada, em que: no tratamento com a reaplicação das doses de P_2O_5 (Tabela 13), para ambas as avaliações de crescimento, observou-se maiores valores, demonstrando que a adubação fosfatada contribuiu para o aumento do diâmetro do caule e aumento do volume de madeira do eucalipto.

Para o volume de madeira (Figura 15c), verificou-se ajuste à função quadrática, cujo melhor resultado foi obtido com a maior dose residual de P_2O_5 (100 kg ha^{-1}). O P é pouco móvel no solo e a dose aplicada, geralmente, é bem superior àquela demandada pelas plantas, em razão de processos de adsorção, sobretudo em solos altamente intemperizados. Isto associado à reciclagem desse nutriente da serrapilheira, explica o efeito residual da adubação fosfatada do ciclo anterior.

Cipriani *et al.* (2012) encontraram correlação positiva entre o crescimento e o incremento nas doses de adubação fosfatada, com doses ótimas estimadas de P_2O_5 de: 112 kg ha^{-1} (Clone VM01); 108 kg ha^{-1} (Clone H13) e 128 kg ha^{-1} (Clone Uroclom), demonstrando que o fósforo é um nutriente limitante ao crescimento inicial do eucalipto.

Na Tabela 14, tem-se a biomassa dos órgãos (folha, galho, casca e lenho) e biomassa total de eucalipto em função da reaplicação com P_2O_5 e a interação entre doses x reaplicação. A reaplicação das doses de P_2O_5 no segundo ciclo de produção, proporcionou diferença significativa entre os tratamentos “com” ou “sem” para biomassa do lenho e biomassa total, em ambos, em que nos tratamentos que receberam a reaplicação da adubação fosfatada foram maiores (Tabela 14). Além

disso, nesse mesmo tratamento também proporcionou maiores DAP e V, contribuindo para o aumento na biomassa no lenho e na biomassa total.

A adubação no segundo ciclo de produção pode favorecer o aumento do diâmetro do caule e, conseqüentemente aumento do volume de madeira, contribuindo para o incremento no diâmetro das plantas de eucalipto em até 59%, e a deficiência deste nutriente no solo prejudica o crescimento inicial das plantas, tanto em diâmetro quanto em altura (BASSACO *et al.*, 2018). O fósforo pode contribuir para aumentar a projeção da copa do eucalipto, que favorece o aumento no índice de área foliar e conseqüentemente a fotossíntese, aumenta a biomassa em todos os compartimentos da planta (WIRABUANA *et al.*, 2019).

Graciano *et al.* (2006), avaliando os efeitos da adubação fosfatada em plantas jovens de *Eucalyptus grandis*, cultivado em vasos, constataram que as aplicações de P_2O_5 favorecem o aumento da biomassa seca do eucalipto, mais uma vez demonstrando a importância da adubação fosfatada no início do desenvolvimento do eucalipto, independente do ciclo de produção.

Observou-se ajuste à regressão quadrática para a biomassa seca do lenho em função do residual das doses de P_2O_5 , com dose ótima estimada (PM) de 61,20 kg ha^{-1} (Figura 15g); já para os demais órgãos do eucalipto e biomassa total não houve ajuste a nenhum modelo testado para o residual das doses de P_2O_5 .

Melo *et al.* (2015), avaliando a resposta de clones de eucaliptos para a aplicação de fertilizantes N, P e K em diferentes condições edafoclimáticas, constataram que a adubação fosfatada proporciona ganhos em produtividade nos estágios iniciais do eucalipto, demonstrando que a maior demanda por este nutriente é no início do crescimento das plantas de eucalipto. A resposta à adubação fosfatada também depende da quantidade de P disponível no solo, sendo maiores as respostas à adubação fosfatadas em solos com menores teores deste nutriente no solo.

É notório em diversos estudos que a participação do fosforo é de extrema importância para o acúmulo de biomassa e aumento da produtividade do eucalipto (BASSACO *et al.*, 2018; WIRABUANA *et al.*, 2019; FERNANDEZ *et al.*, 2000), e os resultados do presente estudo demonstram que o aumento da biomassa lenho e biomassa total é favorecido pela reaplicação e o residual das doses de P no eucalipto.

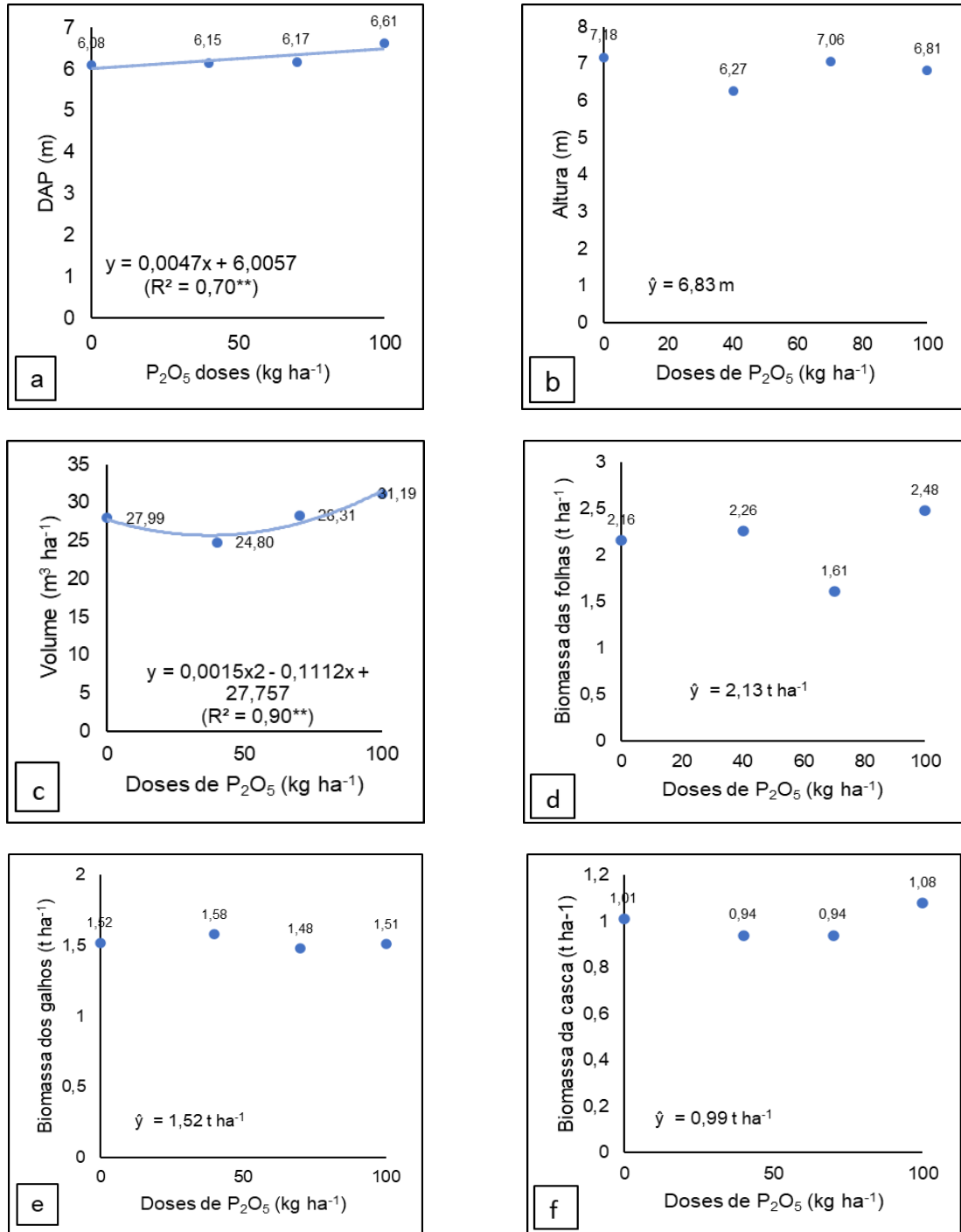
Tabela 14. Diâmetro a altura do peito (DAP), altura de plantas (H) e volume (V), biomassa dos órgãos (folha, galho, casca, lenho) e biomassa total em função da reaplicação com P_2O_5 e a interação entre doses x reaplicação, em eucalipto (Híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* - clone I144), em sistema talhadia. Três Lagoas – MS, Brasil.

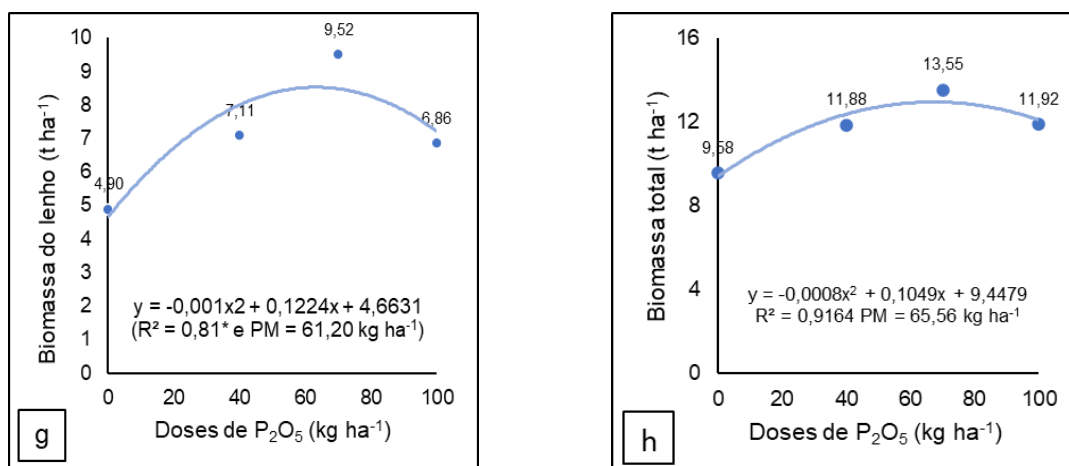
Reaplicação de P_2O_5		DAP (cm)	H (m)	V (m ³ ha ⁻¹)	
sem		6,01b	6,82a	25,90b	
com		6,49a	6,84a	30,25a	
D.M.S. (5%)		0,25	0,12	2,17	
C.V. (%)		4,57	2,05	8,85	
F doses x reaplicação		1,49 ^{ns}	2,52 ^{ns}	1,45 ^{ns}	
Reaplicação de P_2O_5	Folhas	Galhos	Casca t ha ⁻¹	Lenho	Total
sem	2,11a	1,44a	0,96a	5,40b	9,91b
com	2,14a	1,60a	1,03a	8,79a	13,56a
D.M.S. (5%)	0,31	0,20	0,15	2,00	2,14
C.V. (%)	16,60	15,30	16,94	17,02#	20,81
F doses x reaplicação	4,91*	9,64**	3,26 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,95 ^{ns}

* e ** - significativo a 5 e 1% pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Própria autora.

Figura 15. **(a)** Diâmetro a altura do peito (cm); **(b)** Altura de planta (m); **(c)** Volume de madeira ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$); **(d)** Biomassa de folha (t ha^{-1}); **(e)** Biomassa de galho (t ha^{-1}); **(f)** Biomassa de casca (t ha^{-1}); **(g)** Biomassa de lenho (t ha^{-1}); **(h)** Biomassa total (t ha^{-1}) em função das doses residuais de P_2O_5 .





Fonte: Própria autora.

Para a biomassa seca de casca, observou-se efeito significativo para a interação doses residuais de P_2O_5 e reaplicação das doses de P_2O_5 (Tabela 15). O efeito “sem” a reaplicação das doses de P_2O_5 dentro do residual das doses de P_2O_5 apresentou um ajuste à função linear crescente, logo o incremento nas doses deste nutriente contribuiu para o aumento na biomassa de casca. No desdobramento da interação “sem x com” dentro da residual de $40\ kg\ ha^{-1}$, verificou-se que o tratamento “com” a reaplicação da adubação fosfatada apresentou a maior biomassa de casca.

Tabela 15. Desdobramentos da interação doses residuais de P_2O_5 pela reaplicação das doses de P_2O_5 na biomassa de casca, em eucalipto (Híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* - clone I144), em sistema talhadia. Três Lagoas – MS, Brasil.

Doses de P_2O_5 ($kg\ ha^{-1}$)	Reaplicação de P_2O_5 Biomassa de casca ($t\ ha^{-1}$)	
	sem ⁽¹⁾	com ^{ns}
0	0,88a	1,14a
40	0,79b	1,09a
70	1,05a	0,84a
100	1,11a	1,05a
D.M.S. (5%)	0,29	

ns - não significativo a 5% pelo teste F.

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

⁽¹⁾ $Y = 0,0027x + 0,8122$ ($R^2 = 0,62^*$)

Fonte: Própria autora.

c. Acúmulo de nutrientes na biomassa do eucalipto

O acúmulo de macronutrientes nas biomassas de folhas, galhos e casca do eucalipto em função da reaplicação com P_2O_5 e a interação entre doses x reaplicação

constam na Tabela 16. Os acúmulos de N e K na biomassa das folhas foi significativo para a interação entre a interação das doses x reaplicação de P_2O_5 (Tabela 16).

Para o acúmulo de Ca na biomassa das folhas do eucalipto, houve ajuste à regressão quadrática em função das doses de P_2O_5 (Figura 16d), além disso notou-se efeito na interação entre as doses de P_2O_5 e a reaplicação das doses no segundo ciclo de produção (Tabela 16).

O efeito da reaplicação de P_2O_5 apenas teve diferença no acúmulo de Mg nas folhas do eucalipto, não houve efeito significativo para a interação entre as doses de P_2O_5 e reaplicação de P_2O_5 (Tabela 16) e nem para o efeito isolado das doses residuais de P_2O_5 sobre o acúmulo deste macronutriente nas folhas do eucalipto (Figura 16e).

O acúmulo de N nos galhos do eucalipto não foi influenciado pelos efeitos residuais das doses de P_2O_5 nem pela reaplicação no segundo ciclo de produção (Figura 17a), cuja interação das “doses x a reaplicação” foi significativa (Tabela 16). Para o acúmulo de P na biomassa dos galhos, apenas o efeito isolado da reaplicação de P_2O_5 foi significativo, com diferença significativa entre os tratamentos da reaplicação, onde se constatou que, com a reaplicação das doses deste nutriente no segundo ciclo de produção, ocorreu maior acúmulo de P na biomassa dos galhos (Tabela 16).

No acúmulo de Ca nos galhos de eucalipto, observou-se efeito isolado da reaplicação de fósforo, com maior acúmulo deste macronutriente na reaplicação de P_2O_5 . Também se verificou efeito para a interação “doses de P_2O_5 ” x “reaplicação de P_2O_5 ” (Tabela 16). Para o acúmulo de S nos galhos do eucalipto, foi verificado que houve efeito na interação entre as doses de P_2O_5 e a reaplicação de P_2O_5 (Tabela 16). Também houve o efeito isolado da reaplicação de P_2O_5 , em que o tratamento “com” proporcionou o maior acúmulo de S nos galhos do eucalipto (Tabela 16). O efeito residual das doses de P_2O_5 não influenciou no acúmulo dos macronutrientes nos galhos de eucalipto (Figura 17).

Para o acúmulo de S na casca, a reaplicação de P_2O_5 proporcionou diferença significativa segundo o teste de média adotado (teste de Tukey), onde o tratamento “com” proporcionou o maior acúmulo de S na casca do eucalipto (Tabela 16). A interação “doses x reaplicação” também apresentou foi significativa para o acúmulo deste macronutriente na casca (Tabela 16).

Na biomassa da casca do eucalipto, os acúmulos de N, Mg e S foram influenciados pelo residual das doses de P_2O_5 (Figuras 18a, 18e e 18f). Para os acúmulos de N e S na casca, notou-se ajuste à função de regressão quadrática (Figuras 18a e 18f). Com relação ao acúmulo de Mg na casca, observou-se ajuste à equação de regressão, que também foi quadrático (Figura 18e).

A interação “doses x reaplicação” de P_2O_5 apresentou influência para o acúmulo de P na casca do eucalipto (Tabela 16). O acúmulo de P na casca do eucalipto, em relação à reaplicação de P_2O_5 foi influenciado pelos tratamentos, proporcionando maior acúmulo deste macronutriente na casca do eucalipto com a reaplicação no segundo ciclo de produção (Tabela 16).

Para o acúmulo de K na biomassa da casca do eucalipto, apenas a interação das doses de P_2O_5 e a reaplicação de P_2O_5 influenciaram no acúmulo deste macronutriente (Tabela 16). A interação “doses x reaplicação” para o acúmulo de Ca na casca foi significativa (Tabela 16). No acúmulo de Ca na casca, com a reaplicação de P_2O_5 houve diferença significativa entre os tratamentos, em que “com” a reaplicação do P_2O_5 ocorreu maior acúmulo de Ca na casca.

Tabela 16. Acúmulo de macronutrientes nas biomassas (folhas, galhos e casca) do eucalipto em função da reaplicação com P_2O_5 e a interação entre doses x reaplicação, em eucalipto (Híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* - clone I144), em sistema talhadia. Três Lagoas – MS, Brasil.

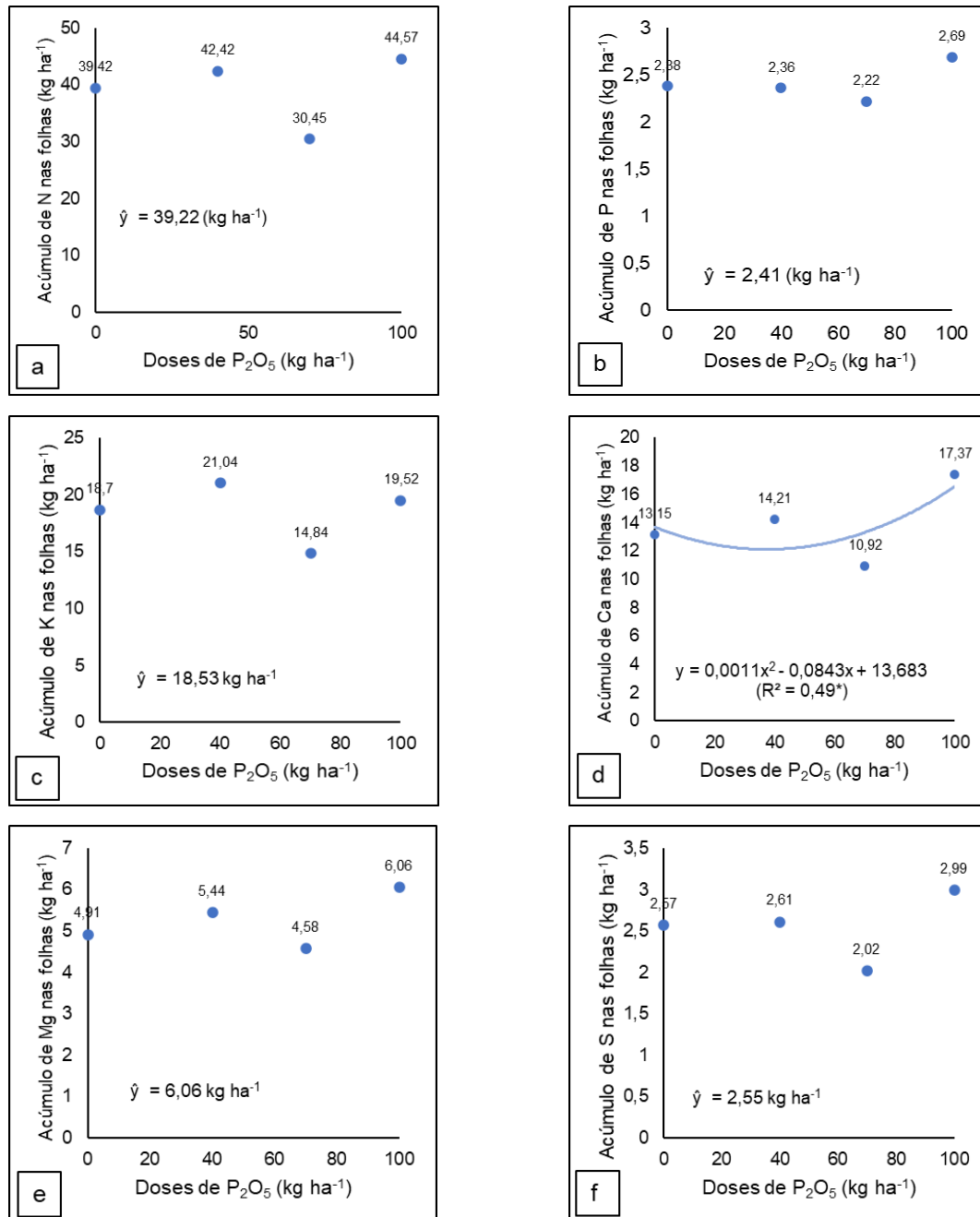
Reaplicação de P_2O_5	N	P	K	Ca	Mg	S
(kg ha⁻¹)						
Folhas						
sem	39,05a	2,66a	18,28a	13,48a	4,80b	2,56a
com	39,37a	2,66a	18,77a	14,34a	5,70a	2,70a
D.M.S. (5%)	6,39	0,27	2,60	2,03	0,82	0,42
C.V. (%)	18,62	11,51	16,05	16,66	17,91	18,19
F doses x reaplicação	3,94*	2,20 ^{ns}	4,19*	4,27*	1,96 ^{ns}	2,35
Galhos						
sem	9,56a	1,80b	10,56a	7,45b	1,72a	0,72b
com	11,10a	2,33a	12,28a	10,81a	2,02a	0,84a
D.M.S. (5%)	2,31	0,49	2,42	2,00	0,58	0,12
C.V. (%)	25,55	27,33	24,23	25,06	14,15#	17,11
F doses x reaplicação	4,80*	2,42 ^{ns}	0,57 ^{ns}	6,03**	1,53 ^{ns}	9,32**
Casca						
sem	4,23a	0,84b	8,31a	15,57b	2,69a	0,40b
com	4,37a	1,11a	8,94a	20,35a	2,84a	0,50a
D.M.S. (5%)	0,64	0,24	1,40	3,44	0,46	0,04
C.V. (%)	17,00	28,40	18,49	21,88	18,87	11,21
F doses x reaplicação	1,83 ^{ns}	3,37*	4,21*	8,47**	0,41 ^{ns}	13,39**

* e ** - significativo a 5 e 1% pelo teste F. ns - não significativo a 5% pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

#Dados corrigidos pela equação $(x+0,5)^{0,5}$

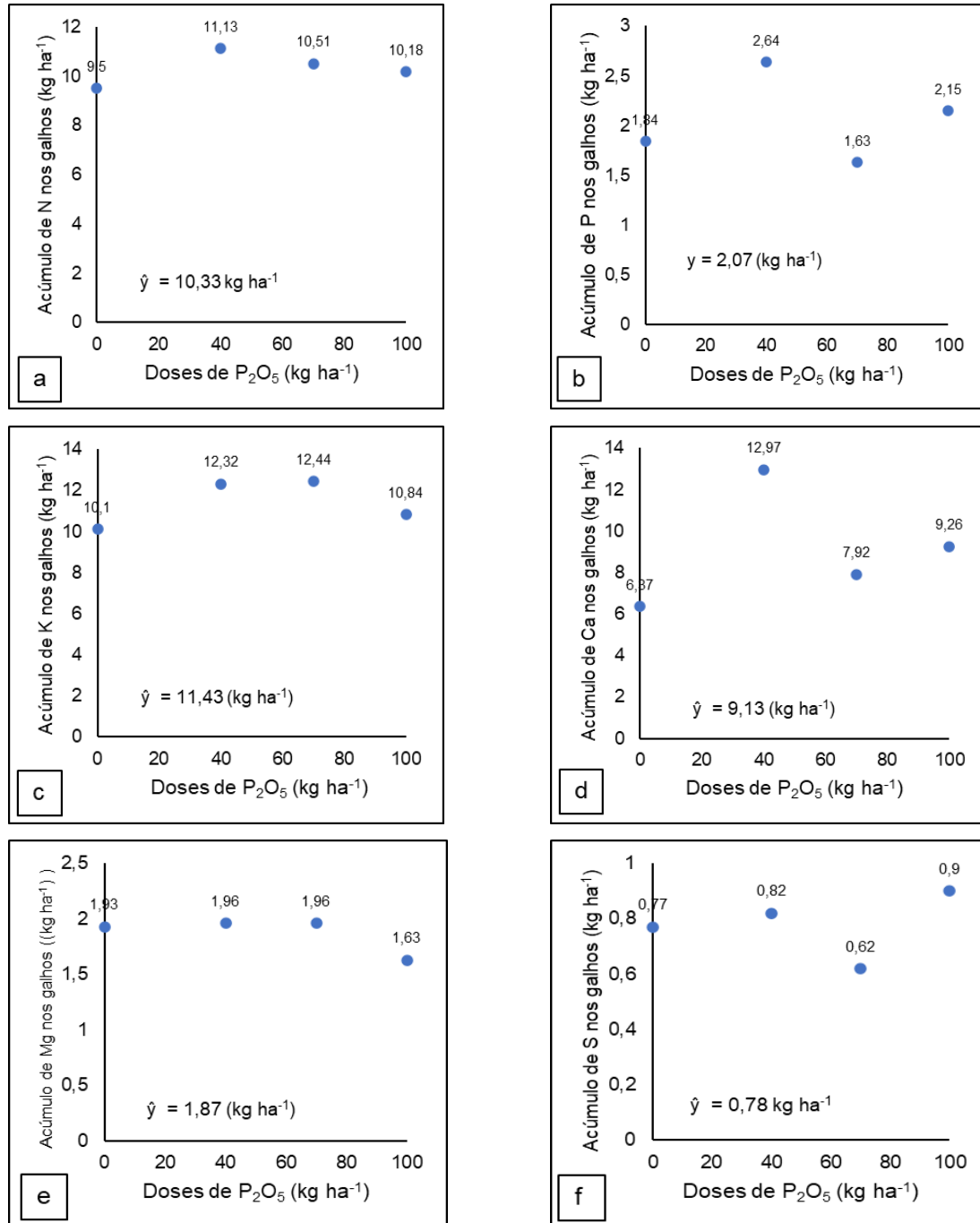
Fonte: Própria autora.

Figura 16. (a) Acúmulo de N nas folhas do eucalipto; **(b)** acúmulo de P nas folhas do eucalipto; **(c)** acúmulo de K nas folhas do eucalipto; **(d)** acúmulo de Ca nas folhas do eucalipto; **(e)** acúmulo de Mg nas folhas do eucalipto; **(f)** acúmulo de S nas folhas do eucalipto em função das doses residuais de P_2O_5 .



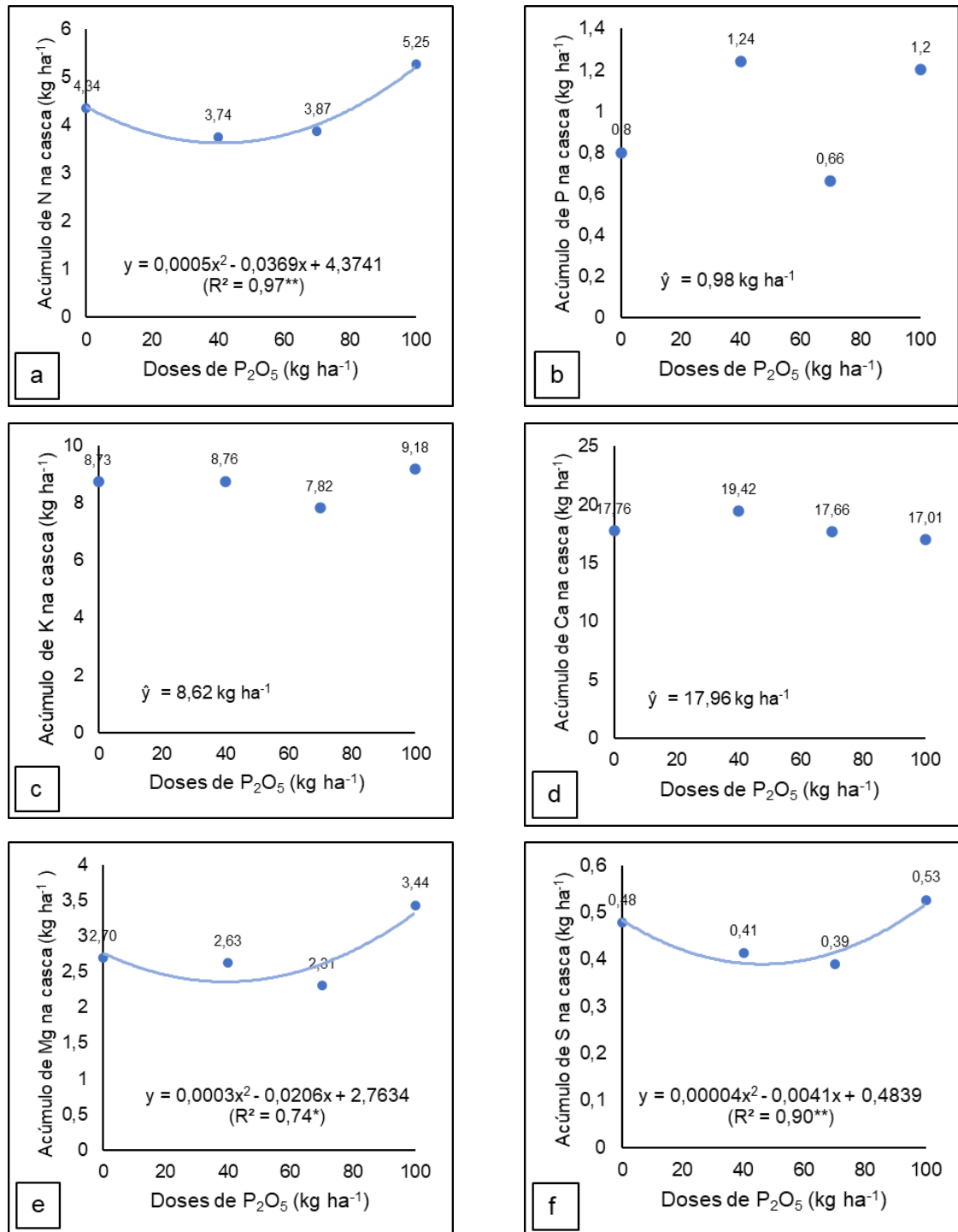
Fonte: Autoria própria.

Figura 17. (a) Acúmulo de N nos galhos do eucalipto; **(b)** acúmulo de P nos galhos do eucalipto; **(c)** acúmulo de K nos galhos do eucalipto; **(d)** acúmulo de Ca nos galhos do eucalipto; **(e)** acúmulo de Mg nos galhos do eucalipto; **(f)** acúmulo de S nos galhos do eucalipto em função das doses residuais de P_2O_5 .



Fonte: Autoria própria.

Figura 18. (a) Acúmulo de N na casca do eucalipto; **(b)** acúmulo de P na casca do eucalipto; **(c)** acúmulo de K na casca do eucalipto; **(d)** acúmulo de Ca na casca do eucalipto; **(e)** acúmulo de Mg na casca do eucalipto; **(f)** acúmulo de S na casca do eucalipto em função das doses residuais de P_2O_5 .



Fonte: Autoria própria.

Constatou-se efeito significativo para a interação doses de P_2O_5 e reaplicação de P_2O_5 no acúmulo de K nas folhas, onde “sem” a reaplicação dentro das doses residuais verificou-se ajuste à regressão linear decrescente. Já para o desdobramento de cada dose dentro da reaplicação de P_2O_5 , no acúmulo de K nas folhas, apenas na menor dose (0 kg ha^{-1}) verificou diferença, com maior acúmulo quando não foi reaplicado o fósforo (Tabela 17).

Quanto ao acúmulo de Mg nas folhas do eucalipto, o desdobramento da reaplicação de P_2O_5 dentro das doses residuais de P_2O_5 , os dados apresentaram ajuste à regressão linear crescente para o tratamento “com” a reaplicação de P_2O_5 no segundo ciclo de produção. Não houve diferença no desdobramento das doses dentro de reaplicação de P_2O_5 (Tabela 17).

Na interação da reaplicação de P_2O_5 dentro das doses de P_2O_5 , houve ajuste à regressão linear crescente para o tratamento “sem” reaplicação da adubação fosfatada (Tabela 17). Para o acúmulo de K na casca do eucalipto, houve diferença significativa no desdobramento das doses de P_2O_5 dentro de reaplicação de P_2O_5 apenas na testemunha, sendo que com a reaplicação constatou-se o maior acúmulo de K na casca (Tabela 17).

O acúmulo de Ca na casca, no desdobramento da reaplicação dentro das doses de P_2O_5 , ajustou-se à regressão linear crescente para “sem” reaplicação de P_2O_5 e à linear decrescente para “com” a reaplicação de P_2O_5 (Tabela 17). Avaliando o desdobramento das doses de P_2O_5 aplicadas no ciclo precedente dentro da reaplicação de P_2O_5 no acúmulo de Ca na casca, tem-se que nas doses residuais de 0 kg ha^{-1} e 40 kg ha^{-1} , houve diferença entre os tratamentos da reaplicação, sendo que em ambas as doses “com” a reaplicação de P_2O_5 no segundo ciclo, os acúmulos de Ca na casca do eucalipto foram superiores (Tabela 17).

Verificou-se efeito significativo para a regressão no desdobramento da reaplicação de P_2O_5 dentro das doses de P_2O_5 no acúmulo de S na casca da biomassa do eucalipto, sendo que para o tratamento “sem”, o ajuste à regressão linear foi decrescente, enquanto para o tratamento “com” o ajuste foi para a equação de regressão quadrática, embora o maior acúmulo de S tenha sido observado na menor dose de P_2O_5 (Tabela 17). Ainda sobre o acúmulo de S na casca, no desdobramento das doses dentro da reaplicação de P_2O_5 , houve diferença para as doses de 0 e 40 kg ha^{-1} de P_2O_5 , sendo que em ambas as doses aplicadas no ciclo precedente, “com” a reaplicação de fósforo, o acúmulo de S na casca foi maior (Tabela 17).

Tabela 17. Desdobramentos da interação doses residuais de P_2O_5 e reaplicação das doses de P_2O_5 no acúmulo de K nas folhas, acúmulo de Mg nas folhas, acúmulo de K na casca, acúmulo de Ca na casca e acúmulo de S na casca de eucalipto (Híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* - clone I144), em sistema talhadia. Três Lagoas – MS, Brasil.

Doses de P ₂ O ₅	Reaplicação de P ₂ O ₅			
	Acúmulo de K (kg ha ⁻¹) nas folhas		Acúmulo de Mg (kg ha ⁻¹) nas folhas	
	sem ⁽¹⁾	com ^{ns}	sem ^{ns}	com ⁽²⁾
(kg ha ⁻¹)				
0	22,21a	15,19b	5,24a	4,59a
40	19,56a	22,53a	4,55a	6,34a
70	15,68a	13,99a	4,03a	5,13a
100	17,64a	21,41a	5,37a	6,76a
D.M.S. (5%)	5,21		1,65	
Doses de P ₂ O ₅	Reaplicação de P ₂ O ₅			
	Acúmulo de K (kg ha ⁻¹) na casca		Acúmulo de Ca (kg ha ⁻¹) na casca	
	sem ⁽³⁾	com ^{ns}	sem ⁽⁴⁾	com ⁽⁵⁾
(kg ha ⁻¹)				
0	7,01b	10,45a	10,53b	25,00a
40	7,64a	9,89a	14,14b	24,71a
70	8,98a	6,65a	20,48a	14,83a
100	9,60a	8,77a	17,14a	16,88a
D.M.S. (5%)	2,79		6,88	
Doses de P ₂ O ₅	Reaplicação de P ₂ O ₅			
	Acúmulo de S (kg ha ⁻¹) na casca			
	sem ⁽⁶⁾	com ⁽⁷⁾		
(kg ha ⁻¹)				
0	0,34b	0,62a		
40	0,33b	0,50a		
70	0,42a	0,36a		
100	0,51a	0,54a		
D.M.S. (5%)	0,09			

* e ** - significativo a 5 e 1% pelo teste F. ns - não significativo a 5% pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

⁽¹⁾ $Y = -0,0545x + 21,6344$ ($R^2 = 0,70^*$)

⁽²⁾ $Y = 0,0166x + 4,8317$ ($R^2 = 0,49^*$)

⁽³⁾ $Y = 0,0273x + 6,8740$ ($R^2 = 0,96^*$)

⁽⁴⁾ $Y = 0,0810x + 11,3245$ ($R^2 = 0,66^*$)

⁽⁵⁾ $Y = -0,1022x + 25,7219$ ($R^2 = 0,69^{**}$)

⁽⁶⁾ $Y = 0,0018x + 0,3075$ ($R^2 = 0,80^{**}$)

⁽⁷⁾ $Y = 0,00006x^2 - 0,0073x + 0,6315$ ($R^2 = 0,76^{**}$)

Fonte: Própria autora.

Na Tabela 18 constam os acúmulos de macronutrientes nas biomassas (lenho e total) do eucalipto, aos doze meses após a definição dos brotos, em função do residual das doses de P_2O_5 e da reaplicação com P_2O_5 . No acúmulo dos

macronutrientes no lenho, não houve efeito na interação entre doses de P_2O_5 e reaplicação de P_2O_5 para nenhum dos macronutrientes. Avaliando o acúmulo dos macronutrientes no lenho em função do residual das doses de P_2O_5 , tem-se que o acúmulo de N, K, Ca e Mg foi influenciado positivamente pelo aumento das doses (residuais) aplicadas no primeiro ciclo (Figura 19). Para o acúmulo de N no lenho em função das doses de P_2O_5 , houve ajuste à regressão linear crescente (Figura 19a). Já o acúmulo de K no lenho em função das doses de P_2O_5 ajustou à equação de regressão quadrática, onde a dose residual ótima foi de $54,47 \text{ kg ha}^{-1}$ de P_2O_5 (Figura 19b); também houve ajuste à regressão quadrática para o acúmulo de Ca e de Mg no lenho (Figuras 19c e 19d), cujas doses ótimas foram de $59,84$ e $52,43 \text{ kg ha}^{-1}$ de P_2O_5 , respectivamente.

Para o efeito isolado da reaplicação de P_2O_5 , observou-se diferença nos acúmulos de N, K, Ca, Mg e S no lenho, em que para todos esses macronutrientes o tratamento “com” a reaplicação de P_2O_5 proporcionou maiores acúmulos (Tabela 18).

No acúmulo total de N na biomassa do eucalipto, houve efeito entre a interação doses de P_2O_5 e a reaplicação de P_2O_5 (Tabela 18). Também se constatou efeito na interação para o acúmulo total de Ca no eucalipto (Tabela 18).

No acúmulo de K total, houve ajuste à equação de regressão quadrática para o efeito das doses residuais de P_2O_5 , sendo a dose residual ótima igual a $54,15 \text{ kg ha}^{-1}$ de P_2O_5 (Figura 20c). Constatou-se diferença entre o efeito isolado dos tratamentos da reaplicação de P_2O_5 nos acúmulos de macronutrientes total, para os nutrientes: N, K, Ca, Mg e S, sendo que “com” a reaplicação verificou-se maiores acúmulos totais destes nutrientes (Tabela 18).

Tabela 18. Acúmulo de macronutrientes nas biomassas (lenho e total) do eucalipto (Híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* - clone I144) em função da reaplicação com P_2O_5 e a interação entre “doses x reaplicação”. Três Lagoas – MS, Brasil.

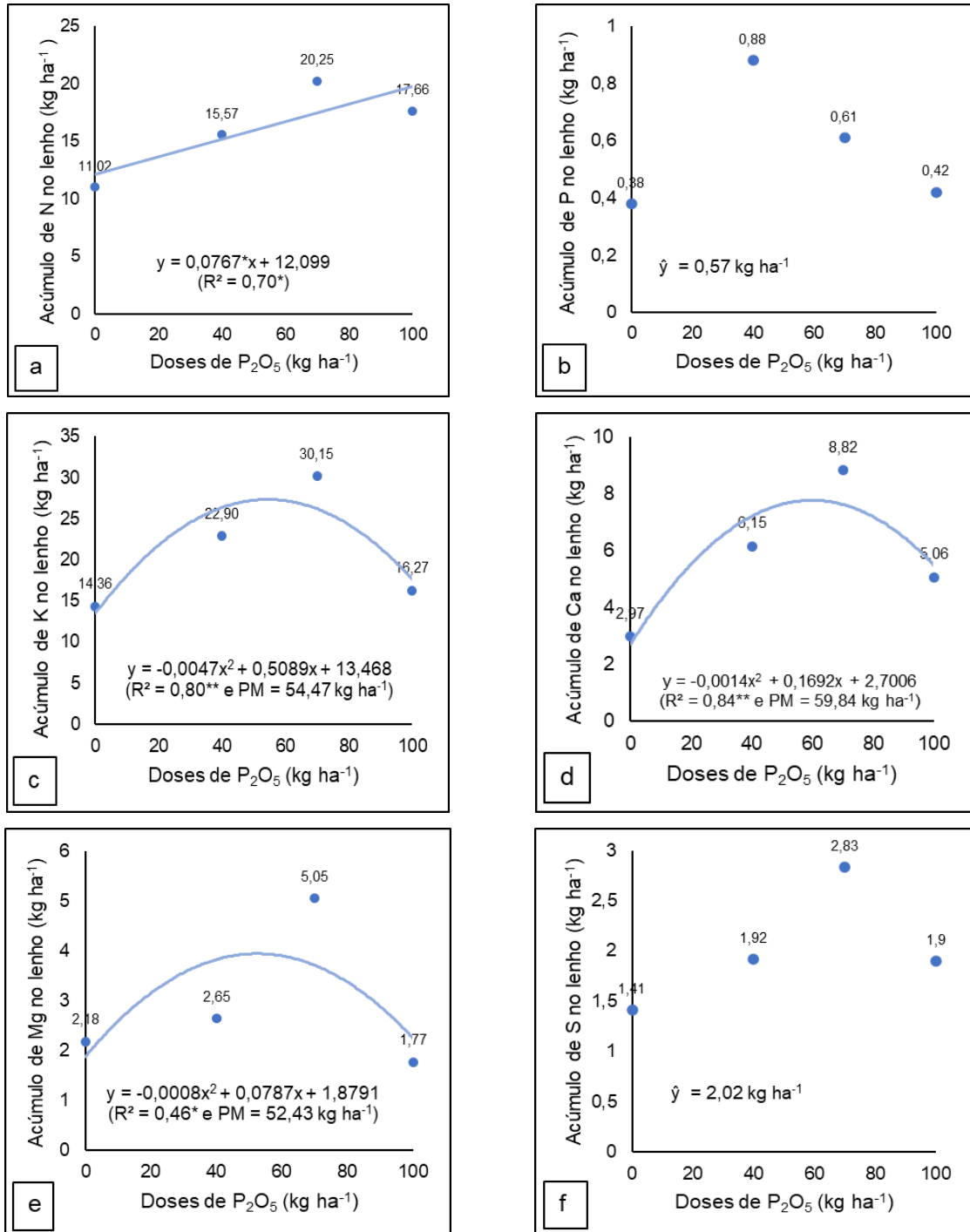
Reaplicação de P_2O_5	N	P	K	Ca	Mg	S
kg ha⁻¹						
Lenho						
sem	13,02b	0,40a	15,94b	4,40b	1,64b	1,56b
com	19,23a	0,74a	25,89a	7,10a	4,19a	2,46a
D.M.S. (5%)	4,40	0,44	6,65	1,74	1,35	0,84
C.V. (%)	17,20#	21,70#	18,30#	16,57#	23,66#	18,96#
F doses x reaplicação	1,39 ^{ns}	1,77 ^{ns}	1,29 ^{ns}	1,64 ^{ns}	0,34 ^{ns}	1,13 ^{ns}
Total						
sem	65,87b	5,70a	53,58b	40,90b	11,30b	5,23b
com	74,07a	6,85a	65,40a	52,61a	14,30a	6,50a
D.M.S. (5%)	8,13	1,24	10,28	7,24	2,35	0,86
C.V. (%)	13,28	22,56	19,73	17,70	20,99	16,66
F doses x reaplicação	5,81**	2,79 ^{ns}	1,13 ^{ns}	4,98*	0,61 ^{ns}	2,75 ^{ns}

* e ** - significativo a 5 e 1% pelo teste F. ns - não significativo a 5% pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

#Dados corrigidos pela equação $(x+0,5)^{0,5}$

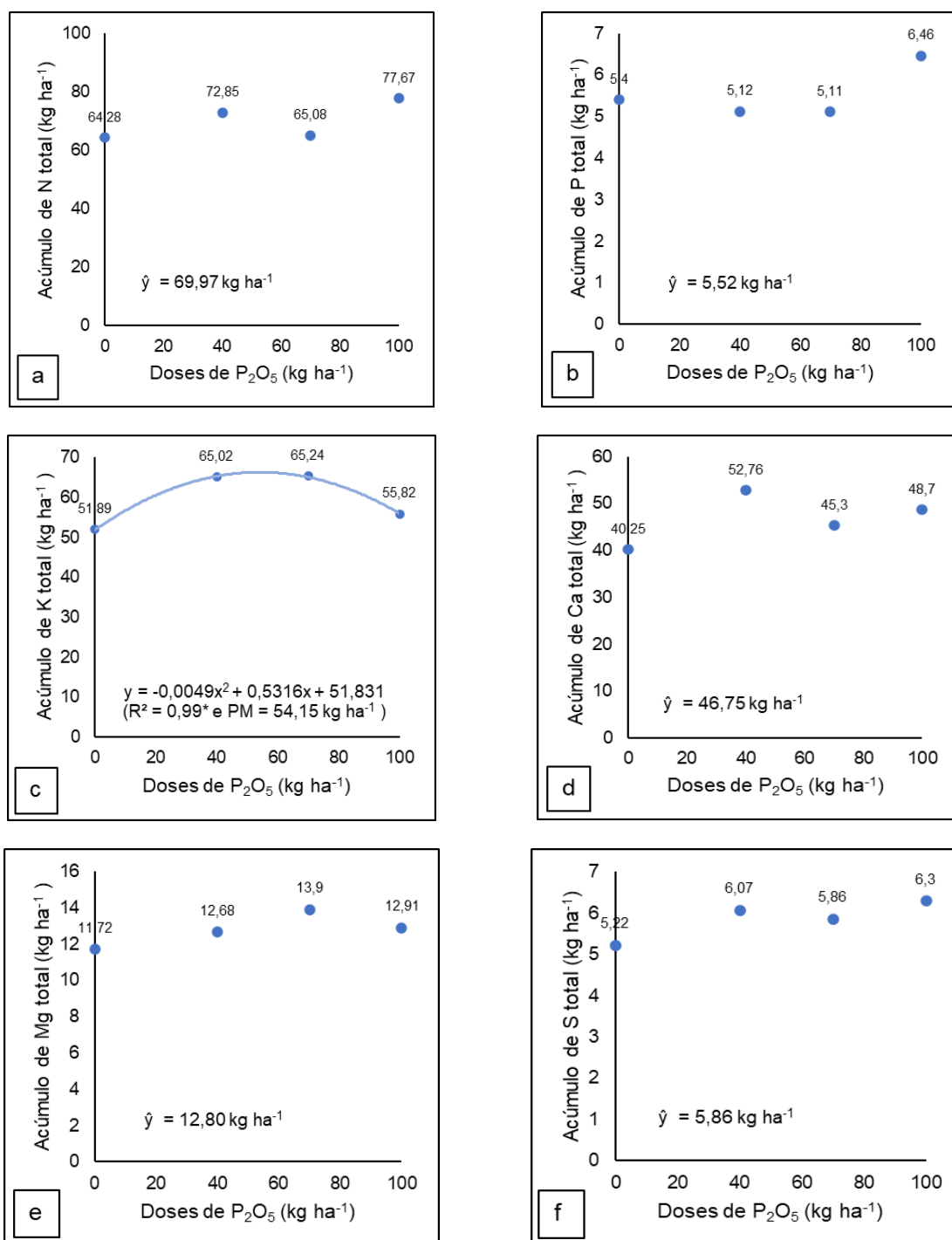
Fonte: Própria autora.

Figura 19. (a) Acúmulo de N no lenho do eucalipto; **(b)** acúmulo de P no lenho do eucalipto; **(c)** acúmulo de K no lenho do eucalipto; **(d)** acúmulo de Ca no lenho do eucalipto; **(e)** acúmulo de Mg no lenho do eucalipto; **(f)** acúmulo de S no lenho em função das doses residuais de P_2O_5 .



Fonte: Própria autora.

Figura 20. (a) Acúmulo de N total do eucalipto; **(b)** acúmulo de P total do eucalipto; **(c)** acúmulo de K total do eucalipto; **(d)** acúmulo de Ca total do eucalipto; **(e)** acúmulo de Mg total do eucalipto; **(f)** acúmulo de S total em função das doses residuais de P_2O_5 .



Fonte: Própria autora.

No acúmulo de Mg no lenho, houve ajuste à regressão quadrática no desdobramento do tratamento “sem” reaplicação de P_2O_5 . Para o desdobramento das doses dentro da reaplicação de P_2O_5 , apenas na testemunha constatou-se diferença

entre os tratamentos da reaplicação, sendo que o maior acúmulo de Mg no lenho “com” a reaplicação de P_2O_5 (Tabela 19).

Para o acúmulo de N total, no tratamento “com” a reaplicação de P_2O_5 dentro das doses residuais de P_2O_5 observou-se ajuste à regressão linear crescente. Na dose residual de 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 , o acúmulo total de N foi 52,44% maior que na dose residual testemunha. Verificou-se ainda que no desdobramento das doses de P_2O_5 dentro da reaplicação de P_2O_5 , houve diferença nas doses 40 e 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 , e em ambas “com” a reaplicação da adubação fosfatada no segundo ciclo o acúmulo total de N foi maior (Tabela 19).

Analisando o acúmulo de Ca total, notou-se ajuste à regressão linear crescente para o tratamento “sem” reaplicação de P_2O_5 dentro das doses de P_2O_5 . Para o desdobramento da interação doses de P_2O_5 x reaplicação de P_2O_5 , houve diferença nas doses de 0 e 40 kg ha^{-1} , onde o tratamento “com” reaplicação de P_2O_5 proporcionou maiores acúmulos de Ca total (Tabela 19).

Tabela 19. Desdobramentos da interação doses residuais de P_2O_5 e reaplicação das doses de P_2O_5 no acúmulo de Mg no lenho, acúmulo de N no lenho e acúmulo de Ca total, em eucalipto (Híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* - clone I144), em sistema talhadia. Três Lagoas – MS, Brasil.

Doses de P_2O_5 (kg ha^{-1})	Reaplicação de P_2O_5			
	Acúmulo de Mg (kg ha^{-1}) no lenho		Acúmulo de N (kg ha^{-1}) total	
	sem ⁽¹⁾	com ^{ns}	sem ^{ns}	com ⁽²⁾
0	0,38b	3,98a	69,47a	59,09a
40	1,59a	3,71a	61,37b	84,33a
70	4,08a	6,03a	67,37a	62,79a
100	0,51a	3,04a	65,26b	90,08a
D.M.S. (5%)	2,70		16,27	

Doses de P_2O_5 (kg ha^{-1})	Reaplicação de P_2O_5	
	Acúmulo de Ca (kg ha^{-1}) total	
	sem ⁽³⁾	com ^{ns}
0	32,06b	48,43a
40	38,61b	66,92a
70	49,21a	41,40a
100	43,72a	53,68a
D.M.S. (5%)	14,49	

ns - não significativo a 5% pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

⁽¹⁾ $Y = -0,0010x^2 + 0,1056x + 0,0819$ ($R^2 = 0,60^*$ e $PM = 52,80 \text{ kg ha}^{-1}$)

⁽²⁾ $Y = 0,2230x + 62,3663$ ($R^2 = 0,38^{**}$)

⁽³⁾ $Y = 0,1410x + 33,4978$ ($R^2 = 0,68^*$)

Fonte: Própria autora.

d. Análise de Componentes principais

Na Tabela 20 constam os resultados para a análise de componentes principais, com os respectivos autovalores, quantidade de variância explicada e variância explicada acumulada para variáveis V%, P-resina, massa seca de casca, massa seca de galho, massa seca de folha e acúmulo de P na folha. Os resultados indicam que 50,40% da variabilidade total foi explicada pelo primeiro componente principal (PC1); o segundo componente principal (PC2), explicou 16,01% da variabilidade totalizando 66,41 da variabilidade contida nos dados originais (Tabela 20). O terceiro componente principal (PC3) com um autovalor maior que a unidade explicou 13,53% da variabilidade total dos dados; a soma dos três componentes principais explicou 79,94% da variabilidade contida no conjunto de dados (Tabela 20).

Por meio da análise de componentes principais (ACP) nos compartimentos do eucalipto (folha, galho e casca) pode-se verificar que há uma correlação negativa entre altura e DAP, massa seca (folha, galho e casca) e acúmulo de P nos compartimentos, ou seja, quando houve um crescimento em altura das plantas a tendência foi de diminuir o diâmetro do caule (DAP), reduzir a biomassa de galho, folha e casca e, conseqüentemente, menor acúmulo de P nos órgãos estudados.

Na PC2, avaliando o compartimento folha, observou-se que há uma ação conjunta entre o teor de fósforo no solo, massa seca de casca e DAP, sendo explicado por 16,01% dos dados avaliados; no entanto, na terceira componente principal (PC3), a massa seca da casca e a altura contrasta com a saturação por bases (Tabela 20).

Tabela 20. Autovalores, quantidade de variância explicada e variância acumulada para as variáveis saturação por bases, P- resina, massa seca casca, diâmetro a altura do peito (DAP), massa seca do galho, massa seca da folha e acúmulo de P na folha, em eucalipto (Híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* - clone I144), em sistema talhadia.

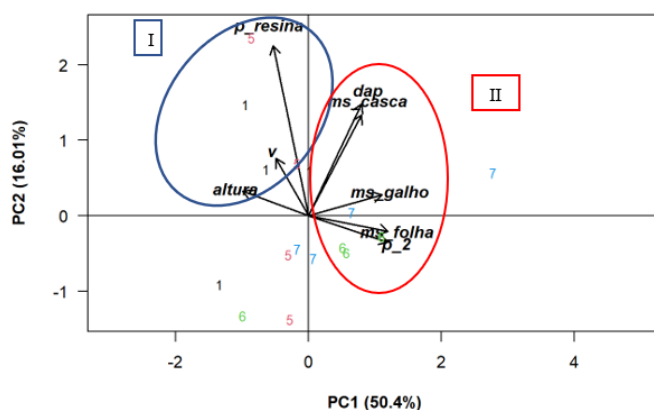
Componentes	PC1	PC2	PC3
Autovalores	4,03	1,28	1,08
Variância explicada (%)	50,40	16,01	13,53
Variância acumulada (%)	50,40	66,41	79,94
Correlação			
V%	-0,38	0,27	0,81
P-resina	-0,41	0,81	0,11
Massa seca casca	0,61	0,48	-0,36
DAP	0,61	0,53	-0,12
Altura	-0,76	0,12	-0,48
Massa seca galho	0,85	0,10	0,10
Acúmulo de P na folha	0,91	-0,12	0,18
Massa seca folha	0,92	-0,07	0,03
Interpretação	Massa seca de casca, massa seca de galho, massa seca de folha, DAP e acúmulo de P na folha em contraste com altura Ação conjunta entre P-resina, massa seca casca e DAP Massa seca casca e altura em contraste com saturação por bases (V%)		

Valores em negrito usados para interpretação do componente principal ($R > |0,6|$).

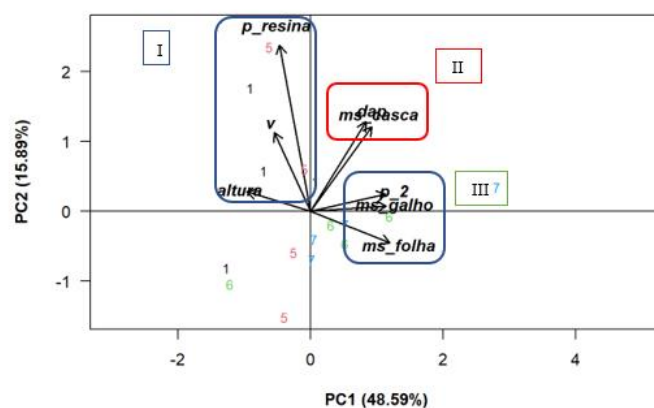
Observou-se a formação de dois grupos distintos: grupo I, localizado no lado esquerdo do gráfico biplot (Figura 21a), com menos pontos de agrupamento (ou seja, mais espalhado na representação bidimensional), e formado por teor de P no solo (P-resina), saturação por bases (v) e altura do eucalipto (altura); e grupo II, localizado no lado direito do biplot, mais agrupado e composto pelas variáveis diâmetro a altura do peito (DAP), massa seca dos órgãos (casca, galho e folha) e acúmulo de fósforo na folha.

A representação gráfica biplot, que expressou a correlação das variáveis com os componentes principais, é apresentada na Figura 21b. Verificou-se a formação de três grupos distintos: grupo I, localizado no lado esquerdo do gráfico biplot (Figura 21c), com menos pontos de agrupamento, e formado por teor de P no solo (P-resina), saturação por bases (v) e altura do eucalipto (altura); grupo II, localizado no lado direito do biplot, mais agrupado e composto pelas variáveis diâmetro a altura do peito (DAP), massa seca da casca; e grupo III, formado por massa seca do galho e da folha e acúmulo de fósforo na casca.

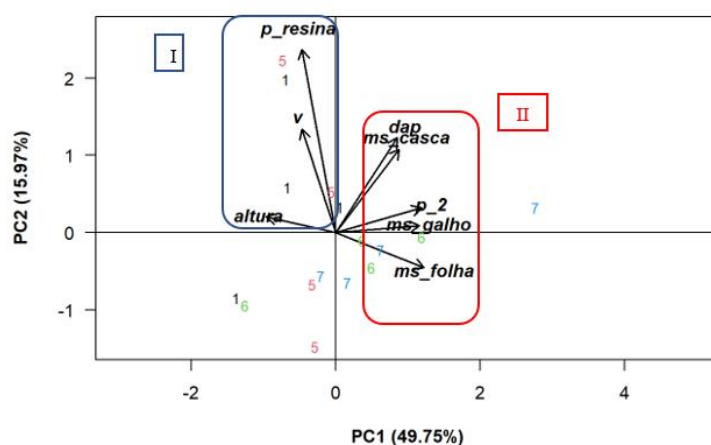
Figura 21. Gráfico Biplot dos componentes principais CP1 e CP2 da análise de componentes principais com todos os pontos amostrais e as seguintes variáveis: **(a)** altura do eucalipto, diâmetro a altura do peito (dap), massa seca de folha (ms_folha), massa seca de galho (ms_galho), massa seca de casca (ms_casca) saturação por bases (v), acúmulo de fósforo na folha (p_2) e teor de fósforo no solo (P-resina). **(b)** altura do eucalipto, diâmetro a altura do peito (dap), massa seca de folha (ms_folha), massa seca de galho (ms_galho), massa seca de casca (ms_casca) saturação por bases (v), acúmulo de fósforo na casca (p_2) e teor de fósforo no solo (P-resina). **(c)** altura do eucalipto, diâmetro a altura do peito (dap), massa seca de folha (ms_folha), massa seca de galho (ms_galho), massa seca de casca (ms_casca) saturação por bases (v), acúmulo de fósforo no galho (p_2) e teor de fósforo no solo (P-resina).



(a)



(b)



(c)

Fonte: Autoria própria.

Na Tabela 21 constam os resultados da análise de componentes principais, autovalores, variância explicada e variância acumulada entre as variáveis saturação por bases, P- resina, massa seca casca, DAP, massa seca do galho, massa seca da folha e acúmulo de P na casca. Neste estudo, 48,59% da variabilidade total foi explicada por PC1, 15,89% por PC2 e por fim, 13,03% por PC3. No PC1, pode-se observar que DAP, massa seca casca, acúmulo de P na casca, massa seca galho e massa seca folha estão em contraste com altura (Tabela 21). No PC2, houve uma ação conjunta entre P-resina, saturação por bases, DAP e massa seca casca. Já na terceira componente principal (PC3), verificou-se um contraste entre a saturação por bases (V%) x massa seca casca e altura (Tabela 21).

Nas variáveis avaliadas no compartimento casca, observa-se (PC2) que em 15,89% do conjunto de dados houve uma ação conjunta entre o teor de P no solo (P-resina), saturação por bases, DAP e massa seca de casca, portanto há uma relação de dependência direta entre essas variáveis, em que um aumento no teor de fósforo no solo contribui para o diâmetro do caule (Tabela 21).

Tabela 21. Autovalores, quantidade de variância explicada e variância acumulada para as variáveis saturação por bases, P- resina, massa seca casca, diâmetro a altura do peito (DAP), massa seca do galho, massa seca da folha e acúmulo de P na casca, em eucalipto (Híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* - clone I144), em sistema talhadia.

Componentes	PC1	PC2	PC3
Autovalores	3,89	1,27	1,04
Variância explicada (%)	48,59	15,89	13,03
Variância acumulada (%)	48,59	64,48	77,51
Correlação			
P-resina	-0,35	0,83	-0,01
V%	-0,40	0,39	-0,73
DAP	0,62	0,44	0,11
Massa seca casca	0,68	0,42	0,40
Altura	-0,71	0,10	0,52
Acúmulo de P na casca	0,84	0,08	0,04
Massa seca galho	0,85	0,02	-0,20
Massa seca folha	0,89	-0,16	-0,15
Interpretação	DAP, massa seca casca, acúmulo de P na casca, massa seca galho e massa seca folha em contraste com altura Ação conjunta entre P-resina, saturação por bases, DAP e massa seca casca Saturação por bases (V%) em contraste com massa seca casca e altura		

Valores em negrito usada para interpretação do componente principal ($R > |0,6|$).

Os resultados de autovalores, quantidade de variância explicada e variância acumulada para as variáveis saturação por bases, P- resina, massa seca casca, DAP, massa seca do galho, massa seca da folha e acúmulo de P no galho estão apresentados na Tabela 22.

A análise dos componentes principais indicou três componentes com informações relevantes: PC1, PC2 e PC3, cujas porcentagens de variância explicada são 49,75%; 15,97% e 13,32%, respectivamente, e variância acumulada de 79,04% (Tabela 22). No componente principal 1 (PC1), houve um contraste entre altura x DAP, massa seca de casca, massa seca de galho, massa seca de folha e acúmulo de P no galho (Tabela 22). Em PC2, observou-se uma ação conjunta entre o teor de P no solo (P-resina), V% e DAP. A partir das duas componentes principais, PC1 e PC2, obteve o gráfico biplot (Figura 22), demonstrando a formação de dois grupos distintos: grupo I, localizado no lado esquerdo do gráfico, formado por teor de P no solo (P-resina), saturação por bases (v) e altura do eucalipto (altura); grupo II, localizado no lado direito

do biplot, mais agrupado e composto pelas variáveis diâmetro a altura do peito (dap), massa seca da casca, massa seca de galho, massa seca de folha e acúmulo de P no galho.

Tabela 22. Autovalores, quantidade de variância explicada e variância acumulada para as variáveis saturação por bases, P- resina, massa seca casca, diâmetro a altura do peito (DAP), massa seca do galho, massa seca da folha e acúmulo de P no galho, em eucalipto (Híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* - clone I144), em sistema talhadia.

Componentes	PC1	PC2	PC3
Autovalores	3,98	1,28	1,07
Variância explicada (%)	49,75	15,97	13,32
Variância acumulada (%)	49,75	65,72	79,04
Correlação			
P-resina	-0,35	0,83	-0,07
V%	-0,35	0,47	0,74
DAP	0,64	0,42	-0,23
Massa seca casca	0,65	0,38	-0,43
Altura	-0,72	0,07	-0,48
Massa seca galho	0,87	0,03	0,13
Acúmulo de P no galho	0,89	0,11	0,15
Massa seca folha	0,91	-0,16	0,08
Interpretação	Altura em contraste com DAP, massa seca casca, massa seca galho, acúmulo de P no galho, massa seca folha	Ação conjunta entre P-resina e saturação por bases (V%) e DAP	Saturação por bases em contraste com massa seca de casca e altura

Valores em negrito usada para interpretação do componente principal ($R > |0.6|$).

Na análise dos componentes principais nos compartimentos galho, folha e casca (Tabela 23), observou-se a formação de três componentes principais. Em PC1, a variância explicada foi de 45,15%; em PC2 foi de 15,82% e em PC3 foi de 13,24%, acumulando um total de 74,21% da variabilidade total dos dados. Na PC1, dentro das variáveis saturação por bases, P- resina, massa seca casca, DAP, massa seca do galho, massa seca da folha e acúmulo de P nos compartimentos galho, folha e casca tem-se uma relação de dependência positiva entre as variáveis: DAP, massa seca casca, acúmulo de P nos compartimentos, massa seca de galho e massa seca de folha (Figura 22), em contrapartida houve dependência indireta entre essas variáveis e a altura. Resultados semelhantes foram encontrados por Oliveira (2020), avaliando

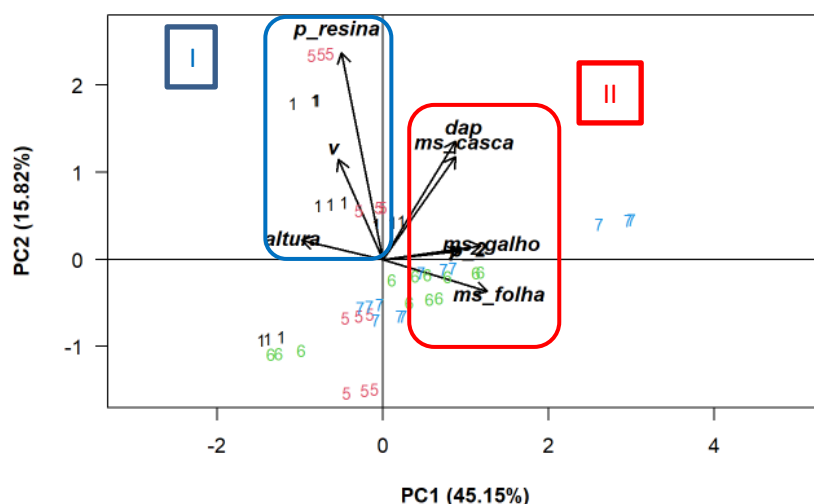
o impacto da aplicação de lodo e água residuária sobre o desenvolvimento inicial de eucalipto, em que se obteve uma correlação positiva entre as variáveis diâmetro do caule, massa seca de caule, raiz e folha e altura da planta.

Tabela 23. Autovalores, quantidade de variância explicada e variância acumulada para as variáveis saturação por bases, P- resina, massa seca casca, diâmetro a altura do peito (DAP), massa seca do galho, massa seca da folha e acúmulo de P nos compartimentos galho, folha e casca, em eucalipto (Híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* - clone I144), em sistema talhadia.

Componentes	PC1	PC2	PC3
Autovalores	3,61	1,27	1,06
Variância explicada (%)	45,15	15,82	13,24
Variância acumulada (%)	45,15	60,97	74,21
Correlação			
P-resina	-0,36	0,83	0,01
V%	-0,39	0,40	-0,75
DAP	0,63	0,47	0,19
Massa seca casca	0,64	0,41	0,40
Acúmulo de P nos compartimentos	0,67	0,03	-0,20
Altura	-0,71	0,08	0,49
Massa seca galho	0,86	0,05	-0,13
Massa seca folha	0,91	-0,13	-0,08
Interpretação	Altura em contraste com DAP, massa seca casca, acúmulo de P nos compartimentos, massa seca galho e massa seca folha	Ação conjunta entre P-resina, saturação por bases (V%), DAP, massa seca casca	Saturação por bases (V%) em contraste com massa seca casca e altura

Valores em negrito usada para interpretação do componente principal ($|R| > 0.6$).

Figura 22. Gráfico Biplot dos componentes principais PC1 e PC2 da análise de componentes principais com todos os pontos amostrais e as seguintes variáveis: altura do eucalipto, diâmetro a altura do peito (dap), massa seca de folha (ms_folha), massa seca de galho (ms_galho), massa seca de casca (ms_casca) saturação por bases (v), acúmulo de fósforo nos compartimentos (galho, casca, folha) (p_2) e teor de fósforo no solo (P-resina).



P_resina – Teor de P no solo (P-Resina); dap – Diâmetro a altura do peito (DAP); ms_folha – Matéria seca de folha (MS Folha); ms_galho – Matéria seca de galho (MS Galho); ms_casca – Matéria seca de casca (MS Casca). Fonte: Própria autora.

e. Análise de Correlação Canônica

As correlações canônicas para as variáveis: volume de madeira, biomassa de folha, teor de P no solo, acúmulo de macronutrientes na biomassa da folha, altura de planta e DAP, com seus respectivos R^2 canônicos e teste de significância ($p < 0,05$), estão apresentados na Tabela 24. Os pares canônicos significativos foram o primeiro (U1, V1) e segundo (U2, V2) pares, apresentando valores iguais a 0,998 e 0,993, respectivamente (Tabela 23). O R^2 canônico encontrado foi de 0,996 para o primeiro par e 0,986 para o segundo par canônico (Tabela 24).

As correlações canônicas obtidas entre os conjuntos: volume de madeira, biomassa de galho, teor de P no solo, acúmulo de macronutrientes na biomassa do galho, altura de planta e DAP estão demonstrados na Tabela 23, com seus coeficientes de determinação canônica (R^2), qui-quadrado (χ^2) e testes de

significância (p-valor). Os três pares de correlações canônicas formados foram significativos (Tabela 24).

Os pares de correlações canônicas, os índices de correlações canônicas, os coeficientes de determinação (R^2) e seus respectivos qui-quadrados (χ^2) para as variáveis analisadas: volume, biomassa de casca, teor de P no solo, acúmulo de macronutrientes na biomassa da casca, altura e DAP, estão demonstrados na Tabela 24. Os pares canônicos significativos foram U1V1 e U2V2, cujos coeficientes de determinação foram: 0,995 e 0,972, respectivamente.

As correlações canônicas para as variáveis: volume, biomassa do lenho, teor de P no solo, acúmulo de macronutrientes na biomassa do lenho, altura e DAP, com seus respectivos R^2 canônicos e teste de significância ($p < 0,05$), estão apresentados na Tabela 24, os pares canônicos significativos foram o primeiro (U1, V1) e segundo (U2, V2) pares, apresentando valores iguais a 0,998 e 0,995, respectivamente.

O R^2 canônico encontrado foi de 0,996 para o primeiro par e 0,986 para o segundo par canônico (Tabela 24).

Tabela 24. Autovalores e correlação canônica para as variáveis: volume, biomassa de folha, teor de P no solo, acúmulo dos macronutrientes na biomassa de folha, altura e diâmetro a altura do peito (DAP). Autovalores e correlação canônica para as variáveis: volume, biomassa do galho, teor de P no solo, acúmulo dos macronutrientes na biomassa do galho, altura e DAP. Autovalores e correlação canônica para as variáveis: volume, biomassa da casca, teor de P no solo, acúmulo dos macronutrientes na biomassa da casca, altura e DAP. Autovalores e correlação canônica para as variáveis: volume, biomassa do lenho, teor de P no solo, acúmulo dos macronutrientes na biomassa do lenho, altura e DAP, em eucalipto (Híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* - clone I144), em sistema talhadia.

Pares Canônicos variáveis	Correlação Canônica	R ² canônico (Autovalores)	χ^2	DF	p-valor
Folha					
(U1, V1)	0,998	0,996	92,777	24	4,978 10 ⁻¹⁰ ***
(U2, V2)	0,993	0,986	42,8010	14	9,188 10 ⁻⁵ ***
(U3, V3)	0,607	0,369	4,144	6	0,6572 ^{ns}
Galho					
(U1, V1)	0,999	0,999	106,676	24	2,136 10 ⁻¹² ***
(U2, V2)	0,970	0,941	38,673	14	4,096 10 ⁻⁴ ***
(U3, V3)	0,877	0,769	13,177	6	4,031 10 ⁻² *
Casca					
(U1, V1)	0,998	0,995	84,069	24	1,35 10 ⁻⁸ ***
(U2, V2)	0,986	0,972	35,696	14	0,001158 **
(U3, V3)	0,574	0,330	3,606	6	0,729876 ^{ns}
Lenho					
(U1, V1)	0,998	0,997	104,159	24	5,817 10 ⁻¹² ***
(U2, V2)	0,995	0,990	52,401	14	2,404 10 ⁻⁶ ***
(U3, V3)	0,846	0,715	11,296	6	0,080

Un: variável canônica para Volume, Biomassa e Teor de P no solo, Vn: variável canônica para acúmulos de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) na biomassa da folha, altura e DAP. Un: variável canônica para Volume, Biomassa e Teor de P no solo, Vn: variável canônica para acúmulos de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) na biomassa do galho, altura e DAP. Un: variável canônica para Volume, Biomassa e Teor de P no solo, Vn: variável canônica para acúmulos de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) na biomassa da casca, altura e DAP. Un: variável canônica para Volume, Biomassa e Teor de P no solo, Vn: variável canônica para acúmulos de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) na biomassa do lenho, altura e DAP. DF corresponde ao grau de liberdade. *** significativo a 0,0001 probabilidade, ** significativo a 0,001, * significativo a 0,1, ^{ns} não significativo.

As correlações entre as variáveis originais e o componente canônico que as representa (U_k e V_k), chamados de carregamentos canônicos, bem como as correlações entre as variáveis de um conjunto e o outro componente canônico, conhecido como carregamentos cruzados canônicos, são apresentados na Tabela 25. Esses valores são importantes para a compreensão do significado das variáveis canônicas, onde, quanto maior o valor em módulo do seu carregamento canônico, maior é a associação entre a variável e seu respectivo componente canônico

(WIRABUANA *et al.*, 2019). A variável U1 representou 16,69% da variação total no grupo (volume, biomassa e teor de P) e V1 representou 34,35% do outro grupo estabelecido (acúmulo de macronutrientes na folha, altura e DAP) (Tabela 25). O índice de redundância (IR) fornece a informação do quanto a variação do grupo V foi explicada pelo grupo U e vice-versa, cujo IR do primeiro carregamento canônico (V|U) foi de 82%, ou seja, 82% do grupo formado pelos acúmulos de nutrientes, altura e DAP explicam o outro grupo de variáveis. Para o segundo carregamento canônico, o IR foi de 81,78% (Tabela 25).

No primeiro par canônico (U1), os maiores valores de correlação (em módulo) foi para o volume (0,96), para o segundo par canônico (U2) foi para a biomassa (-0,95) e para o teor de fósforo no solo (0,91) no terceiro par canônico (Tabela 25). Nos carregamentos canônicos para os pares pertencentes a V, os maiores valores de correlação no V1 foi para DAP (em módulo 0,89), em V2 o acúmulo de K na folha apresentou em módulo a maior correlação canônica (0,96), por fim, em V3 o acúmulo de N na folha apresentou o maior valor para correlação (em módulo 0,33).

As cargas dos carregamentos canônicos fazem uma comparação linear entre as variáveis originais do primeiro grupo (volume, biomassa de galho e teor de fósforo no solo) com suas respectivas variáveis canônicas (Tabela 25), no primeiro par de carregamentos canônicos (U1) o volume obteve a maior carga canônica em módulo (0,957); no segundo par (U2) formado, a biomassa do galho obteve o maior índice (0,946); por fim, no terceiro par canônico (U3) a variável que obteve maior índice em módulo foi o teor de P no solo (0,939). Para as cargas canônicas cruzadas do primeiro grupo de variáveis (U) (Tabela 25), onde se faz uma correlação entre as variáveis de um grupo e a variável estatística do outro grupo (PROTÁSIO *et al.*, 2012), o volume obteve em módulo o maior índice no primeiro par canônico (V1) (0,956), a biomassa obteve o maior módulo no segundo par canônico cruzado (V2) (0,918) e teor de P no solo em V3 obteve em módulo 0,823.

O primeiro par de correlações canônicas explicou 18,68% (U1) e 34,79% (V1) da variação conjunta (PVTE), respectivamente (Tabela 25). Em relação aos índices de redundância, tem-se que 91,08% nas variáveis dependentes (acúmulo de macronutrientes da biomassa de galho, altura e DAP) foram explicados pela variável canônica independente, enquanto a variável canônica dependente explicou 62,57% das variáveis independentes (Tabela 25).

Tabela 25. Correlações entre as variáveis: volume, biomassa (folha, galho), teor de P no solo, acúmulos de macronutrientes na folha, altura e diâmetro a altura do peito (DAP), em eucalipto (Híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* - clone I144), em sistema talhadia, a partir da análise de correlação canônica.

Folha						
Variáveis	Carregamentos canônicos			Carregamentos cruzados canônicos		
	U1	U2	U3	V1	V2	V3
Volume	-0,96	0,30	0,01	-0,95	0,29	0,01
Biomassa	-0,32	-0,95	-0,03	-0,32	-0,94	-0,02
Teor de P	-0,14	0,40	0,91	-0,13	0,40	0,55
PVTE (%)	16,69	65,38	1,81			
IR (%)	82					
	Carregamentos canônicos			Carregamentos cruzados canônicos		
	V1	V2	V3	U1	U2	U3
P	-0,33	-0,94	-0,05	-0,33	-0,93	-0,03
N	-0,13	-0,76	-0,33	-0,13	-0,76	-0,20
K	-0,20	-0,96	-0,06	-0,20	-0,96	-0,04
Ca	-0,29	-0,92	0,08	-0,29	-0,92	0,05
Mg	-0,43	-0,79	0,08	-0,43	-0,78	0,05
S	-0,33	-0,91	-0,13	-0,33	-0,90	-0,08
Altura	-0,04	0,70	-0,01	-0,04	0,70	-0,01
DAP	-0,89	-0,21	0,03	-0,89	-0,21	0,02
PVTE (%)	34,35	38,15	27,48			
IR	81,78					
Galho						
Variáveis	Carregamentos canônicos			Carregamentos cruzados canônicos		
	U1	U2	U3	V1	V2	V3
Volume	-0,957	-0,291	-0,018	-0,956	-0,282	-0,016
Biomassa	-0,323	0,946	-0,022	-0,323	0,918	-0,019
Teor de P	-0,155	-0,308	-0,939	-0,155	-0,299	-0,823
PVTE (%)	18,68	45,87	0,96			
IR (%)	91,08					
	Carregamentos canônicos			Carregamentos cruzados canônicos		
	V1	V2	V3	U1	U2	U3
P	-0,491	0,736	0,184	-0,490	0,714	0,161
N	-0,264	0,691	0,135	-0,264	0,670	0,118
K	-0,537	0,683	0,736	-0,537	0,662	-0,042
Ca	-0,200	0,750	-0,060	-0,200	0,728	-0,052
Mg	0,085	0,610	0,039	0,085	0,592	0,034
S	-0,286	0,920	0,079	-0,286	0,892	0,070
Altura	-0,077	-0,614	-0,098	-0,077	-0,595	-0,086
DAP	-0,872	0,167	0,042	-0,871	0,162	0,037
PVTE (%)	34,79	35,81	29,40			
IR (%)	62,57					

PVTE corresponde a Proporção de variância total explicada. IR corresponde ao Índice de Redundância. U = Volume, Biomassa, Teor de P no solo $U = a^T X^{(1)}$. V = Acúmulos de macronutrientes na biomassa, altura, DAP $V = b^T X^{(2)}$.

As correlações entre as variáveis originais e o componente canônico que as representa (U_k e V_k), chamados de carregamentos canônicos, bem como as correlações entre as variáveis de um conjunto e o outro componente canônico, conhecido como carregamentos cruzados canônicos, são apresentados na Tabela 26.

O volume representou o maior índice em módulo (0,979) no primeiro par de carregamento canônico (U1), obtendo 10,09 da proporção de variância total explicada (PVTE). A biomassa da casca foi a variável independente que obteve a maior PVTE, sendo de 52,85. Para os IR, tem-se que as variáveis dependentes foram explicadas em 78,25% pelas variáveis independentes e 35,71% das variáveis independentes foram explicadas pelas variáveis dependentes (Tabela 26).

Observa-se que dentro das variáveis independentes, a biomassa do lenho apresentou no primeiro carregamento canônico formado um índice de $|-0,835|$ e um PVTE de 42,81% (Tabela 26), indicando, portanto, que esta variável explica grande parte das correlações canônicas no primeiro grupo. Foram formados três pares de carregamento cruzados entre as variáveis independentes e os pares canônicos das variáveis independentes (Tabela 26), em que, dentro de cada par de carregamentos cruzados (V_k), obteve-se os maiores índices em módulo para: biomassa de lenho (0,834), volume (0,691) e teor de P no solo (0,763), respectivamente (Tabela 26). Os IR entre as variáveis foram, em sequência, 91,66% e 67,01%, respectivamente.

Tabela 26. Correlações entre as variáveis: volume, biomassa (casca, lenho), teor de P no solo, acúmulos de macronutrientes na casca, altura e diâmetro a altura do peito (DAP), em eucalipto (Híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* - clone I144), em sistema talhadia, a partir da análise de correlação canônica.

Casca						
Variáveis	Carregamentos canônicos			Carregamentos cruzados canônicos		
	U1	U2	U3	V1	V2	V3
Volume	-0,979	0,204	0,008	-0,977	0,201	0,004
Biomassa	-0,194	0,981	0,017	-0,194	0,967	0,010
Teor de P	-0,274	-0,032	-0,961	-0,274	-0,032	-0,552
PVTE (%)	10,09	52,85	6,36			
IR (%)	78,25					
	Carregamentos canônicos			Carregamentos cruzados canônicos		
	V1	V2	V3	U1	U2	U3
P	-0,178	0,860	0,255	-0,177	0,848	0,147
N	0,218	0,794	0,286	0,218	0,783	0,164
K	-0,005	0,888	-0,229	-0,005	0,876	-0,132
Ca	-0,097	0,863	-0,196	-0,097	0,851	-0,113
Mg	0,270	0,706	-0,053	0,269	0,696	-0,031
S	-0,139	0,796	-0,307	-0,139	0,785	-0,177
Altura	-0,307	-0,250	-0,334	-0,306	-0,246	-0,192
DAP	-0,729	0,361	0,249	-0,728	0,356	0,143
PVTE (%)	35,71	33,48	30,80			
IR (%)	63,50					
Lenho						
Variáveis	Carregamentos canônicos			Carregamentos cruzados canônicos		
	U1	U2	U3	V1	V2	V3
Volume	-0,718	0,694	0,053	-0,717	0,691	0,045
Biomassa	-0,835	-0,535	-0,128	-0,834	-0,532	-0,108
Teor de P	-0,411	-0,127	0,903	-0,410	-0,126	0,763
PVTE (%)	42,81	20,23	6,03			
IR (%)	91,66					
	Carregamentos canônicos			Carregamentos cruzados canônicos		
	V1	V2	V3	U1	U2	U3
P	-0,725	-0,579	-0,134	-0,724	-0,576	-0,114
N	-0,376	-0,439	-0,140	-0,375	-0,437	-0,119
K	-0,840	-0,471	-0,054	-0,838	-0,468	-0,046
Ca	-0,825	-0,296	-0,269	-0,824	-0,295	-0,228
Mg	-0,723	-0,332	0,392	-0,722	-0,330	0,332
S	-0,647	-0,604	0,155	-0,646	-0,601	0,131
Altura	-0,045	0,288	0,385	-0,045	0,286	0,325
DAP	-0,654	0,472	-0,208	-0,653	0,470	-0,176
PVTE (%)	46,06	26,13	27,81			
IR (%)	67,01					

PVTE corresponde a Proporção de variância total explicada. IR corresponde ao Índice de Redundância. U = Volume, Biomassa, Teor de P no solo $U = a^T X^{(1)}$. V = Acúmulos de macronutrientes na biomassa, altura, DAP $V = b^T X^{(2)}$.

5.3 EXPERIMENTO 3 – Potássio

a. Análise química do solo

As médias dos atributos químicos do solo na profundidade de 0-0,20 m em função da reaplicação com K_2O e a interação entre doses x reaplicação são apresentados na Tabela 27. O efeito da interação doses x reaplicação não apresentou diferença para nenhum dos atributos químicos do solo avaliados (Tabela 27).

A saturação por bases (V%) no tratamento que recebeu a reaplicação de potássio no solo (“com”), houve maiores teores deste nutriente em relação ao tratamento que não recebeu as doses de K_2O no segundo ciclo de produção (Tabela 27), em adição a esse resultado, a reaplicação das doses de K_2O no segundo ciclo de produção também favoreceu ao aumento da capacidade de troca catiônica (CTC) (Tabela 27). O teor de K no solo com a reaplicação deste no segundo ciclo de produção ficou acima da faixa considerado adequado para a cultura ($> 1,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), sendo obtido teor de $1,58 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, já no tratamento onde não houve a reaplicação das doses de K_2O , esse teor foi muito abaixo do necessário ($< 0,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), ambas interpretações seguem recomendações do Boletim 100 (MATTOS JÚNIOR *et al.*, 2022) para a cultura do eucalipto.

A disponibilidade de K^+ no solo em solos de textura arenosa é limitada, visto que esses solos possuem baixa CTC e propensos as perdas deste nutriente por lixiviação para camadas mais profundas; além disso, sobretudo em decorrência desse processo, solos tropicais não possuem reservas suficientes de K para suprir a exportação desse nutriente pelas culturas, em especial áreas de altas produtividades (MATTOS JÚNIOR *et al.*, 2022) como em solos de áreas comerciais da cultura do eucalipto, daí a importância da fertilização potássica.

A replicação da adubação potássica no sistema talhadia também contribuiu para o aumento da soma de bases (SB) do solo (Tabela 27), em virtude do aumento das bases trocáveis no solo (K, Ca e Mg), mesmo que os teores de Ca e Mg não apresentaram diferença estatística entre os tratamentos “com” ou “sem”, os maiores teores destes no solo também foram com a reaplicação da fertilização, portanto, contribuíram para o aumento da SB do solo.

Tabela 27. Médias dos atributos químicos do solo na profundidade de 0-0,20 m em função da reaplicação com K₂O e a interação entre doses x reaplicação, em eucalipto (Híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* - clone I144), em sistema talhadia. Três Lagoas – MS, Brasil.

Reaplicação de K ₂ O	P-resina (mg dm ⁻³)	K	Ca (mmol _c dm ⁻³)	Mg
sem	16,13a	0,28b	2,25a	1,50a
com	16,13a	1,58a	2,75a	1,88a
D.M.S. (5%)	0,65	0,63	0,73	0,64
C.V. (%)	4,60	23,47#	13,08#	16,41#
F doses x reaplicação	0,54 ^{ns}	3,22 ^{ns}	0,08 ^{ns}	1,12 ^{ns}
Reaplicação de K ₂ O	pH _{CaCl2}	H+Al (mmol _c dm ⁻³)	Al	CTC
sem	4,0 a	22,6 b	3,5 a	26,6 b
com	4,1 a	27,4 a	3,1 a	33,6 a
D.M.S. (5%)	0,1	2,1	0,5	2,6
C.V. (%)	3,46	9,44	16,01	9,69
F doses x reaplicação	0,33 ^{ns}	1,24 ^{ns}	2,54 ^{ns}	1,38 ^{ns}
Reaplicação de K ₂ O	M.O. (g dm ⁻³)	SB (mmol _c dm ⁻³)	V %	m
sem	13,9 a	4,0 b	15,2 b	46,2 a
com	15,5 a	6,2 a	18,6 a	33,5 b
D.M.S. (5%)	1,7	1,3	3,3	5,8
C.V. (%)	5,13	28,12	22,62	16,63
F doses x reaplicação	1,81 ^{ns}	1,04 ^{ns}	1,88 ^{ns}	1,79 ^{ns}

* e ** = significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente; ns = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

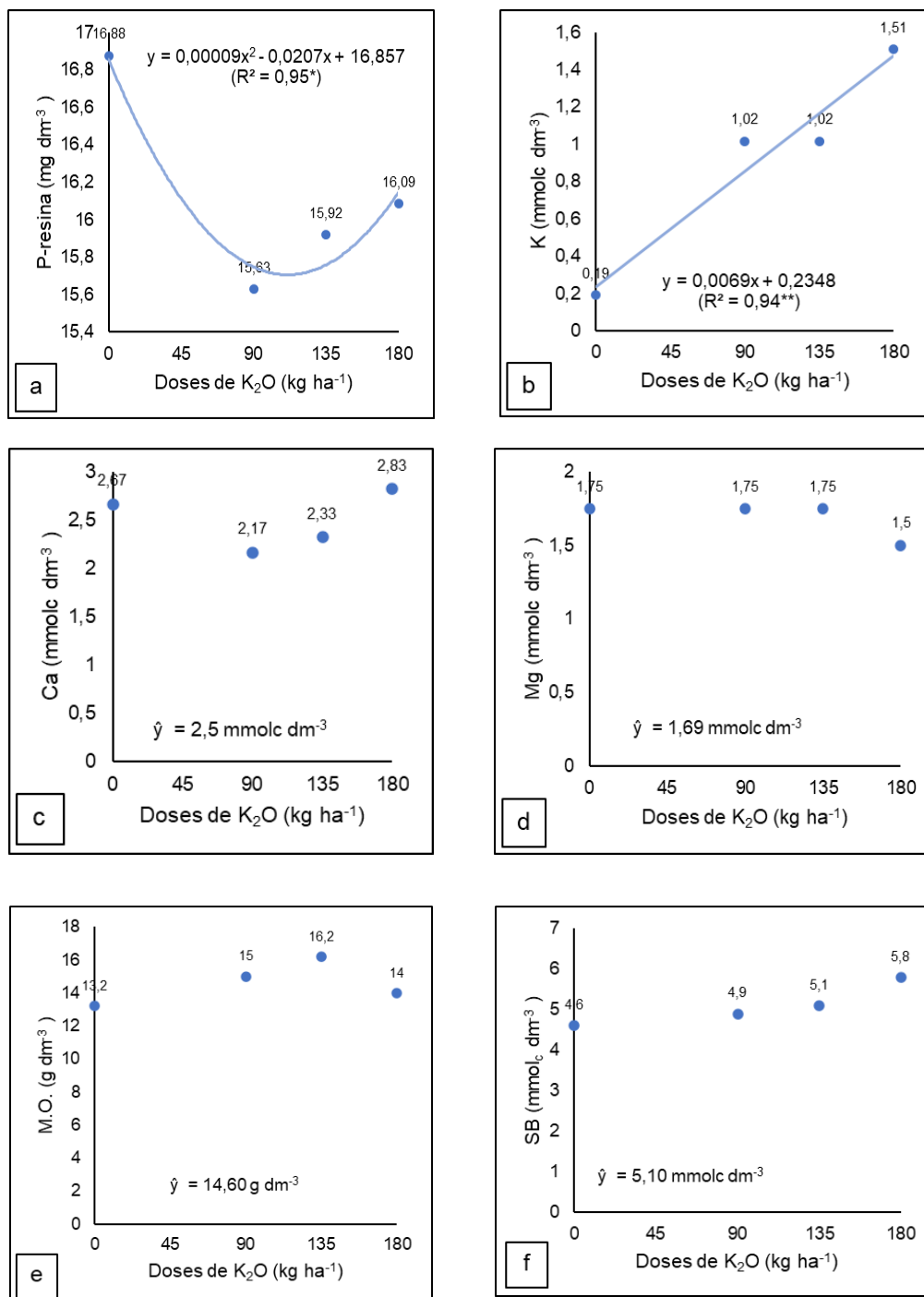
Análise química realizada no Laboratório de Fertilidade do Solo UNESP/FEIS.

#Dados corrigidos pela equação $(x+0,5)^{0,5}$

Fonte: Própria autora.

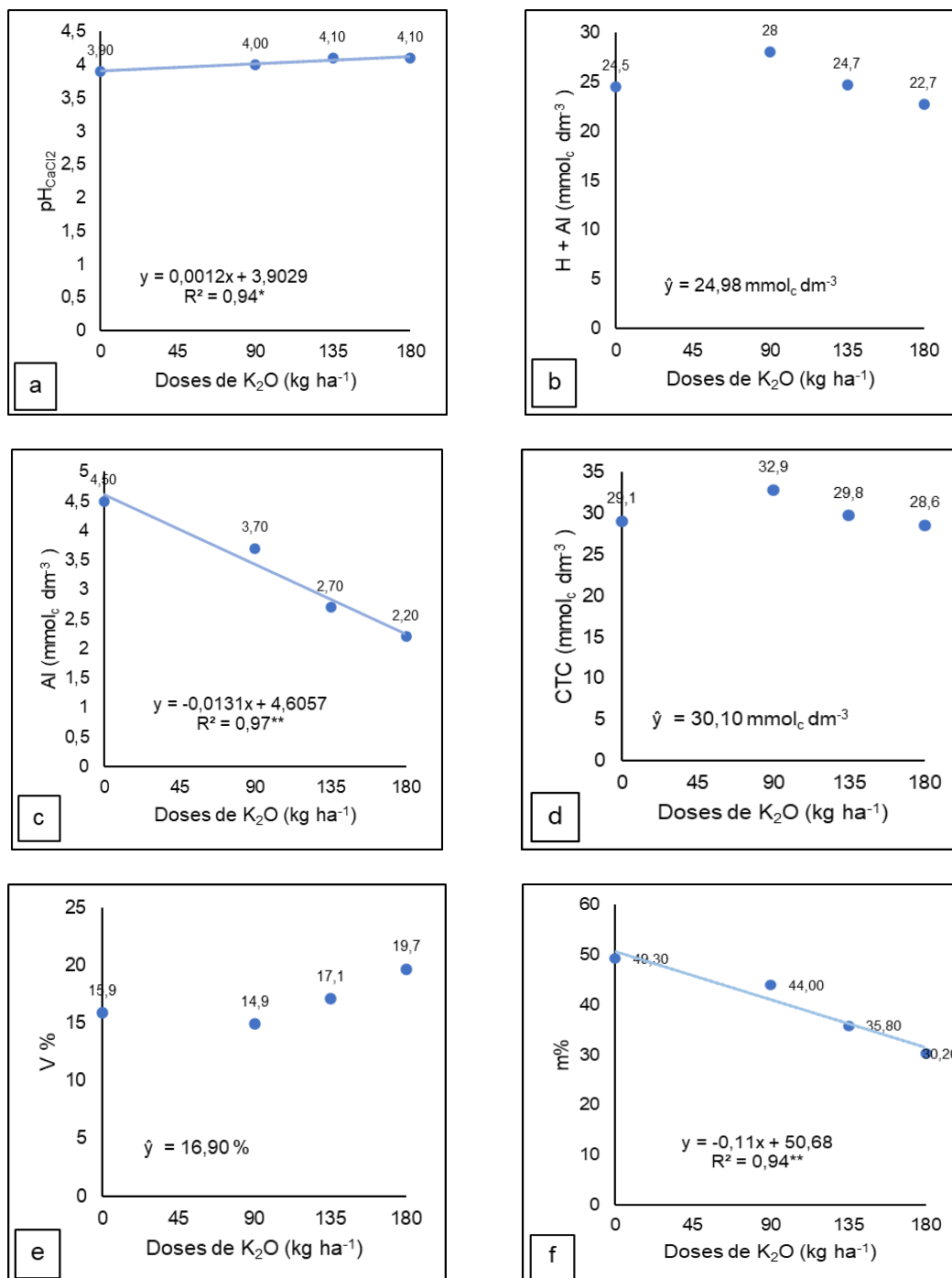
Para o residual das doses de K₂O, houve efeito significativo para P-resina (Figura 23a), K (Figura 23b), pH_{CaCl2} (Figura 24a), Al (Figura 24c) e m% (Figura 24f). O teor de P no solo (0-0,20 m) apresentou ajuste à regressão quadrática; já para o teor de K⁺ trocável (Figura 23b) e para o pH_{CaCl2} (Figura 24a) houve ajuste à regressão linear crescente, enquanto para o teor de Al³⁺ (Figura 24c) no solo e a saturação por alumínio (m%) (Figura 24f), o ajuste foi para regressão linear decrescente, demonstrando que o incremento nas doses de K₂O aplicadas no ciclo precedente (residuais de doses K₂O) diminuiram esses atributos do solo.

Figura 23. Atributos químicos do solo (0-0,20m): **(a)** Teor de P-resina (mg dm^{-3}); **(b)** Teor de K ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$); **(c)** Ca ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$); **(d)** Mg ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$); **(e)** M.O. (g dm^{-3}); **(f)** SB ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) em função das doses residuais de K_2O .



Fonte: Própria autora.

Figura 24. Atributos químicos do solo (0-0,20m): **(a)** $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$; **(b)** $\text{H}+\text{Al}$ ($\text{mmol}_\text{c} \text{ dm}^{-3}$); **(c)** Al ($\text{mmol}_\text{c} \text{ dm}^{-3}$); **(d)** CTC ($\text{mmol}_\text{c} \text{ dm}^{-3}$); **(e)** Saturação por bases (V%); **(f)** Saturação por alumínio (m%) em função das doses residuais de K_2O .



Fonte: Própria autora.

- b. Diâmetro a altura do peito , altura de plantas, volume de madeira e biomassa

Os valores de diâmetro a altura do peito (DAP), altura de plantas (H) e volume de madeira (V) em função da reaplicação com K_2O e a interação entre doses x reaplicação, constam na Tabela 28.

Para a interação do residual das doses de adubação e reaplicação da adubação potássica, não foram constatados efeito para o DAP, altura da planta e o volume de madeira. Entretanto, Silva *et al.* (2020), avaliando híbrido de *Eucalyptus urophylla* (Clone GG157), constataram que na região do Cerrado, a adubação no segundo ciclo de produção, principalmente adubação potássica, é necessária para restaurar ou mesmo melhorar os nutrientes do solo, favorecendo o aumento no diâmetro do eucalipto (DAP), contribuindo assim para o aumento na produtividade, uma vez que obtiveram resultados médios de incremento no DAP de 22,5% em relação às plantas não adubadas.

Não houve diferença para o efeito isolado da reaplicação do K_2O em nenhuma das avaliações de crescimento (DAP, H e V) (Tabela 28). A reaplicação do potássio no segundo ciclo de produção propiciou um discreto aumento do DAP, da altura da planta e do volume de madeira; no entanto, embora não tenha ocorrido diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 28), nota-se que no tratamento "com" a reaplicação de K_2O os índices deste foram 3%, 1,5% e 5,9%, respectivamente, para as avaliações biométricas citadas anteriormente. Teixeira *et al.* (2006), avaliando a resposta de mudas de eucalipto em função das doses da adubação potássica, observaram que doses crescentes de K_2O até a dose considerada máxima para cada espécie de eucalipto avaliada, aumentou a altura em todas as espécies de eucalipto estudadas. Entretanto, Cipriani *et al.* (2012) não constataram resposta à adubação potássica para o crescimento inicial do eucalipto, pressupondo que este resultado seja devido ao teor de K adequado para a cultura do eucalipto na área experimental estudada.

Não foi observado ajuste à regressão para o DAP no segundo ciclo do eucalipto (em função do incremento das doses aplicadas no ciclo precedente (residual das doses de K_2O). Para altura de plantas e volume de madeira, houve ajuste à regressão linear crescente (Figuras 25a e 25b), em função do incremento no residual das doses de K_2O . O teor médio de K^+ trocável no solo do experimento (Tabela 28) também

respondeu linearmente ao incremento do residual das doses de K_2O , sendo que apenas na dose de 0 kg ha^{-1} o teor esteve abaixo do considerado médio segundo o Boletim 100 (MATTOS JÚNIOR *et al.*, 2022). Neste aspecto os resultados permitem inferir que o residual das doses de K_2O aplicados no primeiro ciclo de produção contribuiu para garantir teores adequados à cultura, por meio da ciclagem dos nutrientes que foram depositados pela serrapilheira, pelos restos culturais e pela reserva contida nas raízes remanescentes.

A biomassa de folha, galho, casca e lenho e biomassa total de eucalipto em função da reaplicação com K_2O e a interação entre doses x reaplicação estão demonstrados na Tabela 28. A biomassa total do eucalipto apresentou diferença entre os tratamentos “com” ou “sem” a reaplicação das doses de K_2O no segundo ciclo de produção. Gazola *et al.* (2019), avaliando os efeitos da adubação potássica na produção de biomassa em clone de *Eucalyptus urophylla* (Clone I144), também constataram que a adubação potássica proporciona os maiores valores de biomassa total da parte aérea, na ordem de 18,2%, para a dose de 180 kg ha^{-1} K_2O em relação à testemunha.

O potássio é um dos nutrientes que podem limitar o crescimento das árvores nos ecossistemas florestais, sendo essencial a manutenção de teores adequados em solos altamente intemperizados, como geralmente são os solos das áreas de produção de eucalipto (CORNUT *et al.*, 2021).

As doses residuais de K_2O influenciaram significativamente as biomassas de folhas, de lenho e total (Tabela 28). Para a biomassa de folhas, houve ajuste à equação de regressão quadrática, cuja dose ótima (PM) foi de $94,17\text{ kg ha}^{-1}$ de K_2O (Figura 25d). Para a biomassa do lenho e biomassa total, também houve ajuste à equação de regressão quadrática, com as maiores biomassa sendo obtidas na dose de 180 kg ha^{-1} (Figuras 25g e 25h). Teixeira *et al.* (2006), avaliando o crescimento e partição de matéria seca de mudas de espécies de eucalipto em função da adubação potássica, reportaram que a adição de potássio ao solo contribui para o aumento na matéria seca do eucalipto, principalmente a matéria seca das folhas.

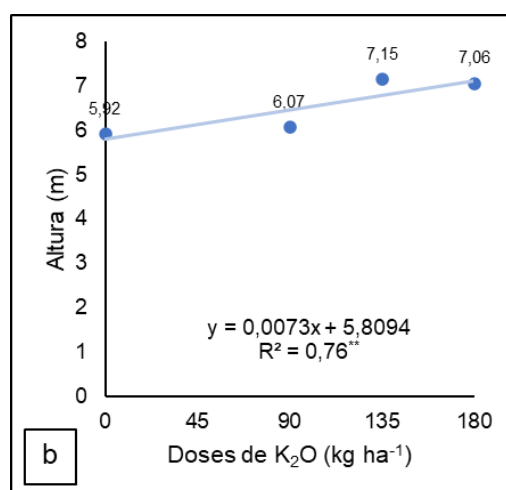
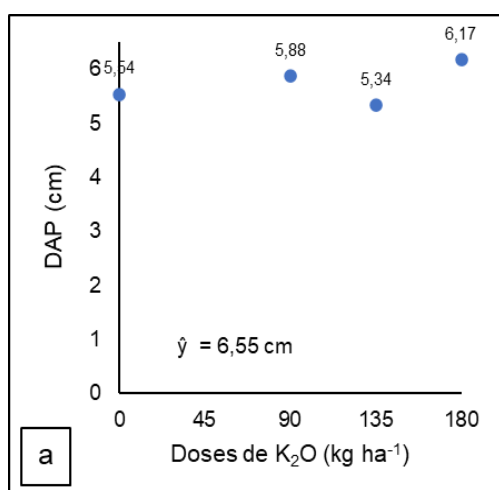
Tabela 28. Diâmetro a altura do peito (DAP), altura de planta (H), volume de madeira (V), biomassa dos órgãos (folha, galho, casca, lenho) e biomassa total de eucalipto (Híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* - clone I144), em sistema talhadia, em função da reaplicação com K₂O e a interação entre doses x reaplicação. Três Lagoas – MS, Brasil.

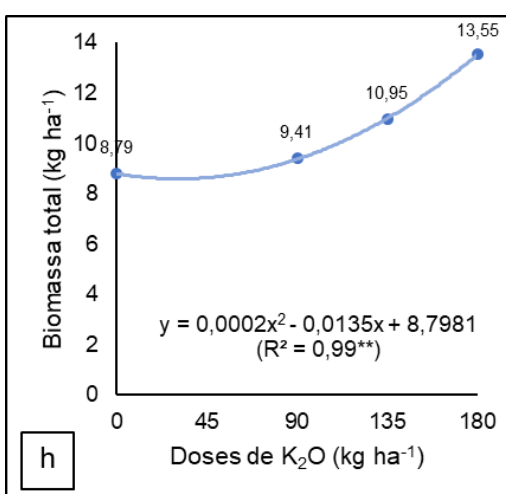
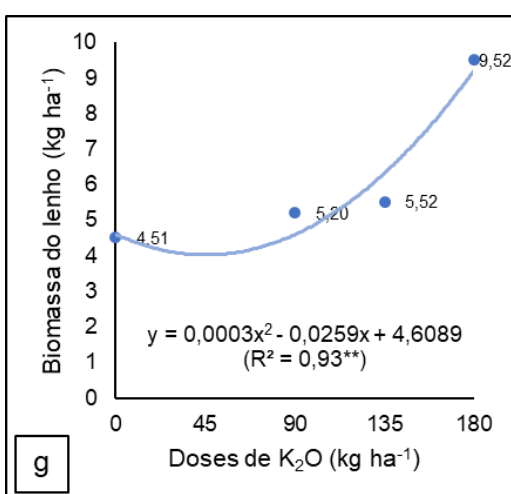
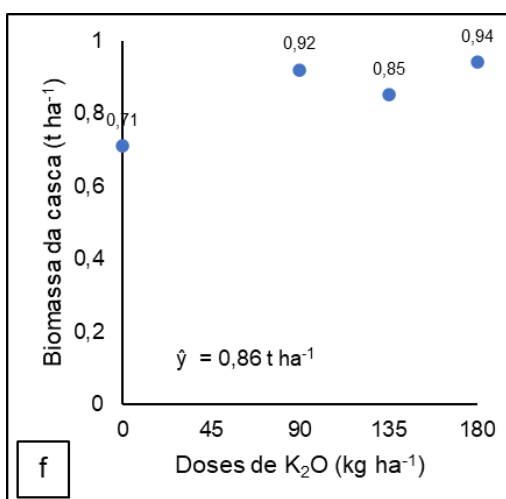
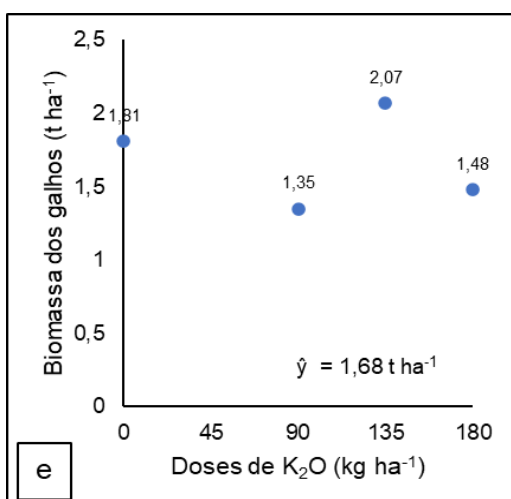
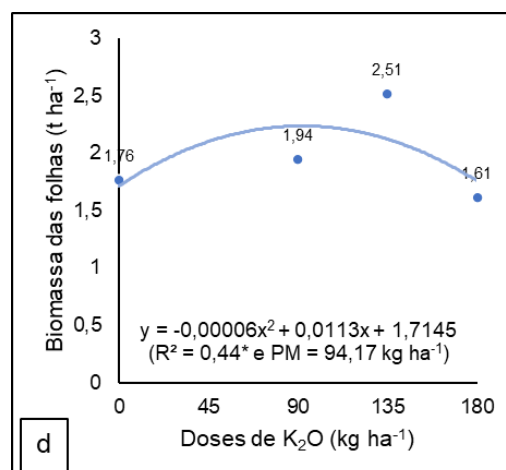
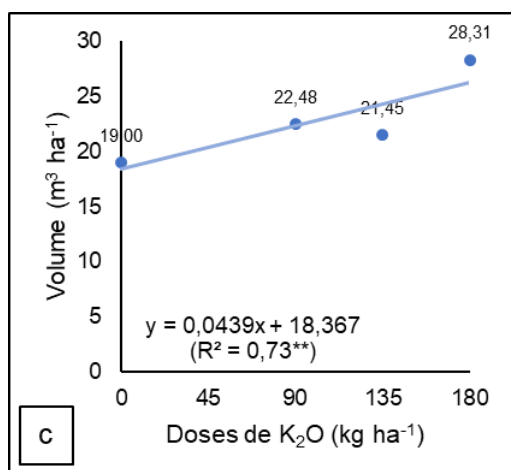
Reaplicação de K ₂ O	DAP (cm)	H (m)	V (m ³ ha ⁻¹)		
sem	5,64a	6,50a	22,16a		
com	5,82a	6,60a	23,46a		
D.M.S. (5%)	0,38	0,28	3,68		
C.V. (%)	7,57	4,96	18,42		
F doses x reaplicação	1,53 ^{ns}	1,73 ^{ns}	1,90 ^{ns}		
Reaplicação de K ₂ O	Folhas	Galhos	Casca (t ha ⁻¹)	Lenho	Total
sem	1,89a	1,55a	0,83a	5,92a	10,19b
com	2,02a	1,80a	0,89a	6,45a	11,16a
D.M.S. (5%)	0,41	0,34	0,19	1,15	0,82
C.V. (%)	23,86	22,85	24,87	21,26	8,83
F doses x reaplicação	0,18 ^{ns}	2,23 ^{ns}	1,70 ^{ns}	3,43*	4,53*

* e ** - significativo a 5 e 1% pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Própria autora.

Figura 25. (a) Diâmetro a altura do peito (cm); (b) Altura de planta (m); (c) Volume de madeira (m³ ha⁻¹); (d) Biomassa de folha (t ha⁻¹); (e) Biomassa de galho (t ha⁻¹); (f) Biomassa de casca (t ha⁻¹); (g) Biomassa de lenho (t ha⁻¹); (h) Biomassa total (t ha⁻¹) em função das doses residuais de K₂O.





Fonte: Própria autora.

Quanto ao efeito da interação doses residuais de K_2O e reaplicação de K_2O , constatou-se ajuste na biomassa do lenho tanto “com” ou “sem” a reaplicação de K_2O (Tabela 29), em que “sem” a reaplicação notou-se ajuste à regressão linear crescente,

indicando que o aumento no residual das doses da adubação potássica favoreceu ao acúmulo de biomassa do lenho. No tratamento “com” a reaplicação dentro do residual das doses de K_2O , obteve-se ajuste à equação de regressão quadrática, com a maior biomassa sendo obtida na maior dose residual de potássio (180 kg ha^{-1} de K_2O) (Tabela 29). Na dose de 180 kg ha^{-1} de K_2O , houve diferença significativa entre os tratamentos que receberam reaplicação das doses de K_2O no segundo ciclo, onde dentro desta dose, o tratamento que recebeu a reaplicação da dose proporcionou a maior biomassa de lenho (Tabela 29).

Na biomassa total do eucalipto, o desdobramento da interação doses residuais de K_2O e reaplicação de K_2O apresentou ajuste à regressão linear crescente para o tratamento “sem” dentro de doses residuais de K_2O (Tabela 29). Com relação à reaplicação de K_2O dentro das doses residuais da adubação potássica, verificou-se ajuste à equação de regressão quadrática, com a maior biomassa total sendo observada na maior dose residual (180 kg ha^{-1} de K_2O) (Tabela 29).

A adubação potássica representa ganhos em produtividade para os sítios florestais com eucalipto, em conjunto com a manutenção dos resíduos florestais e a serrapilheira é uma importante estratégia visando ganhos adicionais na produtividade e manutenção da sustentabilidade do sistema (FERREIRA, 2021; GAZOLA *et al.*, 2019).

Tabela 29. Desdobramentos da interação doses residuais de K_2O e reaplicação das doses de K_2O na biomassa do lenho e biomassa total de eucalipto (Híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* - clone I144), em sistema talhadia. Três Lagoas – MS, Brasil.

Doses de K_2O (kg ha^{-1})	Reaplicação de K_2O			
	Biomassa de lenho (t ha^{-1}) sem ⁽¹⁾	com ⁽²⁾	Biomassa total (t ha^{-1}) sem ⁽³⁾	com ⁽⁴⁾
0	4,70a	4,31a	8,35a	9,23a
90	5,29a	5,11a	9,24a	9,59a
135	5,92a	5,12a	11,25a	10,66a
180	7,77b	11,26a	11,92b	15,18a
D.M.S. (5%)	2,30		1,65	

ns - não significativo a 5% pelo teste F.

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

⁽¹⁾ $Y = 0,0156x + 4,3439$ ($R^2 = 0,81^*$)

⁽²⁾ $Y = 0,0004x^2 - 0,0441x + 4,4873$ ($R^2 = 0,89^{**}$)

⁽³⁾ $Y = 0,0208x + 8,0812$ ($R^2 = 0,91^{**}$)

⁽⁴⁾ $Y = 0,0004x^2 - 0,0355x + 9,3109$ ($R^2 = 0,97^{**}$)

Fonte: Própria autora.

c. Acúmulo de nutrientes na biomassa do eucalipto

O acúmulo de macronutrientes nas biomassas de folhas, galhos e casca do eucalipto em função da reaplicação com K_2O e a interação entre doses x reaplicação, constam na Tabela 30. Não houve diferença no acúmulo de K nas folhas com a reaplicação de K_2O , entretanto, com a reaplicação de potássio houve maior acúmulo deste nutriente nas folhas de eucalipto. Santos *et al.* (2020) constataram que a adubação com potássio favorece um maior acúmulo deste nutriente nas folhas de eucalipto, assim como maiores acúmulos deste na parte aérea como um todo, desempenhando papel importante no crescimento das plantas de eucalipto, principalmente em regiões de déficit hídrico acentuado, pois este nutriente auxilia na manutenção do turgor celular e consequentemente contribui para a produtividade do sítio florestal.

Apenas para os macronutrientes Ca e Mg houve influência do residual das doses de K_2O , aplicadas no ciclo precedente, nos seus acúmulos na biomassa das folhas do eucalipto no segundo ciclo (Tabela 30). Para o acúmulo de Ca nas folhas em função das doses de K_2O , houve ajuste à equação de regressão quadrática ($PM = 85,12 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de } K_2O$) (Figura 26a). Por sua vez, o acúmulo de Mg nas folhas do eucalipto se ajustou também à regressão quadrática, porém com a dose ótima estimada em $77,19 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de } K_2O$ (Figura 26b). Lima *et al.* (2018) constataram em estudos com a omissão de nutrientes no crescimento do eucalipto, que os maiores teores de Ca e Mg na parte aérea do eucalipto foram no tratamento em que houve a omissão de K. Entretanto, esse resultado foi provavelmente devido ao efeito concentração, pois as plantas que não receberam K cresceram menos, portanto, houve maior concentração do Ca e do Mg nas árvores. É importante ressaltar que altas doses da adubação potássica podem reduzir a absorção de outros nutrientes, em especial o Ca e o Mg, devido ao efeito antagônico entre estes nutrientes e o K (LIMA NETO, 2021); portanto, pode-se inferir que no presente estudo as doses aplicadas no segundo ciclo de produção não prejudicaram as absorções de Ca e Mg pelo eucalipto manejado no sistema talhadia.

A reaplicação das doses de K_2O proporcionou maiores acúmulos deste nutriente nos galhos (Tabela 30), e o residual das doses de K_2O aplicadas no ciclo anterior apresentou ajuste à equação de regressão quadrática (Figura 27c). Não houve efeito para a interação “doses x reaplicação” (Tabela 30).

Para o acúmulo de S nos galhos, apenas constatou-se ajuste para o efeito isolado das doses residuais de K₂O, cujo incremento nas doses de aplicadas no ciclo precedente proporcionou diminuição linear no acúmulo deste macronutriente nos galhos no segundo ciclo (Figura 27d).

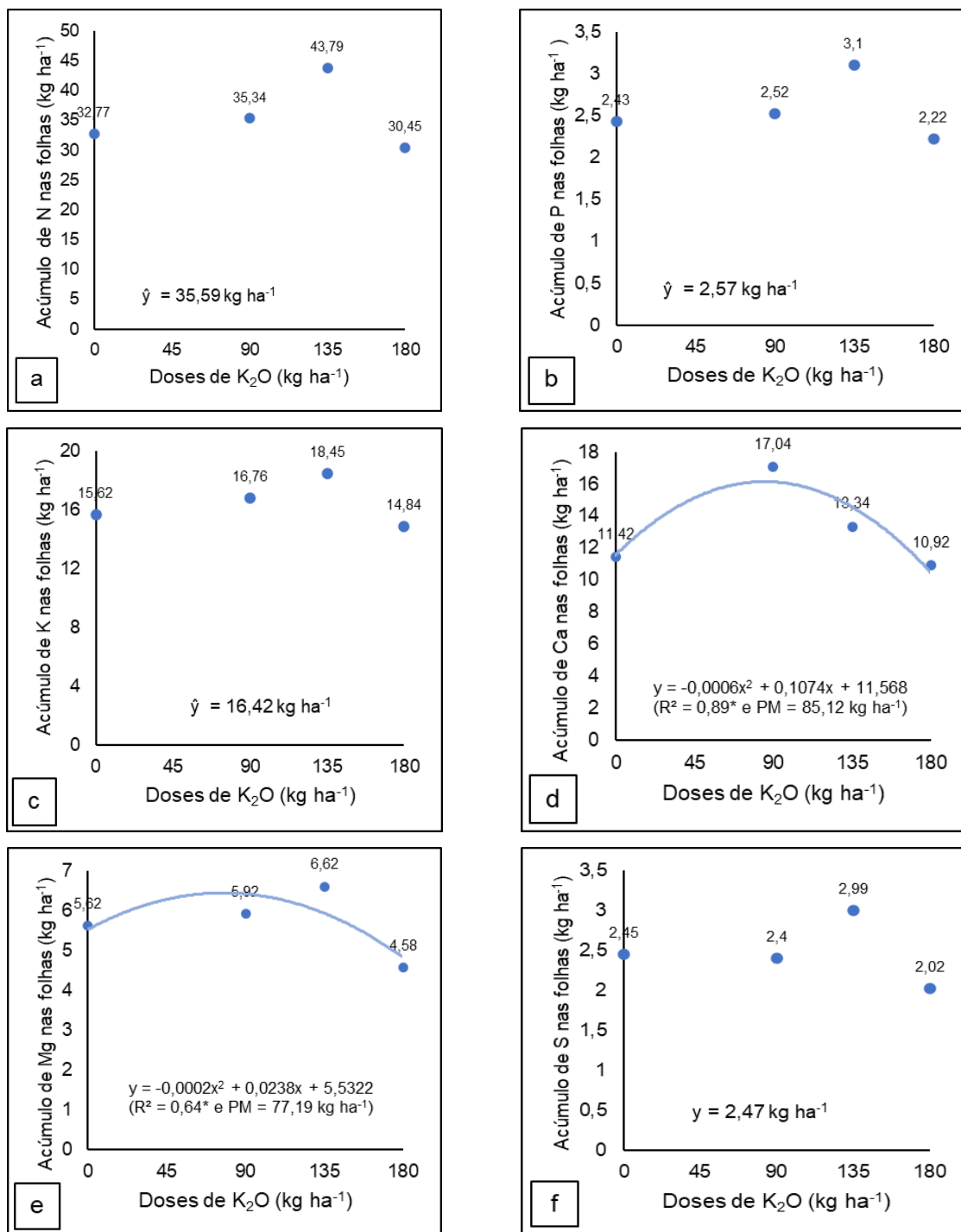
O acúmulo de K na casca do eucalipto foi influenciado pela interação “doses de K₂O” x “reaplicação de K₂O” (Tabela 30). Para o acúmulo de Mg na casca do eucalipto, apenas o efeito isolado das doses residuais de K₂O influenciaram nos acúmulos deste nutriente na casca, sendo que houve ajuste à equação de regressão quadrática, com dose ótima em 93,80 kg ha⁻¹ de K₂O (Figura 28e).

Tabela 30. Acúmulo de macronutrientes nas biomassas (folhas, galhos e casca) do eucalipto (Híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* - clone I144), em sistema talhadia, em função da reaplicação com K₂O e a interação entre doses x reaplicação. Três Lagoas – MS, Brasil.

Reaplicação de K ₂ O	N	P	K	Ca	Mg	S
	(kg ha ⁻¹)					
	Folhas					
sem	34,85a	2,56a	16,00a	11,40a	5,31a	2,45a
com	36,32a	2,58a	16,83a	14,92a	6,05a	2,47a
D.M.S. (5%)	7,34	0,52	4,12	3,98	0,92	0,54
C.V. (%)	23,55	23,14	28,69	14,24#	18,47	24,86
F doses x reaplicação	0,21 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,68 ^{ns}	0,99 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,61 ^{ns}
	Galhos					
sem	10,76a	1,98a	10,45b	8,42a	2,45a	0,95a
com	11,07a	2,67a	13,53a	11,25a	2,48a	2,22a
D.M.S. (5%)	3,00	0,81	2,38	3,33	0,69	1,60
C.V. (%)	14,08#	13,99#	22,71	18,46#	13,56#	30,06#
F doses x reaplicação	1,75 ^{ns}	1,35 ^{ns}	2,03 ^{ns}	1,83 ^{ns}	0,33 ^{ns}	2,99 ^{ns}
	Casca					
sem	3,28a	0,79a	6,95a	15,51a	2,39a	0,36a
com	3,87a	0,89a	7,32a	16,12a	2,69a	0,40a
D.M.S. (5%)	0,90	0,32	1,42	4,45	0,46	0,09
C.V. (%)	28,64	12,65#	22,64	14,06#	20,52	27,12
F doses x reaplicação	1,68 ^{ns}	1,89 ^{ns}	3,43*	2,01 ^{ns}	2,17 ^{ns}	1,26 ^{ns}

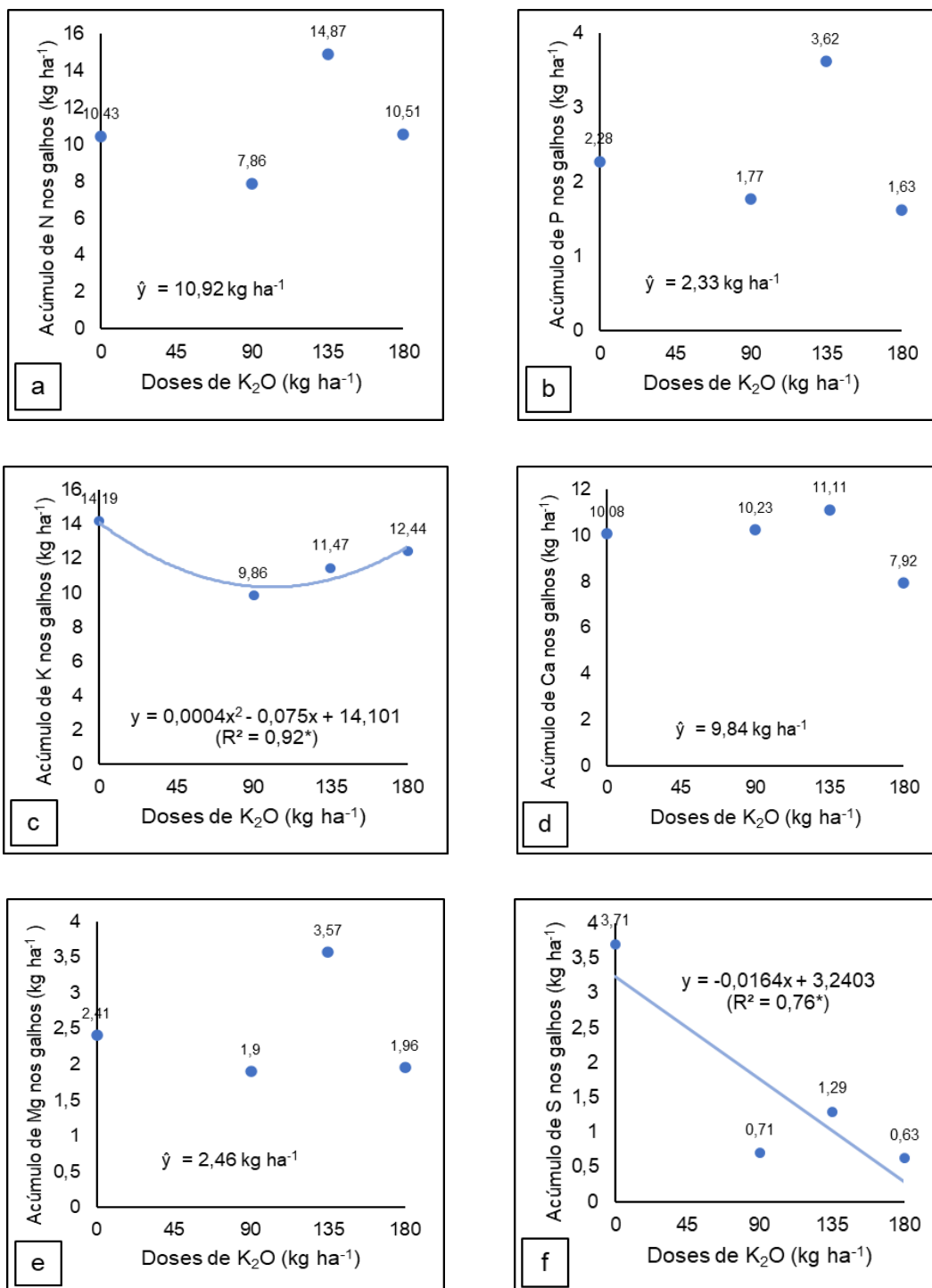
* e ** - significativo a 5 e 1% pelo teste F. ns - não significativo a 5% pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. #Dados corrigidos pela equação $(x+0,5)^{0,5}$.
Fonte: Própria autora.

Figura 26. (a) Acúmulo de N nas folhas do eucalipto; **(b)** acúmulo de P nas folhas do eucalipto; **(c)** acúmulo de K nas folhas do eucalipto; **(d)** acúmulo de Ca nas folhas do eucalipto **(e)** acúmulo de Mg nas folhas do eucalipto; **(f)** acúmulo de S nas folhas do eucalipto em função das doses residuais de K_2O .



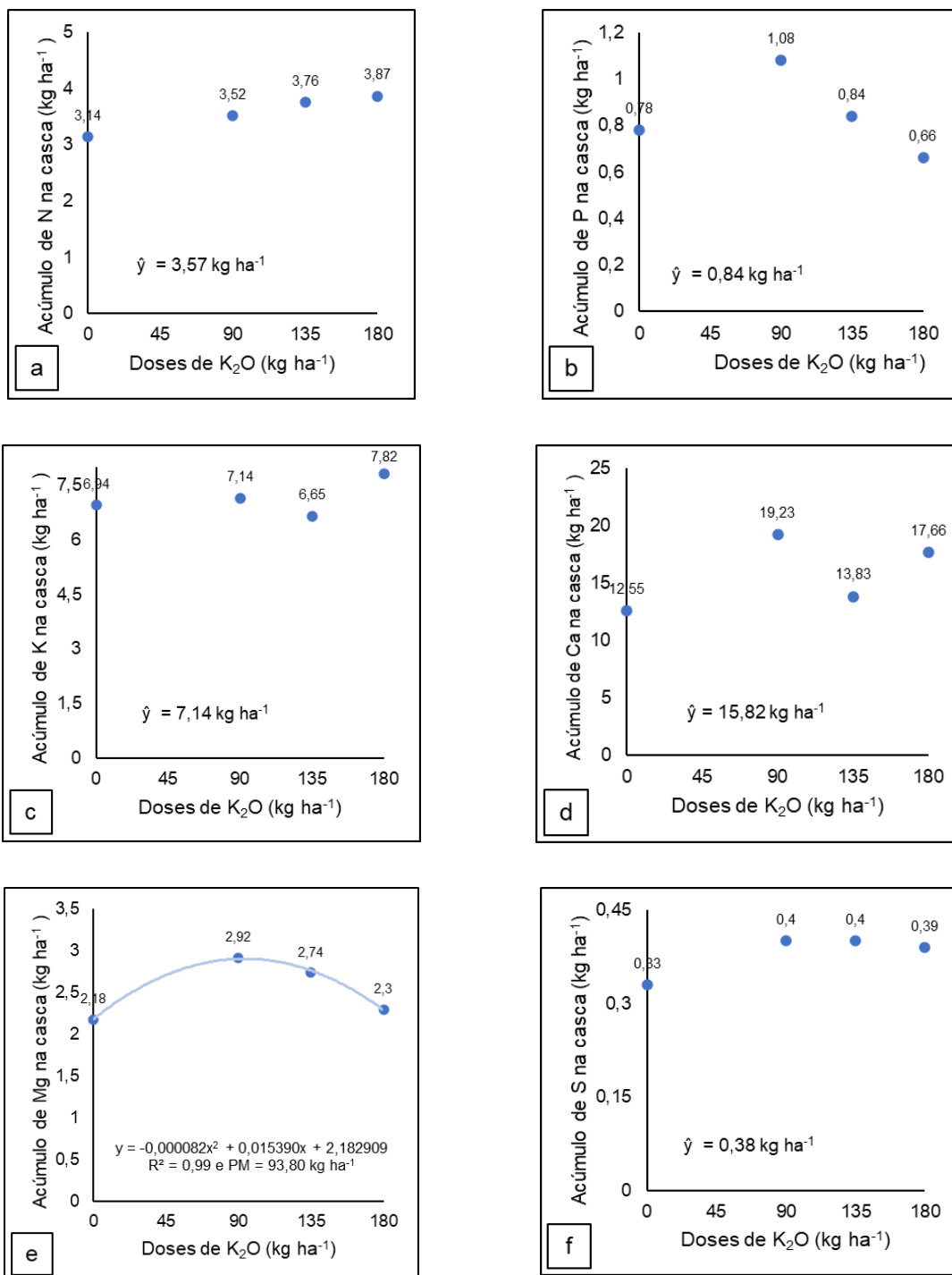
Fonte: Própria autora.

Figura 27. (a) Acúmulo de N nos galhos do eucalipto; **(b)** acúmulo de P nos galhos do eucalipto; **(c)** acúmulo de K nos galhos do eucalipto; **(d)** acúmulo de Ca nos galhos do eucalipto; **(e)** acúmulo de Mg nos galhos do eucalipto; **(f)** acúmulo de S nos galhos do eucalipto em função das doses residuais de K_2O .



Fonte: Própria autora.

Figura 28. (a) Acúmulo de N na casca do eucalipto; **(b)** acúmulo de P na casca do eucalipto; **(c)** acúmulo de K na casca do eucalipto; **(d)** acúmulo de Ca na casca do eucalipto; **(e)** acúmulo de Mg na casca do eucalipto; **(f)** acúmulo de S na casca do eucalipto em função das doses residuais de K_2O .



Fonte: Própria autora.

Houve ajuste à regressão linear crescente para o acúmulo de Ca na casca do eucalipto, no desdobramento da interação “doses x reaplicação”, dentro do fator

“sem” a reaplicação das doses de K_2O (Tabela 31). Este nutriente acumula em grandes quantidades na casca de eucalipto (MASSAD, 2020), sua acumulação ocorre nos tecidos vegetais, contribuindo para a resistências aos fatores edafoclimáticos adversos (BARROS FILHO, 2014) comuns em regiões produtoras de eucalipto.

O acúmulo de Mg na casca apresentou ajuste para a regressão quadrática “com” a reaplicação de K_2O dentro do fator “doses” residuais de K_2O , com dose residual de K_2O ótima de $85,67 \text{ kg ha}^{-1}$ (Tabela 31). No desdobramento da interação doses de K_2O dentro da reaplicação de K_2O observou-se efeito na dose residual de 135 kg ha^{-1} de K_2O , onde “com” a reaplicação tem-se o maior acúmulo de Mg na casca do eucalipto, sendo de 42,50% maior em relação ao “sem” (Tabela 31).

Tabela 31. Desdobramentos da interação doses residuais de K_2O e reaplicação das doses de K_2O , no acúmulo de Ca na casca e no acúmulo de Mg na casca, em eucalipto (Híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* - clone I144), em sistema talhadia. Três Lagoas – MS, Brasil.

Doses de K_2O (kg ha^{-1})	Reaplicação de K_2O			
	Acúmulo de Ca (kg ha^{-1}) na casca		Acúmulo de Mg (kg ha^{-1}) na casca	
	sem ⁽¹⁾	com ^{ns}	sem ^{ns}	com ⁽²⁾
0	9,57a	15,53a	2,12a	2,25a
90	16,59a	21,87a	2,63a	3,22a
135	15,39a	12,27a	2,26b	3,22a
180	20,48a	14,83a	2,55a	2,06a
D.M.S. (5%)	8,89		0,91	

ns - não significativo a 5% pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

⁽¹⁾ $Y = 0,0551x + 9,9277$ ($R^2 = 0,88$)

⁽²⁾ $Y = -0,00015x^2 + 0,0257x + 2,2269$ ($R^2 = 0,95^{**}$ e PM = $85,67 \text{ kg ha}^{-1}$)

Fonte: Própria autora.

Os acúmulos de macronutrientes no lenho do eucalipto em função da reaplicação com K_2O e a interação entre doses x reaplicação, estão descritos na Tabela 32. O acúmulo de N no lenho, em função das doses residuais de K_2O , ajustou à regressão linear crescente, ou seja, o incremento nas doses de K_2O aplicada no primeiro ciclo proporcionou aumento no acúmulo deste macronutriente no lenho do eucalipto no ciclo subsequente (Figura 29a). Para o P acumulado no lenho do eucalipto, houve diferença apenas para o efeito isolado da reaplicação, “com” a reaplicação de K_2O ocorreu maior acúmulo de P no lenho, no segundo ciclo de produção, aos nove meses após a definição dos brotos (Tabela 32).

O acúmulo de K no lenho teve influência do residual das doses de K₂O aplicadas no primeiro ciclo de produção, cujo ajuste à equação de regressão foi quadrático, porém foi na dose 180 kg ha⁻¹ de K₂O que se verificou o maior acúmulo de K no lenho (Figura 29b). A interação das “doses de K₂O” e “reaplicação de K₂O” também influenciou no acúmulo de K no lenho (Tabela 32).

Para os acúmulos de Ca e Mg no lenho notou-se ajuste à equação de regressão quadrática, ambos com os pontos mínimos estimados em 62,68 e 57,74 kg ha⁻¹ de K₂O, respectivamente (Figuras 29c e 29d). Para o acúmulo de Mg também houve efeito para a interação “doses de K₂O” x “reaplicação de K₂O” (Tabela 32).

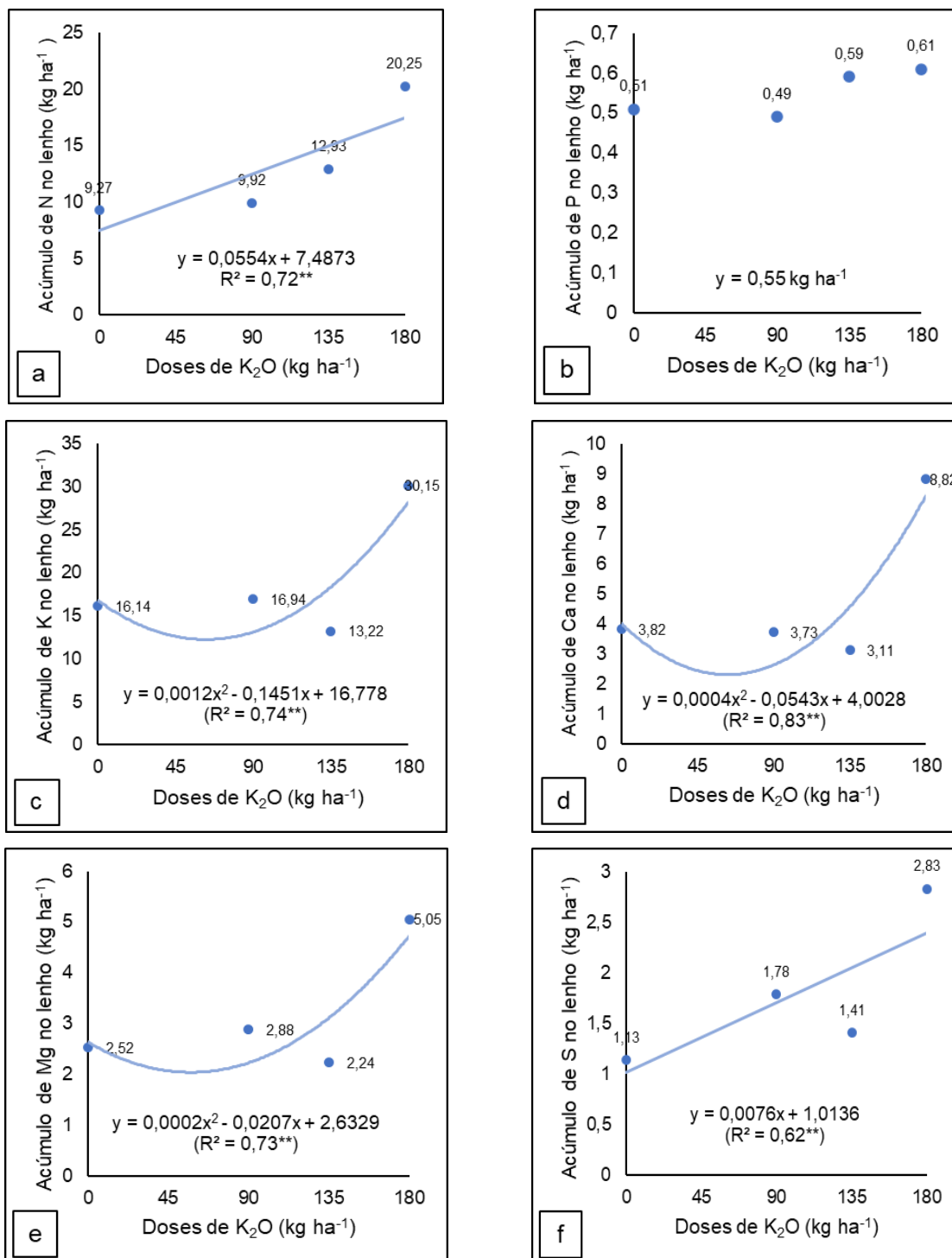
O acúmulo de S no lenho em função das doses de K₂O, ajustou-se à função linear crescente (Figura 29e), o mesmo ocorreu para o acúmulo de N total (Figura 30a). Verificou-se ajuste à equação de regressão quadrática para o acúmulo de K total em função das doses residuais de K₂O, com destaque positivo para a maior dose 180 kg ha⁻¹ de K₂O (Figura 30c).

Tabela 32. Acúmulo de macronutrientes nas biomassas (lenho e total) do eucalipto em função da reaplicação com K₂O e a interação entre doses x reaplicação, em eucalipto (Híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* - clone I144), em sistema talhadia. Três Lagoas – MS, Brasil.

Reaplicação de K ₂ O	N	P	K (kg ha ⁻¹) Lenho	Ca	Mg	S
sem	12,78a	0,42b	18,94a	4,67a	3,05a	1,70a
com	13,40a	0,68a	19,28a	5,07a	3,30a	1,88a
D.M.S. (5%)	3,57	0,19	2,88	1,41	0,66	0,61
C.V. (%)	16,28#	10,59#	17,21	15,48#	23,86	14,77#
F doses x reaplicação	0,23 ^{ns}	0,10 ^{ns}	3,82*	2,29 ^{ns}	6,68**	0,10 ^{ns}
Reaplicação de K ₂ O	Total					
sem	61,67a	6,04a	52,68a	40,40a	13,47a	5,51a
com	64,67a	6,53a	56,63a	47,00a	14,24a	6,91a
D.M.S. (5%)	7,94	1,30	6,20	11,63	1,28	1,67
C.V. (%)	14,35	23,68	12,97	30,41	10,57	30,75
F doses x reaplicação	0,62 ^{ns}	0,60 ^{ns}	0,81 ^{ns}	1,03 ^{ns}	1,10 ^{ns}	2,04 ^{ns}

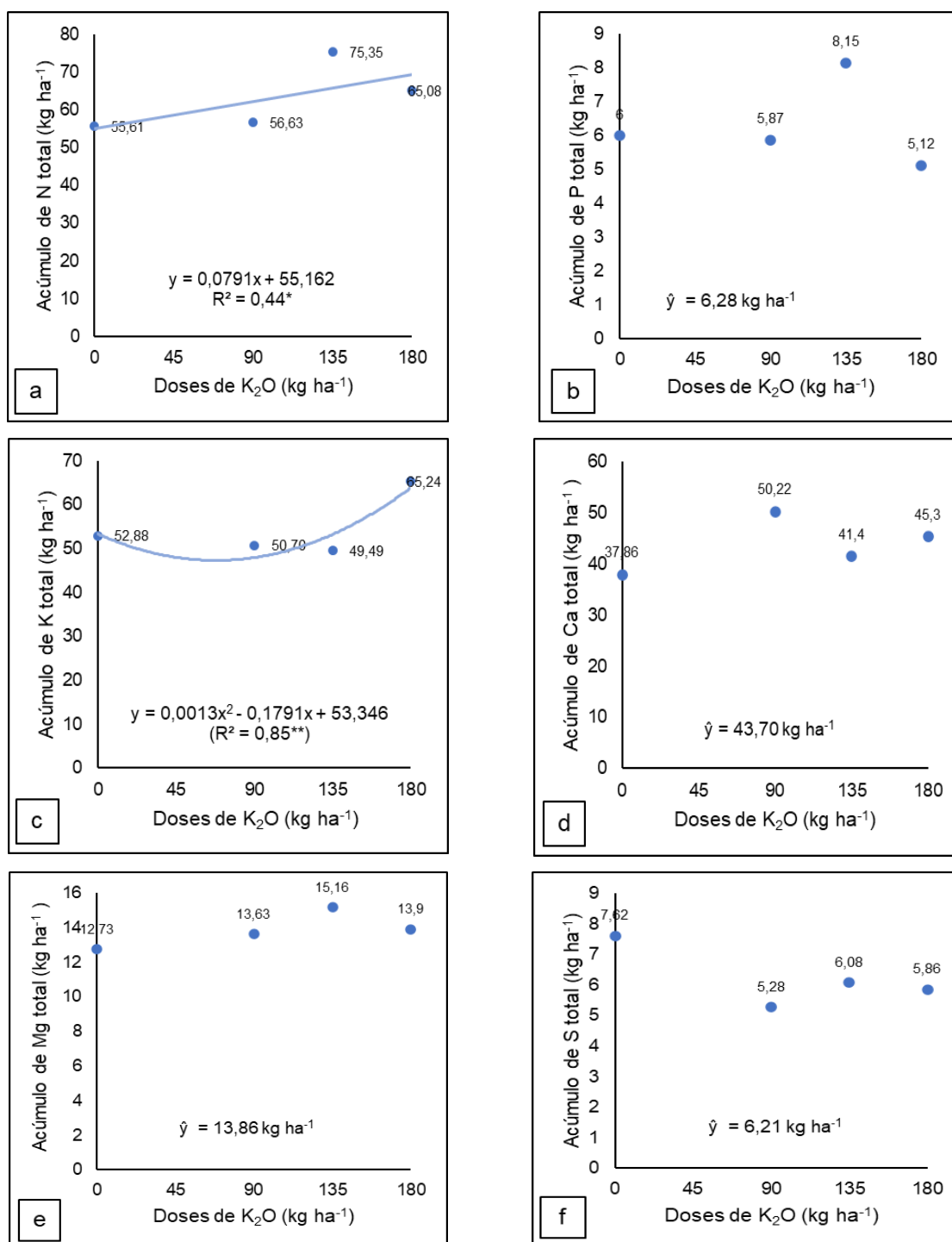
* e ** - significativo a 5 e 1% pelo teste F. ns - não significativo a 5% pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. #Dados corrigidos pela equação $(x+0,5)^{0,5}$
Fonte: Própria autora.

Figura 29. (a) Acúmulo de N no lenho do eucalipto; **(b)** acúmulo de P no lenho do eucalipto; **(c)** acúmulo de K no lenho do eucalipto; **(d)** acúmulo de Ca no lenho do eucalipto; **(e)** acúmulo de Mg no lenho do eucalipto; **(f)** acúmulo de S no lenho do eucalipto em função das doses residuais de K_2O .



Fonte: Própria autora.

Figura 30. (a) Acúmulo de N total do eucalipto; **(b)** acúmulo de P total do eucalipto; **(c)** acúmulo de K total do eucalipto; **(d)** acúmulo de Ca total do eucalipto; **(e)** acúmulo de Mg total do eucalipto; **(f)** acúmulo de S total do eucalipto em função das doses residuais de K₂O.



Fonte: Própria autora.

O desdobramento da interação reaplicação de K₂O x doses de K₂O no acúmulo de N total apresentou ajuste para o fator “sem” à regressão linear crescente, onde o incremento nas doses residuais de K₂O proporcionaram aumento no acúmulo de N total quando não houve reaplicação das doses de K₂O (Tabela 33).

Para o acúmulo de K total, verificou-se ajuste à regressão linear crescente no tratamento “sem” reaplicação de K₂O dentro das doses de K₂O aplicadas no ciclo anterior, e ajuste à equação de regressão quadrática no tratamento “com” (Tabela 33). Para ambos os acúmulos totais dos macronutrientes citados acima não houve diferença no desdobramento das doses dentro da reaplicação das doses de K₂O.

No acúmulo de S total constatou-se ajuste à regressão linear decrescente para o desdobramento do tratamento “sem” dentro das doses de K₂O. No desdobramento das doses de K₂O aplicadas no ciclo precedente dentro da reaplicação de K₂O no segundo ciclo de produção, somente na testemunha houve diferença, sendo que “sem” a reaplicação de K₂O ocorreram maiores acúmulos de S total (Tabela 33).

Tabela 33. Desdobramentos da interação doses residuais de K₂O e reaplicação das doses de K₂O nove meses após a definição dos brotos, no acúmulo de N total, no acúmulo de K total e de S total, em eucalipto (Híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* - clone I144), em sistema talhadia. Três Lagoas – MS, Brasil.

Doses de K ₂ O (kg ha ⁻¹)	Reaplicação de K ₂ O			
	Acúmulo de N (kg ha ⁻¹) total		Acúmulo de K (kg ha ⁻¹) total	
	sem ⁽¹⁾	com ^{ns}	sem ⁽²⁾	com ⁽³⁾
0	51,10a	60,11a	48,66a	57,11a
90	55,63a	57,64a	47,44a	53,96a
135	72,58a	78,12a	51,50a	48,09a
180	67,37a	62,79a	63,13a	67,36a
D.M.S. (5%)	15,87		12,41	

Doses de K ₂ O (kg ha ⁻¹)	Reaplicação de K ₂ O	
	Acúmulo de S (kg ha ⁻¹) total	
	sem ⁽⁴⁾	com ^{ns}
0	9,98a	5,25b
90	5,36a	5,19a
135	6,19a	5,98a
180	6,10a	5,62a
D.M.S. (5%)	3,34	

ns - não significativo a 5% pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

(1) $Y = 0,1103x + 50,4971$ ($R^2 = 0,72^*$)

(2) $Y = 0,0705x + 45,5415$ ($R^2 = 0,57^*$)

(3) $Y = 0,0015x^2 - 0,2287x + 57,8706$ ($R^2 = 0,67^*$)

(4) $Y = -0,0215x + 9,0885$ ($R^2 = 0,62^*$)

Fonte: Própria autora.

d. Análise de Componentes principais

Estão apresentados na Tabela 34 os resultados para a análise de componentes principais, com os respectivos autovalores, quantidade de variância explicada e variância explicada acumulada para variáveis MS folha, MS de galho, MS lenho, MS total, altura de plantas, volume, acúmulo de K (folha, galho, casca, lenho e total), DAP, M.O., K no solo, Al no solo, Ca no solo e pH, nos compartimentos avaliados (folha, galho, casca e lenho) e total do eucalipto.

A Análise de Componentes Principais permite reduzir a dimensão dos dados, por meio da criação de conjuntos de variáveis que não se correlacionam entre si, sendo que o primeiro conjunto, denominado de PC1 carregam a maior variação dos dados; o segundo conjunto (PC2) carrega a segunda maior variação dos dados, e assim por diante (LACERDA, 2022).

Para o compartimento folha (Tabela 34) tem-se que: a variabilidade explicada pelo primeiro componente principal (PC1) foi de 51,17%; o segundo componente principal (PC2), explicou 24,45% da variabilidade totalizando 75,62% da variabilidade contida nos dados originais. Na PC1, observa-se que houve uma ação conjunta entre as variáveis MS folha, MS galho e acúmulo de K na folha, ou seja, existe uma alta correlação positiva entre essas variáveis, em contrapartida, observou-se um contraste entre essas variáveis em relação a MS lenho (Figura 31a). Na PC2, tem-se uma ação conjunta entre as variáveis M.O. e altura de plantas (H) (Figura 31a).

No compartimento galho (Tabela 34) tem-se duas componentes principais que, juntas, explicam 73,55% do conjunto de dados avaliados (Variância acumulada). Na PC1, a variância explicada foi de 49,33% sendo que houve uma ação conjunta entre MS folha, MS galho e acúmulo de K na folha em contraste à MS lenho (Figura 31b). A PC2 teve um total de 23,62% da variância explicada, onde constatou-se uma ação conjunta entre M.O. e altura de plantas (H) (Figura 31b).

Na análise de componentes principais na casca (Figura 31c), na PC1, notou-se uma correlação positiva entre MS galho, MS folha e acúmulo de K no galho, em contrapartida, essas variáveis apresentaram uma alta correlação negativa com a MS lenho, sendo que a variância explicada desta primeira componente principal foi de 49,04% (Tabela 34); para a PC2, constatou-se uma alta correlação negativa entre MS folha em MS lenho, sendo que esta componente principal explicou 28,85% do conjunto de variáveis da componente principal.

Dentro do conjunto de variáveis no compartimento lenho (Tabela 34) tem-se que a PC1 explicou 55,30% dos dados, e a PC2 explicou 21,99% do conjunto de dados, ambas as componentes principais tiveram uma variância acumulada de 77,29%. No conjunto de variáveis explicada pela PC1 observou-se que houve uma correlação positiva entre MS lenho e acúmulo de K no lenho, entretanto, essas variáveis apresentaram uma correlação negativa com MS galho e MS folha (Figura 31d). Com base nos resultados obtidos pode-se inferir quanto maior o acúmulo de K no lenho maior é a matéria seca deste órgão vegetal, e menor é matéria seca nos órgãos folha e galho. Na PC2, há uma ação conjunta entre volume de madeira e K no solo, ou seja, uma maior disponibilidade de K, fornecida pela adubação potássica e a ciclagem de nutrientes, contribuiu para um maior volume de madeira, aumentando assim a produtividade de eucalipto.

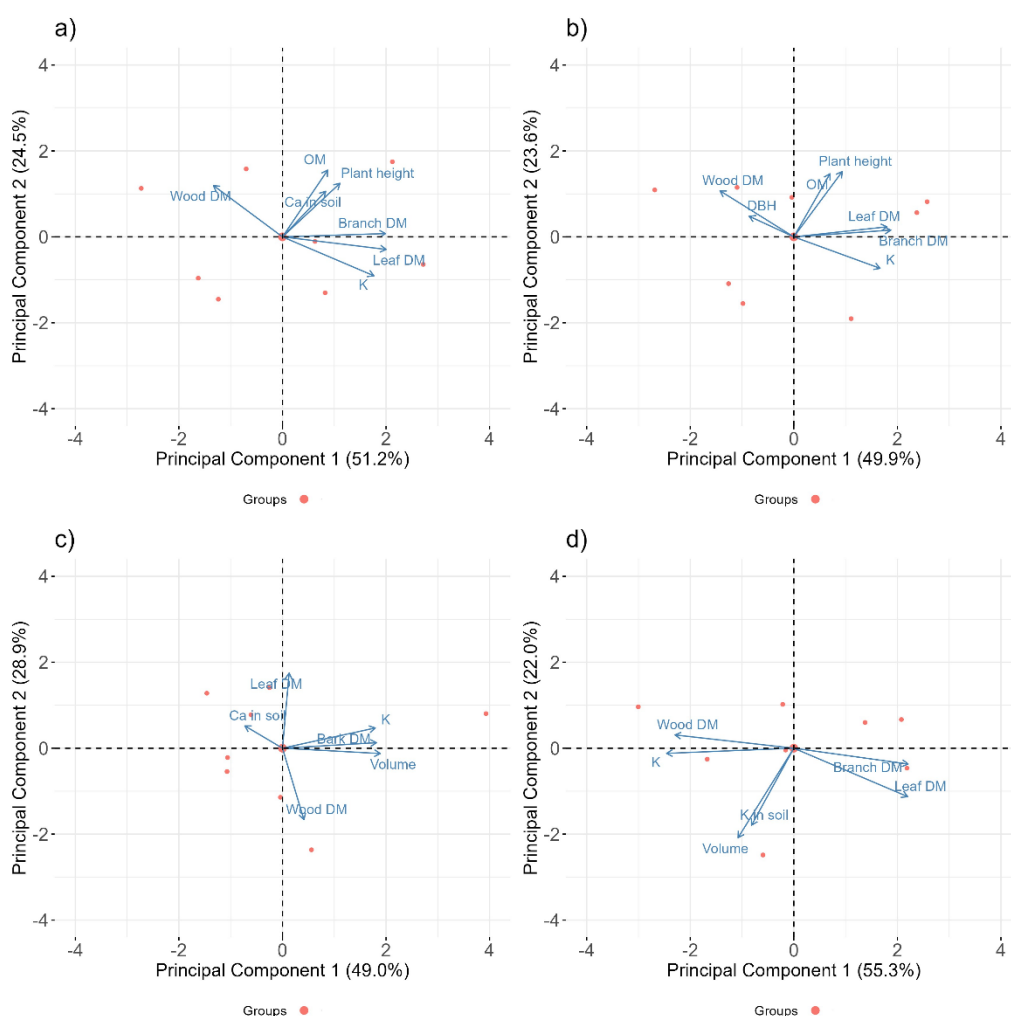
Tabela 34. Autovalores, quantidade de variância explicada e variância acumulada para as variáveis massa seca de folha (MS Folha), massa seca de galho (MS Galho), massa seca do lenho (MS Lenho), acúmulo de N (N) nos compartimentos (folha, galho, casca e lenho), acúmulo de K nos compartimentos (folha, galho, casca e lenho), DAP, altura de plantas (H), Ca no solo, em eucalipto (Híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* - clone I144), em sistema talhadia.

Folha		
Componentes	PC1	PC2
Autovalores	3.58	1.71
Variância explicada (%)	51.17	24.45
Variância acumulada (%)	51.17	75.62
Correlação		
MS folha	0.96	-0.14
MS lenho	-0.64	0.57
MS galho	0.95	0.04
M.O.	0.42	0.75
Altura de plantas (H)	0.53	0.60
Acúmulo de K (Folha)	0.85	-0.43
Ca no solo	0.40	0.51
Interpretação	Ação conjunta entre MS folha, MS galho e acúmulo de K na folha em contraste à MS lenho	Ação conjunta entre M.O. e altura de plantas (H)
Galho		
Autovalores	3.50	1.65
Variância explicada (%)	49.93	23.62
Variância acumulada (%)	49.93	73.55
Correlação		
MS galho	0,95	0,08
MS folha	0,91	0,12
MS lenho	-0,72	0,54

M.O.	0,35	0,74
DAP	-0,44	0,24
H	0,47	0,77
Acúmulo de K no galho	0,84	-0,37
Interpretação	Ação conjunta entre MS galho, MS folha e acúmulo de K no galho em contraste à MS lenho	Ação conjunta entre M.O. e altura de plantas (H)
Casca		
Autovalores	2,94	1,73
Variância explicada (%)	49,04	28,85
Variância acumulada (%)	49,04	77,89
Correlação		
MS casca	0,95	0,07
MS folha	0,07	0,91
MS lenho	0,22	-0,87
V	0,99	-0,06
Acúmulo de K na casca	0,94	0,25
Ca no solo	-0,38	0,27
Interpretação	Ação conjunta entre MS casca, volume (V) e acúmulo de K na casca	MS folha em contraste com MS lenho
Lenho		
Autovalores	3,32	1,32
Variância explicada (%)	55,30	21,99
Variância acumulada (%)	55,30	77,29
Correlação		
MS lenho	0,87	-0,12
MS galho	-0,84	0,14
MS folha	-0,84	0,43
V	0,41	0,79
Acúmulo de K no lenho	0,94	0,05
K no solo	0,31	0,68
Interpretação	Ação conjunta entre MS lenho e acúmulo de K no lenho em contraste com MS galho e MS folha	Ação conjunta entre V e K no solo

V - volume total de madeira, MS - massa seca, DAP - diâmetro a altura do peito, K - Potássio, Ca - Cálcio Valores em negrito usada para interpretação do componente principal ($R > |0,6|$).

Figura 31. Gráfico Biplot dos componentes principais PC1 e PC2 da análise de componentes principais com todos os pontos amostrais nos compartimentos (folha, galho, casca e lenho) e as seguintes variáveis: **(a)** M.O., altura de plantas (H) MS Lenho, Ca no solo, MS Galho, MS Folha, K. **(b)** M.O., altura de plantas (H), MS Lenho, diâmetro a altura do peito (DAP), MS Galho, K, MS Folha. **(c)** Volume, Ca no solo, MS Folha, MS Casca, K, MS Lenho. **(d)** MS Lenho, K, Ca no solo, Volume (V), MS Galho, MS Folha.



OM – Matéria orgânica; Plant height – Altura de plantas (H); Volume – Volume total de madeira (V); DBH – Diâmetro à altura do peito (DAP); Leaf DM – Matéria seca de folha; Bark DM – Matéria seca de casca; Branch DM – Matéria seca de galho; Wood DM – Matéria seca de lenho; K – Acúmulo de K nos compartimentos (folha, galho, casca e lenho); Ca in soil – Ca no solo; K in soil – K no solo. Fonte: Própria autora.

Por meio da análise de componentes principais (ACP) nos compartimentos do eucalipto (folha, galho, casca e lenho), apresentado na Tabela 35, pode-se verificar a formação de duas componentes principais, a PC1 explicou 41,63% da variância dos

dados, enquanto a PC2 explicou 24,21% do conjunto de dados, totalizando 65,85% da variância acumulada.

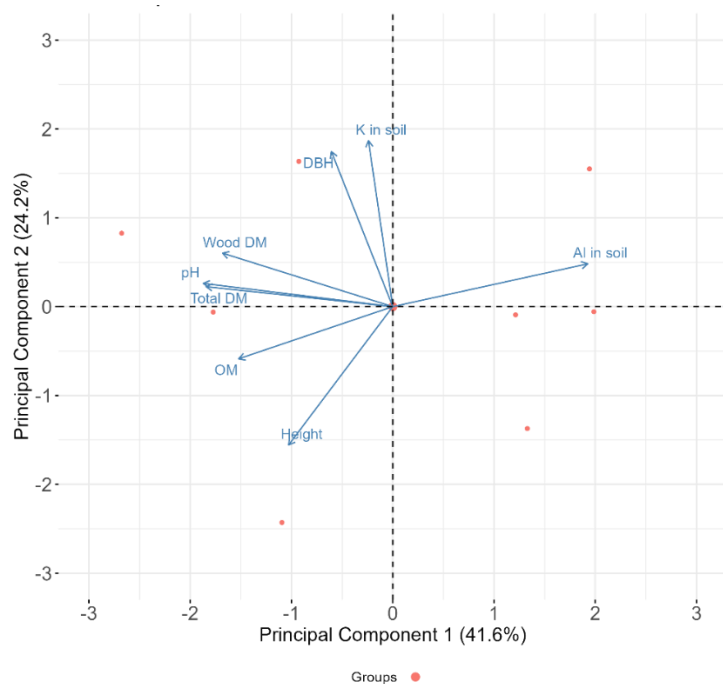
O PC1 apresentou correlação positiva entre o conjunto de dados das variáveis: MS total, MS lenho, pH e M.O. (Figura 32), indicando que o aumento da massa seca do lenho e massa seca total estão altamente correlacionados com o aumento no pH do solo e aumento no teor de M.O. do solo, demonstrando a importância da ciclagem de nutrientes para o aumento de produtividade. Em contrapartida, notou-se que há um contraste entre essas mesmas variáveis e o teor de Al no solo (Figura 32). Tal fato, ocorre porque mesmo o eucalipto sendo uma planta resistente altos teores de alumínio no solo (GODOI, 2020), pode haver uma redução no volume de madeira produzido em decorrência da diminuição da matéria seca do lenho.

Tabela 35. Autovalores, quantidade de variância explicada e variância acumulada para as variáveis massa seca de folha (MS Folha), massa seca de galho (MS Galho), massa seca do lenho (MS Lenho), acúmulo de N (N) nos compartimentos (folha, galho, casca e lenho), acúmulo de Mg (Mg) na folha, galho, casca e lenho, diâmetro a altura do peito (DAP), volume total de madeira (V), pH, saturação por bases (V%), Mg no solo, no segundo ciclo de eucalipto (Híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* - clone I144), em cultivo talhadia.

Total		
Componentes	PC1	PC2
Autovalores	3.33	1.94
Variância explicada (%)	41.63	24.21
Variância acumulada (%)	41.63	65.85
Correlação		
MS total	0,81	0,10
MS lenho	0,74	0,26
H	0,45	-0,68
DAP	0,27	0,77
K no solo	0,11	0,82
pH	0,82	0,12
Al no solo	-0,85	0,21
M.O.	0,67	-0,26
Interpretação	Ação conjunta entre MS total, MS lenho, pH e M.O. em contraste com Al no solo	Ação conjunta entre DAP e K no solo em contraste com altura de plantas (H)

MS - massa seca, DAP - diâmetro a altura do peito, H – Altura de plantas K - Potássio, Ca – Cálcio, M.O. – Matéria orgânica do solo Al - Alumínio Valores em negrito usada para interpretação do componente principal ($R > |0,6|$).

Figura 32. Gráfico Biplot dos componentes principais PC1 e PC2 da análise de componentes principais com todos os pontos amostrais e as seguintes variáveis: MS Lenho, MS Total, DAP, altura (H), pH, M.O., Al no solo, K no solo.



OM – Matéria orgânica; Height – Altura de plantas (H); Volume – Volume total de madeira (V); DBH – Diâmetro à altura do peito (DAP); Wood DM – Matéria seca de lenho; Total DM – Matéria seca total; Al in soil – Al no solo; K in soil – K no solo. Fonte: Propria autora.

6 CONCLUSÕES

6.1 Experimento de nitrogênio

Foi possível verificar o efeito residual diferenciado de doses de nitrogênio e principalmente da reaplicação deste nutriente na absorção e acúmulo de nutrientes nas folhas, galhos, casca, lenho e total da parte aérea de eucalipto cultivado no Cerrado, em solo arenoso de baixa fertilidade.

A reaplicação de nitrogênio proporciona maiores acúmulos de P e Mg na biomassa das folhas, acúmulos de P e Ca na biomassa dos galhos e acúmulos totais de N, P, K, Mg e S na parte aérea do eucalipto.

A adubação nitrogenada residual e a reaplicação de nitrogênio pouco influenciam o crescimento do eucalipto em sistema talhadia. Entretanto, com a reaplicação de nitrogênio, as biomassas de lenho e total do eucalipto foram maiores.

A Análise de Correlação Canônica demonstra que existe forte correlação linear entre os dois grupos formados, onde evidencia-se que o volume total de madeira tem grande dependência do acúmulo dos macronutrientes na parte aérea do eucalipto.

6.2 Experimento de fósforo

A reaplicação de P_2O_5 proporciona maiores acúmulos de Mg nas folhas e de Ca nos galhos do eucalipto, aumenta o DAP, o volume de madeira e a biomassa da parte aérea do eucalipto em sistema talhadia em região de Cerrado.

O residual da adubação fosfatada proveniente do primeiro ciclo também contribui para o crescimento radial do lenho, sendo que a maior dose residual de P_2O_5 incrementa o volume de madeira do eucalipto no sistema Talhadia.

A Análise de Componentes Principais deste experimento, indica a existência de uma correlação negativa entre a altura de plantas e o DAP, com redução da biomassa de galho, folha e casca e menor acúmulo de fósforo nos órgãos estudados com maior crescimento em altura da planta. A análise de correlação canônica corrobora com os resultados da análise de componentes principais, em que o acúmulo na biomassa dos compartimentos favorece o incremento no diâmetro do caule e consequentemente o aumento do volume de madeira de eucalipto.

6.3 Experimento de potássio

O residual de doses de K_2O influencia positivamente as biomassas da folha, lenho e total, e aumenta linearmente a altura de planta e volume de madeira do eucalipto. A reaplicação da adubação potássica não interfere no crescimento e produtividade do eucalipto, porém aumenta a biomassa total da planta com expectativa de respostas futuras, como na ocasião da colheita em sistema Talhadia.

Em solo arenoso e de baixa fertilidade, o aumento da massa seca do lenho e massa seca total do eucalipto estão altamente correlacionados com o aumento no pH e do teor de matéria orgânica do solo, demonstrando a importância da ciclagem de nutrientes para o aumento de produtividade.

6.4 Experimentos de nitrogênio, fósforo e potássio

A Análise de Componentes Principais, aplicada aos três experimentos (N, P e K), contribui para a redução da dimensionalidade dos dados, sendo possível correlacionar variáveis dentro de cada experimento estudado.

Esta pesquisa gerou informações que podem auxiliar no manejo da adubação mineral com N, P e K do eucalipto em sistema Talhadia, buscando suprir a necessidade atual de recomendações de adubação para as brotações, que atualmente encontram-se em crescente expansão no território brasileiro, em especial no Cerrado Sul Matogrossense, com o intuito de se aumentar a produtividade de madeira com maior sustentabilidade do sistema florestal.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS - ABRAF. **Anuário estatístico da ABRAF 2012**: ano base 2011. Brasília, DF, 2013. 148 p.

AMORIM, V. S. S.; MONTEIRO, K. M. S.; SOUSA, G. O.; DAMASCENA, J. F.; PEREIRA, J. A.; MORAES, W. dos S. The environmental benefits of eucalyptus planting: literature review. **Research, Society and Development**, Itabira, v. 10, n. 11, DOI: 10.33448/rsd-v10i11.19604. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/19604>. Acesso em: 7 mar. 2024.

ARAUJO, K. Z.; WINK, C.; LANGE, A.; MOREIRA, I. D. A.; CURTO, R. D. A. Eficiência de utilização de nutrientes pelo eucalipto em sistema agrossilvipastoril. **Nativa**, Sinop, v. 8, n. 2, p. 260–268, 2020.

ASSIS, C. O.; TRUGILHO, P. F.; GOULART, S. L.; ASSIS, M. R.; BIANCHI, M. L. Effect of Nitrogen Application on the Production and Quality of Wood and Charcoal from a Hybrid of *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. **Florestas e Meio Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 1, p. 1-8, 2018.

BAIERO, D. S. **Análise silvicultural de clones de eucalipto em alto fuste e talhadia em sistema silvipastoril**. 2017. 52 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2017.

BARROS FILHO, N. F. de. **Discriminação isotópica do ¹³C e nutrição com cálcio e boro em clones submetidos ao déficit hídrico**. 2014. 73 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2014.

BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. Eucalypt nutrition and fertilizer regimes in Brazil. In: ATTIWILL, P. M.; ADAMS, M. A. **Nutrition of the eucalypts**. Collingwood: CSIRO, 1996. p. 335-356.

BASSACO, M.V.M.; MOTTA, A. C. V.; PAULETTI, V. *et al.* Nitrogen, phosphorus, and potassium requirements for *Eucalyptus urograndis* plantations in southern Brazil. **New Forests**, Dordrecht, v. 49, p. 681–697, 2018.

BAZANII, J. H.; GONÇALVES, J. L. M.; ROCHA, J. H.T.; MELO, E. S. A. C.; PRIETO, M. Nutrição fosfatada em plantações de eucalipto. **International Plant Nutrition Institute (IPNI)**, Piracicaba, n. 148, p. 28, 2014.

BATTIE-LACLAU, P.; DELGADO-ROJAS, J. S.; CHRISTINA, M.; NOUVELLON, Y.; BOUILLET, J. P.; DE CASSIA PICCOLO, M.; MOREIRA, M. Z.; GONÇALVES, J. L. G.; ROUPSARD, O.; LACLAU, J. -P. Potassium fertilization increases water-use efficiency for stem biomass production without affecting intrinsic water-use efficiency in *Eucalyptus grandis* plantations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 364, p. 77-89, 2016.

BENTANCOR, L.; HERNÁNDEZ, J.; DEL PINO, A.; CALIFRA, A.; RESQUÍN, F.; GONZÁLEZ-BARRIOS, P. Evaluation of the biomass production, energy yield and nutrient removal of *Eucalyptus dunnii* Maiden grown in short rotation coppice under two initial planting densities and harvest systems. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 122, p. 165-174, 2019.

CANTARELLA, H.; MATTOS JUNIOR, D. Nitrogênio. *In.*: CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; MATTOS JUNIOR, D.; BOARETTO, R. M.; van RAIJ, B. **Boletim 100**: Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), 2022. p. 86-94.

CARDOZO, L. S. **Potássio na cultura do Eucalipto**: uma revisão bibliométrica. 2021. 33 f. Trabalho de Conclusão de Curso. Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Dracena, SP. 2021.

CIPRIANI, H. N.; VIEIRA, A. H.; MENDES, A. M.; MARCOLAN, A. L. Crescimento inicial de clones de eucalipto em função de doses de P e K em Porto Velho, Rondônia. *In.*: SIMPÓSIO DE CIÊNCIA DO SOLO DA AMAZÔNIA OCIDENTAL, Humaitá: SBSCS, 2012. **Anais [...]** n. 1, p. 1-4, 2012.

CORNUT, I., MAIRE, G. L. E., LACLAU, J. P.; GUILLEMOT, J., MARESCHAL, L., NOUVELLON, Y.; DELPIERRE, N. Potassium limitation of wood productivity: A review of elementary processes and ways forward to modelling illustrated by *Eucalyptus* plantations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 494, p. 119275, 2021.

DICK, G., SCHUMACHER, M. V., MOMOLLI, D. R., GUIMARÃES, C. D. C., SOUZA, H. P. D.; LUDVICHAK, A. A. Micronutrientes e biomassa em povoamento de *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 41, 2017.

FERNANDEZ, J.Q.P.; DIAS, L.E.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; MORAES, E.J. Productivity of *Eucalyptus camaldulensis* affected by rate and placement of two phosphorus fertilizers to a Brazilian Oxisol. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 127, p. 93-102, 2000.

FERREIRA, A. C. F. **Efeito do manejo de resíduos da colheita e da adubação no crescimento do eucalipto, na absorção de nutrientes e nas frações de fósforo do solo**. 2021. 80 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2021.

FOLTRAN, E. C.; ROCHA, J. H. T.; BAZANI, J. H.; GONÇALVES, J. L. DE M.; RODRIGUES, M.; PAVINATO, P.; VALDUGA, G. R.; ERRO, J.; GARCIA-MINA, J. M. Phosphorus pool responses under different P inorganic fertilizers for a eucalyptus plantation in a loamy Oxisol, **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 435, p. 170-179, 2019.

GAZOLA, R. N. **Adubação nitrogenada, fosfatada e potássica na cultura do eucalipto (clone i144 - *E. urograndis*)**. 2014. 92 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, SP, 2014.

GAZOLA, R.D.N.; BUZETTI, S.; TEIXEIRA FILHO, M.C.M.; GAZOLA, R.P.D., CELESTRINO, T.D.S.; SILVA, A.C.D.; SILVA, P.H.M.D. Adubação potássica de eucalipto em um Neossolo em cerrado de baixa altitude. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 43, 2019.

GATTO, A.; A. BUSSINGUER, P.; RIBEIRO, F. C.; AZEVEDO, G. B.; BUENO, M. C.; MONTEIRO, M. M.; SOUZA, P. F. Uso e Manejo do Solo: Ciclagem e balanço de nutrientes no sistema solo-planta em um plantio de *Eucalyptus* sp., no Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 38, 2014.

GARLET, C. **Balanço nutricional e sustentabilidade da produtividade de povoamentos de *Eucalyptus dunnii* Maiden em função do método de colheita da madeira**. 2021. 72 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Santa Maria, RS, 2021.

GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L.; LACLAU, J. P.; BOUILLET, J. P.; RANGER, J. Assessing the effects of early silvicultural management on long-term site productivity of fast-growing eucalypt plantations: the Brazilian experience. **Southern Forests**, Londres, v. 70, n. 2, p. 105-118, 2008.

GONÇALVES, J. L. M. 1995. Recomendações de fertilização para eucalipto, pinus e espécies típicas da Mata Atlântica. **Documentos Florestais**, Piracicaba, v. 15, p. 1-23, 1995.

GONÇALVES, J. L. M.; ALVARES, C. A.; BEHLING, M.; ALVES, J. M.; PIZZI, G. T.; ANGELI, A. Produtividade de plantações de eucalipto manejadas nos sistemas de alto fuste e talhadia, em função de fatores edafoclimáticos. **Revista Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 103, p. 411-419, 2014.

GONÇALVES J.L.M., ALVARES C.A., HIGA A.R, SILVA L.D., ALFENAS A.C., STAHL J., FERRAZ S.F.D, LIMA W.D.P., BRANCALION P.H.S., HUBNER A., BOUILLET J.P.D., LACLAU J.P., NOUVELLON Y., EPRON, D. Integrating genetic and silvicultural strategies to minimize abiotic and biotic constraints in Brazilian eucalyptus plantations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 301, p 6–27, 2013.

GODOI, N. M. I. **Adubação e residual de doses de nitrogênio, fósforo e potássio no eucalipto em sistema de talhadia no Cerrado**. 2020. 119 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira – SP, 2020.

GOOGLE EARTH. **Google Earth website**. Disponível em: <https://earth.google.com/web/@-20.57523607,-51.84605478,312.06419425a,477.09934038d,35y,0.00000001h,0.20273296t,0.00000085r/data=OgMKATA>. Acesso em: 09 set. 2021.

GRACIANO, C.; GOYA, J. F.; FRANGI, J. L.; GUIAMETA, J. J. Fertilization with phosphorus increases soil nitrogen absorption in young plants of *Eucalyptus grandis*. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 236, n. 2–3, p. 202-210, 2006.

HAIR, J. F.; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.L.; BLACK, W. Multivariate Data Analysis. **Prentice Hall**, Richmond, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura 2021**. v. 36. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/74/pevs_2021_v36_informativo.pdf. Acesso em: 10 ago. 2021.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ. **Indicators of Performance of the National Sector of Planted Trees for the Year 2020**. Report IBÁ-2021. São Paulo: IBÁ, 2021. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorioiba2021-compactado.pdf. Acesso em: 10 ago. 2021.

KOPPEN. Climate Classification Climatology. **Encyclopedia Britannica**. [S. l.], 1936.

LACERDA, M. O. **Diferenciação de espécies de Eucalipto usando análise multivariada e espectroscopia no infravermelho**. 2022. 46 f. Dissertação (Dissertação em Ciência dos Materiais) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande – MS, 2022.

LIMA, A. S. F.; GONÇALVES, J. L. M.; GONÇALVES, A. N. Efeito da omissão de nutrientes em brotações de eucalipto. **Nucleus**, Ituverava, v. 14, n. 1, p. 147-160, 2017. DOI: 10.3738/1982.2278.2836

LIMA NETO, A. J.; NEVES, J. C. L.; MARTINEZ, H. E. P.; SOUSA, J. S.; FERNANDES, L. V. Nutrient accumulation and nutritional efficiency in eucalyptus, **Journal of Plant Nutrition**, Londres, v. 44, n. 16, p. 2421-2434, 2021. DOI: https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1899212

LIMA, E. S. **Variabilidade espacial dos atributos do solo e de propriedades dendrométricas do eucalipto**. 2019. 139 f. Tese (Doutorados em Engenharia agrícola) - Faculdade de engenharia agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP, 2019.

MAEDA, S.; BOGNOLA, I. A. Influência de calagem e adubação fosfatada no crescimento inicial de eucalipto e nos níveis críticos de P. **Pesquisa florestal brasileira**, Colombo, v. 32, n. 72, p. 401-407, 2012.

MASSAD, M. D. **Dinâmica nutricional e fertilização de povoamentos de eucalipto**. 2020. 127 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, MG, 2020.

MATEUS, N. D. S.; FERREIRA, E. V. D. O.; ARTHUR JUNIOR, J. C.; DOMECH, J. C.; JORDAN-MEILLE, L.; GONÇALVES, J. L. M.; LAVRES, J. The ideal percentage of K substitution by Na in Eucalyptus seedlings: evidences from leaf carbon isotopic composition, leaf gas exchanges and plant growth. **Plant Physiology and Biochemistry**, Issy les Moulineaux Cedex, v. 137, p. 102-112, 2019.

MATTOS JUNIOR, D.; BOARETTO, R. M.; QUAGGIO, J. A. Potássio. In.: CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; MATTOS JUNIOR, D.; BOARETTO, R. M.; van RAIJ, B. **Boletim 100: Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), p. 106-112, 2022.

MARÔCO, J. **Análise de equações estruturais: fundamentos teóricos, software e aplicações**. Pero Pinheiro, 2010.

MELO, E. A. S. C.; GONÇALVES, J. L. M.; ROCHA, J. H. T.; HAKAMADA, R.; BAZANI, E. J. H.; WENZEL, A. V. A.; ARTHUR JUNIOR, J. C.; BORGES, J. S.; MALHEIROS, R.; DE LEMOS, C. C. Z.; FERREIRA, E. V. O.; FERRAZ, A. V. Responses of clonal eucalypt plantations to N, P and K fertilizer application in different edaphoclimatic conditions. **Forests**, Basel, v. 7, n. 2, 2015.

OLIVEIRA, E. B.; PINTO JUNIOR, J. E. **O eucalipto e a Embrapa: quatro décadas de pesquisa e desenvolvimento**. Brasília, DF: Embrapa, 2021.

OLIVEIRA, D.P.F.D. **Aplicação de água residuária e lodo e seu impacto sobre o desenvolvimento inicial de *Eucalyptus urophylla***. 2020. 92 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, SP, 2020.

ORTIGOZA, F. S. S.; SENNA, R. J. Caracterização do segmento de florestas plantadas de eucalipto em Mato Grosso do Sul. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, DF, v. 25, n. 2, 2016.

PROTÁSIO, T. P.; TRUGILHO, P. F.; NEVES, T. A.; VIEIRA, C. M. M. Canonical correlation analysis between characteristics of Eucalyptus wood and charcoal. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 95, p. 317-326, 2012.

QUAGGIO, J. A.; MATTOS JUNIOR, D.; van RAIJ, B. Fósforo. In.: CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; MATTOS JUNIOR, D.; BOARETTO, R. M.; van RAIJ, B. **Boletim 100: recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), 2022. p. 95-105.

RAIJ, B. van.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Chemical analysis for fertility evaluation of tropical soils**. Campinas: IAC, 2001. 285 p.

R Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, 2021.

REIS, G. G.; REIS, M. G. F. Fisiologia da brotação de eucalipto com ênfase nas suas relações hídricas. **Série técnica IPEF**, Piracicaba, v. 11, n. 30, p. 9-22, 1997.

ROCHA, J.H.T.; WENZEL, A.V.A.; MELO, E.A.S.C.; LIMA, Â.S.F.; HAKAMADA, R.E.; DE VICENTE FERRAZ, A.; ARTHUR JUNIOR, J.C.; GONÇALVES, J.L.D.M.; MOREIRA, G.; GONÇALVES, A.N. Responses of coppiced Eucalyptus to macro and micronutrient application. **New Forests**, Dordrecht, v. 50, p. 717–731, 2019.

ROCHA, J. H. T.; WENZEL, A. V. A.; MELO, E. A. S. C. Responses of coppiced Eucalyptus to macro- and micronutrient application. **New Forest**, Dordrecht, v. 50, p. 717–731, 2019.

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

SANTOS, E. F., MATEUS, N. S., ROSARIO, M. O., GARCEZ, T. B., MAZZAFERA, P., & LAVRES, J. (2021). Enhancing potassium content in leaves and stems improves drought tolerance of eucalyptus clones. **Physiologia Plantarum**, Lund, v. 172, n. 2, 552-563.

SCHUMACHER, M. V.; CORRÊA, R. S.; VIERA, M.; ARAÚJO, E. F. Produção e decomposição de serapilheira em um povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* maidenii. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 3, 2013.

SETTE JR, C. R.; TOMAZELLO FILHO, M.; DIAS, C. T. S.; LACLAU, J. P. Crescimento em diâmetro do tronco das árvores de Eucalyptus grandis W. Hill. ex. Maiden e relação com as variáveis climáticas e fertilização mineral. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 3-4, n. 6, 2010.

SHIKER, M. A. K. Análise estatística multivariada. **British Journal of Science**, Cambridge, v. 1, p. 55-66, 2012.

SILVA, N. F. D.; BARROS, N. F. D.; NEVES, J. C. L.; SCHULTHAIS, F.; NOVAIS, R. F. D.; MATTIELLO, E. M. Yield and Nutrient Demand and Efficiency of Eucalyptus under Coppicing Regime. **Forests**, Basel, v. 11, n. 8, p. 852, 2020.

SILVA, A. J., CUNHA, F. F., RIBEIRO, D. O., SANTOS, G. A., ROQUE, C. G., & OLIVEIRA, J. T. . Influência da adubação ao rendimento de eucalipto em sistema de integração lavoura pecuária e floresta. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 51, p. 1-8, 2023.

SILVA, J. J. N.; DE MELLO, W. Z.; RODRIGUES, R. A. R.; ALVES, B. J. R.; SOUZA, P. A.; CONCEIÇÃO, M. C. G. Ciclagem de nitrogênio em florestas tropicais e plantações de eucalipto no Brasil no antropoceno. **Revista Virtual de Química**, Niterói, v. 10, n. 6, p. 1792-1808, 2018.

SILVA, O. M. D. C., NIERI, E. M., SANTANA, L. S., ALMEIDA, R. S., ARAÚJO, G. D. C. R., BOTELHO, S. A., & MELO, L. A. D. Adubação fosfatada no crescimento inicial de sete espécies florestais nativas destinadas à recuperação de uma área degradada. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 32, 371-394, 2022.

SILVA, P. H. M. **Impacts of doses and split fertilization on productivity, leaching and nutrient cycling in eucalypt plantation.** 2011. 116 f. Tese (PhD in Forestry Sciences/Resources) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, Brasil, 2011. DOI:

<https://doi.org/10.11606/T.11.2011.tde-14022012-102542>

SOARES, G. M. **Dinâmica do crescimento e eficiência do uso da água de clones de *Eucalyptus spp.* submetidos a omissão de potássio.** 2020. 135 f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, Brasil, 2020.

SOUZA, M. S., JARDIM, A. M. D. R. F., JÚNIOR, G. D. N. A., SILVA, J. R. I., LEITE, M. L. D. M. V., TEIXEIRA, V. I., & DA SILVA, T. G. F. Ciclagem de nutrientes em ecossistemas de pastagens tropicais. **Pubvet**, Maringa, v. 12, p. 172, 2018.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal e desenvolvimento vegetal. **Artmed**, Porto Alegre, 6. ed., 888 p., 2017.

VAN RAIJ, B.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais. **Instituto Agronômico de Campinas (IAC)**, Campinas, p. 285, 2001.

Vargas, G. R. de; Bianchin, J. E.; Blum, H.; Wagner, W. Dinâmica da acumulação de fitomassa e nutrientes na serapilheira sob plantios clonais de eucalipto. **Nativa**, Sinop, v. 7, n. 1, p. 84–93, 2019.

VIANA B.N.; PONTES K.V. Investigação e predição de teores de extrativos em madeira de eucalipto com base no modelo de análise de componente principal e redes neurais. *In*: CONGRESSO INTERNACIONAL DE CELULOSE E PAPEL, São Paulo, v. 52, 2019. **Anais [...]** São Paulo: ABTCP, 2019. p. 22-24.

WIRABUANA, P. Y. A. P.; SADONO, R.; JUNIARSO, S. Fertilization Effects on Early Growth, Aboveground Biomass, Carbon Storage, and Leaf Characteristics of *Eucalyptus pellita* F. Muell. in South Sumatera. **Journal Management Hutan Tropika**, Bogor, v. 25, n. 3, p. 154, 2019.