

ANDERSON ROMÃO DOS SANTOS

**QUALIDADE DO SOLO E DESEMPENHO DO CAFEEIRO ARÁBICA
INFLUENCIADOS PELA APLICAÇÃO DE GESSO E COMPOSTO ORGÂNICO E
PELO CULTIVO DE BRAQUIÁRIA NAS ENTRELINHAS**

BOTUCATU

2024

ANDERSON ROMÃO DOS SANTOS

**QUALIDADE DO SOLO E DESEMPENHO DO CAFEEIRO ARÁBICA
INFLUENCIADOS PELA APLICAÇÃO DE GESSO E COMPOSTO ORGÂNICO E
PELO CULTIVO DE BRAQUIÁRIA NAS ENTRELINHAS**

Tese apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus
de Botucatu, para obtenção do título de
Doutor em Agronomia (Agricultura).

Orientador: Dr. Rogério Peres Soratto

Coorientador: Dr. Renan José Parecido

Botucatu

2024

R761q Romão dos Santos, Anderson
Qualidade do solo e desempenho do cafeeiro arábica influenciados pela aplicação de gesso e composto orgânico e pelo cultivo de braquiária nas entrelinhas / Anderson Romão dos Santos. -- Botucatu, 2024
264 p. : il., tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu
Orientador: Rogério Peres Soratto

1. Coffea arabica. 2. gessagem. 3. adubação orgânica. 4. Urochloa ruziziensis. 5. qualidade do solo. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Dados fornecidos pelo autor(a).

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: QUALIDADE DO SOLO E DESEMPENHO DO CAFEEIRO ARÁBICA INFLUENCIADOS
PELA APLICAÇÃO DE GESSO E COMPOSTO ORGÂNICO E PELO CULTIVO DE
BRAQUIÁRIA NAS ENTRELINHAS

AUTOR: ANDERSON ROMÃO DOS SANTOS

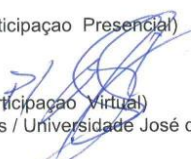
ORIENTADOR: ROGÉRIO PERES SORATTO

COORIENTADOR: RENAN JOSÉ PARECIDO

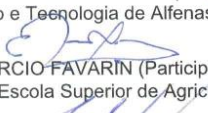
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Agronomia (Agricultura),
pela Comissão Examinadora:



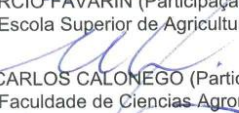
Prof. Dr. ROGÉRIO PERES SORATTO (Participação Presencial)
Produção Vegetal / FCA UNESP Botucatu



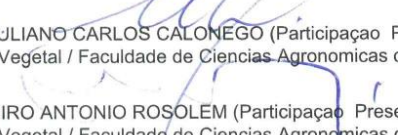
Prof. Dr. JOSÉ RICARDO MANTOVANI (Participação Virtual)
Fundação de Ensino e Tecnologia de Alfenas / Universidade José do Rosário Vellano



Prof. Dr. JOSÉ LAÉRCIO FAVARIN (Participação Presencial)
Produção Vegetal / Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz



Prof. Dr. JULIANO CARLOS CALONEGO (Participação Presencial)
Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu



Prof. Dr. CIRO ANTONIO ROSOLEM (Participação Presencial)
Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu UNESP

Botucatu, 25 de outubro de 2024

Aos meus amados pais,
Maria Ivanda e Edson,
dedico.

AGRADECIMENTOS

Dedico este trabalho aos meus queridos pais, Maria Ivanda Romão Santos e Edson dos Santos, cuja força, dedicação e amor incondicional foram o alicerce de todas as minhas conquistas. Vocês me ensinaram o verdadeiro significado da persistência, da paciência e do respeito pelo conhecimento. Sou grato por estarem sempre ao meu lado e pela confiança que sempre depositaram em mim, essencial para que eu chegasse até aqui. Estendo a todos os meus familiares.

Ao Prof. Dr. Rogério Peres Soratto, expresso minha gratidão, pelos ensinamentos e orientação ao longo da pós-graduação. Sua confiança em meu potencial, paciência nas correções e dedicação foram fundamentais para o desenvolvimento desta Tese.

Ao meu coorientador, Dr. Renan José Parecido, pelo auxílio na execução deste projeto e orientação. Um agradecimento especial a seus pais, Celso Sidney Parecido e Vanda Parecido, que cederam a área para o experimento e realizaram os tratos culturais, além da calorosa acolhida durante as avaliações.

Ao Prof. Dr. Juliano Carlos Calonego, manifesto meu sincero agradecimento pela orientação nas avaliações e pela generosa disponibilização dos equipamentos necessários. Meu agradecimento também se estende aos seus orientados, que muito me auxiliaram e, considero como grandes amigos: Celismar Oliveira, Ivanayra Mendes, Half Jordão e Marcela Pacola.

Ao Prof. Dr. Ciro Antonio Rosolem, agradeço pela disponibilização dos equipamentos do Laboratório de Relações Solo-Planta, bem como pelo apoio e pelas conversas enriquecedoras sobre a pesquisa. Ao Prof. Carlos Alexandre Costa Crusciol, agradeço pelo incentivo, amizade e apoio, que contribuíram para minha caminhada. Ao Prof. Dr. Fernando Broetto, pela amizade e companheirismo. Estendo meu agradecimento a todos os professores da FCA/Unesp.

À Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA), em nome das pesquisadoras Dra. Adriana Novais e Dra. Marildes Neto, agradeço pela colaboração nas avaliações.

Ao meu orientador da graduação, Prof. Dr. José Ricardo Mantovani, sou grato pela oportunidade de estágio no Laboratório de Solos e pelas bolsas de IC, que contribuíram para minha formação e interesse pela área de solos. Agradeço à UNIFENAS pela formação acadêmica e ao NECAFÉ, que despertou minha paixão pela cafeicultura. Agradeço também aos amigos Cesão e Zé Antonio.

Aos funcionários da FCA/Unesp, Iara Brito, Júlia Briquezi, Vinícius Vieira, Darieli Moreto, Valéria Giandoni, Eliane Gonçalves, Cirinho e Casemiro, e aos do CERAT, Elder Mattos, Dição Arruda e João Arruda, sou grato pelo apoio nas avaliações da pesquisa. Ao amigo Vicente Mota, do Laboratório de Ecofisiologia Aplicada à Agricultura (LECA), agradeço pelo auxílio nas avaliações hídricas foliares.

Aos estagiários, Guilherme Gomes, Daniel Piovezan, Rafael Oliveira, Gustavo Fujihara, José Sierra, Ana Júlia Santos, Gabriela Camargo, Gleison Moraes, João Pedro Oliveira, Raul Supriano, Matheus Choe, Raphael Moris e Fabrício Caramello, sou grato pelo auxílio dedicado nas avaliações e pela amizade.

Em especial, aos meus amigos Amanda Gilabel, Bárbara Silva, Westefann dos Santos, Júlio César, Jaqueline Marcon, Gyslane Garreto, Tassiane Sanchez, Francimalba Sousa, Victor Dognani, Jessica Santos, do grupo GEFEM, vocês foram e são importantes na minha vida. Agradeço por cada momento compartilhado, por cada conversa, risada e por estarem ao meu lado nestes anos.

A todos os amigos e colegas da pós-graduação — Andressa Dalla Côt, Lucas Jacomassi, Josiane Oliveira, Renato Costa, Irineu Kuhn, Pedro Alcantara, Luiz G. Moretti, João Bossolani, Letusa Momesso, Aline Oliveira, Ana Paula Silva — além de tantos outros, meu muito obrigado por participarem desta jornada.

Ao amigo Laudelino V. Mota Neto, agradeço pela amizade, companheirismo e pelos anos de convivência que foram extremamente enriquecedores.

Aos companheiros de Botucatu-SP, Eric Takahashi, Amanda Suzuki, Ana Rita Calderaro, Henrique Carnietto, Marcos Hayashi, Murilo Novaes, e tantos outros, por todos os momentos especiais. Vocês fizeram de Botucatu minha segunda casa.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Brasil. Processo nº 2019/12377-8.

Ao CNPQ – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela bolsa de estudos concedida.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

RESUMO

A cafeicultura moderna busca unir produtividade e sustentabilidade por meio de práticas como a aplicação de gesso agrícola, compostos orgânicos e cultivo de plantas de cobertura nas entrelinhas. Essas estratégias melhoram a qualidade do solo e ajudam as plantas a se desenvolverem melhor, especialmente para enfrentar os desafios ambientais e garantir a eficiência da produção agrícola. Nesse contexto, o objetivo do presente estudo foi avaliar os efeitos da aplicação de gesso agrícola e composto orgânico, bem como do cultivo de braquiária [*Urochloa ruziziensis* (R. Germ. and C.M. Evrard) Crins] nas entrelinhas, em atributos químicos e físicos do solo e, conseqüentemente, no crescimento, nutrição, relações hídricas solo-planta e na produtividade da cultura do café arábica (*Coffea arabica* L.; cv. Catuaí IAC 99), por seis safras. O experimento de campo foi instalado em fevereiro de 2017, em um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, textura média, localizado no município de Manduri-SP. O delineamento utilizado foi em blocos casualizados, num esquema fatorial 3×4 e três repetições. Os 12 tratamentos foram constituídos da combinação de três doses de gesso agrícola [controle - sem aplicação de gesso, dose recomendada (1.200 kg ha^{-1}) e dose elevada ($40.000 \text{ kg ha}^{-1}$)], e quatro sistemas de manejo (SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico ($10.000 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ – base úmida) e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas; e CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas). A aplicação da dose elevada de gesso proporcionou melhorias no ambiente químico do solo, com aumento dos teores de Ca^{2+} e SO_4^{2-} no perfil do solo, e redução do Al^{3+} e a saturação por Al. Porém, houve redução dos teores de Mg^{2+} e K^+ aos 17 e 29 meses após a aplicação. Além disso, o gesso aumentou os teores de P disponível no solo, até os 41 meses após a aplicação. Esses efeitos positivos foram observados até 65 meses após a aplicação, sugerindo um benefício prolongado. O cultivo de braquiária elevou a produção de massa seca e contribuiu para incorporação de carbono (C) no sistema. O uso de composto orgânico, por sua vez, incrementou os níveis de C no perfil do solo, promovendo melhor estruturação e agregação, especialmente nas

camadas superficiais. Já a aplicação de gesso em dose elevada melhorou a agregação nas camadas mais profundas do solo. A aplicação de gesso em dose elevada contribuiu para a manutenção do conteúdo de água no solo e reduziu o potencial hídrico foliar, ajudando a manter o teor relativo de água na folha e o índice SPAD. O uso de gesso aumentou significativamente os níveis de Ca e S nas folhas do cafeeiro; no entanto, a aplicação da dose elevada resultou em uma diminuição do teor de Mg nas folhas. Quanto à produtividade de grãos beneficiados, verificou-se maiores valores quando a dose elevada de gesso foi utilizada, especialmente em combinação com o cultivo de braquiária nas entrelinhas, demonstrando uma sinergia positiva entre essas práticas de manejo. Por outro lado, embora tenha elevado o teor de alguns nutrientes nas folhas, o uso de composto orgânico não incrementou o crescimento ou a produtividade do cafeeiro arábica.

Palavras-chave: *Coffea arabica*; gessagem; adubação orgânica; *Urochloa ruziziensis*; qualidade do solo; ciclagem de nutrientes; relações hídricas; estoque de carbono.

ABSTRACT

Modern coffee farming seeks to combine productivity and sustainability through practices such as the application of phosphogypsum, organic composts and the intercropping of cover crops. These strategies improve soil quality and help plants develop better, especially to face environmental challenges and ensure efficient agricultural production. Thus, the objective of this study was to evaluate the effects of the application of phosphogypsum and organic compost, as well as the intercrop cultivation of Congo grass [*Urochloa ruziziensis* (R. Germ. and C.M. Evrard) Crins] in some chemical and physical characteristics of the soil and, consequently, on plant nutrition, growth, and bean yield of Arabica coffee crop (*Coffea arabica* L.; cv. Catuaí IAC 99), for six harvests. The experiment was started on February 2017 in a medium-textured dystrophic Yellow Red Latosol cultivated with arabica coffee, in the municipality of Manduri-SP. The experimental design was a randomized block, in a factorial scheme 3×4 and three replications. The 12 treatments were composed by a combination of three rates of phosphogypsum [control - without application of phosphogypsum, a recommended rate ($1,200 \text{ kg ha}^{-1}$), and a high rate ($40,000 \text{ kg ha}^{-1}$)], and four management systems (SC-SB: absence of organic compost application and absence of Congo grass intercropping; CC-SB: presence of organic compost application ($10,000 \text{ kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ – wet basis) and absence of Congo grass intercropping; SC-CB: absence of organic compost application and presence of Congo grass intercropping; and CC-CB: presence of organic compost application and presence of Congo grass intercropping). The application of high rate of phosphogypsum provided improvements in the chemical environment of the soil, with an increase in the levels of Ca^{2+} and SO_4^{2-} in the soil profile, and a reduction in Al^{3+} and Al saturation. However, there was a reduction in the levels of Mg^{2+} and K^{+} at 17 and 29 months after the application. In addition, phosphogypsum increased the levels of available P in the soil, up to 41 months after the application. These positive effects were found up to 65 months after application, suggesting a prolonged benefit. The cultivation of Congo grass increased the production of dry mass and contributed to incorporation of carbon (C) into the system. The use of organic compost, in turn, increased the levels of C in the soil profile, promoting better structuring and aggregation, especially in the superficial layers. The application of phosphogypsum

at high rate improved aggregation in the deeper soil layers. The application of high rate of phosphogypsum contributed to the maintenance of soil water content and reduced leaf water potential, helping to maintain relative leaf water content and the SPAD index. The use of phosphogypsum significantly increased Ca and S levels in coffee leaves; however, the application of the high rate resulted in a decrease in leaf Mg concentration. Regarding the hulled green-bean yield, higher values were found when a high rate of phosphogypsum was used, especially when combined with the Congo grass intercropping, demonstrating a positive synergy between these management practices. On the other hand, although it has increased the concentrations of some nutrients in the leaves, the use of organic compost did not increase the growth or productivity of Arabica coffee plants.

keywords: *Coffea arabica*; phosphogypsum application; organic fertilization; *Urochloa ruziziensis*; soil quality; nutrient cycling; water relations; carbon stock.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO 1 - ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO INFLUENCIADOS PELA APLICAÇÃO DE GESSO AGRÍCOLA, COMPOSTO ORGÂNICO E O CULTIVO DE BRAQUIÁRIA NAS ENTRELINHAS

- Figura 1 - Esquema representativo das parcelas experimentais, local de aplicação do gesso agrícola (A), aplicação do composto orgânico (B), área mantida sem cultivo de braquiária e/ou plantas de crescimento espontâneo (C) e espaçamento entre fileiras de café (D).....50
- Figura 2 - Teores de matéria orgânica (MOS) no perfil do solo, em quatro épocas de amostragem, em função de doses gesso (0G: 0 kg ha⁻¹; 1200G: 1.200 kg ha⁻¹; 4000G: 40.000 kg ha⁻¹) e dos sistemas de manejo (SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas). Barras horizontais indicam o DMS ($P=0,05$), pelo teste LSD, em cada profundidade.....58
- Figura 3 - Teores de P disponível (P_{resina}) no perfil do solo, em quatro épocas de amostragem, em função de doses gesso (0G: 0 kg ha⁻¹; 1200G: 1.200 kg ha⁻¹; 4000G: 40.000 kg ha⁻¹) e dos sistemas de manejo (SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas). Barras horizontais indicam o DMS ($P=0,05$), pelo teste LSD, em cada profundidade.....59
- Figura 4 - Teores de Ca trocável no perfil do solo, em quatro épocas de amostragem, em função de doses gesso (0G: 0 kg ha⁻¹; 1200G: 1.200 kg ha⁻¹; 4000G: 40.000 kg ha⁻¹) e dos sistemas de manejo (SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas). Barras horizontais indicam o DMS ($P=0,05$), pelo teste LSD, em cada profundidade.....66
- Figura 5 - Teores de Mg trocável no perfil do solo, em quatro épocas de amostragem, em função de doses gesso (0G: 0 kg ha⁻¹; 1200G: 1.200 kg ha⁻¹; 4000G: 40.000 kg ha⁻¹) e dos sistemas de manejo (SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico

e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas). Barras horizontais indicam o DMS ($P=0,05$), pelo teste LSD, em cada profundidade.....67

Figura 6 - Teores de $S-SO_4^{2-}$ no perfil do solo, em quatro épocas de amostragem, em função de doses gesso (0G: 0 kg ha⁻¹; 1200G: 1.200 kg ha⁻¹; 40000G: 40.000 kg ha⁻¹) e dos sistemas de manejo (SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas). Barras horizontais indicam o DMS ($P=0,05$), pelo teste LSD, em cada profundidade..... 74

Figura 7 - Teores de K trocável no perfil do solo, em quatro épocas de amostragem, em função de doses gesso (0G: 0 kg ha⁻¹; 1200G: 1.200 kg ha⁻¹; 40000G: 40.000 kg ha⁻¹) e dos sistemas de manejo (SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas). Barras horizontais indicam o DMS ($P=0,05$), pelo teste LSD, em cada profundidade.....75

Figura 8 - Teores de Al trocável no perfil do solo, em quatro épocas de amostragem, em função de doses gesso (0G: 0 kg ha⁻¹; 1200G: 1.200 kg ha⁻¹; 40000G: 40.000 kg ha⁻¹) e dos sistemas de manejo (SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas). Barras horizontais indicam o DMS ($P=0,05$), pelo teste LSD, em cada profundidade.....82

Figura 9 - Valores de saturação por Al^{3+} no perfil do solo, em quatro épocas de amostragem, em função de doses gesso (0G: 0 kg ha⁻¹; 1200G: 1.200 kg ha⁻¹; 40000G: 40.000 kg ha⁻¹) e dos sistemas de manejo (SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas). Barras horizontais indicam o DMS ($P=0,05$), pelo teste LSD, em cada profundidade.....83

Figura 10- Valores de saturação por bases (V) no perfil do solo, em quatro épocas de amostragem, em função de doses gesso (0G: 0 kg ha⁻¹;

1200G: 1.200 kg ha⁻¹; 40000G: 40.000 kg ha⁻¹) e dos sistemas de manejo (SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas). Barras horizontais indicam o DMS ($P=0,05$), pelo teste LSD, em cada profundidade.....87

CAPÍTULO 2 - ATRIBUTOS FÍSICOS E CARBONO ORGÂNICO DO SOLO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE GESSO AGRÍCOLA, COMPOSTO ORGÂNICO E DO CULTIVO DE BRAQUIARIA NAS ENTRELINHAS

Figura 1 - Esquema representativo das parcelas experimentais, local de aplicação do gesso agrícola (A), aplicação do composto orgânico (B), área mantida sem cultivo de braquiária e/ou plantas de crescimento espontâneo (C) e espaçamento entre fileiras de café (D).....106

Figura 2 - Porosidade total (Pt) do solo nas camadas de 0-0,10 (A), 0,10-0,20 (B); 0,20-0,40 (C) e 0,40-0,60 (D) m de profundidade, em função de doses gesso (0G: 0 kg ha⁻¹; 1200G: 1.200 kg ha⁻¹; 40000G: 40.000 kg ha⁻¹) e dos sistemas de manejo (SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas). Letras distintas, minúsculas para o fator gesso, isolado ou dentro de cada nível do fator sistema de manejo, e maiúsculas para o fator sistema de manejo, isolado ou dentro de cada nível do fator gesso, indicam diferença estatística pelo teste LSD a 5% de probabilidade.....121

Figura 3 - Macroporosidade (Macro) do solo nas camadas de 0-0,10 (A), 0,10-0,20 (B); 0,20-0,40 (C) e 0,40-0,60 (D) m de profundidade, em função de doses gesso (0G: 0 kg ha⁻¹; 1200G: 1.200 kg ha⁻¹; 40000G: 40.000 kg ha⁻¹) e dos sistemas de manejo (SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas). Letras distintas, minúsculas para o fator gesso, isolado ou dentro de cada nível do fator sistema de manejo, e maiúsculas para o fator sistema de manejo, isolado ou dentro de cada nível do fator gesso, indicam diferença estatística pelo teste LSD a 5% de probabilidade.....122

Figura 4 - Microporosidade (Micro) do solo nas camadas de 0-0,10 (A), 0,10-0,20

(B); 0,20-0,40 (C) e 0,40-0,60 (D) m de profundidade, em função de doses gesso (0G: 0 kg ha⁻¹; 1200G: 1.200 kg ha⁻¹; 40000G: 40.000 kg ha⁻¹) e dos sistemas de manejo (SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas). Letras distintas, minúsculas para o fator gesso, isolado ou dentro de cada nível do fator sistema de manejo, e maiúsculas para o fator sistema de manejo, isolado ou dentro de cada nível do fator gesso, indicam diferença estatística pelo teste LSD a 5% de probabilidade.....123

Figura 5 - Diâmetro médio ponderado (DMP) nas camadas de 0-0,10 (A), 0,10-0,20 (B); 0,20-0,40 (C) e 0,40-0,60 (D) m de profundidade, em função de doses gesso (0G: 0 kg ha⁻¹; 1200G: 1.200 kg ha⁻¹; 40000G: 40.000 kg ha⁻¹) e dos sistemas de manejo (SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas). Letras distintas, minúsculas para o fator gesso dentro de cada nível do fator sistema de manejo e maiúsculas para o fator sistema de manejo dentro de cada nível do fator gesso, indicam diferença estatística pelo teste LSD a 5% de probabilidade.....129

Figura 6 - Diâmetro médio geométrico (DMG) nas camadas de 0-0,10 (A), 0,10-0,20 (B); 0,20-0,40 (C) e 0,40-0,60 (D) m de profundidade, em função de doses gesso (0G: 0 kg ha⁻¹; 1200G: 1.200 kg ha⁻¹; 40000G: 40.000 kg ha⁻¹) e dos sistemas de manejo (SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas). Letras distintas, minúsculas para o fator gesso dentro de cada nível do fator sistema de manejo e maiúsculas para o fator sistema de manejo dentro de cada nível do fator gesso, indicam diferença estatística pelo teste LSD a 5% de probabilidade.....130

Figura 7 - Agregados do solo >2,0 mm (%) nas camadas de 0-0,10 (A), 0,10-0,20 (B); 0,20-0,40 (C) e 0,40-0,60 (D) m de profundidade, em função de doses gesso (0G: 0 kg ha⁻¹; 1200G: 1.200 kg ha⁻¹; 40000G: 40.000 kg ha⁻¹) e dos sistemas de manejo (SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas

CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas). Letras distintas, minúsculas para o fator gesso dentro de cada nível do fator sistema de manejo e maiúsculas para o fator sistema de manejo dentro de cada nível do fator gesso, indicam diferença estatística pelo teste LSD a 5% de probabilidade.....131

Figura 8 - Índice de estabilidade de agregados (IEA) nas camadas de 0-0,10 (A), 0,10-0,20 (B); 0,20-0,40 (C) e 0,40-0,60 (D) m de profundidade, em função de doses gesso (0G: 0 kg ha⁻¹; 1200G: 1.200 kg ha⁻¹; 40000G: 40.000 kg ha⁻¹) e dos sistemas de manejo (SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas). Letras distintas, minúsculas para o fator gesso dentro de cada nível do fator sistema de manejo e maiúsculas para o fator sistema de manejo dentro de cada nível do fator gesso, indicam diferença estatística pelo teste LSD a 5% de probabilidade.....132

Figura 9 - Resistência do solo à penetração (Mpa), na projeção da copa, nas camadas 0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,30, 0,30-0,40, 0,40-0,50, 0,50-0,60 e 0,60-0,70 m de profundidade, em função de doses gesso (0G: 0 kg ha⁻¹; 1200G: 1.200 kg ha⁻¹; 40000G: 40.000 kg ha⁻¹) e dos sistemas de manejo (SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas). Barras horizontais indicam o DMS ($P=0,05$), pelo teste LSD, em cada tratamento.....134

Figura 10- Carbono orgânico total (COT) nas camadas de 0-0,10 (A), 0,10-0,20 (B); 0,20-0,40 (C) e 0,40-0,60 (D) m de profundidade, em função de doses gesso (0G: 0 kg ha⁻¹; 1200G: 1.200 kg ha⁻¹; 40000G: 40.000 kg ha⁻¹) e dos sistemas de manejo (SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas). Letras distintas, minúsculas para o fator gesso, isolado ou dentro de cada nível do fator sistema de manejo, e maiúsculas para o fator sistema de manejo, isolado ou dentro de cada nível do fator gesso, indicam diferença estatística pelo teste LSD a 5% de probabilidade.....143

Figura 11- Carbono orgânico particulado (COp) nas camadas de 0-0,10 (A), 0,10-0,20 (B); 0,20-0,40 (C) e 0,40-0,60 (D) m de profundidade, em função

de doses gesso (0G: 0 kg ha⁻¹; 1200G: 1.200 kg ha⁻¹; 40000G: 40.000 kg ha⁻¹) e dos sistemas de manejo (SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas). Letras distintas, minúsculas para o fator gesso, isolado ou dentro de cada nível do fator sistema de manejo, e maiúsculas para o fator sistema de manejo, isolado ou dentro de cada nível do fator gesso, indicam diferença estatística pelo teste LSD a 5% de probabilidade.....144

Figura 12- Carbono orgânico associado aos minerais (COam) nas camadas de 0-0,10 (A), 0,10-0,20 (B); 0,20-0,40 (C) e 0,40-0,60 (D) m de profundidade, em função de doses gesso (0G: 0 kg ha⁻¹; 1200G: 1.200 kg ha⁻¹; 40000G: 40.000 kg ha⁻¹) e dos sistemas de manejo (SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas). Letras distintas, minúsculas para o fator gesso, isolado ou dentro de cada nível do fator sistema de manejo, e maiúsculas para o fator sistema de manejo, isolado ou dentro de cada nível do fator gesso, indicam diferença estatística pelo teste LSD a 5% de probabilidade.....145

Figura 13- Estoque de carbono orgânico (EC) nas camadas de 0-0,10 (A), 0,10-0,20 (B); 0,20-0,40 (C) e 0,40-0,60 (D) m de profundidade, em função de doses gesso (0G: 0 kg ha⁻¹; 1200G: 1.200 kg ha⁻¹; 40000G: 40.000 kg ha⁻¹) e dos sistemas de manejo (SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas). Letras distintas, minúsculas para o fator gesso, isolado ou dentro de cada nível do fator sistema de manejo, e maiúsculas para o fator sistema de manejo, isolado ou dentro de cada nível do fator gesso, indicam diferença estatística pelo teste LSD a 5% de probabilidade.....146

CAPÍTULO 3 - MONITORAMENTO DAS RELAÇÕES HÍDRICAS EM CAFFEEIROS ARÁBICA EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE GESSO AGRÍCOLA, COMPOSTO ORGÂNICO E DO CULTIVO DE BRAQUIÁRIA NAS ENTRELINHAS

- Figura 1 - Dados diários de precipitação pluvial, temperaturas mínimas e máximas, durante o período de 01 abril a 31 de agosto 2021, exemplificando as três épocas de análises realizadas. Manduri-SP.....162
- Figura 2 - Esquema representativo das parcelas experimentais, local de aplicação do gesso agrícola (A), aplicação do composto orgânico (B), área mantida sem cultivo de braquiária e/ou plantas de crescimento espontâneo (C) e espaçamento entre fileiras de café (D).....165
- Figura 3 - Conteúdo de água no solo (CAS), avaliado em abril (A), julho (B) e agosto (C) de 2021, nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60 m de profundidade e a soma das camadas (Total), em função de doses gesso (0G: 0 kg ha⁻¹; 1200G: 1.200 kg ha⁻¹; 40000G: 40.000 kg ha⁻¹) e dos sistemas de manejo (SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas). Letras distintas, minúsculas para o fator gesso, isolado ou dentro de cada nível do fator sistema de manejo, e maiúsculas para o fator sistema de manejo, isolado ou dentro de cada nível do fator gesso, indicam diferença estatística pelo teste LSD a 5% de probabilidade. ^{ns}: não significativo.....171
- Figura 4 - Potencial hídrico foliar (Ψ_w), avaliado em abril (A), julho (B) e agosto (C) de 2021, no período antemanhã, em função de doses gesso (0G: 0 kg ha⁻¹; 1200G: 1.200 kg ha⁻¹; 40000G: 40.000 kg ha⁻¹) e dos sistemas de manejo (SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas). Letras distintas, minúsculas para o fator gesso, isolado ou dentro de cada nível do fator sistema de manejo, e maiúsculas para o fator sistema de manejo, isolado ou dentro de cada nível do fator gesso, indicam diferença estatística pelo teste LSD a 5% de probabilidade.....179
- Figura 5 - Teor relativo de água (TRA), avaliado em abril (A), julho (B) e agosto (C) de 2021, em função de doses gesso (0G: 0 kg ha⁻¹; 1200G: 1.200 kg ha⁻¹; 40000G: 40.000 kg ha⁻¹) e dos sistemas de manejo (SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas). Letras distintas, minúsculas para o fator gesso, isolado ou dentro de cada nível do fator sistema de manejo, e maiúsculas para o fator sistema de manejo, isolado ou dentro de cada nível do fator gesso, indicam diferença estatística pelo teste LSD a 5% de probabilidade.....187

nas entrelinhas CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas). Letras distintas, minúsculas para o fator gesso, isolado ou dentro de cada nível do fator sistema de manejo, e maiúsculas para o fator sistema de manejo, isolado ou dentro de cada nível do fator gesso, indicam diferença estatística pelo teste LSD a 5% de probabilidade.....18

- Figura 6 - Índice SPAD, avaliado em abril (A), julho (B) e agosto (C) de 2021, em função de doses gesso (0G: 0 kg ha⁻¹; 1200G: 1.200 kg ha⁻¹; 40000G: 40.000 kg ha⁻¹) e dos sistemas de manejo (SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas). Letras distintas, minúsculas para o fator gesso, isolado ou dentro de cada nível do fator sistema de manejo, e maiúsculas para o fator sistema de manejo, isolado ou dentro de cada nível do fator gesso, indicam diferença estatística pelo teste LSD a 5% de probabilidade.....181

CAPÍTULO 4 - CRESCIMENTO, NUTRIÇÃO E PRODUTIVIDADE DO CAFEIEIRO ARÁBICA INFLUENCIADOS PELA APLICAÇÃO DE GESSO AGRÍCOLA, COMPOSTO ORGÂNICO E PELO CULTIVO DE BRAQUIARIA NAS ENTRELINHAS

- Figura 1 - Esquema representativo das parcelas experimentais, local de aplicação do gesso agrícola (A), aplicação do composto orgânico (B), área mantida sem cultivo de braquiária e/ou plantas de crescimento espontâneo (C) e espaçamento entre fileiras de café (D).....197
- Figura 2 - Diâmetro do caule (A) e altura de planta (B) de café arábica em doze épocas de avaliação, em função de doses gesso (0G: 0 kg ha⁻¹; 1200G: 1.200 kg ha⁻¹; 40000G: 40.000 kg ha⁻¹) e dos sistemas de manejo (SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas). Barras horizontais indicam o DMS ($P=0,05$), pelo teste LSD, em cada época de avaliação.....217

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1 - ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO INFLUENCIADOS PELA APLICAÇÃO DE GESSO AGRÍCOLA, COMPOSTO ORGÂNICO E O CULTIVO DE BRAQUIÁRIA NAS ENTRELINHAS

Tabela 1 -	Dados de temperatura média e precipitações pluviárias mensais de fevereiro de 2017 a agosto de 2022, Manduri-SP.....	46
Tabela 2 -	Características químicas do solo da área antes da instalação do experimento.....	47
Tabela 3 -	Análise granulométrica da área experimental.....	47
Tabela 4 -	Teores de nutrientes presentes no composto orgânico (base seca) e quantidades aplicadas por ano.....	47
Tabela 5 -	Probabilidade de F e coeficiente de variação para os teores de matéria orgânica (g dm^{-3}) e P disponível (mg dm^{-3}) no perfil do solo, em quatro épocas de avaliação, coletados na projeção da copa dos cafeeiros, em função de doses de gesso agrícola e dos sistemas de manejo (composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas).....	53
Tabela 6 -	Probabilidade de F e coeficiente de variação para os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} (mmolc dm^{-3}) no perfil do solo, em quatro épocas de avaliação, coletados na projeção da copa dos cafeeiros, em função de doses de gesso agrícola e dos sistemas de manejo (composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas).....	62
Tabela 7 -	Probabilidade de F e coeficiente de variação para os teores de S-SO_4^{2-} (mg dm^{-3}) e K^+ (mmolc dm^{-3}) no perfil do solo, em quatro épocas de avaliação, coletados na projeção da copa dos cafeeiros, em função de doses de gesso agrícola e dos sistemas de manejo (composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas).....	70
Tabela 8 -	Probabilidade de F e coeficiente de variação para os teores de Al^{3+} (mmolc dm^{-3}) e saturação por Al^{3+} (m%) no perfil do solo, em quatro épocas de avaliação, coletados na projeção da copa dos cafeeiros, em função de doses de gesso agrícola e dos sistemas de manejo (composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas).....	79
Tabela 9 -	Probabilidade de F e coeficiente de variação para os valores de saturação por bases (%) no perfil do solo, em quatro épocas de avaliação, coletados na projeção da copa dos cafeeiros, em função de doses de gesso agrícola e dos sistemas de manejo (composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas).....	85

CAPÍTULO 2 - ATRIBUTOS FÍSICOS E CARBONO ORGÂNICO DO SOLO FM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE GESSO AGRÍCOLA, COMPOSTO ORGÂNICO DO CULTIVO DE BRAQUIÁRIA NAS ENTRELINHAS

Tabela 1 -	Dados de temperatura média e precipitações pluviárias mensais de fevereiro de 2017 a agosto de 2022, Manduri-SP.....	102
Tabela 2 -	Características químicas do solo da área antes da instalação do experimento.....	103
Tabela 3 -	Análise granulométrica da área experimental.....	103
Tabela 4 -	Teores de nutrientes e carbono orgânico (CO) presentes no composto orgânico (base seca) e quantidades aplicadas por ano.....	106
Tabela 5 -	Massa seca da parte aérea da braquiária e das plantas de crescimento espontâneo, em seis épocas de avaliação, em função de doses de gesso agrícola e dos sistemas de manejo (composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas). Avaliações realizadas em janeiro e abril dos anos de 2018, 2019 e 2020.....	113
Tabela 6 -	Desdobramento da interação entre gesso × manejo para a quantidade de massa seca e o aporte de C, ambos, produzidos em abril de 2018, janeiro de 2019 e 2020.....	114
Tabela 7 -	Aporte de C da parte aérea da braquiária e das plantas de crescimento espontâneo, em seis épocas de avaliação, em função de doses de gesso agrícola e dos sistemas de manejo (composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas). Avaliações realizadas em janeiro e abril dos anos de 2018, 2019 e 2020.....	115
Tabela 8 -	Probabilidade de F e coeficiente de variação para porosidade total (Pt), macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro) e densidade do solo (Ds), nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m de profundidade, em função de doses de gesso agrícola e dos sistemas de manejo (composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas). Avaliações realizadas em agosto de 2020.....	118
Tabela 9 -	Probabilidade de F e coeficiente de variação para diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG), agregados >2,0 mm (>2,0 mm) e o índice de estabilidade de agregados (IEA), nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m de profundidade, em função de doses de gesso agrícola e dos sistemas de manejo (composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas). Avaliações realizadas em agosto de 2020.....	127
Tabela 10 -	Probabilidade de F e coeficiente de variação para a resistência do solo à penetração, nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,30, 0,30-0,40, 0,40-0,50, 0,50-0,60 e 0,60-0,70 m de profundidade, em função de doses de gesso agrícola e dos sistemas de manejo (composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas). Avaliações realizadas em agosto de 2020.....	133
Tabela 11	Probabilidade de F e coeficiente de variação para carbono orgânico	

total (COT), carbono orgânico particulado (COp) e associado aos minerais (COam) e estoque de carbono (EC), nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m de profundidade, em função de doses de gesso agrícola e dos sistemas de manejo (composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas). Avaliações realizadas em agosto de 2020.....137

CAPÍTULO 3 - MONITORAMENTO DAS RELAÇÕES HÍDRICAS EM CAFEEIROS ARÁBICA EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE GESSO AGRÍCOLA, COMPOSTO ORGÂNICO E DO CULTIVO DE BRAQUIARIA NAS ENTRELINHAS

Tabela 1 -	Dados de temperatura média e precipitações pluviárias mensais de fevereiro de 2017 a agosto de 2021, Manduri-SP.....	161
Tabela 2 -	Características químicas do solo da área antes da instalação do experimento.....	162
Tabela 3 -	Análise granulométrica da área experimental.....	163
Tabela 4 -	Teores de nutrientes presentes no composto orgânico (base seca) e quantidades aplicadas por ano.....	166
Tabela 5 -	Probabilidade de F e coeficiente de variação para o conteúdo de água no solo (CAS), nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60 m de profundidade e a soma das camadas (Total), realizadas em três épocas de avaliação, em função de doses de gesso agrícola e dos sistemas de manejo (composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas).....	170
Tabela 6 -	Probabilidade de F e coeficiente de variação para o potencial hídrico (Ψ_w), teor relativo de água (TRA) e o índice relativo de clorofila (SPAD) nas folhas, realizadas em três épocas de avaliação, em função de doses de gesso agrícola e dos sistemas de manejo (composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas).....	174

CAPÍTULO 4 - CRESCIMENTO, NUTRIÇÃO E PRODUTIVIDADE DO CAFEIEIRO ARÁBICA INFLUENCIADOS PELA APLICAÇÃO DE GESSO AGRÍCOLA, COMPOSTO ORGÂNICO E PELO CULTIVO DE BRAQUIARIA NAS ENTRELINHAS

Tabela 1 -	Dados de temperatura média e precipitações pluviárias mensais de fevereiro de 2017 a agosto de 2023, Manduri-SP.....	194
Tabela 2 -	Características químicas do solo da área antes da instalação do experimento.....	194
Tabela 3 -	Análise granulométrica da área experimental.....	195
Tabela 4 -	Teores de nutrientes presentes no composto orgânico (base seca) e	

	quantidades aplicadas por ano.....	198
Tabela 5 -	Massa seca da parte área da braquiária e das plantas de crescimento espontâneo em função da aplicação de gesso agrícola, composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas, avaliações realizadas em janeiro e abril dos anos de 2018, 2019, 2020, 2021 e 2022.....	204
Tabela 6 -	Desdobramento da interação entre gesso × manejo para a quantidade de massa seca produzida em abril de 2018, janeiro de 2019, 2020 e 2021.....	205
Tabela 7 -	Acúmulo de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) na parte área da braquiária e das plantas de crescimento espontâneo, de duas épocas de avaliação somadas (janeiro + abril) de cada ano, em função da aplicação de gesso agrícola, composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas, nos anos agrícolas de 2018 e 2019.....	208
Tabela 8 -	Desdobramento da interação entre gesso × manejo para o acúmulo de P, Ca e S nos anos de 2018 e 2019.....	209
Tabela 9 -	Acúmulo de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) na parte área da braquiária e das plantas de crescimento espontâneo, de duas épocas de avaliação somadas (janeiro + abril) de cada ano, em função da aplicação de gesso agrícola, composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas, nos anos agrícolas de 2020 e 2021.....	211
Tabela 10 -	Desdobramento da interação entre gesso × manejo para o acúmulo de Ca no ano de 2020, Mg e S no ano de 2021 e N e P no ano de 2022.....	212
Tabela 11 -	Acúmulo de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) na parte área da braquiária e das plantas de crescimento espontâneo, de duas épocas de avaliação somadas (janeiro + abril) de cada ano, em função da aplicação de gesso agrícola, composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas, nos anos agrícolas de 2022.....	213
Tabela 12 -	Probabilidade de F e coeficiente de variação para o diâmetro do caule e altura das plantas de café arábica, em doze épocas de avaliação, em função da aplicação de gesso agrícola, composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas.....	216
Tabela 13 -	Teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) nas folhas de café arábica em função da aplicação de gesso agrícola, composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas, nos anos agrícolas de 2018 e 2019.....	219
Tabela 14 -	Desdobramento da interação entre gesso × manejo para os teores foliares de P, Ca, S, Cu, Fe, Mn no ano de 2018 e S, Cu e Fe no ano de 2019.....	220
Tabela 15 -	Teores de micronutrientes (Cu, Zn, Fe, Mn e B) nas folhas de café arábica em função da aplicação de gesso agrícola, composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas, nos anos agrícolas	

	de 2018 e 2019.....	222
ela 16 -	Teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) nas folhas de café arábica em função da aplicação de gesso agrícola, composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas, nos anos agrícolas de 2020 e 2021.....	224
Tabela 17 -	Desdobramento da interação entre gesso × manejo para os teores foliares de Mg, S e Cu no ano de 2020, N e Zn no ano de 2021 e Ca, Cu e Zn no ano de 2022.....	225
Tabela 18 -	Teores de micronutrientes (Cu, Zn, Fe, Mn e B) nas folhas de café arábica em função da aplicação de gesso agrícola, composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas, nos anos agrícolas de 2020 e 2021.....	226
Tabela 19 -	Teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) nas folhas de café arábica em função da aplicação de gesso agrícola, composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas, nos anos agrícolas de 2022 e 2023.....	228
Tabela 20 -	Teores de micronutrientes (Cu, Zn, Fe, Mn e B) nas folhas de café arábica em função da aplicação de gesso agrícola, composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas, nos anos agrícolas de 2022 e 2023.....	229
Tabela 21 -	Produtividade de grãos beneficiados do café arábica, em função da aplicação de gesso agrícola, composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas, nos anos agrícolas de 2018, 2019, 2022, 2021, 2022 e 2023, além da média do período avaliado.....	232
Tabela 22 -	Desdobramento da interação entre gesso × manejo para a produtividade das safras de 2018, 2020, 2021, 2022 e a média das safras do período avaliado.....	233
Tabela 23 -	Teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) nos frutos de café arábica em coco, função da aplicação de gesso agrícola, composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas, nos anos agrícolas de 2018 e 2019.....	238
Tabela 24 -	Desdobramento da interação de gesso × manejo para os teores de P, K, Ca e Mg no ano de 2018 e os teores de N, K e Ca no ano de 2019, nos frutos de café em coco respectivamente.....	239
Tabela 25 -	Teores de micronutrientes (Cu, Zn, Fe, Mn e B) nos frutos de café arábica em coco, função da aplicação de gesso agrícola, composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas, nos anos agrícolas de 2018 e 2019.....	240
Tabela 26 -	Desdobramento da interação de gesso × manejo para os teores de Cu, Zn, Fe e Mn no ano de 2018 e o teor Fe no ano de 2019, nos frutos de café em coco respectivamente.....	241
Tabela 27 -	Teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) nos frutos de café arábica em coco, função da aplicação de gesso agrícola, composto	

	orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas, nos anos agrícolas de 2020 e 2021.....	243
Tabela 28 -	Desdobramento da interação de gesso × manejo para os teores de P e Ca no ano de 2020 e os teores de P, K e Ca no ano de 2021, nos frutos de café em coco respectivamente.....	244
Tabela 29 -	Teores de micronutrientes (Cu, Zn, Fe, Mn e B) nos frutos de café arábica em coco, função da aplicação de gesso agrícola, composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas, nos anos agrícolas de 2020 e 2021.....	245
Tabela 30 -	Teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) nos frutos de café arábica em coco, função da aplicação de gesso agrícola, composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas, nos anos agrícolas de 2022 e 2023.....	247
Tabela 31 -	Desdobramento da interação de gesso × manejo para os teores de P, Ca e Cu no ano de 2022 e os teores de Ca, Fe e B no ano de 2023, nos frutos de café em coco respectivamente.....	248
Tabela 32 -	Teores de micronutrientes (Cu, Zn, Fe, Mn e B) nos frutos de café arábica em coco, função da aplicação de gesso agrícola, composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas, nos anos agrícolas de 2022 e 2023.....	249

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO GERAL.....	31
	CAPÍTULO 1 – ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO INFLUENCIADOS PELA APLICAÇÃO DE GESSO AGRÍCOLA, COMPOSTO ORGÂNICO E O CULTIVO DE BRÁQUIARIA NAS ENTRELINHAS.....	39
1.1	INTRODUÇÃO.....	39
1.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	41
1.2.1	Área experimental e cultivar de café.....	41
1.2.2	Delineamento experimental.....	43
1.2.3	Condução do experimento.....	44
1.2.4	Avaliações realizadas.....	47
1.2.4.1	Atributos químicos do solo.....	47
1.2.5	Análise estatística.....	48
1.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	48
1.4	CONCLUSÕES.....	85
	REFERÊNCIAS	86
	CAPÍTULO 2 – ATRIBUTOS FÍSICOS E CARBONO ORGÂNICO DO SOLO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE GESSO AGRÍCOLA, COMPOSTO ORGÂNICO E DO CULTIVO DE BRAQUIARIA NAS ENTRELINHAS.....	95
2.1	INTRODUÇÃO.....	95
2.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	97
2.2.1	Área experimental e cultivar de café.....	97
2.2.2	Delineamento experimental.....	99
2.2.3	Condução do experimento.....	100
2.2.4	Avaliações realizadas.....	103
2.2.4.1	Produção de massa seca e aporte de carbono pelas plantas daninhas e braquiária.....	103
2.2.4.2	Avaliações físicas do solo.....	103
2.2.4.2.1	Porosidade total, macroporosidade, microporosidade e densidade do solo.....	104
2.2.4.2.2	Estabilidade de agregados em água.....	105
2.2.4.3	Resistência do solo à penetração.....	106
2.2.4.4	Carbono orgânico do solo: frações e estoque.....	106

2.2.5	Análise estatística.....	107
2.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	108
2.2.3.1	Produção de massa seca e aporte de carbono pelas plantas daninhas e braquiária.....	108
2.2.3.2	Porosidade total, macroporosidade, microporosidade e densidade do solo.....	112
2.2.3.3	Estabilidade de agregados em água.....	120
2.2.3.4	Resistencia do solo à penetração.....	129
2.2.3.5	Carbono orgânico do solo: frações e estoque.....	131
2.4	CONCLUSÕES.....	143
	REFERÊNCIAS.....	144
	CAPÍTULO 3 – MONITORAMENTO DAS RELAÇÕES HÍDRICAS EM CAFEEIROS ARÁBICA EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE GESSO AGRÍCOLA, COMPOSTO ORGÂNICO E DO CULTIVO DE BRAQUIARIA NAS ENTRELINHAS.....	154
3.1	INTRODUÇÃO.....	154
3.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	156
3.2.1	Área experimental e cultivar de café.....	156
3.2.2	Delineamento experimental.....	159
3.2.3	Condução do experimento.....	160
3.2.4	Avaliações realizadas.....	163
3.2.4.1	Monitoramento da umidade do solo.....	163
3.2.4.2	Potencial hídrico foliar.....	163
3.2.4.3	Teor relativo de água.....	164
3.2.4.4	Índice SPAD.....	164
3.2.5	Análise estatística.....	165
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	165
3.3.1	Relações hídricas solo-planta.....	165
3.4	CONCLUSÕES.....	178
	REFERÊNCIAS.....	179
	CAPÍTULO 4 – CRESCIMENTO, NUTRIÇÃO E PRODUTIVIDADE DO CAFEIRO ARÁBICA INFLUENCIADOS PELA APLICAÇÃO DE GESSO AGRÍCOLA, COMPOSTO ORGÂNICO E PELO CULTIVO DE BRAQUIARIA NAS ENTRELINHAS.....	186
4.1	INTRODUÇÃO.....	186

4.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	188
4.2.1	Área experimental e cultivar de café.....	188
4.2.2	Delineamento experimental.....	191
4.2.3	Condução do experimento.....	192
4.2.4	Avaliações realizadas.....	195
4.2.4.1	Produção de massa seca e acúmulo de nutrientes pelas plantas daninhas e braquiária.....	195
4.2.4.2	Variáveis fitotécnicas da cultura do café.....	196
4.2.4.2.1	Crescimento da planta: diâmetro do caule e altura.....	196
4.2.4.2.3	Teor de nutrientes nas folhas de café arábica.....	197
4.2.4.2.4	Produtividade de grãos beneficiados.....	197
4.2.4.2.5	Teor de nutrientes nos frutos de café arábica em coco.....	197
4.2.5	Análise estatística.....	197
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	198
4.3.1	Produção de massa seca e acúmulo de nutrientes pelas plantas daninhas e braquiária.....	198
4.3.2	Crescimento da planta: diâmetro do caule e altura.....	211
4.3.3	Teor de nutrientes nas folhas de café arábica.....	213
4.3.4	Produtividade de grãos beneficiados.....	227
4.3.5	Teor de macro e micronutrientes nos frutos de café arábica em coco.....	231
4.4	CONCLUSÕES.....	247
	REFERÊNCIAS.....	248
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	255
	REFERÊNCIAS.....	257
	ANEXO.....	264

INTRODUÇÃO GERAL

A cultura do café é de grande importância econômica e social em diversas regiões do mundo, especialmente no Brasil, que é o maior produtor e exportador global. O cafeeiro é uma planta arbustiva, pertence à família Rubiaceae, do gênero *Coffea* L., do qual se conhecem cerca de 103 espécies (Simon-Gruita *et al.*, 2019), sendo as mais cultivadas *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* Pierre. A planta é cultivada em países tropicais, tanto para consumo próprio como para exportação para países de clima temperado (Damatta; Ramalho, 2006).

O cafeeiro, especialmente o arábica, apresenta alta sensibilidade a condições adversas de clima e solo, o que afeta diretamente seu potencial produtivo (Carvalho, 2011; Davis *et al.*, 2012; Martins *et al.*, 2015). A espécie *C. arabica* é mais adequada a regiões com níveis moderados de umidade e temperatura, sendo as condições ideais entre 18 e 22 °C e precipitações anuais superiores a 1200 mm (Matiello *et al.*, 2016). A precipitação e a temperatura do ambiente são os principais fatores que influenciam o crescimento do cafeeiro (Carvalho, 2011; Matta; Ramalho, 2006; Martins *et al.*, 2015). A falta de água é o maior limitador para o aumento de produtividade, sendo ainda mais prejudicial nas fases iniciais de desenvolvimento (Assad *et al.*, 2004; Martins *et al.*, 2015; Aparecido; Rolim; Souza, 2015). Oscilações meteorológicas nas regiões de cultivo afetam o cafeeiro, pois temperaturas elevadas e menor disponibilidade hídrica comprometem o metabolismo celular e o crescimento, mesmo sem sintomas visíveis (Pizetta *et al.*, 2016; Matta; Rena, 2002). A falta de água leva ao fechamento dos estômatos, diminuindo a fixação de CO₂, além de causar abortamento de flores e má formação dos frutos (Sediyama *et al.*, 2001; Camargo; Camargo, 2001).

Com todas as adversidades que podem acometem as plantas de café, ainda assim, elas demonstram alta capacidade de produção, em pesquisas já foram evidenciadas produtividades superiores a 100 sacas beneficiadas por hectare para cultivares de arábica, em ambientes favoráveis (Matiello *et al.*, 2016). Aliado a isto, o manejo nutricional torna-se de suma importância para sua produção, apresentando uma demanda por nutrientes menor na fase de formação, que cresce rapidamente com a entrada na fase produtiva da planta e o aumento da produtividade (Sakiyama *et al.*, 2015). Vale ressaltar que além do manejo nutricional, outro pilar importante para atingir altas produtividades é um vigoroso sistema radicular, que pode atingir

mais de 2,0 m de profundidade; portanto, torna-se necessária a ausência de elementos tóxicos e a disponibilidade de nutrientes em camadas mais profundas do solo, especialmente o Ca^{2+} , de forma a propiciar a planta uma maior tolerância às condições desfavoráveis do clima (Carducci *et al.*, 2015; Matiello *et al.*, 2016; Ferraz, 2017).

O cafeeiro necessita de um ambiente favorável para o seu desenvolvimento, como solos profundos, porosos, bem drenados e com boa capacidade de retenção de umidade, além de uma distribuição adequada de nutrientes ao longo do perfil, para garantir uma absorção contínua (Malavolta, 1993; Matiello *et al.*, 2008). Sendo assim, o desenvolvimento de um sistema radicular profundo e robusto é essencial para a cultura do café, especialmente em regiões sujeitas a períodos de seca. Neste sentido, a aplicação de gesso agrícola tem se mostrado uma prática eficaz para melhorar a estrutura do solo e promover o crescimento radicular. O gesso agrícola atua diminuindo a toxidez do alumínio (Al^{3+}) nas camadas mais profundas do solo, fornecendo cálcio (Ca) e enxofre (S), e facilitando a movimentação de magnésio (Mg) para camadas subsuperficiais do solo (Carmes Filho; Crusciol; Castilhos, 2017; Crusciol *et al.*, 2019; Soratto; Crusciol, 2008; Caires *et al.*, 2003; Guarçoni, 2013). Tais fatores resultam em melhor crescimento radicular, proporcionando à cultura melhor absorção de nutrientes e água (Raij, 2008; Carducci *et al.*, 2015).

O gesso agrícola, ou sulfato de cálcio diidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), não tem como objetivo principal a correção do pH do solo, uma vez que se trata de um sal neutro (Raij, 2008; Maschietto, 2009), obtido de jazidas de gipsita, localizadas em estados como Pernambuco e Maranhão (Oliveira *et al.*, 2012). No entanto, as principais fontes de gesso são as indústrias de fertilizantes fosfatados, que geram este subproduto em grande quantidade. Sua composição química, advinda da indústria fosfatada, possui em média, 17,7% (S), 30,9% (CaO), 0,2% (F) e 0,7% (P_2O_5) (Dias, 1992).

O gesso é utilizado como um complemento ao calcário, pois reduz a fitotoxicidade de Al^{3+} e promove aumento nos teores de Ca^{2+} e SO_4^{2-} ao longo do perfil do solo (Crusciol *et al.*, 2019; Raij *et al.*, 1997; Caires *et al.*, 2003; Raij, 2008; Parecido *et al.*, 2021). A solubilidade do gesso é alta, comparada ao calcário, pelo fato do sulfato (SO_4^{2-}) se associar a um cátion (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+), formando um par iônico neutro (CaSO_4^0 , MgSO_4^0 , K_2SO_4^0), permitindo a movimentação desses nutrientes ao longo do perfil do solo, além de favorecer a absorção de água e uma

maior tolerância das plantas aos veranicos (Zambrosi *et al.*, 2007; Ramos *et al.*, 2013; Costa *et al.*, 2018; Tiritan *et al.*, 2016).

Assim, a aplicação de gesso agrícola em cafezais tem sido utilizada com o intuito principal de melhorar a qualidade química do solo em camadas mais profundas, favorecendo o desenvolvimento radicular em maiores profundidades. Isso otimiza a absorção de água, contribuindo para a longevidade e produtividade das lavouras (Ramos *et al.*, 2013; Serafim *et al.*, 2013). Os efeitos da gessagem apresentados acima são conhecidos, porém há diversos métodos para determinar as doses de aplicação de gesso adequadas para diferentes ambientes de solo e sistema de cultivo, o que propicia novas descobertas (Zoca; Penn, 2017). Os métodos conhecidos não resultam em doses muito altas, porém, a prática de elevar as doses de gesso vem sendo empregadas por alguns cafeicultores, e há necessidade de entender os efeitos tanto no solo quanto na planta em decorrência desta elevação.

Ramos *et al.* (2013), avaliando o efeito da aplicação de doses elevadas de gesso no cafeeiro (0 a 56.000 kg ha⁻¹), observaram a eficiência na melhoria do ambiente radicular no subsolo, além de aumentar os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ na solução do solo. Rodrigues *et al.* (2015) avaliaram a aplicação de doses crescentes de gesso (0 a 52.000 kg ha⁻¹) no cafeeiro recém-plantado (4 meses) e os resultados da primeira safra evidenciaram um aumento da produtividade com a elevação da dose gesso. Já Fagundes *et al.* (2016), testando doses crescentes de gesso (0 a 25.700 kg ha⁻¹) em cafeeiros também jovens (6 meses), não evidenciaram aumento da produtividade do cafeeiro na média de oito safras. Ramos *et al.* (2013) e Ferraz (2017) avaliaram apenas os atributos químicos do solo aos 16 e 76 meses após a aplicação, respectivamente, de doses de gesso até 56.000 kg ha⁻¹, e observaram resultados inconsistentes. As informações sobre a aplicação de doses elevadas de gesso na cafeicultura ainda são escassas e contraditórias, principalmente em relação a respostas fisiológicas e a produtividade. Com isso, a aplicação de gesso pode proporcionar o aprofundamento do sistema radicular e novos estudos, especialmente em longo prazo, fazem-se necessários para cobrir as lacunas deixadas por trabalhos com foco isolado na aplicação de gesso.

Outros fatores relacionados à planta e ao solo podem ser explorados para melhorar a produção do cafeeiro em condições desfavoráveis (Assad; Pinto, 2008). Estudos com outras espécies vegetais apontam que o manejo da cobertura do solo

é uma ferramenta eficaz para aumentar a eficiência no uso da água (Bizari *et al.*, 2009; Souza *et al.*, 2011; Téofilo *et al.*, 2012; Tiecher, 2016).

Dentre as plantas de cobertura, destaca-se as forrageiras do gênero *Urochloa*, pertencente à família Poaceae, também conhecidas como braquiárias, que têm sido muito exploradas porque apresentam boa adaptabilidade a condições adversas, facilidade propagativa e rusticidade (Pedrosa *et al.*, 2014; Ragassi; Pedrosa; Favarin, 2013; Rocha *et al.*, 2016; Baptistella *et al.*, 2020). O consórcio de plantas de café com braquiária tem mostrado resultados promissores, ajudando no armazenamento de água no solo ao manter temperaturas mais amenas e reduzir a evaporação (Ragassi; Pedrosa; Favarin, 2013). A capacidade do solo de armazenar e disponibilizar água depende dos mecanismos de adsorção e capilaridade, influenciados pela estrutura do solo e pelas cargas elétricas, que podem ser alteradas pelo manejo adotado (Ferreira; Fernandes; Curi, 1999; Oliveira *et al.*, 2004; Tormena *et al.*, 1999; Mazurana *et al.*, 2011). A cobertura do solo é uma prática recomendada para regiões com longos períodos de estiagem, pois além de reduzir a perda de água, diminui a erosão superficial e aumenta a umidade do solo (Borges *et al.*, 2014), o que pode ser mais importante ainda em solos de textura média e arenosa.

Segundo Paciullo *et al.* (2016), o uso de plantas de cobertura é uma técnica de grande interesse agrônomo, que implica diversos benefícios ao sistema, tais como a reciclagem de nutrientes, melhoria na estruturação do solo, além de melhorar a flocculação dos seus agregados constituintes. O uso de plantas de cobertura do solo, especialmente forrageiras do gênero *Urochloa*, como a braquiária ruziziensis (*Urochloa ruziziensis* (R. Germ. and C.M. Evrard) Crins syn. *Brachiaria ruziziensis* (R. Germ. and C.M. Evrard)), tem se mostrado uma prática eficiente na proteção do solo, no controle de plantas daninhas e nas inter-relações com o microbioma do solo (Guimarães; Dias; Oliveira, 2018; Teixeira *et al.*, 2020; Baptistella *et al.*, 2020; Merloti *et al.*, 2023). A braquiária é conhecida por sua alta produção de biomassa, que, ao ser manejada adequadamente, forma uma cobertura morta sobre o solo, diminuindo a erosão e mantendo a umidade. Estudos indicam que a cobertura do solo com braquiária pode reduzir a perda de água em até 49% durante os períodos secos, além de inibir o crescimento de plantas daninhas e manter a temperatura do solo mais estável (Pedrosa, 2013).

Estudos com plantas de cobertura, demonstraram que a cobertura morta sobre o solo ajuda a reduzir a temperatura na superfície do solo, em comparação ao solo exposto (Gasparim *et al.*, 2005), além de diminuir a variação térmica do solo (Campos *et al.*, 1999). Em cafezais, o uso de cobertura morta no solo também traz benefícios, contribuindo para a recuperação ou manutenção da fertilidade do solo durante as fases de formação e produção do café (Pavan *et al.*, 1986).

Em lavouras de café, a braquiária é cultivada nas entrelinhas da cultura, e seus restos culturais são depositados na projeção da copa dos cafeeiros para que, ao serem decompostos, sirvam como fonte de nutrientes. A biomassa depositada mantém a umidade superficial do solo e promove o desenvolvimento de raízes finas (Pedrosa, 2013; Martinelli *et al.*, 2017; Ragassi; Pedrosa; Favarin, 2013; Franco Júnior *et al.*, 2019; Resende *et al.*, 2022), favorecendo a agregação das partículas assegurando maior proteção permanente, e o fornecimento de matéria orgânica ao solo (Ragassi, Pedrosa, Favarin, 2013; Silva *et al.*, 2013), podendo inclusive mitigar problemas advindos da compactação (Flavio Neto *et al.*, 2015), devido à formação de bioporos que funcionam como rotas alternativas para o crescimento das raízes, além de promover aumento considerável na difusão de água, gases e nutrientes no solo (Kondo *et al.*, 2012).

Siqueira *et al.* (2014a) observaram melhorias nas características físicas e químicas do solo com a utilização da braquiária nas entrelinhas do cafeeiro, em comparação ao controle mecânico realizado com grade de discos em trator. Características como a flocculação dos agregados e incrementos na matéria orgânica do solo (MOS) foram significativamente maiores nos locais onde a braquiária foi manejada. Além disso, houve benefícios na retenção de água e nos teores de macronutrientes e micronutrientes, evidenciando o efeito benéfico da braquiária no manejo das entrelinhas do cafeeiro (Siqueira *et al.*, 2014b).

Ramos *et al.* (2013) constatou que teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} na solução do solo foram maiores com o cultivo da braquiária *ruziziensis* na entrelinha do que sem cultivo, quando aplicado 7.000 kg ha^{-1} de gesso na linha de plantio do cafeeiro. Isto ressalta a importância de culturas de cobertura e a manutenção dos seus restos culturais na superfície do solo, tendo como consequência o aporte de MOS na superfície e em profundidade, além de evidenciar os benefícios da interação entre a prática da gessagem e o cultivo de braquiária nas entrelinhas.

Silva *et al.* (2013) avaliaram a agregação de um Latossolo no Cerrado Mineiro usando gesso agrícola e braquiária nas entrelinhas de café e, após dois anos, amostras de solo a 5 e 15 cm de profundidade foram analisadas. O estudo evidenciou que as doses elevadas de gesso aumentaram a agregação do solo a 15 cm de profundidade e que a dose de 7.000 kg ha⁻¹ foi a melhor para aumentar o carbono (C) orgânico do solo. O C orgânico total correlacionou-se positivamente com a agregação do solo.

Além do gesso agrícola e de plantas de coberturas, outras práticas de manejo também podem contribuir para a melhoria do solo e impactar positivamente nos estoques de C. Estudos demonstraram que a adição de compostos orgânicos pode aumentar o estoque de C no solo, promovendo um ambiente mais saudável e sustentável para o crescimento das plantas (D'andréa *et al.*, 2004; Lovato *et al.*, 2004; Vezzani; Mielniczuk, 2011). Na cafeicultura, é muito comum o uso de resíduos orgânicos e as principais fontes de materiais orgânicos disponíveis nas regiões cafeeiras têm sido a palha de café, o esterco de bovino ou “de curral” e o esterco de galinha. Grande parte da cafeicultura brasileira é feita por pequenos e médios produtores, sendo assim, o uso desses resíduos como forma de reduzir custos é bastante importante. De acordo com Freitas *et al.* (2012), a utilização de resíduos orgânicos animais, como fonte de nutrientes para diferentes cadeias produtivas de vegetais, representa alternativas eficientes que visam à diminuição ou eliminação da dependência dos fertilizantes químicos e aumento da segurança ambiental.

Os resíduos orgânicos aplicados ao solo passam por decomposição e são considerados uma importante fonte de nutrientes (Pavinato; Rosolem, 2008). Segundo Araújo *et al.* (2007), o aumento das doses de composto orgânico, eleva os teores foliares de N, K e Mg em plantas de café arábica. Além disso, o uso de composto orgânico traz outros benefícios ao solo, como a elevação do pH, o aumento da soma de bases, da capacidade de troca catiônica e da saturação por bases (Santos; Bellingieri; Freitas, 2008). Dessa forma, a adubação com compostos orgânicos contribui para o aumento do teor de matéria orgânica, melhorando não apenas a fertilidade do solo, mas também promovendo maior atividade microbiológica, controle da temperatura e melhor retenção de água (Oliveira; Lima; Cajazeira, 2004; Rezende, 2010).

Em decorrência da melhoria da fertilidade e da qualidade física e biológica do solo, além de fornecer nutrientes as plantas, a utilização de adubos como o

composto orgânico, se apresenta viável para diversos sistemas de produção, e ainda pode resultar em menor custo com a compra de fertilizantes minerais gerando economia para os produtores. Nos solos brasileiros, em sua maioria, pobres em matéria orgânica, a aplicação de composto orgânico é recomendada (Marchi, 2006; Matiello *et al.*, 2016; Rezende, 2010).

Serrano, Silva e Formentini (2011) evidenciaram que a adubação com composto orgânico aplicado no plantio, pode ser uma alternativa para substituir ou reduzir a aplicação de adubos nitrogenados e potássicos recomendados na fase de pós-plantio, para o cafeeiro conilon (*C. canephora*). No caso do cafeeiro arábica, o uso de esterco de galinha pode diminuir a necessidade de adubos minerais para suprir N, P, K e S (Fernandes *et al.*, 2013a).

Os resíduos orgânicos são fontes de matéria orgânica e esta tem efeitos sobre a produtividade, que podem ser diretos, através do fornecimento de nutrientes, ou indiretos, através da modificação das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo que, por sua vez, melhoram o ambiente radicular e estimulam o desenvolvimento das plantas (Kiehl, 1985).

Fernandes *et al.* (2013b), avaliando a substituição parcial da adubação mineral exclusiva pela adubação orgânica utilizando palha de café, alcançaram produtividades 16 a 19% superiores ao tratamento que utilizou somente fertilizantes minerais. A maior produtividade desses tratamentos pode estar relacionada às melhorias físicas, físico-químicas, químicas e biológicas que o esterco promoveu e condicionou ao solo, bem como a disponibilidade constante dos nutrientes do mesmo, de forma lenta e gradual, que reduz perdas por lixiviações.

A integração de práticas de manejo, como aplicação de gesso agrícola, uso de plantas de cobertura e adição de compostos orgânicos, pode proporcionar benefícios significativos para a cultura do café. Essas práticas combinadas melhoram os atributos químicos, físicos e microbiológicos do solo, além de otimizar o desempenho das plantas de café em condições de sequeiro.

O gesso agrícola melhora a estrutura do solo e promove o crescimento radicular, enquanto a braquiária protege o solo e melhora a ciclagem de nutrientes. A adição de compostos orgânicos aumenta a MOS, fornecendo nutrientes essenciais e melhorando a qualidade do solo. Essas práticas, quando combinadas, criam um sistema de manejo sustentável que não apenas aumenta a produtividade, mas também conserva os recursos naturais e melhora a qualidade do solo.

Portanto, a utilização de compostos orgânicos, cultivo de braquiária na entrelinha e aplicação de gesso agrícola, podem apresentar efeitos benéficos ao sistema de produção da cultura do café, porém, não se tem informações sobre o efeito da associação destas práticas de manejo da cultura do café arábica, ou seja, se elas complementam, inclusive quando são aplicadas doses elevadas de gesso agrícola. Diante disso, foram definidas as seguintes hipóteses: a) a aplicação de gesso agrícola pode aumentar o crescimento e a produtividade das plantas de café, por fornecer Ca e diminuir o efeito tóxico do Al^{3+} nas camadas mais profundas do solo; b) o cultivo de braquiária nas entrelinhas do cafeeiro, além de aumentar o teor de MOS, pode melhorar a eficiência do uso da água e promover ciclagem de nutrientes que são fornecidos às plantas de café, melhorando sua nutrição; c) a aplicação de composto orgânico pode aumentar o estoque de carbono do solo, melhorar a nutrição e a produtividade do cafeeiro, por proporcionar aumento da MOS e fornecimento de nutrientes; d) a aplicação de gesso e composto orgânico, bem como o cultivo de braquiária nas entrelinhas, melhoram os atributos químicos e físicos do solo, bem como o desempenho da cultura do café em condições de sequeiro e a combinação dessas práticas pode potencializar os efeitos benéficos.

CAPÍTULO 1

ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO INFLUENCIADOS PELA APLICAÇÃO DE GESSO AGRÍCOLA, COMPOSTO ORGÂNICO E O CULTIVO DE BRAQUIÁRIA NAS ENTRELINHAS

1.1 INTRODUÇÃO

A busca por práticas agrícolas que promovam a sustentabilidade e a produtividade tem sido uma constante na agricultura. No cultivo do café, a aplicação de gesso agrícola, o uso de compostos orgânicos e o cultivo de plantas de cobertura nas entrelinhas são estratégias que visam melhorar os atributos químicos do solo, contribuindo para a qualidade e a produtividade das plantas.

O gesso agrícola, ou sulfato de cálcio dihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), é amplamente utilizado na correção de solos ácidos, principalmente para mitigar a toxicidade de alumínio (Al^{3+}) em camadas subsuperficiais e fornecer cálcio (Ca^{2+}) e enxofre (S) para as plantas (Crusciol *et al.*, 2019; Caires *et al.*, 2003; Raij, 2008). O gesso é cerca de 150 vezes mais solúvel que o calcário, permitindo sua atuação em maiores profundidades do solo (Costa *et al.*, 2018; Tiritan *et al.*, 2016; Vitti e Priori, 2009). Ao formar pares iônicos neutros com cátions como Ca^{2+} e magnésio (Mg^{2+}), o sulfato (SO_4^{2-}) do gesso facilita a mobilização desses nutrientes no perfil do solo (Zambrosi *et al.*, 2007).

Diversos estudos evidenciam que a aplicação de gesso melhora a estrutura do solo, favorece o crescimento radicular e aumenta a tolerância das plantas a períodos de seca (Bossolani *et al.*, 2021; Carducci *et al.*, 2015; Cremon *et al.*, 2009; Serafim *et al.*, 2011). No entanto, a prática de utilizar doses elevadas de gesso, superiores às recomendadas pelos manuais técnicos, tem levantado preocupações sobre possíveis desequilíbrios de bases no solo, como a lixiviação de potássio (K^+) e Mg^{2+} (Caires *et al.*, 2004; Oliveira; Pavan, 1996).

Em estudo com o uso de calcário e gesso em plantio direto, onde a aplicação também é realizada na superfície do solo, sem incorporação, Costa e Crusciol (2016) observaram a redução dos níveis de Al^{3+} em profundidade (0,40 m), quando o gesso estava presente. Parecido *et al.* (2021), avaliando a aplicação de calcário e gesso, isoladamente ou combinados, observaram aumentou do pH e das concentrações de Ca^{2+} e Mg^{2+} com uso calcário, enquanto o gesso aumentou Ca^{2+} e

SO₄²⁻ no solo. A utilização do gesso agrícola pode promover a melhoria das características químicas do solo em camadas subsuperficiais, por apresentar maior solubilidade do que o calcário, sendo capaz de diminuir a atividade do Al³⁺, através do incremento de Ca²⁺ e SO₄²⁻ (Nora *et al.*, 2014).

Outro fator na melhoria do ambiente radicular das plantas é a matéria orgânica. Uma vez que os solos brasileiros são, de forma geral, pobres, o fornecimento de matéria orgânica se faz necessário, e umas das formas de fornecer matéria orgânica é a utilização de resíduos orgânicos (Marchi, 2006; Matiello *et al.*, 2016; Rezende, 2010). Estes resíduos são gerados em sua maioria na própria propriedade, o que se torna uma prática muito comum entre pequenos produtores. Na cafeicultura tem-se a geração de resíduos do beneficiamento, como casca de café, que pode ser utilizada só ou misturada com esterco de aves ou bovinos, produzindo um composto. Sua aplicação isolada pode substituir fertilizantes potássicos minerais na adubação do cafeeiro como relatado por Zoca *et al.* (2014). Resultados significativos são observados com a aplicação conjunta de resíduos orgânicos e fertilizantes minerais (Vanlauwe; Wendt; Diels, 2001), pois a disponibilidade de nutrientes de fontes orgânicas está ligada ao processo de decomposição e pode ser influenciada pela proporção de C e nitrogênio no resíduo (relação C:N), o que pode resultar na imobilização de nutrientes (Ricci *et al.*, 2005).

Ademais, outros resíduos podem ser utilizados nos sistemas de produção, como a biomassa gerada por plantas de cobertura, que após seu corte, disponibiliza nutrientes ao solo. Dentre as várias plantas que podem ser utilizadas, os capins do gênero *Urochloa*, se sobressaem (Crusciol *et al.*, 2011; Pariz *et al.*, 2011; Martinelli *et al.*, 2017; Ragassi; Pedrosa; Favarin, 2013; Baptistella *et al.*, 2020) pela alta capacidade de produção de massa verde. No consórcio de milho com *Urochloa brizantha* (Hochst. Ex A. Rich) Stapf, Garcia *et al.* (2008), evidenciaram o aumento de K⁺ no solo e atribuíram a capacidade desse capim de absorverem e acumularem K, reciclando tal nutriente após a dessecação da gramínea. Em sistemas de produção de grãos, com rotação de culturas, foi observado que o *U. ruziziensis* também promove melhor ciclagem e eficiência do uso do K, devido ao alto teor acumulado nos tecidos vegetais, que após seu corte retorna ao solo, promovendo uma alta taxa de reciclagem desse nutriente (Ernani *et al.*, 2007; Volf *et al.*, 2018; Mielniczuk, 2005; Giacomini *et al.*, 2003; Rosolem *et al.*, 2003; Calonego *et al.*, 2005).

Na cafeicultura, o emprego de plantas de cobertura vem tornando-se mais usual, como estratégia de manter as entrelinhas do cafeeiro cobertas, protegendo o solo, reduzindo a amplitude térmica e melhorando sua estrutura (Ragassi *et al.*, 2013), o é uma estratégia eficaz para aumentar a sustentabilidade da produção.

A presença de braquiária nas entrelinhas do cafeeiro promove a ciclagem de nutrientes, especialmente quando seus resíduos são depositados sob a copa do cafeeiro após a roçada. Isso não só melhora as características físicas e químicas do solo, mas também aumenta os teores de MOS e macronutrientes (Siqueira *et al.*, 2015). Além disso, a decomposição das raízes da braquiária contribui para a formação de microporos no solo, melhorando a infiltração e retenção de água (Rocha *et al.*, 2016).

A integração de gesso agrícola, compostos orgânicos e o cultivo de braquiária nas entrelinhas do cafeeiro, representa uma abordagem promissora para melhorar os atributos químicos do solo e, conseqüentemente, a produtividade e sustentabilidade das lavouras de café. Essas práticas complementares promovem um ambiente radicular melhor, favorecem a ciclagem de nutrientes e aumentam a resiliência das plantas às adversidades climáticas. No entanto, é necessário um manejo cuidadoso para evitar desequilíbrios nutricionais e maximizar os benefícios dessas práticas combinadas.

Diante do exposto, foi proposto este trabalho, objetivando avaliar os atributos químicos do solo em decorrência da aplicação de gesso agrícola e composto orgânico, bem como o cultivo de braquiária nas entrelinhas da cultura do café arábica, em condições de sequeiro.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em condições de campo, em fevereiro de 2017 e foi conduzido até agosto de 2022, ou seja, por um período de cinco anos e seis meses.

1.2.1 Área experimental e cultivar de café

O experimento foi instalado em condição de campo, no Sítio Três Irmãos, localizado no município de Manduri - SP, com latitude 23°03' S, longitude 49°14' W e altitude de 738 m. O solo do local é um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, textura média (Santos *et al.*, 2013). De acordo com a classificação de Köppen, o clima predominante na região é do tipo Cwa, tropical, com estação seca no inverno e verão quente e chuvoso (Lombardi Neto; Drugowich, 1994), temperatura média anual de 21,1 °C e regime pluviométrico anual em torno de 1.457 mm (CIIAGRO, 2024). Os dados mensais de temperaturas médias e precipitação pluvial durante a condução do experimento são apresentados na Tabela 1.

O talhão onde o experimento foi instalado é constituído por plantas de café arábica, cultivar Catuaí Vermelho IAC 99, pé-franco, plantadas no campo em março de 2016, no espaçamento 3,5 × 0,70 m, perfazendo um total de 4.082 plantas ha⁻¹.

Tabela 1 - Dados de temperatura média e precipitações pluviais mensais de fevereiro de 2017 a agosto de 2022, Manduri-SP

Mês	Ano					
	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Temperatura média (°C)						
Janeiro	-	24,4	26,2	24,8	22,9	25,1
Fevereiro	25,5	23,1	24,7	23,9	24,2	25,2
Março	24,3	25,3	24,3	23,9	24,8	25,4
Abril	21,8	22,1	22,7	20,8	20,3	21,7
Maio	20,0	19,6	20,7	17,2	18,8	17,6
Junho	17,1	18,9	18,4	18,8	16,5	16,8
Julho	16,4	18,4	16,3	17,7	14,7	18,3
Agosto	18,3	17,1	18,8	18,0	19,6	17,9
Setembro	22,4	20,6	19,6	22,8	23,6	-
Outubro	22,4	22,2	24,7	25,5	21,6	-
Novembro	22,6	23,4	24,4	24,4	23,9	-
Dezembro	24,5	24,5	24,5	24,6	24,3	-
Precipitação pluvial (mm)						
Janeiro	-	257	131	138	130	372
Fevereiro	147	58	171	218	109	131
Março	115	180	120	20	105	132
Abril	166	23	74	43	26	99
Maio	261	25	78	43	83	57
Junho	145	26	86	98	50	52
Julho	1	1	113	10	22	10
Agosto	91	141	1	92	6	99
Setembro	10	126	24	34	51	-
Outubro	195	145	51	12	166	-
Novembro	206	87	232	129	181	-
Dezembro	225	158	138	168	130	-

No plantio da cultura do café foram distribuídos e incorporados, em cada metro de sulco, 6 g de N, 22 g de P_2O_5 , 12 g de K_2O (formulado 08-28-16), 0,30 kg de calcário dolomítico com 75% de PRNT e 5 L de cama de frango. O experimento foi conduzido em condições de sequeiro.

Em janeiro de 2017, foi amostrado solo, sendo a coleta realizada na projeção da copa do cafeeiro, na camada de 0–0,20 m e 0,20–0,40 m de profundidade. As análises químicas foram realizadas de acordo com a metodologia proposta por Raij *et al.* (2001), cujos resultados estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Características químicas do solo da área antes da instalação do experimento

Profundidade m	pH(CaCl ₂)	MOS g kg ⁻¹	P _(resina) — mg dm ⁻³ —	S-SO ₄ ²⁻ — mmol _c dm ⁻³ —	H+Al	Al ³⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	CTC	V %
0-0,20	5,1	17	20	10	35	0	0,4	31	8	73	53
0,20-0,40	4,1	14	6	17	50	7	0,3	10	4	64	22

Cada amostra foi composta por 12 amostras simples.

Na mesma época em que foi feita amostragem de solo para análise química, foi amostrado solo da área experimental nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 m para análise granulométrica, que foi utilizada para o cálculo da dose de gesso a ser aplicada (Tabela 3). O cálculo da quantidade de gesso a ser aplicada foi realizado de acordo com Raij *et al.* (1997).

Tabela 3 - Análise granulométrica da área experimental

Profundidade m	Areia	Argila	Silte	Textura do solo
	g kg ⁻¹			
0-0,20	810	160	30	Média
0,20-0,40	775	187	38	Média

Cada amostra foi composta por 12 amostras simples.

Foi realizado uma aferição em fevereiro de 2017, e as plantas de café apresentavam em média cerca de 1,2 cm de diâmetro de caule e cerca de 23,8 cm de altura no momento de aplicação dos tratamentos.

1.2.2 Delineamento experimental

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados, num esquema fatorial 3×4 e três repetições. Os 12 tratamentos foram constituídos da combinação de três doses de gesso agrícola [controle - sem aplicação de gesso, dose recomendada (1.200 kg ha^{-1}) de acordo com Raij *et al.* (1997) e dose elevada ($40.000 \text{ kg ha}^{-1}$)], e quatro sistemas de manejo (SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas; e CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas).

Não há um critério para recomendação de dose elevada de gesso, assim, no caso da presente pesquisa, a dose elevada foi estipulada com base em um valor próximo da média das doses elevadas de gesso utilizadas em trabalhos sobre o tema (Ramos *et al.*, 2013; Rodrigues *et al.*, 2015; Fagundes *et al.*, 2016). O gesso utilizado continha cerca de 16% Ca e 13% de S. O composto orgânico utilizado consistia de uma mistura homogênea e compostada de esterco de galinha, esterco bovino e palha de café, com dose de $10.000 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (base úmida). Para o cultivo nas entrelinhas dos tratamentos determinados, utilizou-se a braquiária *ruziziensis*.

Cada parcela foi constituída por três fileiras de plantas, com 8,4 m de comprimento (12 plantas em cada fileira). As parcelas foram separadas umas das outras por uma planta, no sentido da fileira, e por uma fileira. A área considerada útil em cada parcela foi composta por oito plantas da fileira central ($19,6 \text{ m}^2$), excluindo duas plantas de cada extremidade.

1.2.3 Condução do experimento

A aplicação das doses de gesso foi realizada apenas em fevereiro de 2017, sendo aplicado em faixa de 1,0 m de largura na fileira de plantas de café. Assim, na dose de gesso recomendada (1.200 kg ha^{-1}) foram aplicados $0,42 \text{ kg m}^{-2}$ da faixa e na dose elevada ($40.000 \text{ kg ha}^{-1}$) foram aplicados $14,0 \text{ kg m}^{-2}$ da faixa. Nas entrelinhas do cafeeiro, foi realizada a semeadura da braquiária *ruziziensis* cv. *Ruziziensis* no mês de março de 2017, com o auxílio de semeadora manual (matraca), utilizando de $8,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de sementes puras viáveis, sendo semeadas,

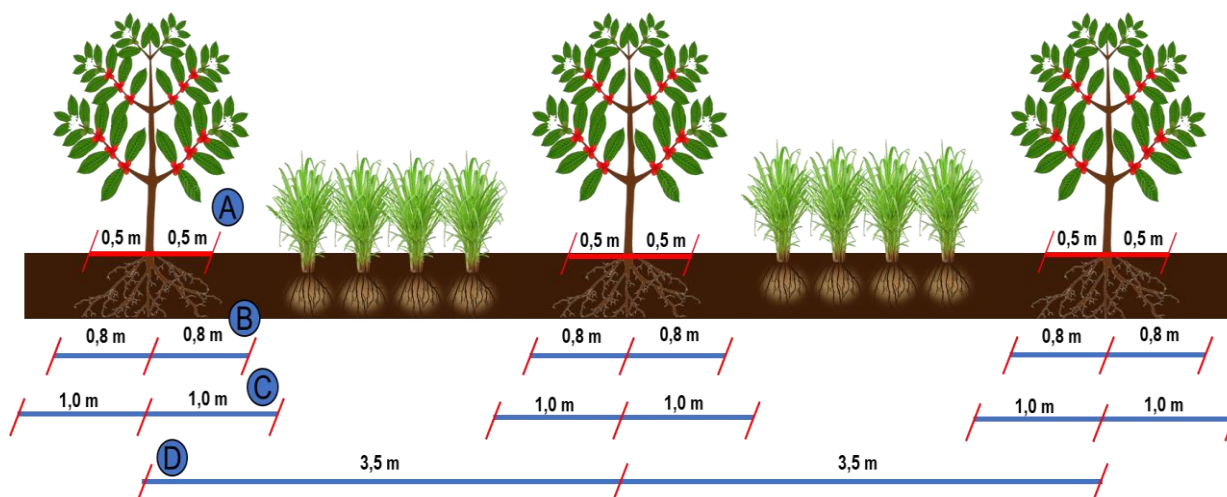
sem adubação, quatro fileiras da gramínea, com espaçamento de 0,5 m entre as fileiras e 0,1 m entre as covas e profundidade de 0,03 m, deixando-se uma distância de 1,0 m de cada lado das plantas de café livres (Figura 1). A braquiária foi mantida vegetando, porém, devido ao período de inverno as plantas só tiveram desenvolvimento expressivo a partir de outubro de 2017. A primeira ceifa da parte área das plantas presentes nas entrelinhas do cafeeiro ocorreu em janeiro de 2018 e a segunda em abril de 2018, e após a segunda ceifa foi realizada uma operação mecânica conhecida como arruação (limpeza), para realizar a colheita.

No mês de outubro de 2018, foi realizado o replantio dessa gramínea, a qual permaneceu vegetando até o primeiro e segundo cortes em janeiro e abril de 2019, e novamente após a segunda ceifa foi realizado a arruação (limpeza). Em outubro de 2019, foi realizado o replantio da braquiária a qual foi ceifada em janeiro e abril de 2020, e novamente após a arruação houve o replantio em outubro de 2020, o qual foi ceifada em janeiro e abril de 2021. A braquiária foi replantada em outubro de 2021 e novamente ceifada em janeiro e abril de 2022. As entrelinhas do cafeeiro permaneceram cobertas com a braquiária ou as plantas de crescimento espontâneo por um período de sete meses no ano agrícola, compreendido de outubro a abril, e os outros cinco meses, permaneceram sem a presença das plantas nas entrelinhas, devido à limpeza da área para realizar a colheita do café.

O controle de plantas daninhas na linha do cafeeiro foi realizado através de capina manual (com auxílio de enxadas), mantendo limpa uma faixa de aproximadamente 1,0 m junto à projeção da copa das plantas de café.

Para o preparo da área, antecedendo a colheita, realizou-se através da arruação (com o uso de arruador de asas e limpeza na linha de plantas com auxílio de enxadas) nos anos de 2018 e 2019. Já a partir de 2021 foi utilizado o arruador de café contendo um soprador de direcionamento independente e um varredor de borracha, visando manter a linha na terra limpa, puxando todas as folhas e galhos do cafeeiro e plantas daninhas para a entrelinha. Sempre antes da arruação realizou-se o controle das plantas daninhas em área total, com o uso do herbicida de pós-emergência glifosato potássico na dose de 1.550 g i.a. ha⁻¹. Todas as aplicações de herbicidas foram feitas com o pulverizador de barras protegida, para evitar problemas com deriva no cafeeiro.

Figura 1 - Esquema representativo das parcelas experimentais, local de aplicação do gesso agrícola (A), aplicação do composto orgânico (B), área mantida sem cultivo de braquiária e/ou plantas de crescimento espontâneo (C) e espaçamento entre fileiras de café (D)



O composto orgânico (Tabela 4), com umidade de aproximadamente 40%, foi aplicado na dose de $10.000 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (base úmida), sempre distribuído na faixa da projeção da copa das plantas (0,8 m de cada lado), no mês de outubro de cada ano, de 2017 até 2021.

Tabela 4 - Teores de nutrientes presentes no composto orgânico (base seca) e quantidades aplicadas por ano

Nutriente	Ano									
	2017	2018	2019	2020	2021	2017	2018	2019	2020	2021
	Teor (g kg^{-1})					Quantidade (kg ha^{-1})				
N	14	15	14	21	13	84	90	84	126	78
P	8	8	9	9	6	48	48	54	54	36
K	12	11	10	17	4	72	66	60	102	24
Ca	14	12	8	11	10	84	72	48	60	60
Mg	4	5	4	5	3	24	30	24	30	18
S	2	3	3	3	3	12	18	18	18	18
	Teor (mg kg^{-1})					Quantidade (g ha^{-1})				
B	28	25	21	29	7	168	150	126	174	42
Cu	75	60	55	52	63	450	360	330	312	378
Fe	1664	5864	20300	14975	6750	9984	35184	121800	89850	40500
Mn	251	346	321	321	444	1506	2076	1926	1926	2664
Zn	192	178	166	180	161	1152	1068	996	1080	966

Em janeiro de 2021, foi realizada aplicação de calcário em todas as parcelas experimentais, aplicando 2.000 kg ha⁻¹ na faixa de adubação, de acordo com Raij *et al.* (1997). O corretivo apresentava cerca de 42% de CaO, 11% MgO e 93% de PRNT. A dose calculada foi aplicada concentrada na faixa de adubação (aproximadamente 1,0 m de largura), desse modo, a aplicação forneceu 0,70 kg do corretivo por m² da faixa.

As demais aplicações de nutrientes e o manejo fitossanitário foram realizados de acordo com os critérios do produtor (Anexo A). Para as adubações de cobertura foram utilizadas as fontes de ureia (46% de N), nitrato de amônio (32% de N), cloreto de potássio (60% de K₂O), MAP (11% de N e 52% de P₂O₅) e o formulado de N-P₂O₅-K₂O de 20-05-20 + 2,0% de Ca + 1,0% de Mg, e constaram das seguintes quantidades anuais de N-P₂O₅-K₂O, em kg ha⁻¹: 50-00-50 em 2016/2017; 100-00-120 em 2017/2018; 200-50-200 em 2018/2019, 250-60-250 em 2019/2020; 300-60-300 em 2020/2021; 250-60-250 em 2021/2022. As doses dos fertilizantes foram parceladas em quatro aplicações, sendo realizada, em média, uma a cada quarenta dias, entre os meses de outubro e fevereiro de cada ano agrícola. As aplicações foram feitas de forma mecanizada (adubadora pendular – Vicon, com pêndulo especial para adubação em duas faixas), distribuindo-se uniformemente as doses dos fertilizantes sob a projeção da copa das plantas de café.

1.2.4 Avaliações realizadas

1.2.4.1 Atributos químicos do solo

Foram realizadas amostragens estratificadas do solo aos 17, 29, 41 e 65 meses após a aplicação dos tratamentos. Em cada parcela, foram retiradas três amostras simples para as profundidades de 0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m, na projeção da copa do cafeeiro, utilizando-se trado tipo tubular fechado, com o intuito de formar uma amostra composta. Para as coletas de 41 e 65 meses, foram acrescentadas as camadas de 0,60-0,80 e 0,80-1,00 m de profundidade. As amostras compostas foram secas, seguindo-se o peneiramento em malha de 2 mm. Posteriormente foram submetidas à análise para determinação dos teores de MOS, P_(resina), Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺ trocáveis conforme metodologia proposta por Raij *et al.* (2001). O teor de SO₄²⁻, foi determinado por meio de extração por solução de fosfato

de cálcio ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 0,01 mol L⁻¹). A quantificação de SO_4^{2-} foi feita por turbidimetria, provocada pela presença de BaSO_4 , formado pela reação do $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ com SO_4^{2-} , extraído das amostras de solo (Vitti, 1988).

Foi determinado também a acidez ativa (Al) e calculadas os valores de saturação por Al^{3+} (m%) e saturação por bases (V), conforme metodologia proposta por Raij *et al.* (2001).

1.2.5 Análise estatística

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste LSD a 5% de probabilidade, auxílio do programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2011).

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de MOS e de P disponível ao longo do perfil do solo e das épocas de avaliação foram influenciados significativamente pelo uso de gesso agrícola e pelo sistema de manejo (Tabela 5). Aos 17 meses, o teor de MOS foi influenciado pelo sistema de manejo, nas camadas de 0-0,10, e 0,20-0,40 m de profundidade, em que os maiores teores foram observados com a aplicação de composto orgânico e com o cultivo de braquiária nas entrelinhas (Figura 2). Na camada de 0,10-0,20 m de profundidade, houve interação dos fatores estudados, e a aplicação de gesso, na dose recomendada (1.200 kg ha⁻¹) ou elevada (40.000 kg ha⁻¹), aumentou os teores de MOS quando associadas à aplicação de composto e/ou cultivo de braquiária nas entrelinhas (Tabela 5; Figura 2). Nas camadas de 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m de profundidade, os maiores teores foram observados com a aplicação da dose elevada de gesso (Figura 2).

Tabela 5 - Probabilidade de F e coeficiente de variação para os teores de matéria orgânica (g dm⁻³) e P disponível (mg dm⁻³) no perfil do solo, em quatro épocas de avaliação, coletados na projeção da copa dos cafeeiros, em função de doses de gesso agrícola e dos sistemas de manejo (composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas)

Fonte de variação	Profundidade (m)					
	0,0–0,10	0,10–0,20	0,20–0,40	0,40–0,60	0,60–0,80	0,80–1,0
Matéria orgânica						
17 meses						
Gesso (G)	0,812	0,515	0,021	<0,001	-	-
Manejo (M)	<0,001	<0,001	0,010	0,093	-	-
G × M	0,127	0,009	0,137	0,474	-	-
CV(%)	7,6	5,9	6,8	5,7	-	-
29 meses						
Gesso (G)	0,060	0,168	0,387	0,893	-	-
Manejo (M)	<0,001	0,785	0,518	0,930	-	-
G × M	0,085	0,659	0,513	0,627	-	-
CV(%)	3,4	5,6	5,3	5,9	-	-
41 meses						
Gesso (G)	0,806	0,589	0,593	0,214	0,149	0,152
Manejo (M)	0,106	0,350	0,003	0,015	0,174	0,217
G × M	0,328	0,395	0,022	0,454	0,077	0,123
CV(%)	6,0	5,9	4,2	4,4	4,5	4,7
65 meses						
Gesso (G)	0,570	0,832	0,468	0,194	0,595	0,372
Manejo (M)	0,007	0,037	0,014	0,005	0,226	0,538
G × M	0,997	0,846	0,534	0,847	0,934	0,543
CV(%)	10,4	9,0	6,6	4,6	5,5	9,0
Teor de P (resina)						
17 meses						
Gesso (G)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	-
Manejo (M)	<0,001	<0,001	0,023	<0,001	-	-
G × M	<0,001	0,005	0,177	0,003	-	-
CV(%)	10,5	12,1	33,9	23,9	-	-
29 meses						
Gesso (G)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	-
Manejo (M)	<0,001	<0,001	0,004	0,004	-	-
G × M	<0,001	<0,001	0,028	0,039	-	-
CV(%)	9,6	18,2	23,4	20,1	-	-
41 meses						
Gesso (G)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,284
Manejo (M)	<0,001	0,005	0,254	0,640	0,047	0,831
G × M	0,013	0,119	0,066	0,519	0,356	0,235
CV(%)	16,8	25,2	29,4	35,0	28,1	43,3
65 meses						
Gesso (G)	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Manejo (M)	<0,001	0,108	0,013	0,887	0,516	0,003
G × M	0,005	0,768	0,983	0,953	0,231	0,007
CV(%)	8,9	25,4	38,5	51,6	30,4	29,6

Aos 29 meses após o início do experimento, os teores de MOS foram influenciados apenas pelo sistema de manejo, na camada de 0-0,10 m de profundidade, com os maiores valores observados quando aplicado composto orgânico (Tabela 5). Para as camadas 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m de profundidade, não houve influência dos fatores estudados. Aos 41 meses, os teores de MOS foram afetados significativamente apenas nas camadas de 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m de profundidade, nas demais camadas não houve influência dos fatores estudados (Tabela 5). A dose elevada de gesso associada ao manejo com a aplicação de composto orgânico e o cultivo de braquiária nas entrelinhas (CC-CB), aumentou os teores de MOS nestas camadas (Figura 2).

Aos 65 meses, o sistema de manejo influenciou nos teores de MOS nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m, com os maiores valores observados quando foi aplicado composto orgânico associado ao cultivo de braquiária nas entrelinhas (Tabela 5; Figura 2). Para as camadas de 0,60-0,80 e 0,80-1,00 m não houve efeito dos fatores estudados (Tabela 5).

A aplicação de compostos orgânicos, advindos diferentes resíduos orgânicos, tem demonstrado efetiva elevação dos teores de MOS (Santos; Bellingieri; Freitas, 2008; Rocha *et al.* 2014; Parizotto; Pandolfo, 2009; Cardoso *et al.*, 2011). Nesse estudo, foram observados os maiores teores de MOS com a aplicação de composto orgânico isoladamente, ou associado com o cultivo de braquiária nas entrelinhas, principalmente nas camadas superficiais do solo (Figura 2). De maneira geral, houve redução dos teores de MOS ao longo perfil. Esses resultados podem ser justificados pelo fato de que os compostos orgânicos aumentam a atividade microbiana e, em decorrência da decomposição do material, melhoram a retenção de MOS, principalmente nas primeiras camadas do solo (Ciotta *et al.*, 2003; Zambrosi *et al.* 2007).

As doses de gesso influenciaram mais no teor MOS na primeira avaliação (17 meses), com leve incremento para as camadas mais profundas, quando aplicado gesso em dose elevada (40.000 kg ha⁻¹) (Figura 2). Sabe-se que o aporte de MOS em profundidade é principalmente devido a maior exploração do sistema radicular, o qual representa cerca de 27 a 37% da entrada de C no solo (Santos *et al.*, 2011). O que está de acordo com os resultados encontrados, pelo fato do gesso melhorar o ambiente químico do solo, favorecendo maior exploração e, conseqüentemente,

maior aporte de MOS em profundidade (Lovato *et al.*, 2004; Vezzani; Mielniczuk, 2011; Carducci *et al.*, 2015).

A tendência de maiores teores de MOS em superfície e redução ao longo do perfil do solo, também foi observada por outros autores, como Zambrosi *et al.* (2007), que notaram uma concentração maior de MOS nas camadas superficiais e uma redução com o aumento da profundidade, estudando a aplicação de calcário com doses de gesso em plantio direto. Souza *et al.* (2012), estudando sistema de manejo (plantio direto e convencional) com efeito residual de gesso, observaram maiores teores de MOS em superfície com redução ao longo do perfil do solo, para a adoção do plantio direto, e sem constatar incremento pelo efeito residual do gesso (2.000 kg ha^{-1}).

O teor de P disponível foi influenciado pela aplicação de gesso agrícola e pelo sistema de manejo, nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,40-0,60 m de profundidade, aos 17 meses (Tabela 5). A aplicação de gesso em dose elevada incrementou os teores de P disponíveis nestas camadas, e os maiores teores foram observados quando houve a associação com a aplicação de composto orgânico e o cultivo de braquiária nas entrelinhas (Figura 3). Na camada de 0,20-0,40 m, houve efeito isolado dos fatores gesso e sistema manejo, em que, o uso de gesso na dose elevada proporcionou os maiores teores de P disponível, seguido pela dose recomendada, em comparação a ausência da aplicação de gesso. Com relação ao sistema de manejo, a aplicação de composto orgânico proporcionou os maiores teores de P disponível, isoladamente ou quando combinada com o cultivo de braquiária *ruiziensis* nas entrelinhas (Figura 3).

Aos 29 meses após a instalação, os teores de P disponíveis foram significativamente influenciados pela aplicação das doses gesso e pelo sistema de manejo, bem como pela interação entre eles, para todas as camadas avaliadas (Tabela 5). A aplicação de gesso na dose elevada ($40.000 \text{ kg ha}^{-1}$) proporcionou os maiores teores de P disponível e a associação com aplicação de composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas, continuou a contribuir para a manutenção dos altos teores de P disponível ao longo do perfil do solo (Figura 3).

Observou-se na camada de 0,0-0,10 m de profundidade, na avaliação aos 41 meses, a influência da interação dos fatores estudados (Tabela 5). A aplicação de gesso na dose recomendada ou elevada manteve os teores de P disponível elevados, quando associada apenas a aplicação de composto orgânico, ou

juntamente com o cultivo de braquiária nas entrelinhas (Figura 3). Os teores de P disponível foram influenciados por ambos os fatores isolados, nas camadas de 0,10-0,20 e 0,60-0,80 m, enquanto, nas camadas de 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m de profundidade, houve influência apenas das doses de gesso (Tabela 5). Os maiores teores de P no solo foram observados com a aplicação da dose elevada de gesso e com a aplicação de composto orgânico (Figura 3).

Aos 65 meses, os maiores teores de P disponível nas camadas de 0,10-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60 e 0,60-0,80 m foram observados com a aplicação da dose elevada de gesso (Tabela 5; Figura 3). Nas camadas de 0,0-0,10 e 0,80-1,0 m de profundidade, houve interação dos fatores estudados (Tabela 5). A aplicação de gesso na dose recomendada ou elevada aumentou os teores de P disponíveis quando associadas à aplicação de composto e/ou cultivo de braquiária nas entrelinhas (Figura 3). O teor de P disponível foi influenciado pelo sistema de manejo, na camada de 0,20-0,40 m de profundidade, em que os maiores teores foram observados com a aplicação de composto orgânico e com o cultivo de braquiária nas entrelinhas.

A aplicação da dose elevada de gesso ($40.000 \text{ kg ha}^{-1}$) manteve os teores de P disponíveis elevados ao longo do tempo, juntamente com os sistemas de manejo CC-CB (Figura 3), indicando a eficácia dessas práticas no aumento e manutenção da disponibilidade de P no solo.

A utilização de insumos de base orgânica (compostos orgânicos e biomassa verde de plantas) e condicionadores de solo (gesso), além de proporcionar diversos benefícios para o solo e para as plantas, podem ser uma alternativa para minimizar a fixação de P. Os resíduos orgânicos adicionados ao solo podem reduzir a fixação de P, devido aos ácidos orgânicos competirem pelos sítios de adsorção do P (Haynes, 1984). Já o gesso, quando dissociado, pode formar par iônico entre sulfato com alumínio (AlSO_4^+), reduzindo as formas P-Al (Rampim *et al.*, 2013).

Voltolini *et al.* (2020), avaliando diferentes técnicas agronômicas e suas associações no manejo da lavoura de café arábica, relatou que os teores de P disponível no solo aumentaram em função da aplicação de composto orgânico, que possivelmente foi devido ao alto teor de P presente neste material. O composto orgânico utilizado no estudo, forneceu em média (5 anos) cerca de 48 kg de P, o qual ajuda a justificar o incremento observado no solo (Tabela 4).

No sistema de manejo CC-CB, os teores de P no solo foram superiores, pois, além do P fornecido via composto orgânico, a biomassa da braquiária após o corte também forneceu P. Outra possível explicação para o alto teor de P disponível no solo, foi pelo incremento que esse sistema de manejo CC-CB ocasionou na MOS. Pelo processo de decomposição houve aumento dos ácidos orgânicos, que reduzem a fixação de P, uma vez que competem pelo mesmo local de adsorção (Rampim *et al.*, 2013), aumentando assim, a eficiência das adubações fosfatadas que foram realizadas via fertilizante mineral em todas as parcelas.

O aumento dos teores de P disponíveis com a aplicação da dose elevada de gesso pode ter relação com o fato do gesso ser um subproduto da indústria de fertilizantes fosfatados, o qual pode apresentar em sua composição resíduo de P_2O_5 . Segundo Dias (1992), o gesso, também conhecido como fosfogesso, devido a sua origem, pode apresentar cerca de 0,7% de P_2O_5 em sua composição e, se for considerado a dose elevada de gesso ($40.000 \text{ kg ha}^{-1}$), pode-se estimar que esse tratamento forneceu cerca de 280 kg de P_2O_5 . Isto ajuda a explicar os altos teores observados nas duas primeiras épocas de avaliação, 17 e 29 meses após a instalação (Figura 3). Contudo, com o passar do tempo os teores de P disponível no solo foram diminuindo, provavelmente à fixação nos colóides do solo e pelo requerimento da planta em virtude do seu crescimento e das remoções pelos grãos.

Figura 2 - Teores de matéria orgânica (MOS) no perfil do solo, em quatro épocas de amostragem, em função de doses gesso (0G: 0 kg ha⁻¹; 1200G: 1.200 kg ha⁻¹; 40000G: 40.000 kg ha⁻¹) e dos sistemas de manejo (SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas). Barras horizontais indicam o DMS ($P=0,05$), pelo teste LSD, em cada profundidade

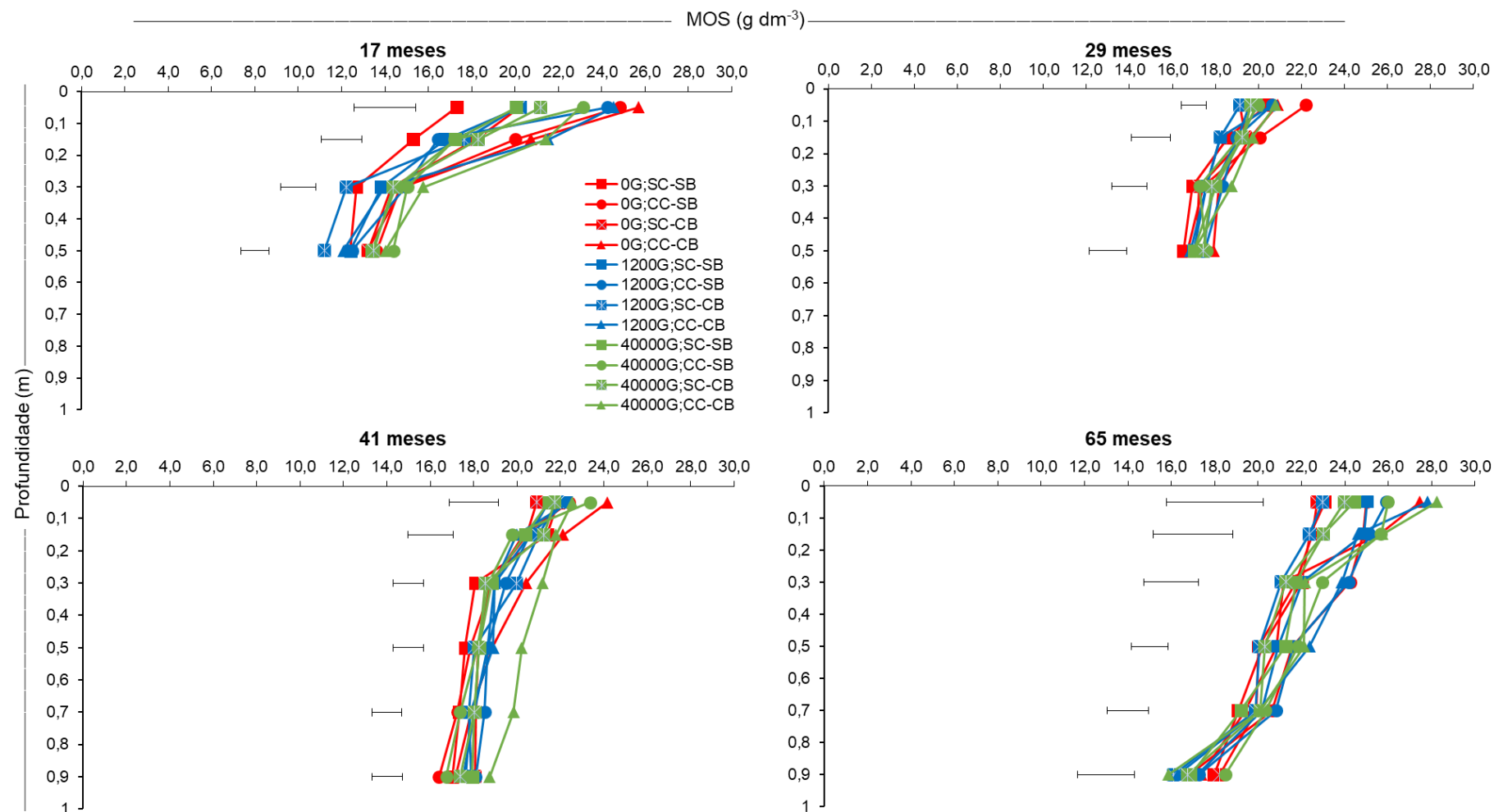
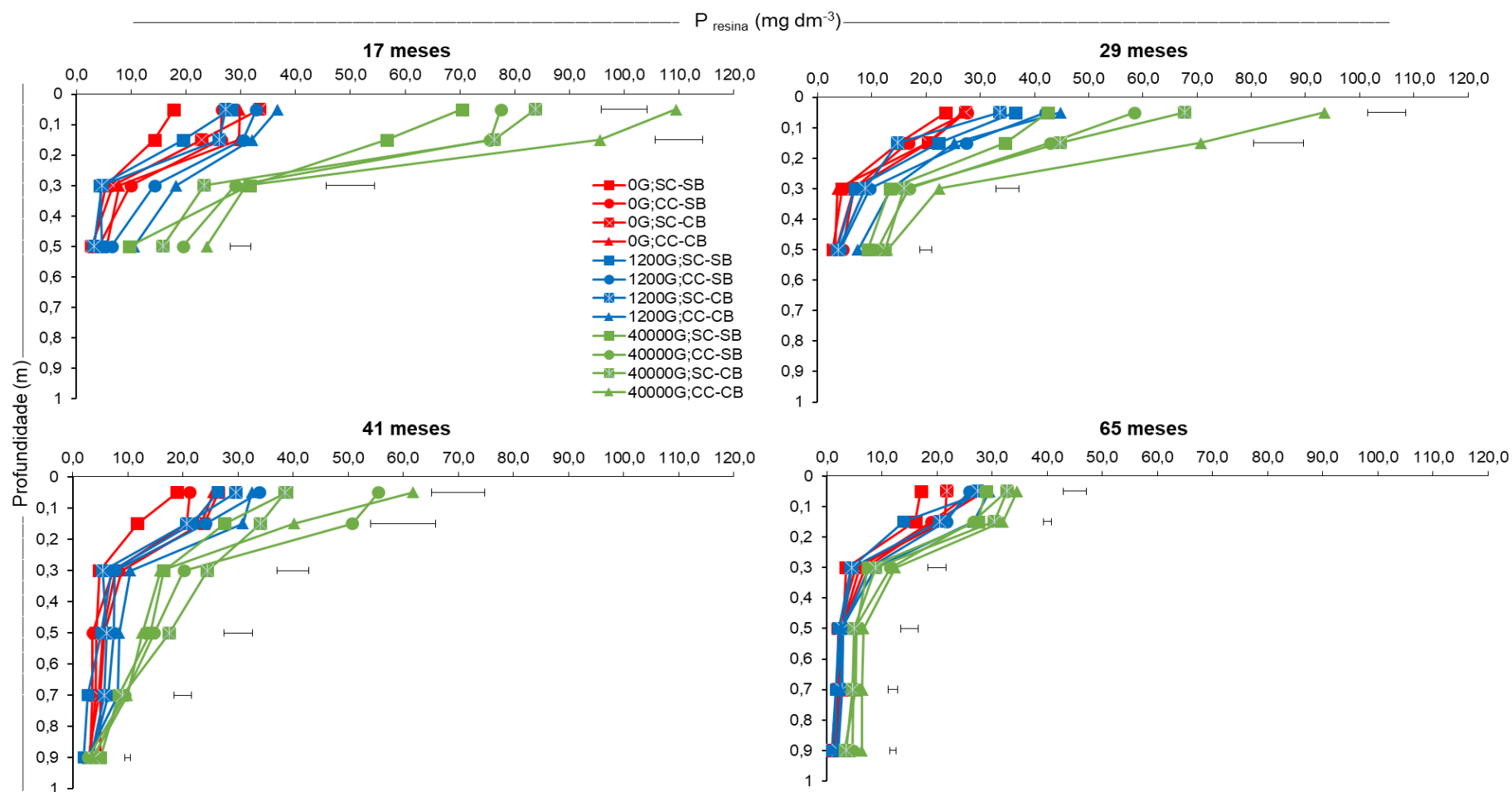


Figura 3 - Teores de P disponível (P_{resina}) no perfil do solo, em quatro épocas de amostragem, em função de doses gesso (0G: 0 kg ha⁻¹; 1200G: 1.200 kg ha⁻¹; 40000G: 40.000 kg ha⁻¹) e dos sistemas de manejo (SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas). Barras horizontais indicam o DMS ($P=0,05$), pelo teste LSD, em cada profundidade



Os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} ao longo do perfil do solo e das épocas de avaliação foram influenciados pelo uso de gesso agrícola e pelo sistema de manejo (Tabela 6). Aos 17 meses, o teor de Ca^{2+} foi influenciado pela interação dos fatores estudados nas camadas de 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m de profundidade, em que a aplicação de gesso na dose recomendada e elevada aumentou os teores de Ca^{2+} , quando associada à aplicação de composto orgânico juntamente com o cultivo de braquiária nas entrelinhas, além disto, houve um incremento mais pronunciado com a aplicação dose elevada de gesso (Figura 4). Nas camadas de 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m de profundidade, ambos os fatores influenciaram os teores de Ca^{2+} , onde se observou os maiores valores com a aplicação de gesso em dose elevada e pela aplicação de composto orgânico, ou sua associação com o cultivo de braquiária nas entrelinhas (Figura 4).

Aos 29 meses, os teores de Ca^{2+} foram influenciados pela interação da aplicação de gesso e do sistema de manejo, nas camadas de 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m de profundidade, com os maiores valores pela aplicação da dose recomendada ou elevada de gesso, e pela associação da aplicação composto orgânico juntamente com o cultivo de braquiária nas entrelinhas. Para as camadas de 0,20-0,40 m e 0,40-0,60 m de profundidade, houve influência significativa da aplicação de gesso sobre os teores de Ca^{2+} , com os maiores teores pela aplicação da dose elevada (Tabela 6; Figura 4).

Aos 41 meses, os teores de Ca^{2+} foram influenciados pela interação dos fatores nas camadas de 0,0-0,10 e 0,40-0,60 m, já pelo fator gesso nas camadas de 0,10-0,20, 0,20-0,40, 0,60-0,80 e 0,80-1,0 m, e ainda pelo sistema de manejo na camada de 0,60-0,80 m de profundidade (Tabela 6). A aplicação de gesso em dose elevada aumentou os teores de Ca^{2+} em relação às outras doses, e quando associada ao sistema de manejo CC-CB, apresentou um incremento significativo (Figura 4).

Já para os 65 meses, houve influência significativa pelas doses de gesso e pelo sistema de manejo nas camadas de 0-0,010 e 0,40-0,60 m de profundidade. As doses de gesso também influenciaram os teores de Ca^{2+} em todas as profundidades avaliadas (Tabela 6). Em superfície (0-0,10 m), a aplicação de composto orgânico juntamente com o cultivo de braquiária nas entrelinhas aumentou os teores de Ca^{2+} , já em profundidade (0,80-1,0 m) os maiores teores são observados em detrimento da dose elevada de gesso (Figura 4).

Pesquisas indicam o efeito positivo da aplicação de gesso no solo (Crusciol *et al.*, 2016; Pauletti *et al.*, 2014; Caires *et al.*, 2001; Carvalho e Rajj, 1997), destacando a redução dos níveis de Al^{3+} e o aumento de Ca^{2+} e SO_4^{2-} ao longo do perfil. Essas mudanças são benéficas para o cafeeiro, planta perene, pois promovem o crescimento radicular em maiores profundidades, otimizando a absorção de nutrientes e água pelas plantas (Rena; Guimarães, 2010). Isso acontece porque o Ca é um componente essencial da parede celular das raízes, auxiliando no alongamento e multiplicação das células (Marschner, 1995).

Serafim *et al.* (2011) apurou que os melhores resultados químicos, decorrentes da aplicação de gesso no cafeeiro, foram potencializados, quando associados a outras práticas, como adubação adequada, tratos fitossanitários e manutenção da cobertura na entrelinha. Souza *et al.* (2012), estudando sistema de manejo (plantio direto e convencional) com efeito residual de gesso, observou maiores teores de Ca^{2+} em superfície com redução ao longo do perfil do solo, para a adoção do plantio direto, porém, sem constatar incremento pelo efeito residual do gesso (2.000 kg ha^{-1}).

Nota-se, que nesse estudo, em todas as épocas coletadas, o teor de Ca^{2+} no solo foi superior nas primeiras camadas, quando associado à dose elevada de gesso com os sistemas de manejo, e ao longo do perfil do solo os teores diminuem em profundidade. Porém, pode-se verificar que após 41 e 65 meses há uma redução dos teores em superfície, e uma elevação ao longo de todo o perfil do solo (até 1,0 m de profundidade), indicando a maior mobilidade do elemento pela aplicação de elevadas doses de gesso (Figura 4).

Corroborando com essa situação, estudos em áreas em sistema plantio direto, com diferentes doses de gesso, avaliados em dois períodos (36 e 72 meses após a aplicação), mostraram aumento de Ca^{2+} até 1,0 m de profundidade, sendo os níveis mais altos observados na segunda avaliação (Pauletti *et al.*, 2014). Toma *et al.* (1999) observaram teores de Ca^{2+} a uma profundidade de 1,20 m, em solo caulinitico após a aplicação de $35.000 \text{ kg ha}^{-1}$ de gesso, avaliados 16 anos após a aplicação. Diversos estudos confirmam que a aplicação de gesso aumenta os teores de Ca^{2+} no solo, inclusive em camadas mais profundas, dependendo da dose e do tempo decorrido desde a aplicação (Masud *et al.*, 2015; Zandoná *et al.*, 2015; Crusciol *et al.*, 2014; Nava *et al.*, 2012; Caires *et al.*, 2011; Soratto; Crusciol, 2008).

Tabela 6 - Probabilidade de F e coeficiente de variação para os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) no perfil do solo, em quatro épocas de avaliação, coletados na projeção da copa dos cafeeiros, em função de doses de gesso agrícola e dos sistemas de manejo (composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas)

Fonte de variação	Profundidade (m)					
	0,0–0,10	0,10–0,20	0,20–0,40	0,40–0,60	0,60–0,80	0,80–1,0
Teor de Ca^{2+}						
17 meses						
Gesso (G)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	-
Manejo (M)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	-
G × M	<0,001	<0,001	0,649	0,596	-	-
CV(%)	10,0	10,4	21,0	28,4	-	-
29 meses						
Gesso (G)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	-
Manejo (M)	<0,001	<0,001	0,081	0,082	-	-
G × M	<0,001	<0,001	0,090	0,385	-	-
CV(%)	17,7	11,0	20,3	29,1	-	-
41 meses						
Gesso (G)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Manejo (M)	0,003	0,055	0,073	<0,001	0,033	0,151
G × M	0,012	0,754	0,126	<0,001	0,150	0,288
CV(%)	16,6	24,5	21,2	16,3	30,8	29,8
65 meses						
Gesso (G)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Manejo (M)	0,036	0,138	0,239	0,013	0,448	0,576
G × M	0,238	0,126	0,546	0,542	0,118	0,172
CV(%)	10,4	11,4	11,1	6,4	9,1	8,4
Teor de Mg^{2+}						
17 meses						
Gesso (G)	<0,001	<0,001	0,006	<0,001	-	-
Manejo (M)	<0,001	0,002	0,551	0,087	-	-
G × M	0,015	0,169	0,389	0,009	-	-
CV(%)	15,8	18,5	20,6	18,7	-	-
29 meses						
Gesso (G)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	-
Manejo (M)	0,011	<0,001	0,155	0,720	-	-
G × M	0,705	0,363	0,778	0,537	-	-
CV(%)	18,2	14,1	23,3	20,0	-	-
41 meses						
Gesso (G)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,010
Manejo (M)	0,007	0,003	<0,001	0,002	0,069	0,122
G × M	0,006	0,002	0,006	0,287	0,073	0,479
CV(%)	17,4	21,9	19,0	18,1	20,4	21,7
65 meses						
Gesso (G)	0,115	0,867	0,188	0,311	0,055	0,016
Manejo (M)	<0,001	0,408	0,141	0,570	0,131	0,164
G × M	0,053	0,208	0,277	0,861	0,376	0,306
CV(%)	11,2	23,8	9,9	18,1	25,4	32,9

O comportamento do Ca^{2+} ao longo do perfil do solo, possivelmente favoreceu o desenvolvimento do sistema radicular, sendo benéfico para o cafeeiro, pois suas raízes podem atingir mais de 2 m de profundidade (Carducci *et al.*, 2015; Matiello *et al.*, 2016) propiciando uma melhor absorção de água, que pode contribuir principalmente em períodos de estiagem ou seca mais prolongada.

Quanto aos teores de Mg^{2+} aos 17 meses, foi observado influência da interação dos fatores para as camadas de 0-0,10 e 0,40-0,60 m, além da influência do sistema de manejo para a camada de 0,10-0,20 e das doses de gesso para as camadas de 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m de profundidade (Tabela 6). A dose elevada de gesso proporcionou uma redução dos teores de Mg^{2+} em relação a dose recomendada, observou-se também que na ausência da aplicação de gesso os maiores teores foram através da aplicação de composto orgânico isolado ou associado juntamente com o cultivo de braquiária nas entrelinhas (Figura 5).

Já aos 29 meses, os teores de Mg^{2+} foram influenciados pela aplicação das doses de gesso em todas as camadas, enquanto, o sistema de manejo influenciou as camadas de 0,0-0,10 e 0,10-0,20 (Tabela 6). Na Figura 5 fica evidenciado que os maiores teores de Mg^{2+} são observados nos tratamentos com ausência da aplicação de gesso, tanto na dose recomendada quanto na dose elevada, e com um incremento quando aplicado composto orgânico, ou o mesmo juntamente com o cultivo de braquiária nas entrelinhas.

Aos 41 meses, a interação dos fatores estudados foi significativa para os teores de Mg^{2+} nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m de profundidade, onde a ausência da aplicação de gesso associada ao sistema de manejo CC-CB aumentaram os teores de Mg^{2+} (Tabela 6; Figura 5). Para as camadas de 0,40-0,60, 0,60-0,80 e 0,80-1,0 m de profundidade as doses de gesso influenciaram os teores de Mg^{2+} , observando os maiores teores na ausência da aplicação de gesso (Tabela 6; Figura 5).

Aos 65 meses, os teores de Mg^{2+} foram influenciados apenas pelo sistema de manejo na camada de 0-0,10 m, e pelas doses de gesso na camada de 0,80-1,0 m de profundidade, as demais camadas não foram influenciadas pelos fatores estudados (Tabela 6). Conforme ilustrado na Figura 5, a aplicação de composto orgânico isolado ou associado com o cultivo de braquiária nas entrelinhas aumenta os teores de Mg^{2+} em superfície (0-0,10 m) na ausência de gesso, já em

profundidade (0,80-1,0 m) a aplicação de gesso em dose elevada reduz os teores de Mg^{2+} .

Nos tratamentos sem aplicação de gesso os maiores valores Mg^{2+} foram observados tanto em superfície quanto em subsuperfície (Figura 5), já na dose elevada de gesso, o teor de Mg^{2+} decresceu conforme se aprofundou no perfil do solo. Concordando com os resultados apresentados por Ernani *et al.* (2001), em que os autores observaram que gesso promoveu grande lixiviação de Mg^{2+} e a magnitude foi maior quando se incorporou o gesso agrícola. Possivelmente a diferença gerada entre a ausência de aplicação e a dose elevada de gesso, para o teor de Mg^{2+} está no fato da gessagem remover este nutriente para camadas mais profundas do solo (Raij, 2008).

Os resultados obtidos por Ramos *et al.* (2013), em avaliação realizada 16 meses após a aplicação de 56.000 kg ha⁻¹ de gesso, mostraram que o Mg^{2+} foi lixiviado da camada superficial para camadas mais profundas em todos os tratamentos, quando comparado ao controle. Lima *et al.* (2013) também observaram que, com a aplicação de 1.000 kg ha⁻¹ de gesso, houve deslocamento de Mg^{2+} para camadas mais profundas, resultando na diminuição dos teores de Mg^{2+} nas camadas superficiais, evidenciando o transporte do elemento ao longo do perfil do solo. Outros estudos envolvendo aplicação de gesso também tem encontrado lixiviação de Mg^{2+} no perfil do solo (O'Brien, Sumner, 1988; Ferraz, 2017; Ritchey, Snuffer, 2002; Pavan *et al.*, 1984; Soratto, Crusciol, 2008). Vale ressaltar que a lixiviação observada por alguns autores, é tratada como alocação do Mg^{2+} no perfil do solo, ou seja, distribuição, e não perca do nutriente.

Neste estudo, nota-se que o Mg^{2+} foi lixiviado ao longo de todo o perfil do solo, principalmente nos tratamentos que receberam dose elevada de gesso. Esse movimento é favorecido pela formação de pares iônicos neutros, como $MgSO_4^0$, devido à associação de Mg^{2+} com o ânion SO_4^{2-} (Ramos *et al.*, 2013). Isso resulta em maior mobilidade e facilidade de lixiviação desse elemento no perfil do solo (Silva *et al.*, 1998). Aos 65 meses é possível observar que os tratamentos não influenciaram tanto nos teores de Mg^{2+} ao longo do perfil, muito provavelmente se dá, pelo fato de ter sido aplicado 2.000 kg ha⁻¹ de calcário em todas as parcelas em 2021. O calcário forneceu Mg^{2+} , o que equilibrou os teores no perfil do solo, podendo ser comprovado pelos resultados evidenciados por Parecido *et al.* (2021), avaliando a aplicação de calcário e gesso, isoladamente ou combinados, em cafeeiros arábica,

observaram que a aplicação de gesso não proporcionou lixiviação intensa de Mg^{2+} , quando associado ao calcário.

Os resultados apresentados por Ramos *et al.* (2013) e Ferraz (2017), evidenciam a lixiviação de Mg^{2+} em profundidade, considerando que estes estudos foram realizados em solos com alto teor de argila. Solos que possuem alto teor de argila são naturalmente mais férteis e possuem melhor retenção de nutrientes, e mesmo assim, foi observado lixiviação de Mg^{2+} . Na presente pesquisa o solo era de caráter arenoso (menor teor de argila), o que pode explicar a forte lixiviação deste elemento com a aplicação da dose elevada de gesso (Tabela 3).

Figura 4 - Teores de Ca trocável no perfil do solo, em quatro épocas de amostragem, em função de doses gesso (0G: 0 kg ha⁻¹; 1200G: 1.200 kg ha⁻¹; 4000G: 40.000 kg ha⁻¹) e dos sistemas de manejo (SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas). Barras horizontais indicam o DMS ($P=0,05$), pelo teste LSD, em cada profundidade

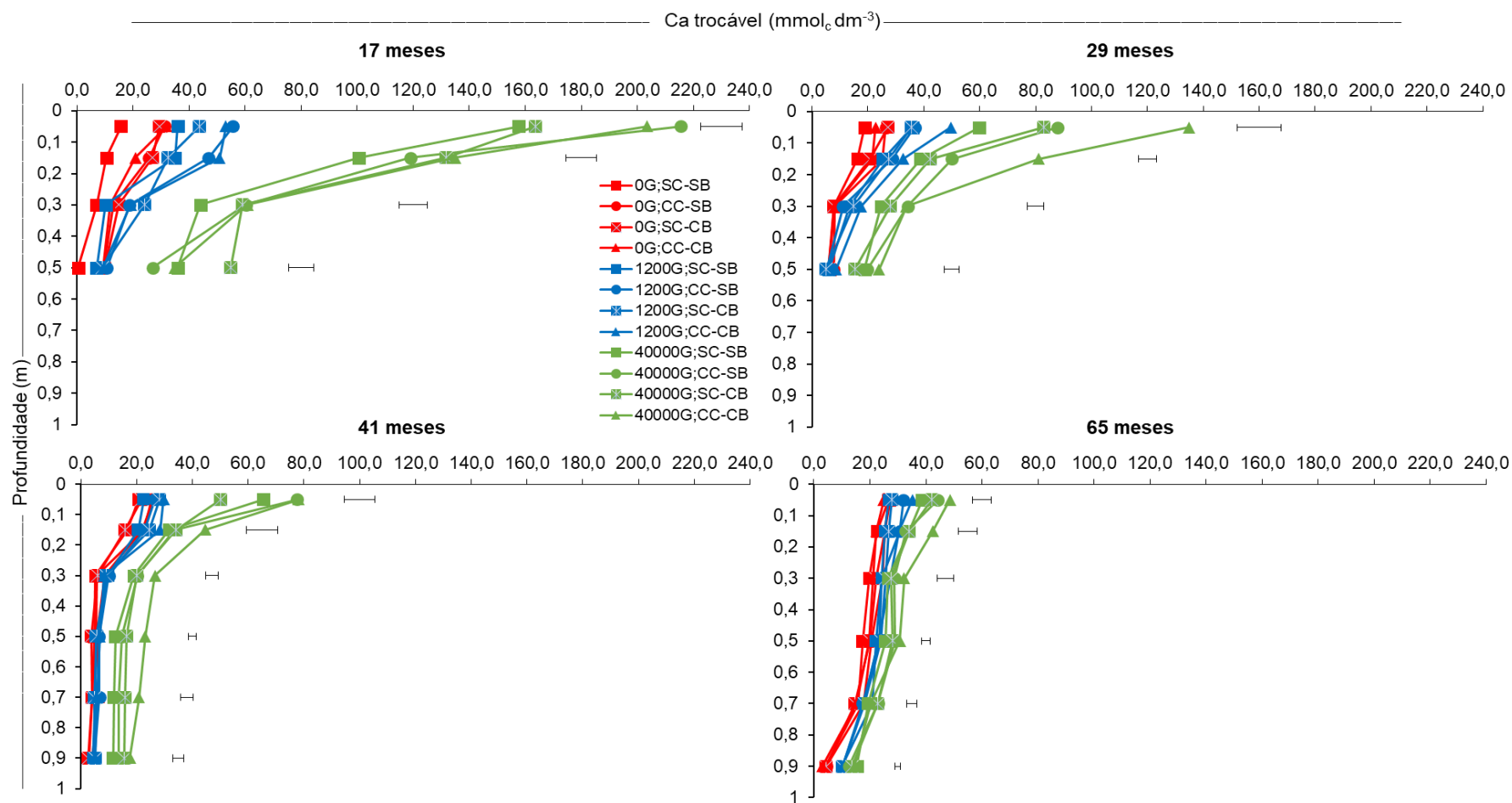
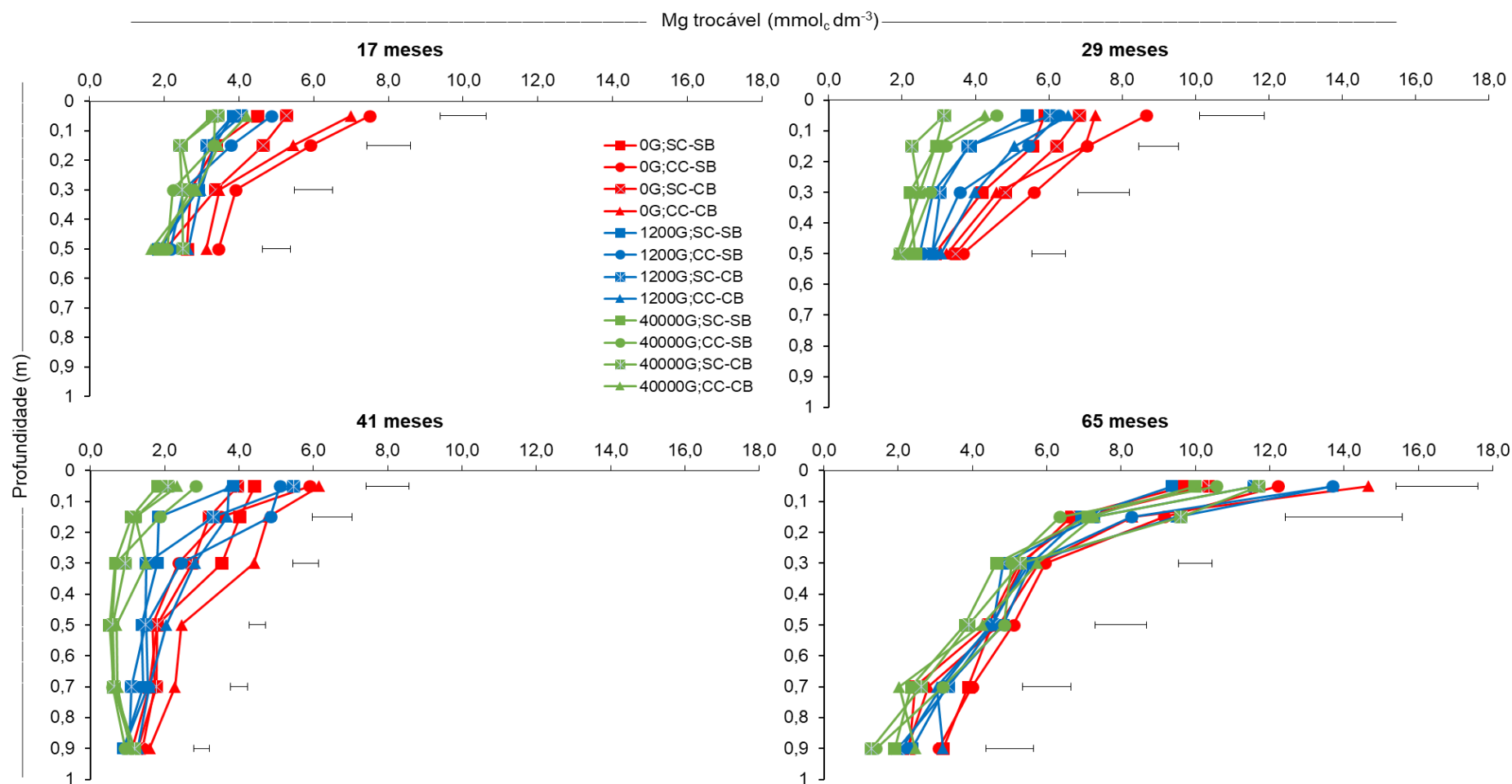


Figura 5 - Teores de Mg trocável no perfil do solo, em quatro épocas de amostragem, em função de doses gesso (0G: 0 kg ha⁻¹; 1200G: 1.200 kg ha⁻¹; 40000G: 40.000 kg ha⁻¹) e dos sistemas de manejo (SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas). Barras horizontais indicam o DMS ($P=0,05$), pelo teste LSD, em cada profundidade



Os teores de S-SO_4^{2-} e K^+ ao longo do perfil do solo e das épocas de avaliação foram influenciados significativamente pelas doses de gesso e pelo sistema de manejo (Tabela 7). Houve interação dos fatores estudados aos 17 meses, para os teores de S-SO_4^{2-} nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20 m de profundidade, em que os maiores teores foram proporcionados pela aplicação da dose elevada de gesso, muito superior à dose recomendada, e quando associada ao sistema de manejo CC-CB levou a um incremento ainda maior (Tabela 7; Figura 6). As doses elevadas de gesso proporcionaram aumento dos teores de S-SO_4^{2-} nas camadas de 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m de profundidade, esta última com influência isolada também dos sistemas de manejo, com os maiores valores quando associado ao manejo CC-CB. Houve um incremento muito alto nos teores de S-SO_4^{2-} em todas as profundidades com a aplicação da dose elevada de gesso (Figura 6), este aumento está muito associado às altas quantidades do nutriente que foi disponibilizada e movimentou no perfil, pela alta mobilidade do sulfato, promovendo a disponibilidade em maiores profundidades.

Aos 29 meses, a interação dos fatores estudados continuou a ser significativa para os teores de S-SO_4^{2-} nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m de profundidade, em que a aplicação de dose elevada de gesso proporcionou valores bem superior a dose recomendada, e com incremento quando associada ao manejo com composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas (Tabela 7; Figura 6). Fica evidente que o aumento nos teores de S-SO_4^{2-} em profundidade está relacionado à sua elevada solubilidade e mobilidade, quando aplicado na forma de gesso agrícola, facilitando sua redistribuição no perfil do solo e devido à alta quantidade aplicada, contribuiu para que os teores continuassem elevados mesmo após 29 meses da sua aplicação (Figura 6).

Aos 41 meses, a interação dos fatores estudados foi significativa para os teores de S-SO_4^{2-} nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60 e 0,60-0,80 m de profundidade, onde a aplicação de dose elevada de gesso, superior a dose recomendada, proporcionou os maiores valores, quando associada ao manejo com composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas (Tabela 7; Figura 6). Para a camada de 0,80-1,0 m de profundidade, apenas as doses de gesso influenciaram os teores de S-SO_4^{2-} , observando os maiores teores na presença da aplicação de dose elevada de gesso (Tabela 7; Figura 6). A partir dos 41 meses,

nota-se que a uma redução dos teores de S-SO_4^{2-} em superfície, na aplicação da dose elevada; contudo, ainda superior às demais e com elevação em profundidade (Figura 6).

Aos 65 meses, a aplicação da dose elevada de gesso continuou a influenciar significativamente os teores de S-SO_4^{2-} nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60 e 0,80-1,0 m de profundidade (Tabela 7). A combinação com o sistema de manejo CC-CB resultou nos maiores teores de S-SO_4^{2-} na camada de 0,60-0,80 m de profundidade (Figura 6).

O gesso é utilizado como condicionador de solo, por fornecer Ca^{2+} , e SO_4^{2-} em profundidade, além de reduzir a toxicidade do Al^{3+} (Raij, 2008). Semelhantemente aos resultados observados para o teor de Ca^{2+} , o SO_4^{2-} seguiu a mesma tendência, onde foram verificadas elevadas concentrações quando se aplicou a dose elevada de gesso. Resultados semelhantes foram relatados por Michalovicz *et al.* (2014), onde se observou um aumento nos teores de SO_4^{2-} em todas as camadas do solo até 0,60 m de profundidade, em decorrência da aplicação de gesso com aproximadamente 14% de S em sua composição. O deslocamento do SO_4^{2-} no perfil do solo, assim como o do Ca^{2+} , está relacionado às doses de gesso aplicadas, à textura do solo e ao volume de água disponível (Raij, 2008; Caires *et al.*, 2004).

Ferraz (2017), ao estudar o cultivo de cafeeiros em um Latossolo Vermelho distrófico de textura muito argilosa (82% de argila), com aplicação de gesso em faixa sete meses após o plantio. Observou os maiores teores de SO_4^{2-} a 0,80 m de profundidade com a aplicação de 7.000 e 14.000 kg ha^{-1} de gesso na superfície. Já com a aplicação de 56.000 kg ha^{-1} , os maiores teores foram detectados a 1,30 m de profundidade, 76 meses após a aplicação. Caires *et al.* (2003), avaliaram a aplicação de gesso em superfície, na implantação do sistema de plantio direto, em solo com 68% de argila, que, 20 meses depois, o SO_4^{2-} do gesso já havia se distribuído uniformemente no perfil do solo até 0,60 m de profundidade. Os resultados observados por Ferraz (2017) e Caires *et al.* (2003), evidenciam fortemente que, com a utilização de gesso é possível encontrar teores de S-SO_4^{2-} em profundidades elevadas, a depender muito da quantidade aplicada e das características do solo e da cultura alvo.

Tabela 7 - Probabilidade de F e coeficiente de variação para os teores de $S-SO_4^{2-}$ ($mg\ dm^{-3}$) e K^+ ($mmol_c\ dm^{-3}$) no perfil do solo, em quatro épocas de avaliação, coletados na projeção da copa dos cafeeiros, em função de doses de gesso agrícola e dos sistemas de manejo (composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas)

Fonte de variação	Profundidade (m)					
	0,0–0,10	0,10–0,20	0,20–0,40	0,40–0,60	0,60–0,80	0,80–1,0
Teor de $S-SO_4^{2-}$						
17 meses						
Gesso (G)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	-
Manejo (M)	<0,001	<0,001	0,114	0,005	-	-
G × M	<0,001	<0,001	0,061	0,168	-	-
CV(%)	10,2	7,1	8,0	6,2	-	-
29 meses						
Gesso (G)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	-
Manejo (M)	<0,001	0,176	0,237	0,029	-	-
G × M	<0,001	0,010	<0,001	0,017	-	-
CV(%)	11,9	13,8	9,4	8,3	-	-
41 meses						
Gesso (G)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Manejo (M)	0,012	<0,001	<0,001	<0,001	0,519	0,701
G × M	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,023	0,383
CV(%)	24,1	9,01	17,0	13,4	13,4	25,0
65 meses						
Gesso (G)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Manejo (M)	0,288	0,059	0,527	0,381	0,188	0,185
G × M	0,294	0,645	0,127	0,740	0,002	0,312
CV(%)	24,2	24,8	24,6	29,5	22,9	17,8
Teor de K^+						
17 meses						
Gesso (G)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	-
Manejo (M)	0,085	0,005	0,074	0,013	-	-
G × M	0,009	0,100	0,002	<0,001	-	-
CV(%)	15,8	19,2	19,7	12,2	-	-
29 meses						
Gesso (G)	0,006	0,001	0,200	0,001	-	-
Manejo (M)	0,198	0,543	0,801	0,998	-	-
G × M	0,713	0,317	0,171	0,625	-	-
CV(%)	17,6	12,9	13,3	16,5	-	-
41 meses						
Gesso (G)	<0,001	<0,001	0,023	0,562	0,051	<0,001
Manejo (M)	0,127	0,007	0,022	0,065	0,131	0,011
G × M	0,051	0,603	0,759	0,167	0,168	0,167
CV(%)	11,9	14,8	24,3	32,1	30,9	47,9
65 meses						
Gesso (G)	0,005	0,200	0,709	0,086	0,001	<0,001
Manejo (M)	0,084	0,477	0,612	0,093	0,074	0,112
G × M	0,223	0,425	0,756	0,821	0,923	0,542
CV(%)	9,8	9,3	16,9	15,6	14,3	15,1

Caires *et al.* (1998) e Baldotto (2003) em utilização da gessagem na cultura da soja e café, respectivamente, observaram que a aplicação de gesso causou redução dos teores de Al^{3+} , aumentou os teores de Ca^{2+} e S-SO_4^{2-} no perfil do solo, provocando ainda, transposição de bases, principalmente de Mg para as camadas subsuperficiais, o que proporciona um desenvolvimento vigoroso do sistema radicular das plantas.

Os teores de K^+ aos 17 meses foram significativamente influenciados pela combinação das doses de gesso e sistema de manejo, nas camadas de 0-0,10, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m (Tabela 7). Nessas profundidades, a presença de composto orgânico e/ou cultivo de braquiária nas entrelinhas, aumentou os teores de K^+ , já aplicação de dose elevada de gesso resultou nos menores teores de K^+ quando comparado aos demais tratamentos (Figura 7). Na camada de 0,10-0,20 m de profundidade houve efeito isolado dos fatores estudados, a aplicação de gesso na dose elevada ($40.000 \text{ kg ha}^{-1}$) reduziu os teores de K^+ , por outro lado, quando avaliado somente a aplicação de composto e/ou cultivo de braquiária nas entrelinhas, notou-se aumento dos teores de K^+ pela sua associação. A redistribuição do K^+ no perfil do solo devido à lixiviação do mesmo, que pode aumentar a disponibilidade do K^+ em camadas mais profundas, porém, até a camada avaliada de 0,60 m de profundidade, notaram-se os menores teores quando aplicado gesso em dose elevada (Figura 7).

Os teores de K^+ aos 29 meses foram influenciados significativamente pela aplicação de doses de gesso nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,40-0,60 m, resultando nos menores teores de K^+ , o sistema de manejo não influenciou os teores ao longo perfil (Tabela 7; Figura 7). Já aos 41 meses, foi influenciado pelas doses de gesso na camada de 0-0,10 m, enquanto nas camadas 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,80-1,0 m de profundidade, os efeitos foram isolados para as doses de gesso e o sistema de manejo (Tabela 7). Nessas profundidades, a presença de composto orgânico e o cultivo de braquiária nas entrelinhas, associadas à ausência ou aplicação em dose recomendada de gesso, resultaram nos maiores teores de K^+ (Figura 7). Aos 65 meses, os teores de K^+ significativamente influenciados pela aplicação de doses de gesso nas camadas de 0-0,10, 0,60-0,80 e 0,80-1,0 m (Tabela 7). Nessas camadas, a ausência da aplicação gesso ou na dose recomendado, apresentou teores mais elevados do que a aplicação da dose elevada de gesso (Figura 7).

Similar ao comportamento verificado para Ca^{2+} e Mg^{2+} , o uso do gesso afetou os teores de K^+ , verificando sua lixiviação no perfil do solo, ocasionada pela dose elevada de gesso (Figura 7). Estes resultados também foram observados por outros autores, segundo Corrêa (1992), ao estudar a aplicação incorporada de calcário e de gesso em superfície, tanto de forma isolada quanto combinada, antes do plantio do café arábica, observou-se uma tendência de redução nos teores de K^+ nas camadas superficiais do solo com a aplicação da maior dose de gesso ($10.000 \text{ kg ha}^{-1}$), sem calcário, em avaliações entre sete e 28 meses após a aplicação.

Embora, neste estudo, as adubações potássicas tenham sido realizadas na superfície do solo, sob a projeção da copa dos cafeeiros, anualmente, foi observada uma diminuição do K^+ ao longo do perfil de solo, quando utilizado gesso em dose elevada. Esse efeito pode estar relacionado aos elevados teores de Ca^{2+} no solo, decorrentes da aplicação da dose elevada de gesso, já que, o Ca^{2+} possui preferência nos sítios de troca, competindo com o K^+ pelas cargas negativas do solo (Loyola Jr.; Pavan, 1989). O aumento nos teores de Ca^{2+} no solo pode provocar alterações nas relações entre Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ devido à inibição competitiva, resultando em um desequilíbrio desses cátions, especialmente na camada superficial do solo (Chaves; Pavan; Igue, 1984; Raji, 2008).

Assim, o aumento de Ca^{2+} e S-SO_4^{2-} em todo o perfil do solo, observado aos 17 e 29 meses após a aplicação (Figura 4 e 6), pode ter facilitado a movimentação do K^+ da camada superficial do solo (Figura 7), tanto pela competição dos sítios de troca, como à formação de pares iônicos neutros do K^+ com SO_4^{2-} (K_2SO_4^0) (Ramos *et al.*, 2013). Fato observado por Parecido *et al.* (2021), avaliando a aplicação de calcário e gesso, isoladamente ou combinados, também verificou uma tendência de redução dos teores de K^+ em superfície após seis meses e em profundidade após 18 e 42 meses, com a aplicação associada de 4.200 kg ha^{-1} de calcário e 2.300 kg ha^{-1} de gesso, concentrados em faixa. Os autores complementam, que fornecimento elevado de Ca^{2+} pelos dois insumos, pode ter contribuído para essa redução, pela competição dos sítios de troca.

Por outro lado, nota-se influência do sistema de manejo sobre os teores de K^+ no solo, a combinação entre a aplicação de composto orgânico, juntamente com o cultivo de braquiária nas entrelinhas (CC-CB), proporcionou elevação dos teores em algumas épocas e profundidades avaliadas (Figura 7). Tal fato está associado ao fornecimento deste nutriente pelos materiais orgânicos. O composto orgânico

forneceu em média (5 anos) aproximadamente 65 kg ha⁻¹ de K (Tabela 4), o que contribuiu para sua elevação no solo. Já a braquiária é conhecida por sua alta capacidade de absorver K do solo e depositar nos tecidos vegetais, que após seu corte retorna ao solo (Ernani *et al.*, 2007; Garcia *et al.*, 2008; Mielniczuk, 2005; Giacomini *et al.*, 2003; Rosolem *et al.*, 2003; Calonego *et al.*, 2005).

Segundo Costa *et al.* (2014), avaliando o acúmulo de macronutrientes e decomposição da palhada de braquiárias (*U. brizantha* cv. Xaraés e *U. ruziziensis*) em razão da adubação nitrogenada durante e após o consórcio com a cultura do milho, observaram que estas plantas acumularam quantidades superiores a 80 kg ha⁻¹ de K na sua palhada, sendo superior a 100 kg ha⁻¹ quando as mesmas eram adubadas com N mineral. Isso evidencia o alto potencial destes materiais em fornecer K para o sistema, o que colabora com o incremento nos teores de K⁺ no solo na presente pesquisa, nos tratamentos que houve o cultivo de braquiária nas entrelinhas.

A combinação da aplicação de composto orgânico e o cultivo de braquiária nas entrelinhas (CC-CB) proporcionou maior aporte de K no sistema, que refletiu nos teores observados no solo. Na aplicação da dose elevada de gesso, associada ao manejo SC-SB, aos 17 meses, foi observado forte redução dos teores de K⁺ no perfil do solo; contudo, na presença do sistema de manejo CC-CB, os teores eram maiores. A combinação da dose elevada de gesso com o manejo CC-CB favoreceu a manutenção dos teores de K⁺, porém, sendo inferiores ao tratamento com ausência da aplicação de gesso (Figura 7). A dose elevada de gesso favoreceu uma maior lixiviação do K⁺ aos 17 meses, mesmo na associação do manejo CC-CB, que fornecia mais K ao sistema.

Nas avaliações aos 29, 41 e 65 meses após a aplicação dos tratamentos, verificou-se que essa a lixiviação do K⁺ pela aplicação da dose elevada de gesso, foi menos intensa. Isso se deve pela entrada anual de K via fertilizantes minerais e através dos sistemas de manejo, com a aplicação de composto orgânico e plantas de cobertura (braquiária e de crescimento espontâneo).

Figura 6 - Teores de $S-SO_4^{2-}$ no perfil do solo, em quatro épocas de amostragem, em função de doses gesso (0G: 0 kg ha⁻¹; 1200G: 1.200 kg ha⁻¹; 40000G: 40.000 kg ha⁻¹) e dos sistemas de manejo (SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas). Barras horizontais indicam o DMS ($P=0,05$), pelo teste LSD, em cada profundidade

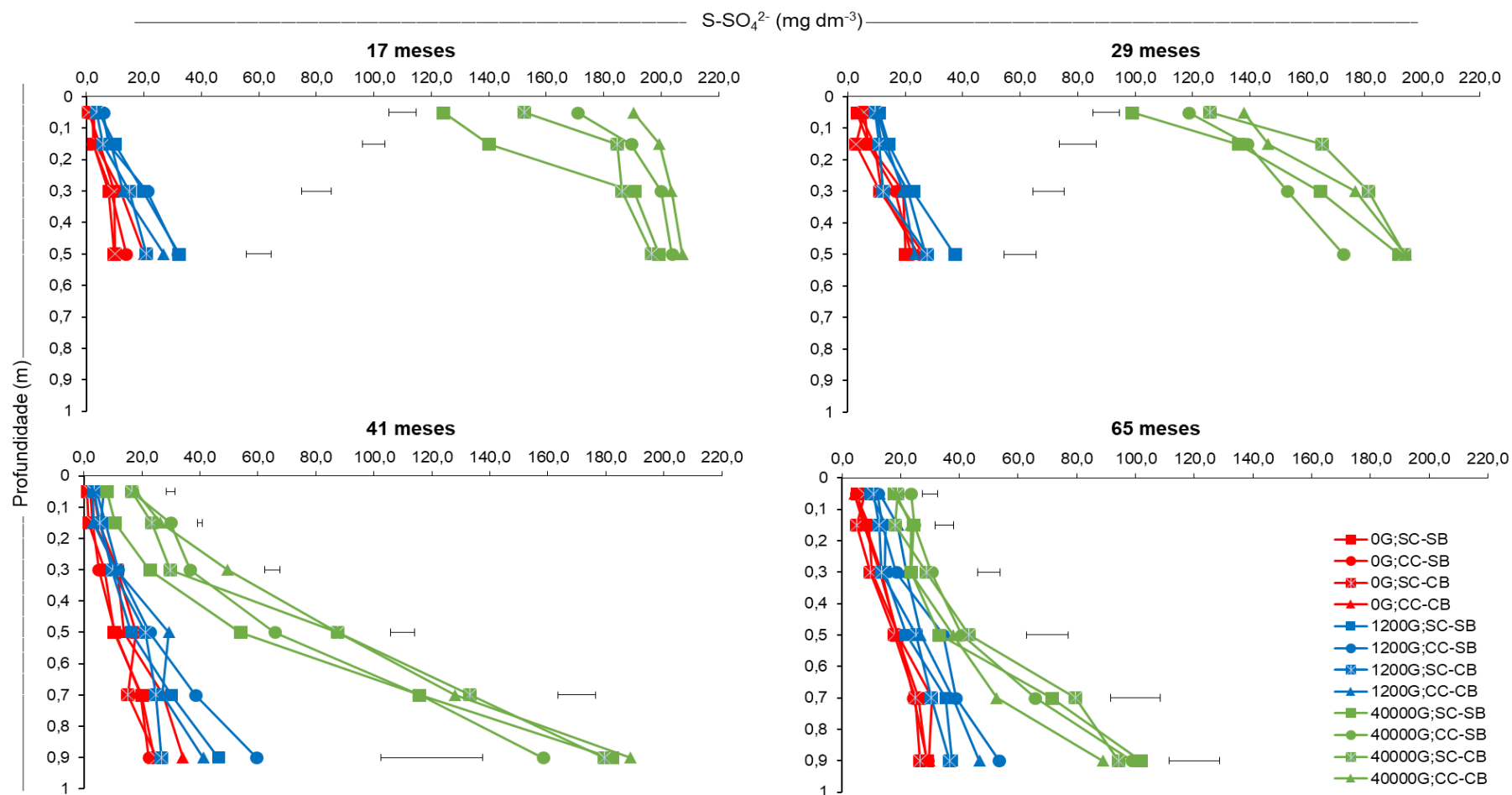
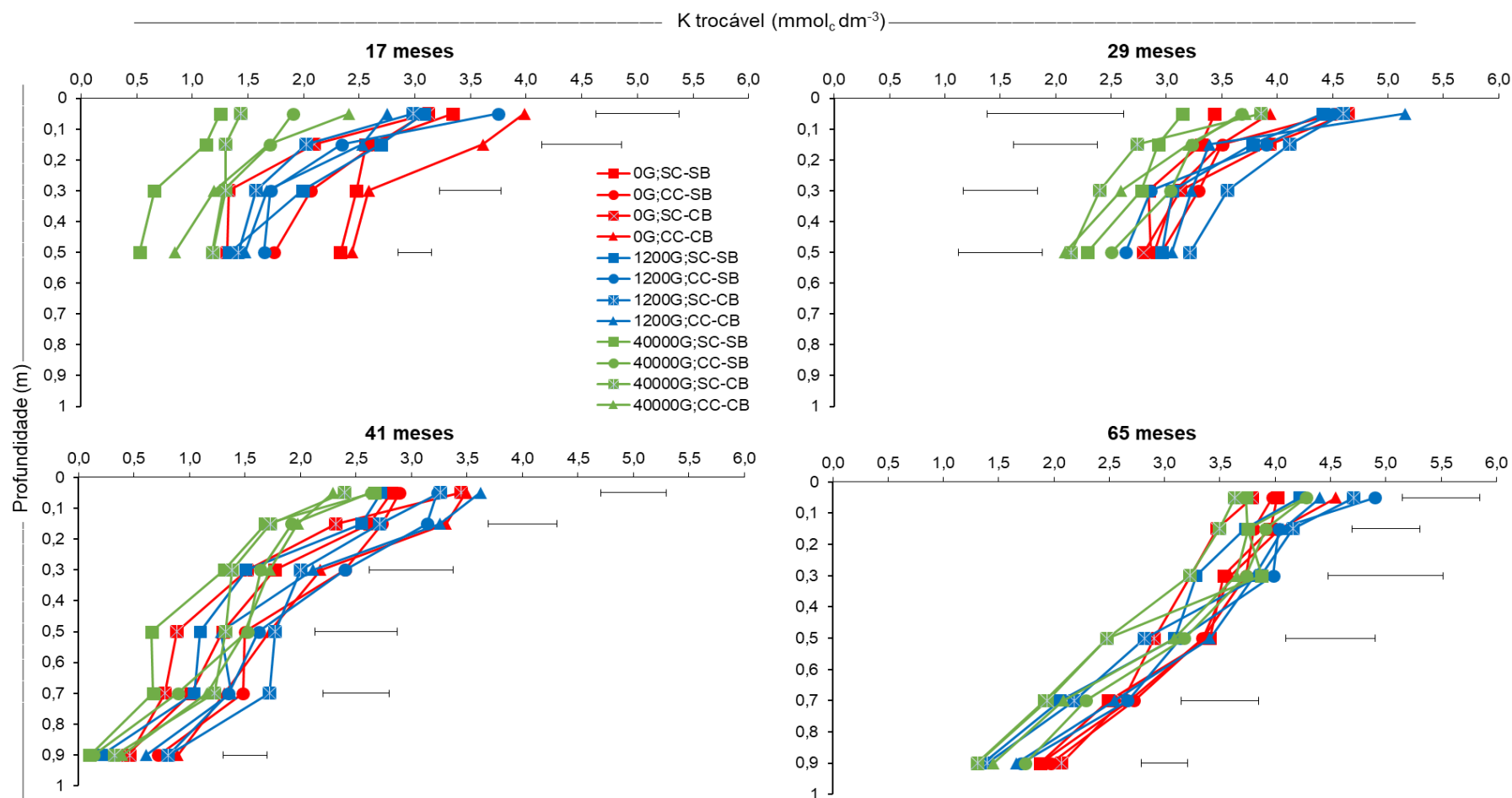


Figura 7 - Teores de K trocável no perfil do solo, em quatro épocas de amostragem, em função de doses gesso (0G: 0 kg ha⁻¹; 1200G: 1.200 kg ha⁻¹; 40000G: 40.000 kg ha⁻¹) e dos sistemas de manejo (SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas). Barras horizontais indicam o DMS ($P=0,05$), pelo teste LSD, em cada profundidade



Os teores de Al^{3+} e saturação por Al^{3+} (m%) ao longo do perfil do solo e das épocas de avaliação foram influenciados significativamente pelas doses de gesso agrícola e pelo sistema de manejo (Tabela 8). Os teores de Al^{3+} , aos 17 meses, foram influenciados pela combinação dos fatores nas camadas de 0-0,10 e 0,20-0,40 m de profundidade. Aos 0,10-0,20 m de profundidade, os teores de Al^{3+} foram influenciados pelos fatores isolados, enquanto na camada de 0,40-0,60 m apenas o fator doses de gesso influenciou os teores de Al^{3+} (Tabela 8). A combinação de composto orgânico e braquiária nas entrelinhas com a dose elevada de gesso resultou nos menores teores de Al^{3+} (Figura 8). Na Figura 8 fica evidenciada redução dos teores de Al^{3+} , provavelmente devido à formação de compostos insolúveis de Al^{3+} com o sulfato, reduzindo sua toxicidade em profundidade (0,40-0,60 m).

Os teores de Al^{3+} , aos 29 meses, foram reduzidos nas camadas de 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m pela aplicação de dose elevada de gesso (Tabela 8). A Figura 8 evidencia a redução dos teores de Al^{3+} ao longo do perfil do solo, corroborando com vários estudos, em que o uso do gesso promove a formação de espécies menos reativas de Al^{3+} , mitigando sua toxicidade no solo (Crusciol *et al.*, 2019; Caires *et al.*, 2003; Raij, 2008).

Na camada de 0-0,10 m de profundidade, a aplicação da dose elevada de gesso proporcionou em elevação dos teores de Al^{3+} , para os 17 e 29 meses (Figura 8). Já para a camada de 0-0,10 m, na avaliação aos 41 meses, as doses de gesso, principalmente a dose elevada, reduziu os teores de Al^{3+} . Somente na camada de 0,10-0,20 m de profundidade houve uma interação significativa entre as doses de gesso e o sistema de manejo, nota-se que a dose elevada de gesso reduziu os teores de Al^{3+} e os sistemas de manejo influenciaram muito pouco (Tabela 8; Figura 8). Para as profundidades de 0,20-0,40, 0,40-0,60, 0,60-0,80 e 0,80-1,0 m, a aplicação de dose elevada de gesso também foi eficaz em reduzir os teores de Al^{3+} (Figura 8).

Os teores de Al^{3+} , aos 65 meses, foram influenciados pela interação entre os fatores, apresentando pequenas diferenças entre os tratamentos sem grandes reduções (Tabela 8; Figura 8). Para as camadas de 0,20-0,40, 0,40-0,60, 0,60-0,80 e 0,80-1,0 m a aplicação de dose elevada de gesso proporcionou redução dos teores de Al^{3+} , o que sugere que a aplicação de dose elevada de gesso pode promover a redução do Al^{3+} tóxico presente solo

por tempo prolongado. Tal efeito também foi observado por Corrêa (1992), ao trabalhar com solo de textura argilosa, incorporando calcário e aplicando gesso em superfície, tanto de forma isolada quanto combinada, antes do plantio do cafeeiro. Observou uma redução nos teores de Al^{3+} em todo o perfil do solo com a aplicação de gesso.

Aos 17 e 29 meses, com exceção da camada de 0-0,10 m de profundidade, a aplicação da dose elevada de gesso proporcionou redução nos teores de Al^{3+} do solo, enquanto aos 41 e 65 em todas as profundidades houve redução pela dose elevada de gesso (Figura 8). De maneira geral, o efeito em profundidade da aplicação do gesso sugere que, devido à alta concentração desse material aplicado por metro quadrado, sua reação no solo foi prolongada, o que influenciou os teores de Al^{3+} em subsuperfície ao longo dos anos. Chaves, Pavan e Igue (1984), ao estudarem o cultivo de café adulto com aplicação de gesso em superfície e em área total, observaram uma redução nos teores de Al^{3+} na camada abaixo de 0,30 m, na projeção da copa.

Esses autores atribuíram essa redução ao fato de que o Al^{3+} foi trocado pelos íons de Ca^{2+} e Mg^{2+} no subsolo, possivelmente formando complexos insolúveis com os íons SO_4^{2-} presentes na solução do solo. Assim como observado por Pavan *et al.* (1984), que a aplicação de gesso pode levar à complexação do Al^{3+} com SO_4^{2-} , formando pares iônicos AlSO_4^+ . Contudo, na camada de 0-0,10 m de profundidade, nas avaliações aos 17 e 29 meses após a aplicação, esses efeitos não foram perceptivos. Pode-se supor que, esse fenômeno de elevação dos teores de Al^{3+} , em decorrência da aplicação da dose elevada de gesso, ocorreu devido à dinâmica dos cátions e ânions na solução do solo, especialmente em condições de alta concentração de Ca^{2+} . A dose elevada de gesso forneceu grande quantidade, tanto de Ca^{2+} quanto SO_4^{2-} , e pode-se notar que esses teores ficaram elevados em ambas as épocas, diminuindo consideravelmente, somente após os 41 meses (Figuras 4 e 6). Como resultado, o Al^{3+} previamente adsorvido ao complexo de troca pode ter sido deslocado para a solução do solo, aumentando sua atividade. Além disso, o excesso de Ca^{2+} pode ter inibido a complexação do Al^{3+} com o SO_4^{2-} , que é um mecanismo primário para reduzir a toxicidade do Al^{3+} em condições de acidez moderada. Assim, o aumento da concentração de Al^{3+} indica que o SO_4^{2-} não reagiu suficientemente com o Al^{3+} para formar complexos menos

tóxicos (AlSO_4^+), possivelmente devido à saturação dos complexos de SO_4^{2-} com Ca^{2+} .

Zambrosi *et al.* (2007), analisando espécies iônicas em decorrência da aplicação de doses de gesso, em um Latossolo Vermelho distrófico sob sistema de plantio direto, evidenciaram que as maiores reduções das espécies de Al, foram mais ligadas aos complexos orgânicos, em detrimento do sistema plantio direto proporcionar maior quantidade de MOS em superfície, enquanto o par iônico AlSO_4^+ ocorreu em pequena proporção, sugerindo que a complexação de Al com SO_4^{2-} depende de fatores ligados ao manejo e as concentrações existentes no solo. Além disso, Ramos (2012), avaliando a especiação química da solução do solo sob altas doses de gesso (até 56.000 kg ha⁻¹) em cafeeiros recém-plantados, observou, aos 16 meses após a aplicação, que a forma livre dos elementos (Ca^{2+} , Mg^{2+} e SO_4^{2-}) era a predominante na solução do solo, e que o SO_4^{2-} formou os pares MgSO_4^0 e CaSO_4^0 ; entretanto, a maior proporção era ocupada pelo CaSO_4^0 até 0,85 m de profundidade. Isso ajuda a evidenciar que, em situações de altas concentrações de Ca^{2+} e SO_4^{2-} no solo, tem-se uma preferência pela formação do par iônico CaSO_4^0 , ao invés do AlSO_4^+ .

Spera *et al.* (2014) analisaram a atividade do Al na solução de um solo Latossolo Vermelho distrófico, submetido a diferentes sistemas de manejo e rotações de culturas. O estudo mostrou que a atividade química Al^{3+} e das formas hidroxiladas de alumínio (AlOH^{2+} e Al(OH)_2^+) variou consideravelmente entre os sistemas de manejo. No sistema plantio direto, observou-se uma menor atividade de Al^{3+} na solução do solo, devido à maior presença de ligantes orgânicos, que promovem a complexação e redução da atividade de formas tóxicas de Al. Mesmo os sistemas de manejo com composto orgânico e/ou braquiária nas entrelinhas presentes no estudo, incrementando os teores de MOS (Figura 2), não houve estas complexações em quantidades significativas quando associadas à dose elevada de gesso. Portanto, a aplicação de insumos que modificam o equilíbrio iônico, como o gesso, pode alterar essa dinâmica ao introduzir grandes quantidades de cátions e ânions, que influenciam na especiação e mobilidade do Al no solo.

Tabela 8 - Probabilidade de F e coeficiente de variação para os teores de Al^{3+} ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e saturação por Al^{3+} (m%) no perfil do solo, em quatro épocas de avaliação, coletados na projeção da copa dos cafeeiros, em função de doses de gesso agrícola e dos sistemas de manejo (composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas)

Fonte de variação	Profundidade (m)					
	0,0–0,10	0,10–0,20	0,20–0,40	0,40–0,60	0,60–0,80	0,80–1,0
Teor de Al^{3+}						
17 meses						
Gesso (G)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	-
Manejo (M)	<0,001	0,044	<0,001	0,100	-	-
G × M	0,047	0,618	0,024	0,252	-	-
CV(%)	19,6	19,8	13,4	10,1	-	-
29 meses						
Gesso (G)	0,146	<0,001	<0,001	<0,001	-	-
Manejo (M)	0,475	0,824	0,571	0,516	-	-
G × M	0,531	0,833	0,320	0,069	-	-
CV(%)	37,0	23,6	12,7	6,18	-	-
41 meses						
Gesso (G)	0,003	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Manejo (M)	0,009	0,082	0,102	0,793	0,396	0,118
G × M	0,913	0,040	0,285	0,788	0,152	0,125
CV(%)	27,0	23,0	11,1	9,9	4,8	4,0
65 meses						
Gesso (G)	0,392	0,005	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Manejo (M)	0,026	0,009	0,295	0,761	0,740	0,687
G × M	0,027	0,028	0,410	0,345	0,306	0,507
CV(%)	18,3	16,3	11,5	13,1	11,5	10,3
Saturação por Al^{3+}						
17 meses						
Gesso (G)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	-
Manejo (M)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	-
G × M	0,403	<0,001	0,005	<0,001	-	-
CV(%)	29,8	32,5	13,4	11,8	-	-
29 meses						
Gesso (G)	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	-	-
Manejo (M)	0,060	0,059	0,309	0,087	-	-
G × M	0,739	0,599	0,569	0,344	-	-
CV(%)	30,9	24,2	16,6	9,7	-	-
41 meses						
Gesso (G)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Manejo (M)	0,006	0,005	0,004	<0,001	0,005	0,021
G × M	0,045	0,127	0,118	0,055	0,297	0,370
CV(%)	20,6	25,1	9,7	5,5	7,1	6,6
65 meses						
Gesso (G)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Manejo (M)	0,206	<0,001	0,077	0,190	0,081	0,779
G × M	0,042	0,020	0,459	0,454	0,580	0,298
CV(%)	20,0	16,10	12,2	11,6	9,9	11,0

A saturação por Al^{3+} (m%) aos 17 meses foi significativamente reduzida pela aplicação de dose elevada de gesso na camada de 0-0,10 m (Tabela 8), e o maior valor de m% foi constatado no tratamento sem aplicação de composto orgânico e sem o cultivo de braquiária nas entrelinhas (Figura 9). Nas profundidades de 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m, houve influência da interação dos fatores, com redução significativa para a dose elevada de gesso e sem muitas alterações pelo sistema de manejo (Tabela 8; Figura 9). Na Figura 9 é possível visualizar a redução da m%, o que pode ser explicado pela ação do gesso em diminuir a atividade do Al^{3+} em profundidade (Figura 8), promovendo um ambiente mais favorável para o desenvolvimento radicular.

Aos 29 meses, a m% foi significativamente reduzida pela aplicação de dose elevada de gesso, nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m, enquanto o sistema de manejo não influenciou a m% nenhuma camada (Tabela 8; Figura 9). Aos 41 meses, a m% foi influenciada pela interação dos fatores na camada de 0-0,10 m, e para as demais, até 0,80-1,0 m de profundidade, ambos os fatores isolados foram significativos (Tabela 8). A aplicação de gesso em dose elevada reduziu os valores de m% e ausência de aplicação de composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas apresentaram os maiores valores para m% (Figura 9).

Aos 65 meses, a m% foi influenciada pela interação dos fatores na camada de 0-0,10 m e 0,10-0,20 m de profundidade, com os menores valores pela aplicação da dose elevada de gesso, para o sistema de manejo, poucas alterações foram observadas (Tabela 8; Figura 9). Nas camadas de 0,20-0,40 até 0,80-1,0 m de profundidade apenas o fator gesso foi significativo, apresentando os menores valores com a aplicação da dose elevada (Figura 9).

Aos 17, 29, 41 e 65 meses, a aplicação da dose elevada de gesso, de forma isolada ou associada ao sistema de manejo, proporcionou redução da m% em todas as camadas avaliadas (Figura 9). Corrêa (1992), trabalhando com aplicação de calcário incorporado e gesso em superfície, tanto de forma isolada quanto combinada, antes do plantio do cafeeiro, também observou redução do m% no perfil do solo. Tanto pela aplicação de calcário, porém, mas pronunciada com a combinação com gesso. Esses resultados ajudam a corroborar com a premissa, de que a introdução da gessagem como prática de

manejo, pode potencializar as melhorias químicas do solo, como na redução da saturação de Al^{3+} em subsuperfície.

Parecido (2020) avaliando a forma de aplicação de calcário e gesso em café arábica, concluiu que a aplicação de gesso, isolado ou com calcário, reduziu a m% do solo em várias profundidades. Isoladamente, o gesso foi eficaz especialmente nas camadas de 0,20-0,40 m e 0,40-0,60 m, após 18 e 42 meses. O que está em consonância com os resultados do presente trabalho, no qual observou-se essa redução em camadas mais profundas, principalmente pela aplicação da dose elevada de gesso.

Por outro lado, a ausência do gesso ou a dose recomendada associada ao sistema de manejo, tiveram um constante aumento nos teores de Al^{3+} e m% em todas as épocas e profundidade avaliadas (Figuras 8 e 9). O Al^{3+} pode comprometer o crescimento das raízes das plantas, afetando negativamente o alongamento e a divisão celular. Em tais condições, as plantas tendem a ter um sistema radicular mais superficial, o que limita sua capacidade de absorver água e nutrientes do subsolo e as torna mais vulneráveis à seca (Miguel *et al.*, 2010). Konrad *et al.* (2005) observaram em cafeeiros, que a presença de Al^{3+} causou quedas significativas na fotossíntese devido à redução na condutância estomática e nas atividades bioquímicas e fotoquímicas, atribuídas ao seu efeito tóxico. Além disso, a menor disponibilidade desses elementos tóxicos em plantas manejadas com material orgânico pode ser explicada pela complexação dos elementos com ligantes orgânicos, o que reduz sua atividade (Nolla *et al.*, 2015).

Figura 8 - Teores de Al trocável no perfil do solo, em quatro épocas de amostragem, em função de doses gesso (0G: 0 kg ha⁻¹; 1200G: 1.200 kg ha⁻¹; 40000G: 40.000 kg ha⁻¹) e dos sistemas de manejo (SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas). Barras horizontais indicam o DMS ($P=0,05$), pelo teste LSD, em cada profundidade

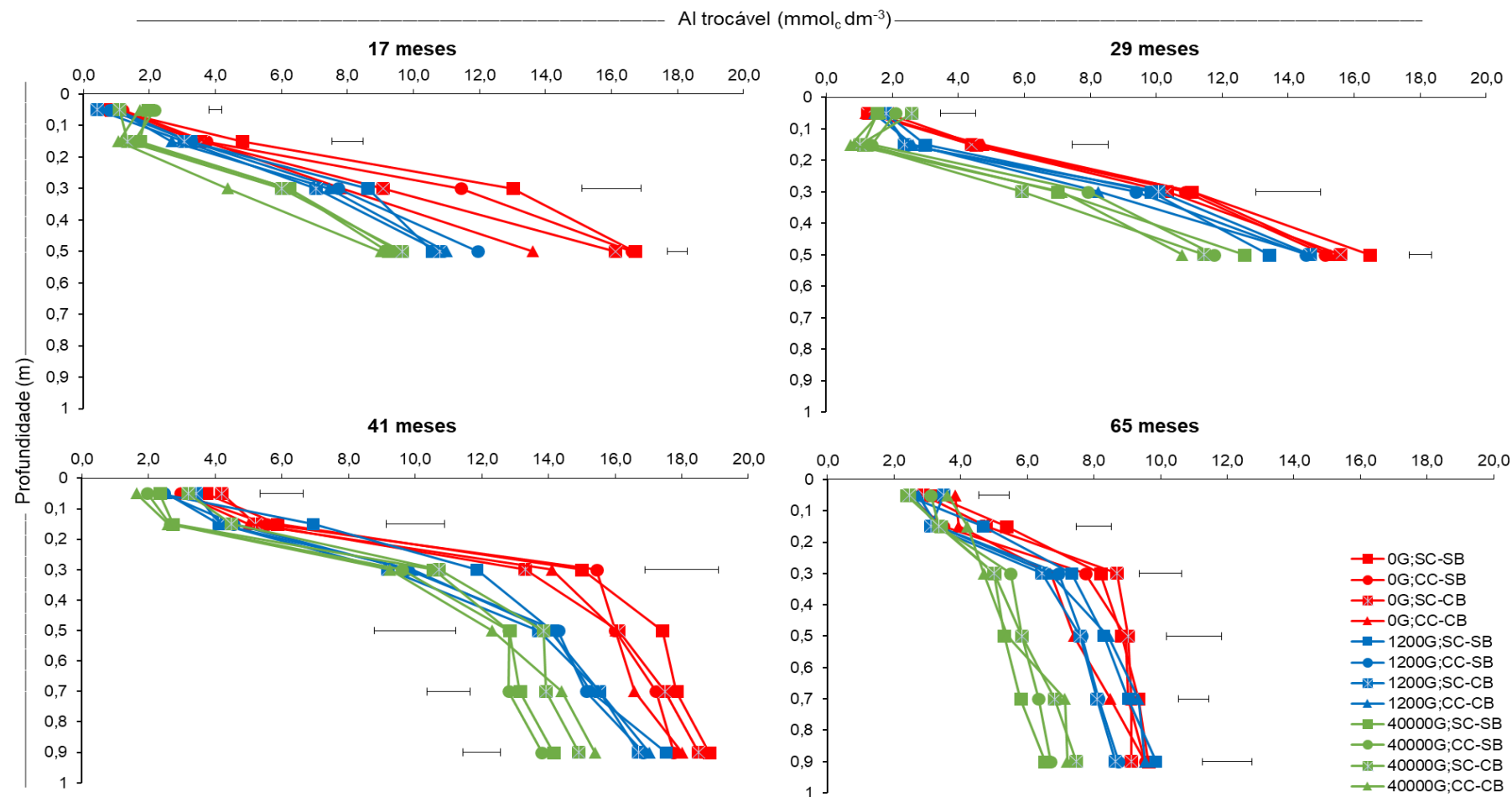
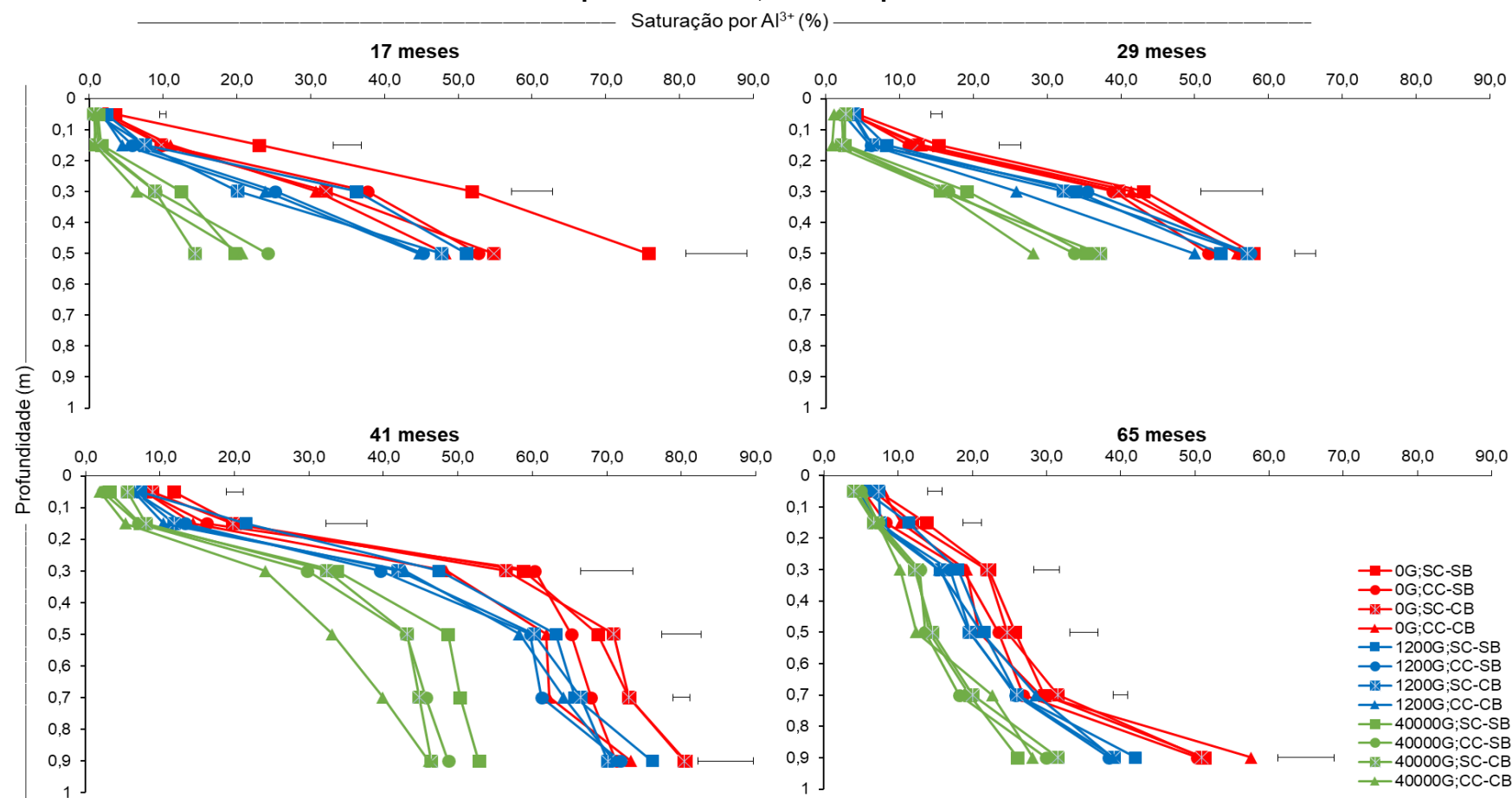


Figura 9 - Valores de saturação por Al^{3+} no perfil do solo, em quatro épocas de amostragem, em função de doses gesso (0G: 0 kg ha⁻¹; 1200G: 1.200 kg ha⁻¹; 40000G: 40.000 kg ha⁻¹) e dos sistemas de manejo (SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas). Barras horizontais indicam o DMS ($P=0,05$), pelo teste LSD, em cada profundidade



Os valores de saturação por bases (V) ao longo do perfil do solo e das épocas de avaliação foram influenciados significativamente pelos fatores estudados (Tabela 9). Aos 17 meses, a interação dos fatores estudados foi significativa para os valores de V nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,40-0,60 m de profundidade. A aplicação da dose elevada de gesso, associada ao manejo CC-CB, aumentou os valores de V (Figura 10). Já na camada de 0,20-0,40 m, as doses de gesso e o sistema de manejo, influenciaram isoladamente nos valores do V, com os maiores valores observados através da aplicação de gesso em dose elevada e pelo manejo CC-CB (Tabela 9; Figura 10).

Aos 29 meses, os valores do V foram influenciados significativamente pelos fatores isolados na camada de 0-0,10 m, no entanto, na camada 0,10-0,20 m houve uma interação entre os fatores, e nas camadas de 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m de profundidade somente as doses de gesso influenciaram os valores de V (Tabela 9). A presença de composto orgânico e/ou o cultivo de braquiária nas entrelinhas contribuíram para o aumento dos valores de V nas camadas superficiais juntamente com a dose elevada de gesso (0-0,10 e 0,10-0,20), enquanto nas camadas mais profundas (0,20-0,40 m e 0,40-0,60 m) apenas as doses elevadas de gesso aumentaram os valores de V (Figura 10).

Aos 41 meses, os valores do V foram influenciados pela aplicação de gesso e pelo sistema de manejo no perfil do solo, exceto para a camada de 0,40-0,60 m, que apresentou interação entre os fatores (Tabela 9). A dose elevada de gesso e a associação entre aplicação de composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas aumentaram os valores de V nas camadas avaliadas (Figura 10).

Aos 65 meses após a aplicação, o gesso e o sistema de manejo influenciaram significativamente os valores V em praticamente todas as camadas avaliadas, exceto na camada de 0,10-0,20 m que apresentou efeito somente para o fator gesso e na camada de 0,80-1,0 m que apresentou interação entre os fatores (Tabela 9). Na Figura 10, nota-se que em todas as profundidades, a aplicação da dose elevada de gesso aumentou os valores de V, e os sistemas de manejo com a presença de composto orgânico isolado (CC-SB) ou associado ao cultivo de braquiária nas entrelinhas (CC-CB) elevaram a V.

Tabela 9 - Probabilidade de F e coeficiente de variação para os valores de saturação por bases (%) no perfil do solo, em quatro épocas de avaliação, coletados na projeção da copa dos cafeeiros, em função de doses de gesso agrícola e dos sistemas de manejo (composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas)

Fonte de variação	Profundidade (m)					
	0,0–0,10	0,10–0,20	0,20–0,40	0,40–0,60	0,60–0,80	0,80–1,0
Saturação por bases						
17 meses						
Gesso (G)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	-
Manejo (M)	<0,001	<0,001	<0,001	0,004	-	-
G × M	<0,001	<0,001	0,119	0,002	-	-
CV(%)	3,9	6,8	10,1	15,7	-	-
29 meses						
Gesso (G)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	-
Manejo (M)	0,006	<0,001	0,115	0,268	-	-
G × M	0,114	0,008	0,066	0,620	-	-
CV(%)	8,4	8,8	13,5	18,1	-	-
41 meses						
Gesso (G)	<0,001	0,015	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Manejo (M)	0,015	0,058	0,009	<0,001	0,025	0,056
G × M	0,313	0,541	0,612	0,008	0,160	0,374
CV(%)	10,4	15,9	15,3	13,1	19,5	18,3
65 meses						
Gesso (G)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Manejo (M)	0,047	0,102	0,039	0,061	0,009	0,139
G × M	0,518	0,186	0,328	0,646	0,618	0,026
CV(%)	9,4	9,3	10,3	7,4	8,8	10,9

Em todas as épocas avaliadas, a dose elevada de gesso e os sistemas de manejo CC-SB ou CC-CB incrementaram os valores de V (Figura 10). A elevação na V do solo, pela aplicação da dose elevada de gesso, está relacionada ao aumento dos teores de Ca^{2+} e também de SO_4^{2-} , fornecidos pelo insumo (Figura 4 e 6). O SO_4^{2-} presente no gesso possui tem a característica de formar pares iônicos neutros com os cátions Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , o que promove a mobilização desses nutrientes no perfil do solo (Zambrosi *et al.*, 2007; Ramos *et al.*, 2013). Com a movimentação das bases ao longo do perfil, houve, em consequência, aumento dos valores de V (Figura 10).

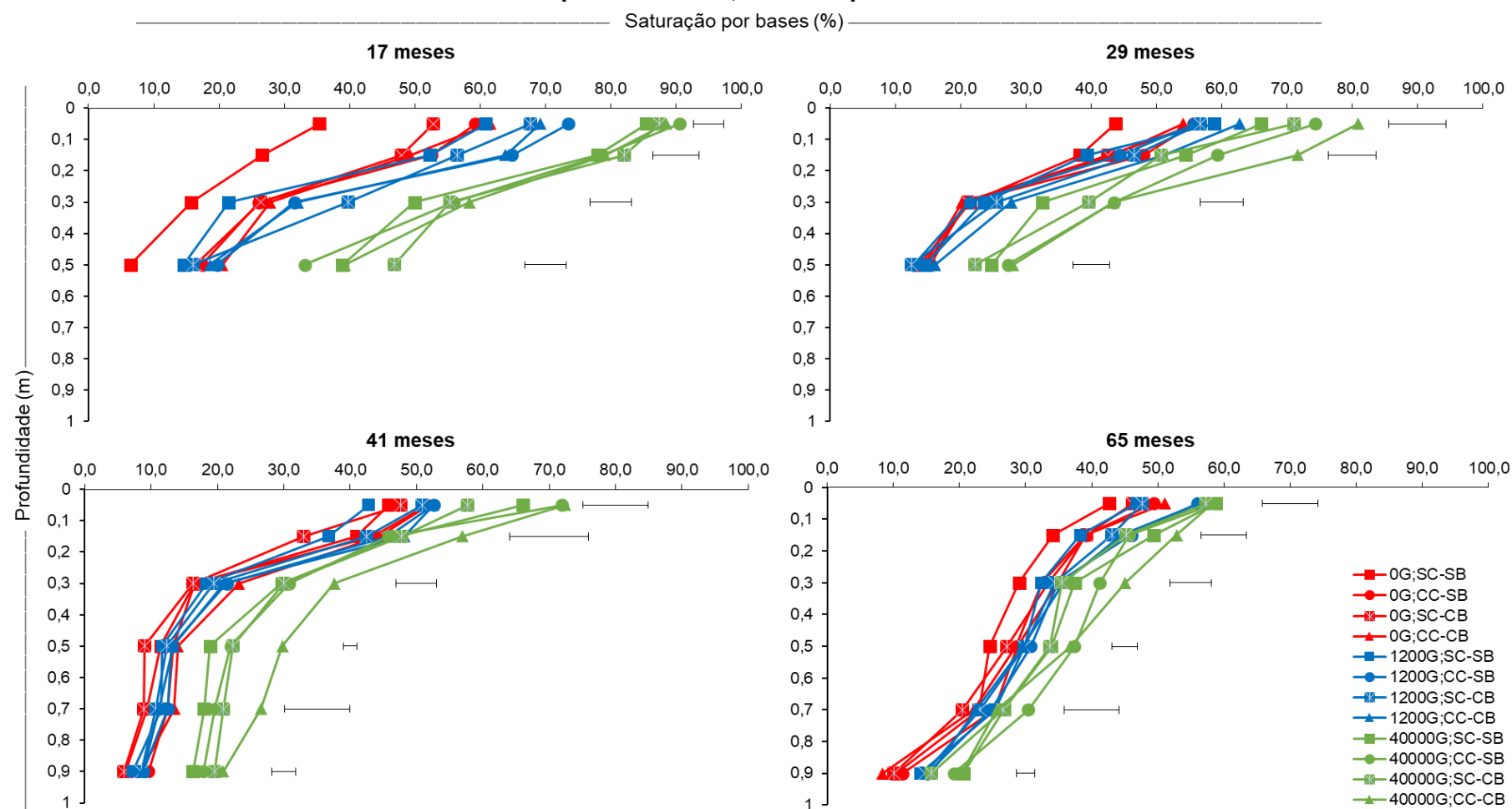
Para Souza *et al.* (2012), o gesso promoveu diferença para V na profundidade de 0,20-0,30 m, sendo obtido maior valor com a presença residual de gesso, o que é corroborado pelo presente estudo. Caires *et al.* (2006) verificaram que, após 55 meses da aplicação de gesso, a V aumentou em camadas abaixo de 0,40 m, evidenciando o efeito do gesso em

profundidade. Neste estudo, constatou-se valores elevados de V na camada de 0,80-1,0 m, avaliados 65 meses após a aplicação (Figura 10), confirmando o efeito positivo do gesso, especialmente em dose elevada, sobre as bases do solo a longo prazo.

Soratto e Crusciol (2007) mencionaram que este comportamento de movimentação de Ca^{2+} e Mg^{2+} no perfil do solo pode ocorrer pela aplicação de calcário e gesso, mais também pelos compostos hidrossolúveis originários dos resíduos de culturas antecessoras. Assim, o manejo CC-CB também contribuiu significativamente para a elevação da V, não só pelo fornecimento de nutrientes, mas também pelas alterações na MOS (Figura 2).

Cardoso *et al.* (2001) observaram elevação linear dos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} , juntamente com a V do solo, com a adição de doses crescentes de composto orgânico, em solo cultivado com alface. Da mesma forma, Almeida (1991), trabalhando com a cultura do quiabo, verificou acréscimos nas bases do solo (Ca^{2+} e Mg^{2+}), com impacto positivo sobre a V, em decorrência da utilização de composto orgânico. Pode-se observar que a aplicação de composto orgânico fornece nutrientes ao solo em quantidades variadas, dependendo da sua composição, podendo incrementar positivamente os valores de V do solo. Voltolini *et al.* (2020), avaliando diferentes técnicas agronômicas e suas associações no manejo da lavoura de café arábica, constatou que a aplicação de composto orgânico e casca de café foram eficientes para aumentar as porcentagens de V. Os autores ainda relatam que o uso de composto orgânico e gesso promoveu elevação dos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} no solo.

Figura 10 - Valores de saturação por bases (V) no perfil do solo, em quatro épocas de amostragem, em função de doses gesso (0G: 0 kg ha⁻¹; 1200G: 1.200 kg ha⁻¹; 40000G: 40.000 kg ha⁻¹) e dos sistemas de manejo (SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas). Barras horizontais indicam o DMS ($P=0,05$), pelo teste LSD, em cada profundidade



Além das alterações nos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} em decorrência da utilização do gesso e do composto orgânico, foi observada também a contribuição do cultivo de braquiária nas entrelinhas no aporte de K^+ no sistema (Figura 7). A biomassa verde produzida pela braquiária é rica em nutrientes, especialmente N e K, em quantidades que variam em decorrência da massa total produzida e da sua adubação (Pariz *et al.*, 2011; Garcia *et al.*, 2008; Torres *et al.*, 2005; Pedrosa *et al.*, 2014). Esse resíduo orgânico que pode ser produzido nas entrelinhas do cafeeiro, e após seu corte, ser depositado sobre a faixa de adubação, sofre decomposição e libera tais nutrientes para o solo. Segundo Costa *et al.* (2014), as braquiárias podem fornecer via palhada mais de 100 kg ha^{-1} de K ao sistema.

Portanto, a elevação da V do solo em profundidade observada no presente trabalho foi resultado de uma complexa interação entre os fatores estudados: o fornecimento de Ca^{2+} pelo gesso, o deslocamento descendente de Mg^{2+} e K^+ promovido pelo SO_4^{2-} do gesso, a adição de nutrientes e matéria orgânica pelo composto orgânico e braquiária. Esses sistemas de manejos, quando combinados, promovem uma sinergia que melhora a fertilidade do solo e a disponibilidade de nutrientes no perfil, resultando em um aumento da V.

1.4 CONCLUSÕES

Os atributos químicos do solo foram afetados positivamente com a aplicação dos tratamentos, com evidente efeito no perfil do solo e ao longo das épocas de avaliação.

A aplicação de gesso em dose elevada ($40.000 \text{ kg ha}^{-1}$) promoveu aumento nos teores de Ca^{2+} e SO_4^{2-} ao longo do perfil de solo, com evidente redução dos teores de Al^{3+} e m% até 65 meses após a aplicação, e, ainda, contribuiu para a elevação dos teores de P disponível e saturação de bases (V) no perfil do solo. Contudo, intensificou a lixiviação dos teores de Mg^{2+} e K^+ ao longo do perfil do solo, especialmente nos meses subsequentes após a aplicação (17 e 29 meses).

Os sistemas de manejo, com a aplicação de composto orgânico e/ou cultivo de braquiária nas entrelinhas, promoveram melhorias nos atributos químicos do solo, especialmente quando associadas à dose recomendada (1.200 kg ha^{-1}) e/ou a dose elevada de gesso.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, D. L. de. **Contribuição da adubação orgânica para a fertilidade do solo**. Itaguaí: UFRRJ, 192 p. 1991.
- BALDOTTO, M. A. **Manejo da calagem e gessagem para o cafeeiro em latossolo vermelho-amarelo de patrocínio, Minas Gerais**. 2003. 80 f. Tese (Magister Scientiae em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2003.
- BAPTISTELLA, J. L. C.; DE ANDRADE, S. A. L.; FAVARIN, J. L.; MAZZAFERA, P. Urochloa in tropical agroecosystems. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 4, a. 119, 2020.
- BOSSOLANI, J. W.; CRUSCIOL, C. A. C.; GARCIA, A.; MORETTI, L. G.; PORTUGAL, J. R.; RODRIGUES, V. A.; FONSECA, M. C.; CALONEGO, J. C.; CAIRES, E. F.; AMADO, T. J. C.; REIS, A. R. D. Long-term lime and phosphogypsum amended-soils alleviates the field drought effects on carbon and antioxidative metabolism of maize by improving soil fertility and root growth. **Frontiers in Plant Science**, v.12, p. 1437, 2021.
- CRUSCIOL, C. A. C.; BORGHI E. Consórcio de milho com braquiária: produção de forragem e palhada para o plantio direto. **Revista Plantio Direto**, Ed.100, jul/ago, 2007.
- CAIRES, E. F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 275-286, 2003.
- CAIRES, E. F.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA, E. F.; FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 2, p. 27-34, 1998.
- CAIRES, E. F.; FELDHAUS, I. C.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J. Lime and gypsum application on the wheat crop. **Scientia Agricola**, v. 59, n. 2, p. 357-364, 2002.
- CAIRES, E. F.; FELDHAUS, I. C.; BLUM, J. Crescimento radicular e nutrição da cevada em função da calagem e aplicação de gesso. **Bragantia**, v. 60, p. 213-223, 2001.
- CAIRES, E. F.; KUSMAN, M. T.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; PADILHA, J. M. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 125-136, 2004.
- CAIRES, E. F.; MASCHIETTO, E. H. G.; GARBUIO, F. J.; CHURKA, S.; JORIS, H. A. W. Surface application of gypsum in low acidic Oxisol under no-till cropping system. **Scientia Agricola**, v. 68, p. 209-216, 2011.

CAIRES, E. F.; GARBUIO, F. J.; ALLEONI, L. R. F.; CAMBRI, M. A. Calagem superficial e cobertura de aveia preta antecedendo os cultivos de milho e soja em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 87-98, 2006.

CARDUCCI, C. E.; OLIVEIRA, G. C.; CURI, N.; HECK, R. J.; ROSSONI, D. F.; CARVALHO, T. S.; COSTA, A. L. Gypsum effects on the spatial distribution of coffee roots and the pores system in oxidic Brazilian Latosol. **Soil and Tillage Research**, v.145, p.171-180, 2015.

CARDOSO, A. I. I.; FERREIRA, K. P.; VIEIRA JÚNIOR, R. M.; ALCARDE, C. Alterações em propriedades do solo adubado com composto orgânico e efeito na qualidade das sementes de alface. **Horticultura Brasileira**, v. 29, p. 594-599, 2011.

CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S.; ROSOLEM, C. A. Lixiviação de potássio da palha de plantas de cobertura em diferentes estádios de senescência após a dessecação química. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 99-108, 2005.

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

CHAVES, J. C. D.; PAVAN, M. A.; IGUE, K. Respostas do cafeeiro à calagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 19, p. 573-582, 1984.

CIIAGRO. Centro Integrado de Informações Agrometeorologias. **Boletins Agroclimáticos do Estado de São Paulo**. Instituto Agrônomo de Campinas – IAC. Disponível em < <http://www.ciiagro.org.br/diario/cperiodo> > Acesso em março de 2024.

CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; ERNANI, P. R.; ALBUQUERQUE, J. A. Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. **Ciência Rural**, v. 33, p. 1161-1164, 2003.

CORRÊA, J. B. **Associação calcário/gesso na melhoria das condições químicas do solo para cafeeiros (*Coffea arabica* L.) em crescimento**. 1992. 104 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1992.

COSTA, C. H. M.; CARMEIS FILHO, A. C. A.; CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; GUIMARÃES, T. M. Intensive annual crop production and root development in a tropical acid soil under long-term no-till and soil-amendment management. **Crop and Pasture Science**, v. 69, p. 488-505, 2018.

COSTA, C. H. M.; CRUSCIOL, C. A. C. Long-term effects of lime and phosphogypsum application on tropical no-till soybean–oat–sorghum rotation and soil chemical properties. **European Journal of Agronomy**, v. 74, p. 119-132, 2016.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; BUZETTI, S.; LOPES, K. S. M.; SANTOS, F. G.; PARIZ, C. M. Acúmulo de macronutrientes e decomposição da palhada de

braquiária em razão da adubação nitrogenada durante e após o consórcio com a cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.1223-1233, 2014.

CREMON, C.; ROSA JÚNIOR, E. J.; SERAFIM, M. E.; ONO, F. B. Análise micromorfométrica de um latossolo vermelho distrófico em diferentes sistemas de manejo. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 31, p. 139-146, 2009.

CRUSCIOL, C. A. C.; ARTIGIANI, A. C. C.; ARF, O.; CARMEIS FILHO, A. C.; SORATTO, R. P.; NASCENTE, A. S.; ALVAREZ, R. C. F. Soil fertility, plant nutrition, and grain yield of upland rice affected by surface application of lime, silicate, and phosphogypsum in a tropical no-till system. **Catena**, v. 137, p. 87-99, 2016.

CRUSCIOL, C. A. C.; FOLTRAN, R.; ROSSATO, O. B.; MCCRAY, J. M.; ROSSETTO, R. Effects of surface application of calcium magnesium Silicate and gypsum on soil fertility and sugarcane yield. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1843-1854, 2014.

CRUSCIOL, C. A. C.; MARQUES, R. R.; CARMEIS FILHO, A. C. A.; SORATTO, R. P.; COSTA, C. H. M.; FERRARI NETO, J.; CASTRO, G. S. A.; PARIZ, C. M.; CASTILHOS, A. M.; FRANZLUEBBERS, A. J. Lime and gypsum combination improves crop and forage yields and estimated meat production and revenue in a variable charge tropical soil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 115, p. 347-372, 2019.

CRUSCIOL, C. A. C.; MATEUS, G. P.; PARIZ, C. M.; BORGHI, É.; COSTA, C.; SILVEIRA, J. P. F. D. Nutrição e produtividade de híbridos de sorgo granífero de ciclos contrastantes consorciados com capim-marandu. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 1234-1240, 2011.

DIAS, L. E. **Uso de gesso como insumo agrícola**. Seropédica: Embrapa-CNPBS, 1992. 7 p. (Comunicado Técnico, 7).

ERNANI, P. R.; BAYER, C.; ALMEIDA, J. A. D.; CASSOL, P. C. Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 393-401, 2007.

ERNANI, P. R.; RIBEIRO, M. S.; BAYER, C. Modificações químicas em solos ácidos ocasionadas pelo método de aplicação de corretivos da acidez e gesso agrícola. **Scientia Agricola**, v. 1, p. 825-831, 2001.

FAGUNDES, A. V.; GARCIA, A. W. R.; MATIELLO, J. B.; RAMOS, S. V. **Altas doses de gesso (irrigação branca) na formação e produção do cafeeiro**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 42., 2016, Serra Negra – SP. Anais... 42º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 2016.

FERRAZ, R. M. **Efeitos a longo prazo da aplicação de altas doses de gesso nas características químicas em perfil de latossolo cultivado com café**. 2017. 50 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.

FERREIRA, D. F. Sisvar: Acomputer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, p. 1039-1042, 2011.

GARCIA, R. A.; CRUSCIOL, C. A. C.; CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A. Potassium cycling in a corn-brachiaria cropping system. **European Journal of Agronomy**, v. 28, p. 579-585, 2008.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; VENDRUSCOLO, E. R. O.; CUBILLA, M.; NICOLOSO, R. S.; FRIES, M. R. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 325-334, 2003.

HAYNES, R. J. Lime and phosphate in the soil-plant system. **Advance in Agronomy**, v. 37, p. 249-315, 1984.

KONRAD, M. L. F.; SILVA, J. A. B. D.; FURLANI, P. R.; MACHADO, E. C. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em seis cultivares de cafeeiro sob estresse de alumínio. **Bragantia**, v. 64, p. 339-347, 2005.

LIMA, R. C.; MELLO, L. M. M.; YANO, É. H.; SILVA, J. O. R.; CESARIN, A. L. Modalities for soil preparation and gypsum application in ultisol: system productivity of sugar cane. **Engenharia Agrícola**, v. 33, p. 1180-1190, 2013.

LOMBARDI NETO, F.; DRUGOWICH, M. I. (coords). **Manual técnico de manejo e conservação de solo e água**. V. III CATI. Campinas: CATI, 1994. P.121-156. Manual Técnico, 40.

LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.175-187, 2004.

LOYOLA, E. J.; PAVAN, M. A. Cation exchange selectivity in acid soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 53, p. 1023-1028, 1989.

MARCHI, E. C. S. **Influência da adubação orgânica e de doses de material húmico sobre a produção de alface americana e teores de carbono no solo**. 2006. 46 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

MARTINELLI, R.; LICERRE, R.; RUFINO JR, L. R.; CAMATARI, Y.; AZEVEDO, F. A. Roçagem ecológica com *Urochloa spp.*: opção de manejo integrado de plantas daninhas que promove a agricultura de conservação em citros. **Innovations Agronomiques**, v. 64, p. 19-29, 2018.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd ed. London: Academic Press, 1995. 887 p.

MASUD, M. M.; LI, J. Y.; XU, R. K. Application of alkaline slag and phosphogypsum for alleviating soil acidity in an Ultisol profile: a short-term leaching experiment. **Journal of Soil and Sediments**, v. 15, p. 365–373, Feb. 2015.

MICHALOVICZ, L.; MÜLLER, M. M. L.; FOLONI, J. S. S.; KAWAKAMI, J.; NASCIMENTO, R.; KRAMER, L. F. M. Soil fertility, nutrition and yield of maize and barley with gypsum application on soil surface in no-till. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1496-1505, 2014.

MIELNICZUK, J. O. Ã. O.; YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. **Manejo conservacionista da adubação potássica**. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. *Potássio na agricultura brasileira*. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. p. 165-178. 2005

MIGUEL, P. S. B.; GOMES, F. T.; DA ROCHA, W. S. D.; MARTINS, C. E.; CARVALHO, C. D.; OLIVEIRA, A. D. Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento das plantas: mecanismos de tolerância, sintomas, efeitos fisiológicos, bioquímicos e controles genéticos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1-20, 2010.

NAVA, G.; ERNANI, P. R.; SÁ, A. A.; PEREIRA, A. J. Soil composition and nutritional status of apple as affected by long-term application of gypsum. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 215-222, 2012.

NOLLA, A.; ANGHINONI, I.; CASTALDO, J. H.; ALVES, E. O. S.; MOTA NETO, L. V.; SILVA, M. A. G.; MUNIZ, A. S. Disponibilidade de nutrientes e fitotoxidez de alumínio: influência da complexação por ligantes na solução do solo. **Journal of Agronomy Science**, v. 4, p. 1-16, 2015.

NORA, D. D.; AMADO, T. J. C.; BORTOLOTO, R. P.; FERREIRA, A. O.; KELLER, C.; KUNZ, J. Alterações químicas do solo e produtividade do milho com aplicação de gesso combinado com calcário. **Magistra**, v. 26, n. 1, p. 1-10, 2014.

O'BRIEN, L. O.; SUMNER, M. E. Effects of phosphogypsum on leachate and soil chemical composition. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 19, p. 1319-1329, 1988.

OLIVEIRA, E. L.; PAVAN, M. A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. **Soil and Tillage Research**, v. 38, p. 47-57, 1996.

PARIZ, C. M.; ANDREOTTI, M.; BUZETTI, S.; BERGAMASCHINE, F. A.; ULIAN, N. A.; FURLAN, L. C.; MEIRELLES, P. R. L.; CAVASANO, F. A. Straw decomposition of nitrogen-fertilized grasses intercropped with irrigated maize in an integrated crop livestock system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.2029-2037, 2011.

PARECIDO, R. J. **Nutrição e produtividade da cultura do café arábica afetadas pela forma de aplicação de calcário e gesso na cultura já implantada**. 2020. 143 p. Tese (Tese em Agricultura) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2020.

PARECIDO, R. J.; SORATTO, R. P.; PERDONÁ, M. J.; GUIDORIZZI, F. V. C.; GOMES, G. G.; PAULA, R. A.; GITARI, H. I. Limestone increased coffee yield and profitability more than phosphogypsum or their combination. **Agronomy Journal**, v. 113, p. 3586-3599, 2021.

PAULETTI, V.; PIERRI, L.; RANZAN, T.; BARTH, G.; MOTTA, A. C. V. Long-term effects of the application of gypsum and lime in a no-till system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 495-505, 2014.

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T.; PRATT, P. F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium, and aluminum following lime and gypsum applications to a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society of America Journal**, v. 48, p. 33-38, 1984.

PARIZOTTO, C.; PANDOLFO, C. M. Produção orgânica de alface e atributos de solo pela aplicação de composto de dejetos de suínos. **Cadernos de Agroecologia**, v. 4, n. 1, 2009.

RAGASSI, C. F.; PEDROSA, A. W.; FAVARIN, J. L. Aspectos positivos e riscos no consórcio cafeeiro e braquiária. **Visão Agrícola**, v. 8, p. 29-32, 2013.

RAIJ, B. V. **Gesso na agricultura**. Campinas: Instituto Agronômico, 2008. 233p.

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 284p.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1997. p. 97-101. (Boletim Técnico, 100).

RAMOS, B. Z. **Especiação química da solução e mobilidade de bases e sulfato em Latossolo sob altas doses de gesso**. 2012, 96 p. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brasil, 2012.

RAMOS, B. Z.; TOLEDO, J. P. V. F.; LIMA, J. M.; SERAFIM, M. E.; BASTOS, A. R. R.; GUIMARÃES, P. T. G.; COSCIONE, A. R. Doses de gesso em cafeeiro: influência nos teores de cálcio magnésio potássio e pH na solução de um Latossolo Vermelho Distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1018-1026, 2013.

RAMPIM, L.; LANA, M. D. C.; FRANDOLOSO, J. F. Fósforo e enxofre disponível, alumínio trocável e fósforo remanescente em latossolo vermelho submetido ao gesso cultivado com trigo e soja. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, p. 1623-1638, 2013.

RENA, A. B.; GUIMARÃES, P. T. G. **Sistema radicular do cafeeiro: estrutura, distribuição, atividade e fatores que o influenciam**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2000. 80p.

REZENDE, F. A. **Aproveitamento da casca de café e borra da purificação de gorduras e óleos residuários em compostagem**. 2010. 74 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) -Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010

RICCI, M. D. S. F.; ALVES, B. J. R.; MIRANDA, S. C. D.; OLIVEIRA, F. F. D. Growth rate and nutritional status of an organic coffee cropping system. **Scientia Agrícola**, v. 62, p. 138-144, mar./abr. 2005.

RITCHEY, K. D.; SNUFFER, J. D. Limestone, gypsum, and magnesium oxide influence restoration of an abandoned Appalachian pasture. **Agronomy Journal**, v. 94, p. 830-839, 2002.

ROCHA, O. C., GUERRA, A. F., RAMOS, M. L. G., DA SILVA OLIVEIRA, A.; BARTHOLO, G. F. Qualidade físico-hídrica de um latossolo sob irrigação e braquiária em lavoura de café no cerrado. **Coffee Science**, v. 9, p. 516-526, 2014.

ROCHA, O. C.; RAMOS, M. L. G.; VEIGA, A. D.; GUERRA, A. F.; BARTHOLO, G. F.; RODRIGUES, G. C.; SILVA, J. E. D. Chemical and hydrophysical attributes of an Oxisol under coffee intercropped with brachiaria in the Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 1476-1483, 2016.

RODRIGUES, J. C.; CARMO, D. L. D.; NANNETTI, D. C.; MARQUES, H.; PEREIRA, R. A. (2015). **Relação Ca/Mg no solo e produtividade do cafeeiro em função de elevadas doses de gesso agrícola**. In: Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 9., 2015, Curitiba – PR. Anais... IX Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil IX 2015.

ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S. Lixiviação de potássio da palha de espécies de cobertura de solo de acordo com a quantidade de chuva aplicada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 355-362, 2003.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Revisada e atualizada. Brasília: Embrapa, 2013.

SANTOS, C. C.; BELLINGIERI, P. A.; FREITAS, J. C. Efeito da aplicação de compostos orgânicos de cama de frango nas propriedades químicas de um Latossolo Vermelho Escuro cultivado com sorgo granífero [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. **Científica**, v. 32, p. 134-140, 2008.

SANTOS, N. Z.; DIECKOW, J.; BAYER, C.; MOLIN, R.; FAVARETTO, N.; PAULETTI, V.; PIVA, J. T. Forages, cover crops and related shoot and root additions in no-till rotations to C sequestration in a subtropical Ferralsol. **Soil and Tillage Research**, v. 111, p. 208-218, 2011.

SERAFIM, M. E.; OLIVEIRA, G. C.; OLIVEIRA, A. S.; LIMA, J. M.; GUIMARÃES, P. T. G.; COSTA, J. C. Sistema conservacionista e de manejo intensivo do solo no cultivo de cafeeiros na região do alto São Francisco, MG: um estudo de caso. **Bioscience Journal**, v. 27, p. 964-977, 2011.

SILVA, A. A.; VALE, F. R.; FERNANDES, L. A.; NETO, A. E. F.; MUNIZ, J. A. Efeitos de relações $\text{CaSO}_4/\text{CaCO}_3$ na mobilidade de nutrientes no solo e no crescimento. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 451-457, 1998.

SIQUEIRA, R. H. S.; FERREIRA, M. M.; ALCÂNTARA, E. N.; CARVALHO, R. C. S. Atributos químicos de um Latossolo submetido a diferentes controles de plantas invasoras em cafeeiros. **Coffee Science**, v. 10, p. 138-148, 2015.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 675-688, 2008.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Cátions hidrossolúveis na parte aérea de culturas anuais mediante aplicação de calcário e gesso em superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 81-90, 2007.

SOUZA, F. R.; JUNIOR, E. J. R.; FIETZ, C. R.; BERGAMIN, A. C.; ROSA, Y. B. C. J.; ZEVIANI, W. M. Efeito do gesso nas propriedades químicas do solo sob dois sistemas de manejo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, p. 1717-1731, 2012.

SPERA, S. T.; ESCOSTEGUY, P. A. V.; SANTOS, H. P.; KLEIN, V. A. Atividade do alumínio na solução do solo de um latossolo vermelho distrófico submetido ao manejo do solo e de culturas. **Nativa**, v. 2, p.131-137, 2014.

TIRITAN, C. S.; BÜLL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. C.; CARMEIS FILHO, A. C. A.; FERNANDES, D. M.; NASCENTE, A. S. Tillage system and lime application in a tropical region: Soil chemical fertility and corn yield in succession to degraded pastures. **Soil and Tillage Research**, v. 155, p. 437-447, 2016.

TOMA, M.; SUMNER, M. E.; WEEKS, G.; SAIGUSA M. Long term effects of gypsum on crop yield and subsoil chemical properties. **Soil Science Society of America Journal**, v. 63, p. 891–895, 1999.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; ANDRIOLI, I.; POLIDORO, J. C.; FABIAN, A. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 609-618, 2005.

VANLAUWE, B.; WENDT, J.; DIELS, J. Combined application of organic matter and fertilizer. In: TIAN, G.; ISHIDA, F.; KEATINGE, J. D. H. (Ed.). **Sustaining soil fertility in West-Africa**. Madison: SSSA Special Publication, 2001. p. 247-280.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 213-223, 2011.

VITTI, G. C.; PRIORI, J. C. Calcário e gesso: os corretivos essenciais ao plantio direto. **Visão Agrícola**, v. 6, p. 30-34, 2009.

VITTI, G. C. Enxofre no solo. In: Simpósio sobre interpretação de análise química de solo e planta para fins de adubação, 1., 1988, Botucatu, **Anais...** Botucatu: FCA-UNESP/FEPAF/ANDA/POTAFOS, p.39, 1988.

VOLF, M. R.; GUIMARÃES, T. M.; SCUDELETTI, D.; CRUZ, I. V.; ROSOLEM, C. A. Potassium dynamics in ruzigrass rhizosphere. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, e0170370, 2018.

VOLTOLINI, G. B.; DA SILVA, L. C.; ALECRIM, A. O.; CASTANHEIRA, D. T.; RESENDE, L. S.; REZENDE, T. T.; GUIMARÃES, R. J. Soil chemical attributes in coffee growing with different agronomic techniques. **Coffee Science**, v. 15, p. e151689, 2020.

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

ZANDONÁ, R. R.; BEUTLER, A. N.; BURG, G. M.; BARRETO, C. F.; SCHMIDT, M. R. Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito do déficit hídrico em milho e soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, p. 128-137, 2015.

ZOCA, S. M.; PENN, C. J.; ROSOLEM, C. A.; ALVES, A. R.; NETO, L. O.; MARTINS, M. M. Coffee processing residues as a soil potassium amendment. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, v. 3, p. 155-165, 2014.

CAPÍTULO 2

ATRIBUTOS FÍSICOS E CARBONO ORGÂNICO DO SOLO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE GESSO AGRÍCOLA, COMPOSTO ORGÂNICO E DO CULTIVO DE BRAQUIARIA NAS ENTRELINHAS

2.1 INTRODUÇÃO

A agricultura tem passado por grandes transformações, buscando não apenas aumentar a produtividade das culturas, mas também preservar os sistemas agrícolas. Neste contexto, a cafeicultura moderna tem se destacado ao integrar sistemas de manejo voltados para a sustentabilidade da lavoura (Casalinho *et al.*, 2007; Pretty, 2008).

Os sistemas de manejos que vem sendo empregados visam à conservação do solo e melhoria dos aspectos químicos, físicos e biológicos, muitos dos quais estão atrelados e fundamentados no manejo da matéria orgânica do solo (MOS), a qual representa um dos principais indicadores de qualidade do solo (Conceição *et al.*, 2005; Braida *et al.*, 2006; Braida *et al.*, 2010; Tormena *et al.*, 2004; Sá *et al.*, 2010; Carneiro *et al.*, 2009; Costa *et al.*, 2013). A MOS é predominantemente composta por carbono (C) orgânico (58% do total). Esse C orgânico se origina, em grande parte, do aporte de biomassa vegetal, de constituintes solúveis das plantas, de exsudados radiculares e da transformação desses materiais pela ação dos microrganismos do solo (Clemmensen *et al.*, 2013). As práticas de manejo podem influenciar diretamente a MOS e, conseqüentemente, a qualidade do solo, pois os compostos de C orgânico aumentam a capacidade de troca catiônica e a atividade microbiológica do solo, que podem reduzir a adsorção de alumínio e fosfato trocáveis nos colóides do solo, além de, favorecer a manutenção de água no solo, a aeração e a agregação das partículas do solo (Doran; Parkin, 1994; Lal, 2004; Vasát *et al.*, 2017; Jacob *et al.*, 2022). O que é extremamente relevante em um país tropical como o Brasil, bem como nas principais regiões do mundo onde são cultivadas as plantas de café.

A adoção de práticas conservacionistas do solo, visam principalmente à melhoria do ambiente radicular das plantas, as quais podem afetar de maneira direta o aporte de C no solo. Um dos principais insumos utilizados para a melhoria do ambiente radicular é o gesso agrícola, sendo considerado um condicionador de

subsuperfície (Raij, 2008), atuando na redução da toxidez do alumínio (Al) nas camadas mais profundas do solo, fornecendo cálcio (Ca) e enxofre (S), e facilitando a movimentação de magnésio (Mg) para camadas subsuperficiais do solo (Carneis Filho; Crusciol; Castilhos, 2017; Crusciol *et al.*, 2019; Soratto; Crusciol, 2008; Caires *et al.*, 2003; Guarçoni, 2013). Tais fatores resultam em melhor crescimento radicular, proporcionando à cultura maior absorção de nutrientes e água (Raij, 2008; Carducci *et al.*, 2015).

Silva *et al.* (2013) avaliaram a agregação de um Latossolo no Cerrado Mineiro, em amostras coletadas a 5 e 15 cm de profundidade, após dois anos do usando gesso agrícola e braquiária nas entrelinhas de café. O estudo evidenciou que doses elevadas de gesso aumentaram a agregação do solo a 15 cm de profundidade e que a dose de 7.000 kg ha⁻¹ foi a que mais propiciou o aumento do C orgânico do solo. Nesse sentido, estudos evidenciam que as gramíneas/forrageiras, causam efeitos benéficos na agregação do solo, devido ao sistema radicular abundante, que promove o aporte de grandes quantidades de MOS (Lima *et al.*, 2012), e podem ser aliadas no sistema produtivo do café, ocupando a área disponível das entrelinhas. Estudos reforçam a associação entre a prática da gessagem e o uso de plantas de cobertura, impactando positivamente nas propriedades físicas do solo, como aeração, porosidade e a agregação das partículas (Serafim *et al.*, 2011; Silva *et al.*, 2015), que favorece o desenvolvimento do sistema radicular (Carducci *et al.*, 2015), permitindo que as raízes explorem uma maior profundidade do solo e, conseqüentemente, aproveitem melhor a água disponível (Santos *et al.*, 2014; Serafim *et al.*, 2013).

Além do gesso agrícola e de plantas de coberturas, outras práticas de manejo também podem contribuir para a melhoria do solo e impactar positivamente o aporte de C ao solo. A adição de compostos orgânicos é uma destas práticas, contribuindo para aumentar o estoque de C no solo, promovendo um ambiente mais saudável e sustentável para o crescimento das plantas (D'andréa *et al.*, 2004; Lovato *et al.*, 2004; Vezzani; Mielniczuk, 2011), além de fornecer nutrientes. O incremento da MOS por meio dessa prática, não apenas melhora a fertilidade do solo, mas também promove uma série de vantagens adicionais, como o aumento da atividade microbiológica, o controle mais eficiente da temperatura do solo e uma maior capacidade de retenção de água (Oliveira; Lima; Cajazeira, 2004; Rezende, 2010; Rocha *et al.*, 2014; Silva *et al.*, 2007). Resultados significativos são verificados com

a aplicação conjunta de resíduos orgânicos e fertilizantes minerais (Vanlauwe; Wendt; Diels, 2001; Fernandes *et al.* 2013), uma vez que a liberação dos nutrientes provenientes de fontes orgânicas está fortemente ligada ao processo de decomposição, o qual é afetado pela relação entre a quantidade de C e nitrogênio do resíduo (relação C:N), podendo levar à imobilização dos nutrientes (Ricci *et al.*, 2005).

Portanto, a adoção de práticas que promovem a sustentabilidade é essencial na cafeicultura, podendo ser combinadas para potencializar seus efeitos. A utilização do gesso agrícola, visando à melhoria do ambiente químico do solo, potencializando o desenvolvimento das raízes, atrelado ao incremento de MOS advinda de compostos orgânicos ou da biomassa de plantas de cobertura, podem proporcionar um sistema mais produtivo e sustentável, bem como apresentar-se como forma de fixar e manter o C do solo.

Diante do exposto, foi proposto este trabalho, objetivando avaliar os atributos físicos do solo, bem como as frações da MOS e o estoque de C, em decorrência da aplicação de gesso e composto orgânico, bem como do cultivo de braquiária nas entrelinhas do café arábica, em condições de sequeiro.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em condições de campo, em fevereiro de 2017 e conduzido até agosto de 2020, ou seja, por um período de três anos e seis meses.

2.2.1 Área experimental e cultivar de café

O experimento foi instalado em condição de campo, no Sítio Três Irmãos, localizado no município de Manduri - SP, com latitude 23°03' S, longitude 49°14' W e altitude de 738 m. O solo do local é um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, textura média (Santos *et al.*, 2013). De acordo com a classificação de Köppen, o clima predominante na região é do tipo Cwa, tropical, com estação seca no inverno e verão quente e chuvoso (Lombardi Neto; Drugowich, 1994), temperatura média anual de 21,1 °C e regime pluviométrico anual em torno de 1.457 mm (CIIAGRO,

2024). Os dados mensais de temperaturas médias e precipitação pluvial durante a condução dos experimentos são apresentados na Tabela 1.

O talhão onde o experimento foi instalado era constituído por plantas de café arábica, cultivar Catuaí Vermelho IAC 99, pé-franco, plantadas no campo em março de 2016, no espaçamento 3,5 × 0,70 m, perfazendo um total de 4.082 plantas ha⁻¹.

Tabela 1 - Dados de temperatura média e precipitações pluviométricas mensais de fevereiro de 2017 a agosto de 2022, Manduri-SP

Mês	Ano			
	2017	2018	2019	2020
	Temperatura média (°C)			
Janeiro	-	24,4	26,2	24,8
Fevereiro	25,5	23,1	24,7	23,9
Março	24,3	25,3	24,3	23,9
Abril	21,8	22,1	22,7	20,8
Maio	20,0	19,6	20,7	17,2
Junho	17,1	18,9	18,4	18,8
Julho	16,4	18,4	16,3	17,7
Agosto	18,3	17,1	18,8	18,0
Setembro	22,4	20,6	19,6	-
Outubro	22,4	22,2	24,7	-
Novembro	22,6	23,4	24,4	-
Dezembro	24,5	24,5	24,5	-
	Precipitação pluvial (mm)			
Janeiro	-	257	131	138
Fevereiro	147	58	171	218
Março	115	180	120	20
Abril	166	23	74	43
Maio	261	25	78	43
Junho	145	26	86	98
Julho	1	1	113	10
Agosto	91	141	1	92
Setembro	10	126	24	-
Outubro	195	145	51	-
Novembro	206	87	232	-
Dezembro	225	158	138	-

No plantio da cultura do café foram distribuídos e incorporados em cada metro de sulco 6 g de N, 22 g de P₂O₅, 12 g de K₂O (formulado 08-28-16), 0,30 kg de calcário dolomítico com 75% de PRNT e 5 L de cama de frango. O experimento foi conduzido em condições de sequeiro.

Em janeiro de 2017, foi amostrado solo, sendo a coleta realizada na projeção da copa do cafeeiro, na camada de 0–0,20 m e 0,20–0,40 m de profundidade. As análises químicas foram realizadas de acordo com a metodologia proposta por Raji *et al.* (2001), cujos resultados estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Características químicas do solo da área antes da instalação do experimento

Profundidade	pH(CaCl ₂)	MOS	P	S-SO ₄ ²⁻	H+Al	Al ³⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	CTC	V
m		g kg ⁻¹	— mg dm ⁻³ —				mmol _c dm ⁻³				%
0-0,20	5,1	17	20	10	35	0	0,4	31	8	73	53
0,20-0,40	4,1	14	6	17	50	7	0,3	10	4	64	22

Cada amostra foi composta por 12 amostras simples.

Na mesma época em que foi feita amostragem de solo para análise química, foi amostrado solo da área experimental nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 m para análise granulométrica, que foi utilizada para o cálculo da dose de gesso a ser aplicada (Tabela 3). O cálculo da quantidade de gesso a ser aplicada foi realizado de acordo com Raij *et al.* (1997).

Tabela 3 - Análise granulométrica da área experimental

Profundidade	Areia	Argila	Silte	Textura do solo
m	g kg ⁻¹			
0-0,20	810	160	30	Média
0,20-0,40	775	187	38	Média

Cada amostra foi composta por 12 amostras simples.

Foi realizado uma aferição em fevereiro de 2017, e as plantas de café apresentavam em média cerca de 1,2 cm de diâmetro de caule e cerca de 23,8 cm de altura no momento de aplicação dos tratamentos.

2.2.2 Delineamento experimental

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados, num esquema fatorial 3 × 4 e três repetições. Os 12 tratamentos foram constituídos da combinação de três doses de gesso agrícola [controle - sem aplicação de gesso, dose recomendada (1.200 kg ha⁻¹) de acordo com Raij *et al.* (1997) e dose elevada (40.000 kg ha⁻¹)], e quatro sistemas de manejo (SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB:

ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas; e CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas).

Não há um critério para recomendação de dose elevada de gesso, assim, no caso da presente pesquisa, a dose elevada foi estipulada com base em um valor próximo da média das doses elevadas de gesso utilizadas em trabalhos sobre o tema (Ramos *et al.*, 2013; Rodrigues *et al.*, 2015; Fagundes *et al.*, 2016). O gesso utilizado continha cerca de 16% Ca e 13% de S. O composto orgânico utilizado consistia de uma mistura homogênea e compostada de esterco de galinha, esterco bovino e palha de café, com dose de 10.000 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (base úmida). Para o cultivo nas entrelinhas dos tratamentos determinados, utilizou-se a braquiária *ruziziensis*.

Cada parcela foi constituída por três fileiras de plantas, com 8,4 m de comprimento (12 plantas em cada fileira). As parcelas foram separadas umas das outras por uma planta, no sentido da fileira, e por uma fileira. A área considerada útil em cada parcela foi composta por oito plantas da fileira central (19,6 m²), excluindo duas plantas de cada extremidade.

2.2.3 Condução do experimento

A aplicação das doses de gesso foi realizada apenas em fevereiro de 2017, sendo aplicado em faixa de 1,0 m de largura na fileira de plantas de café. Assim, na dose de gesso recomendada (1.200 kg ha⁻¹) foram aplicados 0,42 kg m⁻² da faixa e na dose elevada (40.000 kg ha⁻¹) foram aplicados 14,0 kg m⁻² da faixa. Nas entrelinhas do cafeeiro, foi realizada a semeadura da braquiária *ruziziensis* cv. *Ruziziensis* no mês de março de 2017, com o auxílio de semeadora manual (matraca), utilizando de 8,0 kg ha⁻¹ de sementes puras viáveis, sendo semeadas, sem adubação, quatro fileiras da gramínea, com espaçamento de 0,5 m entre as fileiras e 0,1 m entre as covas e profundidade de 0,03 m, deixando-se uma distância de 1,0 m de cada lado das plantas de café livres (Figura 1). A braquiária foi mantida vegetando, porém, devido ao período de inverno as plantas só tiveram desenvolvimento expressivo a partir de outubro de 2017. A primeira ceifa da parte área das plantas presentes nas entrelinhas do cafeeiro ocorreu em janeiro de 2018 e

a segunda em abril de 2018, e após a segunda ceifa foi realizada uma operação mecânica conhecida como arruação (limpeza), para realizar a colheita.

No mês de outubro de 2018, foi realizado o replantio dessa gramínea, a qual permaneceu vegetando até o primeiro e segundo cortes em janeiro e abril de 2019, e novamente após a segunda ceifa foi realizada a arruação (limpeza). Em outubro de 2019, foi realizado o replantio da braquiária a qual foi ceifada em janeiro e abril de 2020. As entrelinhas do cafeeiro permaneceram cobertas com a braquiária ou as plantas de crescimento espontâneo por um período de sete meses no ano agrícola, compreendido de outubro a abril, e os outros cinco meses, permaneceram sem a presença das plantas nas entrelinhas, devido à limpeza da área para realizar a colheita do café.

O controle de plantas daninhas na linha do cafeeiro foi realizado através de capina manual (com auxílio de enxadas), mantendo limpa uma faixa de aproximadamente 1,0 m junto à projeção da copa das plantas de café.

Para o preparo da área, antecedendo a colheita, realizou-se através da arruação (com o uso de arruador de asas e limpeza na linha de plantas com auxílio de enxadas) nos anos de 2018 e 2019. Já a partir de 2021 foi utilizado o arruador de café contendo um soprador de direcionamento independente e um varredor de borracha, visando manter a linha na terra limpa, puxando todas as folhas e galhos do cafeeiro e plantas daninhas para a entrelinha. Sempre antes da arruação realizou-se o controle das plantas daninhas em área total, com o uso do herbicida de pós-emergência glifosato potássico na dose de 1.550 g i.a. ha⁻¹. Todas as aplicações de herbicidas foram feitas com o pulverizador de barras protegida, para evitar problemas com deriva no cafeeiro.

O composto orgânico (Tabela 4), com umidade de aproximadamente 40%, foi aplicado na dose de 10.000 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (base úmida), sempre distribuído na faixa da projeção da copa das plantas (0,8 m de cada lado), no mês de outubro de cada ano, de 2017 até 2019.

Figura 1 - Esquema representativo das parcelas experimentais, local de aplicação do gesso agrícola (A), aplicação do composto orgânico (B), área mantida sem cultivo de braquiária e/ou plantas de crescimento espontâneo (C) e espaçamento entre fileiras de café (D)

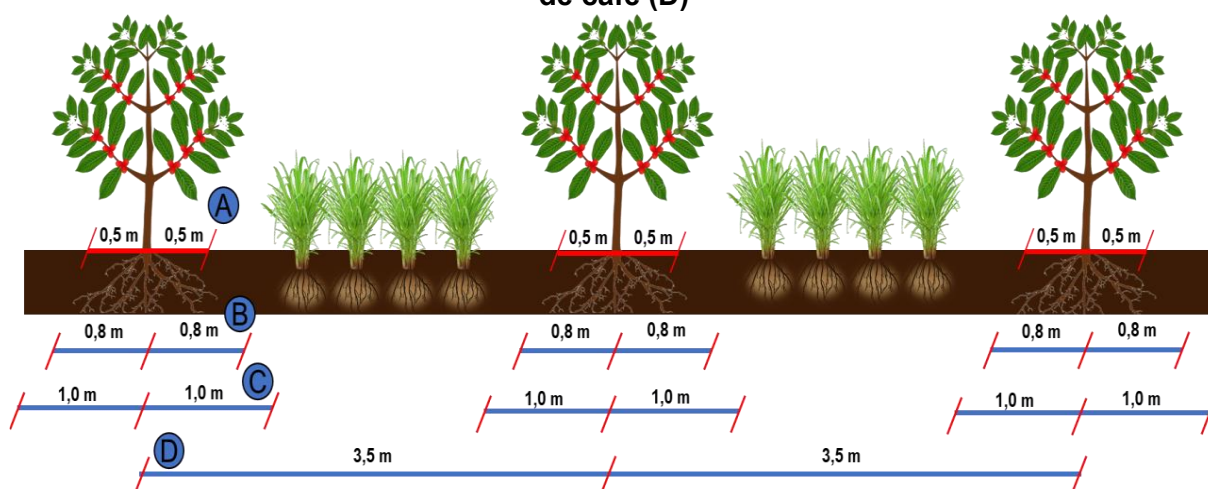


Tabela 4 - Teores de nutrientes e carbono orgânico (CO) presentes no composto orgânico (base seca) e quantidades aplicadas por ano

Nutrientes	Ano					
	2017	2018	2019	2017	2018	2019
	Teor (g kg ⁻¹)			Quantidade (kg ha ⁻¹)		
N	14	15	14	84	90	84
P	8	8	9	48	48	54
K	12	11	10	72	66	60
Ca	14	12	8	84	72	48
Mg	4	5	4	24	30	24
S	2	3	3	12	18	18
CO	152	135	121	912	810	726
	Teor (mg kg ⁻¹)			Quantidade (g ha ⁻¹)		
B	28	25	21	168	150	126
Cu	75	60	55	450	360	330
Fe	1664	5864	20300	9984	35184	12180
Mn	251	346	321	1506	2076	1926
Zn	192	178	166	1152	1068	996

As demais aplicações de nutrientes e o manejo fitossanitário foram realizados de acordo com os critérios do produtor (Anexo A). Para as adubações de cobertura foram utilizadas as fontes de ureia (46% de N), nitrato de amônio (32% de N), cloreto de potássio (60% de K₂O), MAP (11% de N e 52% de P₂O₅) e o formulado de N-P₂O₅-K₂O de 20-05-20 + 2,0% de Ca + 1,0% de Mg, e constaram das seguintes quantidades anuais de N-P₂O₅-K₂O, em kg ha⁻¹: 50-00-50 em 2016/2017; 100-00-120 em 2017/2018; 200-50-200 em 2018/2019, 250-60-250 em 2019/2020. As doses

dos fertilizantes foram parceladas em quatro aplicações, sendo realizada, em média, uma a cada quarenta dias, entre os meses de outubro e fevereiro de cada ano agrícola. As aplicações foram feitas de forma mecanizada (adubadora pendular – Vicon, com pêndulo especial para adubação em duas faixas), distribuindo-se uniformemente as doses dos fertilizantes sob a projeção da copa das plantas de café.

2.2.4 Avaliações realizadas

2.2.4.1 Produção de massa seca e aporte de carbono pelas plantas daninhas e braquiária

Foram realizadas coletas da parte aérea das plantas presente nas entrelinhas do café (plantas daninhas e/ou braquiária *ruziziensis*) nos meses de janeiro e abril de cada ano, iniciadas em 2018 até 2020. Foi realizado o corte da parte aérea das plantas presente nas entrelinhas do café (plantas daninhas e/ou braquiária *ruziziensis*), sendo coletadas sempre antes da ceifa, ou seja, no ponto ideal de corte (maior volume de massa) para obtenção da massa fresca e seca. O corte destas plantas foi realizado a uma altura de 0,10 m em relação ao solo, com a utilização de um quadrado de 0,25 × 0,25 m para padronizar a coleta, e coletando-se quatro pontos por parcela. O material cortado foi submetido à uma lavagem rápida com água deionizada e colocado para secagem em estufa com circulação forçada de ar a 60 °C, até atingir massa constante. Posteriormente, as amostras foram pesadas para determinação da massa seca (MS) e em seguida moídas em moinho tipo Willey. Para o cálculo da MS produzida, foi considerada apenas a área útil da entrelinha, que foi estimada em 5.714 m².

As amostras foram submetidas à determinação de C em analisador elementar automático modelo TruSpec™ CHNS, da LECO®. O aporte de C foi determinado mediante a multiplicação da quantidade de massa seca produzida pelo teor de C do material vegetal.

2.2.4.2 Avaliações físicas do solo

Foi realizada a abertura de uma trincheira, na projeção da copa do cafeeiro (faixa de adubação), os 41 meses após a aplicação dos tratamentos (agosto de 2020).

2.2.4.2.1 Porosidade total, macroporosidade, microporosidade e densidade do solo

Com o perfil exposto pelas trincheiras foram retiradas amostras indeformadas de solo, por meio de anéis volumétricos com 5,0 cm de altura por 4,8 cm de diâmetro interno, em duplicata, utilizando um suporte de aço para os anéis (“castelinho”) e marreta de 1 kg, nas profundidades de 0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m. Após a coleta das amostras, ainda no campo, foi retirado o excesso de solo dos bordos dos anéis, com o auxílio de um estilete. Em seguida, os anéis volumétricos foram vedados com tampas plásticas para evitar possíveis danos e deformações, e armazenados em refrigerador a 2 °C, até serem processados.

Foram determinados a porosidade total (Pt), macroporosidade, microporosidade e a densidade do solo (Ds), segundo os métodos descritos em EMBRAPA (1997).

As amostras não deformadas foram colocadas para saturar em bandejas plásticas com água até 2/3 da altura dos anéis. Para evitar perda de solo, foi colocado um tecido de poliéster, que permite apenas a passagem de água, no fundo de cada anel e fixado com atilho de borracha. Após 72 horas de imersão das amostras, e com todos os poros do solo ocupados pela água, iniciou-se a drenagem das amostras, submetendo-as à tensão de 0,006 MPa. A extração de água das amostras na câmara de Rhichards (Klute, 1986) foi realizada por meio de compressor com capacidade para 20 bar.

Após extração da água, as amostras foram pesadas e colocadas para secar a 105 °C, por 48 horas, em estufa de aeração forçada, para em seguida serem determinados os pesos secos das amostras com volume de solo conhecido.

Com a diferença entre a massa das amostras saturadas com água e secas a 105 °C, e com volume conhecido das amostras, calculou-se a Pt (EMBRAPA, 1997). Para calcular a Ds, dividiu-se a massa das amostras secas a 105 °C pelo volume do anel volumétrico (Blake; Hartge, 1986). A macroporosidade e a microporosidade foram determinadas através do teor de água retida nas amostras em equilíbrio com

a tensão de 0,006 MPa. Considerando que essa tensão é suficiente para retirar toda a água retida nos macroporos, sendo que a água restante representa o volume de microporos (EMBRAPA, 1997). Portanto, conhecendo a P_t e a microporosidade foi possível calcular a macroporosidade ($P_t = \text{Macro} + \text{Micro}$).

2.2.4.2.2 Estabilidade de agregados em água

Com o perfil exposto pelas trincheiras, foram retirados com o auxílio de uma espátula, monólitos de solo com dimensões aproximadas de 0,20 m de altura por 0,10 m de comprimento e 0,10 m de largura. As amostras indeformadas de monólitos de solo foram acondicionadas em sacos plásticos e posteriormente pré-selecionadas em um jogo de peneiras sobrepostas, tendo as peneiras superior e inferior malhas de 8 e 4 mm, respectivamente. Utilizou-se somente a porção retida na de 4 mm. Os agregados do solo pré-selecionados foram avaliados quanto à estabilidade de agregados via úmida, conforme Kemper e Chepil (1965), utilizando-se um aparelho de oscilação vertical (Yoder, 1936).

Foram pesadas duas subamostras de 20 g de solo de cada amostra, sendo uma delas submetida à determinação de umidade em estufa a 105 °C e a outra encaminhada para o tamisamento. As subamostras destinadas ao tamisamento foram pré-umedecidas levemente com um borrifador e mantidas em repouso em temperatura ambiente por 10 minutos. Em seguida, foram transferidas para um conjunto de peneiras acopladas de 2,00; 1,00; 0,50; 0,25 e 0,106 mm de diâmetro dentro do aparelho de oscilação vertical. O aparelho movimentava verticalmente o conjunto de peneiras imersas em água, de modo que amostra de solo depositada inicialmente na peneira superior (2,00 mm) mergulhasse totalmente e depois suba até aflorar acima do nível da água. O tamisamento mecânico na água foi realizado por 15 minutos. As porções retidas em cada peneira foram transferidas para potes de alumínio com o auxílio de jatos de água e secas em estufa a 105 °C por um período de 48 horas para posterior pesagem.

A partir dos valores de massa, e conhecendo-se os teores de umidade das amostras originais de solo submetidas ao tamisamento, foram calculados a porcentagem de agregados retidos na peneira de 2 mm (agregados menores que 2 mm), o diâmetro médio ponderado (DMP) e o diâmetro médio geométrico (DMG).

Também foi calculado o índice de estabilidade de agregados (IEA), conforme Castro Filho, Muzilli e Podanoschi (1998).

2.2.4.3 Resistência do solo à penetração

Para as medidas de resistência à penetração realizadas no campo, utilizou-se o penetrômetro convencional modelo Stolf, constituído por um peso para provocar o impacto, uma haste e um cone para a penetração no solo (Stolf *et al.*, 1983). A penetração da haste é obtida pelo impacto de uma massa (4 kg) em queda livre de uma altura h (metros). A cada impacto foram registrados os valores do deslocamento x (metros), os quais foram convertidos em pressão de penetração ou resistência à penetração (em unidades de MPa), através da fórmula, modificada por Stolf (1990).

As medidas foram realizadas até a profundidade de 0,70 m, aos 41 meses após o início da aplicação dos tratamentos (agosto de 2020). Estas mensurações foram realizadas na projeção da copa do cafeeiro, amostrando-se três pontos por parcela.

Na mesma ocasião, determinou-se a umidade do solo, pelo método padrão, por meio da coleta de uma amostra deformada, nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m de profundidade, na projeção da copa do cafeeiro de cada unidade experimental, com auxílio de um trado tipo tubular fechado. Mensurou-se a massa úmida, em balança de precisão e mantiveram-se as amostras em estufa a 105 °C por 48 horas, para a determinação do peso seco (EMBRAPA, 1997). A umidade era de 9,45%, 11,29%, 12,44% e 12,74%, respectivamente para camada avaliada.

2.2.4.4 Carbono orgânico do solo: frações e estoque

Foram realizadas amostragens estratificadas do solo aos 41 meses após a aplicação dos tratamentos, em cada parcela, foram retiradas três amostras simples para as profundidades de 0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m, na projeção da copa das plantas de café, utilizando-se trado tipo tubular fechado, com o intuito de formar uma amostra composta. As amostras compostas foram secas, seguindo-se o peneiramento em malha de 2 mm.

As amostras foram submetidas à determinação de carbono orgânico total do solo (COT) em analisador elementar automático modelo TruSpec™ CHNS, da LECO®. O princípio da análise de C em analisador elementar baseia-se na combustão da amostra em elevadas temperaturas (900-950 °C), associada a um influxo de gás oxigênio. Todo o C é convertido em CO₂ e este é mensurado em um detector infravermelho (Leco Corporation, 2011).

Procedeu-se também o fracionamento físico da MOS nas mesmas amostras, seguindo o método adaptado de Cambardella e Elliott (1992), que consiste em separar o C orgânico do solo em duas frações: carbono orgânico particulado (COp), menos decomposto e mais recentemente depositado no solo, e carbono orgânico associado a minerais (COam), mais recalcitrante e humificado.

Para tal, foram pesados 20 gramas de solo seco ao ar, tamisados em malha de 2 mm, em copos de polietileno de 250 mL e adicionados 80 mL de solução dispersante de hexametáfosfato de sódio 5 g L⁻¹. Em seguida, as amostras foram agitadas por 15 horas em agitador horizontal, passadas em peneira de malha de 0,053 mm (270 Mesh) e enxaguadas várias vezes com água destilada até remoção total da argila. O material particulado retido na peneira, ou fração particulada (FP), foi transferido para potes de alumínio, com auxílio de jatos de água, e seco em estufa de circulação de ar forçada a 50 °C até atingir massa constante.

Após a secagem, o material foi pesado, determinando-se assim a massa da fração particulada (MFP), moído e homogeneizado com auxílio de um bastão de vidro, e submetido à determinação de C em analisador elementar automático modelo TruSpec™ CHNS, da LECO®, obtendo-se o teor de carbono da fração particulada do solo (COp). O carbono da fração associada aos minerais (COam) foi determinado pela diferença entre o teor do C orgânico total e C da fração particulada.

A partir dos dados obtidos de carbono orgânico total (COT) e de densidade do solo (Ds), foi calculado o estoque de carbono orgânico total (EC), nas mesmas amostras. O cálculo foi realizado de acordo com a equação: estoque de carbono orgânico (EC) = teor de COT × Ds × espessura da camada avaliada (Veldkamp, 1994; Ellert; Bettany, 1995).

2.2.5 Análise estatística

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste LSD a 5% de probabilidade, auxílio do programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2011).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.2.3.1 Produção de massa seca e aporte de carbono pelas plantas daninhas e braquiária

A produção de MS da parte aérea das plantas de braquiária ou de crescimento espontâneo nas entrelinhas do cafeeiro, ao longo das épocas de avaliação, foi influenciada significativamente pela aplicação de gesso agrícola e pelo sistema de manejo (Tabela 5). Para a avaliação realizada em janeiro de 2018, foi observado influência significativa do sistema de manejo para as quantidades de MS da parte aérea, no qual, os maiores valores foram observados quando houve o cultivo de braquiária nas entrelinhas, com ou sem associação ao composto orgânico. Já para as avaliações de abril de 2018, janeiro de 2019 e 2020, houve influência da interação das doses gesso e do sistema de manejo (Tabela 5). Para o desdobramento da interação (gesso × manejo), observa-se as maiores quantidades de MS para o cultivo de braquiária nas entrelinhas, com ou sem a aplicação de composto orgânico, e, quando associados a dose elevada de gesso, houve incremento desses valores (Tabela 6). Em abril de 2019 e 2020, apenas o fator sistema de manejo influenciou na MS produzida. No qual, observou-se os maiores valores com o cultivo de braquiária nas entrelinhas em comparação a sua ausência, e quando associado a aplicação de composto orgânico, houve um crescimento (Tabela 5).

Segundo Ragassi, Pedrosa e Favarin (2013), o potencial produtivo das braquiárias é elevado, cerca de $5.000 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de MS na parte aérea, podendo acumular cerca de 7.000 kg ha^{-1} (Baptistella, 2020) e, ainda mais, em virtude do manejo, espécie e quantidade de cortes. Nesse estudo, a produção de MS da parte aérea da braquiária foi superior às plantas de crescimento espontâneo e, na associação com a aplicação de composto orgânico e, em alguns casos, da dose elevada de gesso, houve um incremento nesses valores (Tabela 5 e 6).

O incremento observado na MS, principalmente da braquiária, com a associação da aplicação de composto orgânico e gesso agrícola, pode ter ocorrido através da movimentação do solo, em virtude de práticas de manejo da lavoura. Com essa movimentação do solo, parte dos materiais (insumos) aplicados na linha ou faixa de adubação foram transferidos para a entrelinha, o que beneficiou as plantas de cobertura. Uma vez que estes materiais proveram nutrientes, estimulando o maior crescimento, que resultou em maiores quantidades de MS.

Tabela 5 - Massa seca da parte aérea da braquiária e das plantas de crescimento espontâneo, em seis épocas de avaliação, em função de doses de gesso agrícola e dos sistemas de manejo (composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas). Avaliações realizadas em janeiro e abril dos anos de 2018, 2019 e 2020

Tratamento	Época de avaliação					
	Jan. 2018	Abr. 2018	Jan. 2019	Abr. 2019	Jan. 2020	Abr. 2020
	Massa seca (kg ha ⁻¹)					
Gesso (G)						
Sem aplicação	2963,8a	5111,1	1714,2	2086,7a	4051,6	4604,3a
Dose recomendada	2895,6a	5777,7	1941,7	1750,2a	4443,6	5140,1a
Dose elevada	3144,7a	7142,8	2523,8	1966,1a	4089,6	4640,6a
Manejo (M) ¹						
SC-SB	1917,4b	2102,2	846,5	792,9c	3412,5	3381,3c
CC-SB	2113,0b	2553,7	761,9	996,1c	3587,5	3997,9c
SC-CB	3921,2a	8874,7	3329,8	2553,7b	4767,7	5528,8b
CC-CB	4053,3a	10511,4	3301,5	3394,7a	5012,0	6272,0a
Fonte de variação	(P > F)					
G	0,494	<0,001	0,001	0,166	0,043	0,120
M	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
G × M	0,176	0,001	0,001	0,226	0,023	0,848
CV(%)	17,4	14,0	23,0	21,8	9,3	14,1

¹SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas. Médias seguidas por letras distintas, na coluna e dentro de cada fator, diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Tabela 6 - Desdobramento da interação entre gesso × manejo para a quantidade de massa seca e o aporte de C, ambos, produzidos em abril de 2018, janeiro de 2019 e 2020

Gesso	Sistema de Manejo			
	SC-SB ¹	CC-SB	SC-CB	CC-CB
Massa seca (kg ha ⁻¹) – abril - 2018				
Sem aplicação	2243,3aB	1904,7aB	7788,3bA	8507,9bA
Dose recomendada	1820,1aB	2624,3aB	9142,8abA	9523,8bA
Dose elevada	2243,3aC	3132,2aC	9693,1aB	13502,6aA
Massa seca (kg ha ⁻¹) – janeiro - 2019				
Sem aplicação	380,9bC	634,9aC	2497,3bB	3343,9bA
Dose recomendada	888,8abC	846,5aC	3364,0aA	2285,7cB
Dose elevada	1269,8aB	804,2aB	4126,9aA	4275,1aA
Massa seca (kg ha ⁻¹) – janeiro - 2020				
Sem aplicação	3465,4abB	3732,4aB	4126,4bB	4882,3aA
Dose recomendada	3800,8aB	3706,7aB	4900,2aA	5366,7aA
Dose elevada	2971,4bB	3323,5aB	5276,6aA	4786,8aA
Aporte de C (kg ha ⁻¹) – abril - 2018				
Sem aplicação	938,8aB	782,8aB	3247,7bA	3539,3bA
Dose recomendada	749,8aB	1070,7aB	3780,5abA	3957,1bA
Dose elevada	938,8aC	1276,4aC	4032,3aB	5603,5aA
Aporte de C (kg ha ⁻¹) – janeiro - 2019				
Sem aplicação	158,4bC	261,8aC	1047,2bB	1446,8aA
Dose recomendada	525,2aC	347,0aC	1400,9aA	953,1bB
Dose elevada	368,5abB	328,6aB	1719,5aA	1781,3aA
Aporte de C (kg ha ⁻¹) – janeiro - 2020				
Sem aplicação	1462,4abB	1560,1aB	1733,0bB	2040,8aA
Dose recomendada	1584,9aB	1530,8aB	2038,5aA	2237,9aA
Dose elevada	1221,2bB	1352,6aB	2173,9aA	1981,7aA

¹SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas. Médias seguidas por letras distintas, minúscula na coluna e maiúscula na linha, diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

O aporte de C da parte aérea da braquiária e das plantas de crescimento espontâneo nas entrelinhas do cafeeiro foi significativamente influenciado pelas doses de gesso e pelo sistema de manejo nas épocas de avaliação (Tabela 7). Em janeiro de 2018, observou-se diferença significativa entre o sistema de manejo, com os maiores valores de aporte de C para os manejos SC-CB e CC-CB, sendo cerca de duas vezes maiores que os manejos SC-SB e CC-SB.

Em abril de 2018 e janeiro de 2019, houve interação dos fatores e, para o desdobramento da interação, observou-se que o maior aporte de C ocorreu na aplicação da dose elevada de gesso associada ao manejo CC-CB (Tabela 6 e 7).

Em abril de 2019, o sistema de manejo CC-CB proporcionou o maior aporte de C. Já em janeiro de 2020, houve interação dos fatores e, para o desdobramento da interação, observou-se os maiores aportes de C para os manejos SC-CB e CC-CB, independente da dose de gesso utilizada. Por fim, em abril de 2020, apenas o fator manejo foi significativo, com o manejo CC-CB apresentando o maior aporte de C.

Tabela 7 - Aporte de C da parte aérea da braquiária e das plantas de crescimento espontâneo, em seis épocas de avaliação, em função de doses de gesso agrícola e dos sistemas de manejo (composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas). Avaliações realizadas em janeiro e abril dos anos de 2018, 2019 e 2020

Tratamento	Época de avaliação					
	Jan. 2018	Abr. 2018	Jan. 2019	Abr. 2019	Jan. 2020	Abr. 2020
	Aporte de C (kg ha ⁻¹)					
Gesso (G)						
Sem aplicação	1250,4a	2127,1	728,5	867,5a	1699,1	1930,6a
Dose recomendada	1201,6a	2389,5	806,6	724,3a	1848,0	2137,7a
Dose elevada	1304,7a	2959,7	1049,5	814,6a	1682,4	1909,0a
Manejo (M) ¹						
SC-SB	795,0b	871,7	350,7	328,9c	1422,8	1409,8c
CC-SB	867,0b	1043,3	312,5	407,6c	1481,2	1648,8c
SC-CB	1637,2a	3686,8	1389,2	1061,5b	1981,8	2299,6b
CC-CB	1709,7a	4366,6	1393,7	1410,5a	2086,8	2611,5a
Fonte de variação	(P > F)					
G	0,519	<0,001	0,001	0,154	0,038	0,114
M	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
G × M	0,192	0,001	0,001	0,220	0,022	0,863
CV(%)	17,3	14,0	23,1	21,9	9,3	14,2

¹SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas. Médias seguidas por letras distintas, na coluna e dentro de cada fator, diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Os maiores aportes de C no sistema foram observados nos tratamentos que apresentaram maior produção de MS (Tabela 5 e 6), uma vez que o teor de C do material não variou. Estes resultados sugerem que, quanto maior o aporte de biomassa vegetal gerada na entrelinha, maior será a quantidade de C fornecida ao sistema. Contudo, deve-se levar em conta que nem toda quantidade de C aportada, é estocada de fato no solo, uma vez que no processo de decomposição do material há perdas e consumo, como a liberação de CO₂ da respiração dos microrganismos (Wagner; Wolf, 1999).

Outro fator importante que não foi explorado, mas amplamente aceito na literatura, é a contribuição do sistema radicular para o aporte de C no solo (Santos *et al.* 2011). Segundo Wilts *et al.* (2004), a entrada de C via rizodeposição, que inclui raízes e exsudados radiculares, pode ser 1,8 vezes maior do que o C proveniente dos resíduos da palha acima do solo, evidenciando a importância desses órgãos subterrâneos para o acúmulo de C no solo. Diversos estudos destacam a elevada capacidade da braquiária em produzir biomassa e, conseqüentemente, o aporte de C ao solo, devido ao seu sistema radicular profundo e vigoroso (Silva; Mielniczuk, 1997; Baptistella *et al.*, 2020; Galdos *et al.* 2020). A associação da braquiária com sistemas de produção de grãos já demonstra claramente o potencial de entrada de C no solo, tanto pela biomassa produzida quanto pelo sistema radicular, que atua de forma eficaz na ciclagem de nutrientes e no armazenamento de C (Silva *et al.* 2020; Silva; Mielniczuk, 1997; Costa *et al.* 2012; Vezzani; Mielniczuk, 2011; Seidel *et al.*, 2014).

Na cafeicultura moderna, em que há uma crescente demanda por sistemas de produção mais sustentáveis, os consumidores valorizam e recompensam práticas que promovem o sequestro de C e a redução da emissão de gases de efeito estufa. Isso torna alternativas como o cultivo de plantas de cobertura nas entrelinhas do cafeeiro, como a braquiária, especialmente relevantes, uma vez que essas plantas podem acumular C nos seus tecidos vegetais (parte aérea e raízes) e, aumentar significativamente o estoque de C no solo, reduzindo sua liberação para a atmosfera.

2.2.3.2 Porosidade total, macroporosidade, microporosidade e densidade do solo

As variáveis físicas do solo, porosidade total (Pt), macroporosidade e microporosidade, foram influenciadas pelo uso de gesso agrícola e pelo sistema de manejo, enquanto a densidade do solo (Ds) não sofreu influência significativa (Tabela 8). A Pt, na camada de 0-0,10 m de profundidade, foi influenciada apenas pelo sistema de manejo, com o maior valor para o manejo CC-SB, que não diferiu do manejo CC-CB (Tabela 8; Figura 2A). Na camada de 0,10-0,20 m, houve influência da interação dos fatores e, no desdobramento, observou-se o maior valor para o manejo CC-CB associado à dose elevada de gesso, que não diferiu da ausência da aplicação de gesso (Tabela 8; Figura 2B). Já para as camadas de 0,20-0,40 e 0,40-

0,60 m de profundidade, houve influência apenas do fator gesso, com a maior porosidade total observada para aplicação da dose elevada (Tabela 8; Figuras 2C e 2D).

Na camada de 0-0,10 m, a macroporosidade foi influenciada apenas pelo sistema de manejo, com os maiores valores observados nos manejos CC-SB e SC-CB, sem diferença significativa em relação ao manejo CC-CB (Tabela 8; Figura 3A). Na camada de 0,10-0,20 m, houve influência da interação entre os fatores. No desdobramento, os maiores valores de macroporosidade foram observados para o manejo CC-SB associado à dose recomendada de gesso e para o manejo CC-CB associado à dose elevada, ambos sem diferenças significativas em relação à ausência de aplicação de gesso (Tabela 8; Figura 3B). A camada de 0,20-0,40 m não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos estudados. Por outro lado, na camada de 0,40-0,60 m, a interação entre os fatores também se mostrou relevante, com os maiores valores de macroporosidade observados nos manejos SC-SB associado a ausência da aplicação de gesso e nos manejos SC-CB e CC-CB associados à dose elevada de gesso (Tabela 8; Figura 2D).

Na camada de 0-0,10 m, a microporosidade foi influenciada tanto pelo sistema de manejo quanto pelas doses de gesso (Tabela 8). Os maiores valores de microporosidade foram observados com a aplicação da dose elevada de gesso, sem diferença significativa em relação à ausência de aplicação de gesso. Em relação ao manejo, o maior valor foi observado no manejo CC-CB, sem diferença significativa em relação aos manejos SC-SB e CC-SB (Figura 4A). Nas camadas de 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m, não houve efeito significativo de nenhum dos fatores estudados (Tabela 8). Por outro lado, na camada de 0,40-0,60 m, a interação entre os fatores foi significativa. No desdobramento, os maiores valores de microporosidade foram observados no manejo CC-SB associado a ausência da aplicação de gesso e nos manejos SC-CB e CC-CB associados à dose elevada de gesso (Figura 4D).

Tabela 8 - Probabilidade de F e coeficiente de variação para porosidade total (Pt), macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro) e densidade do solo (Ds), nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m de profundidade, em função de doses de gesso agrícola e dos sistemas de manejo (composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas). Avaliações realizadas em agosto de 2020

Fonte de variação	Pt	Macro	Micro	Ds
0-0,10 m				
Gesso (G)	0,069	0,848	0,011	0,377
Manejo (M)	0,002	0,037	0,039	0,645
G × M	0,354	0,490	0,685	0,895
CV(%)	3,4	13,5	4,8	3,4
0,10-0,20 m				
Gesso (G)	0,654	0,092	0,183	0,333
Manejo (M)	0,001	0,563	0,709	0,804
G × M	<0,001	0,006	0,540	0,948
CV(%)	1,9	10,4	6,0	2,6
0,20-0,40 m				
Gesso (G)	0,003	0,448	0,126	0,726
Manejo (M)	0,264	0,646	0,808	0,745
G × M	0,195	0,605	0,375	0,196
CV(%)	2,5	10,7	3,7	3,2
0,40-0,60 m				
Gesso (G)	0,001	0,073	0,125	0,939
Manejo (M)	0,663	0,226	0,020	0,741
G × M	0,051	0,008	0,002	0,710
CV(%)	2,6	7,9	3,7	2,3

Na camada superficial do solo, houve as maiores modificações na porosidade (Pt, macro e micro) com relação a adoção do sistema de manejo (Figuras 2-4). Tal fato tem relação direta com a decomposição dos materiais orgânicos na superfície do solo, seja pelo material compostado (composto orgânico) ou pela biomassa das plantas de cobertura, ambas as práticas proporcionam aumento da entrada de C no sistema (Tabela 4, 6 e 7), que, conseqüentemente, pode aumentar os teores de MOS. Segundo Bronick e Lal (2015), a presença de resíduos orgânicos aumenta a porosidade do solo ao promover a agregação e a formação de macroporos, permitindo uma melhor infiltração de água e aeração. Estes resultados corroboram os de Caires *et al.* (2015), que observaram uma melhoria significativa na estrutura do solo em sistemas de manejo que incorporam resíduos vegetais, especialmente nas camadas superficiais, como o sistema de plantio direto.

Segundo Gomar *et al.* (2002), alterações nos teores de MOS podem modificar as propriedades físicas do solo, influenciando na sua estrutura e impactando na

aeração, retenção de água e na drenagem. Os autores ainda relataram a influência da biomassa de radicular desenvolvida pela melhoria destes parâmetros, e adicionaram que essas podem ainda auxiliar na formação de novos agregados do solo, pela libração de exsudados radiculares. Assim, a introdução de um sistema de manejo que promova incrementos na MOS, favorece a melhoria do ambiente físico do solo.

A introdução de plantas de cobertura nos sistemas agrícolas mostra-se como uma boa alternativa para melhoria do ambiente solo. O cultivo de braquiária, em específico, se destaca pela rusticidade da planta e boa adaptabilidade nos sistemas produtivos (Crusciol *et al.*, 2011; Pariz *et al.*, 2011; Martinelli *et al.*, 2017; Ragassi; Pedrosa; Favarin, 2013; Pedrosa *et al.*, 2014; Voltolini *et al.*, 2020; Baptistella *et al.*, 2020), além de sua reconhecida e robusta produção de biomassa radicular, que auxilia na criação de poros contínuos e persistentes no perfil do solo, impactando diretamente na macroporosidade (Salton; Tomazi, 2014), e na melhoria da infiltração e retenção de água no solo (Seidel *et al.*, 2014; Serafim *et al.*, 2013; Pedrosa, 2013).

A ausência de resultados mais proeminentes da ação da braquiária na porosidade (Pt, macro e micro), pode se dá pelo local de cultivo (Figura 1) e o local de amostragem para a avaliação destes parâmetros (faixa de adubação). Em sistemas de grãos, onde o cultivo da braquiária ocupa todo o solo, há uma maior percepção da alteração positiva das propriedades físicas (Caires *et al.* 2015; Frazão *et al.*, 2008). Já na cafeicultura, onde seu cultivo se limita a área da entrelinha, que pode variar em detrimento do espaçamento e população de plantas de café, terá impacto em maior proporção no local de cultivo. Motivo esse, que auxilia a compreender que as maiores alterações são perceptíveis no manejo com aplicação de composto orgânico, por ser uma fonte já compostada, em estágio avançado de liberação de nutrientes e aportes de material orgânico ao solo. Outro fator, é em relação a condução adotada no presente estudo, em que uma determinada época do ano, cerca de cinco meses, as entrelinhas permaneciam sem a presença de nenhuma planta.

Para as camadas mais profundas do solo, observa-se que a aplicação de gesso promoveu modificações na porosidade do solo (Figuras 2-4). O gesso atua principalmente na melhoria do ambiente químico do solo, aumentando os teores de Ca^{2+} e SO_4^{2-} e reduzindo a fitotoxidade do Al^{3+} ao longo do perfil do solo (Crusciol *et al.*, 2019; Soratto; Crusciol, 2008; Caires *et al.*, 2003; Guarçoni, 2013). Esses efeitos

positivos promovem um desenvolvimento mais eficiente do sistema radicular principalmente em profundidade (Carducci *et al.*, 2015). Estes resultados sugerem que, enquanto a adoção dos sistemas de manejo afeta mais diretamente a camada superficial do solo, a aplicação de gesso pode ser particularmente benéfica para as camadas mais profundas, promovendo um solo mais estruturado e com melhor capacidade de retenção de água no perfil.

A aplicação de gesso em dose elevada proporcionou os maiores valores de porosidade total e, apesar de não significativo para as camadas 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, elevou também a microporosidade (Tabela 8; Figuras 2 e 4). A ação do gesso sobre a porosidade do solo é em decorrência da ação flocculante proporcionada pelo Ca^{2+} deste insumo, uma vez que os microporos são fortemente influenciados pela agregação e em menor influência, pelas alterações na D_s (Othmer *et al.*, 1991). No presente estudo, a D_s não foi afetada pelos fatores estudados, sendo as alterações mais comumente atribuídas ao tráfego de máquinas e equipamentos (Silva; Kay, 1997). Os valores médios observados foram de $1,56 \text{ g cm}^{-3}$ na camada superficial (0-0,10 m), com uma redução para cerca de $1,42 \text{ g cm}^{-3}$ na camada subsuperficial (0,40-0,60 m). Não há um consenso claro sobre o valor limite de D_s que restrinja o desenvolvimento vegetal. Segundo Reynolds *et al.* (2002), considera-se elevado um valor de D_s superior a $1,25 \text{ g cm}^{-3}$. Reichert *et al.* (2003) e Richart *et al.* (2005), por outro lado, sugerem que a densidade do solo varia conforme suas características, com solos arenosos variando de $1,25$ a $1,80 \text{ g cm}^{-3}$.

Dessa forma, observa-se que o gesso contribui para a melhoria da porosidade do solo, especialmente na porosidade total (P_t), mas também com tendências positivas no aumento da microporosidade. O efeito do gesso na porosidade é benéfico, pois melhora a aeração, a infiltração e a retenção de água nos poros, criando um ambiente físico mais favorável para o crescimento das plantas. O aumento da microporosidade é particularmente vantajoso, já que esses microporos são responsáveis por reter a água disponível para as plantas (Brady; Weil, 2008), e em condições de longos períodos sem precipitações, torna-se um importante fator para a atenuação do estresse hídrico, por aumentar ou manter a disponibilidade de água.

Figura 2 - Porosidade total (Pt) do solo nas camadas de 0-0,10 (A), 0,10-0,20 (B); 0,20-0,40 (C) e 0,40-0,60 (D) m de profundidade, em função de doses gesso (0G: 0 kg ha⁻¹; 1200G: 1.200 kg ha⁻¹; 4000G: 40.000 kg ha⁻¹) e dos sistemas de manejo (SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas). Letras distintas, minúsculas para o fator gesso, isolado ou dentro de cada nível do fator sistema de manejo, e maiúsculas para o fator sistema de manejo, isolado ou dentro de cada nível do fator gesso, indicam diferença estatística pelo teste LSD a 5% de probabilidade

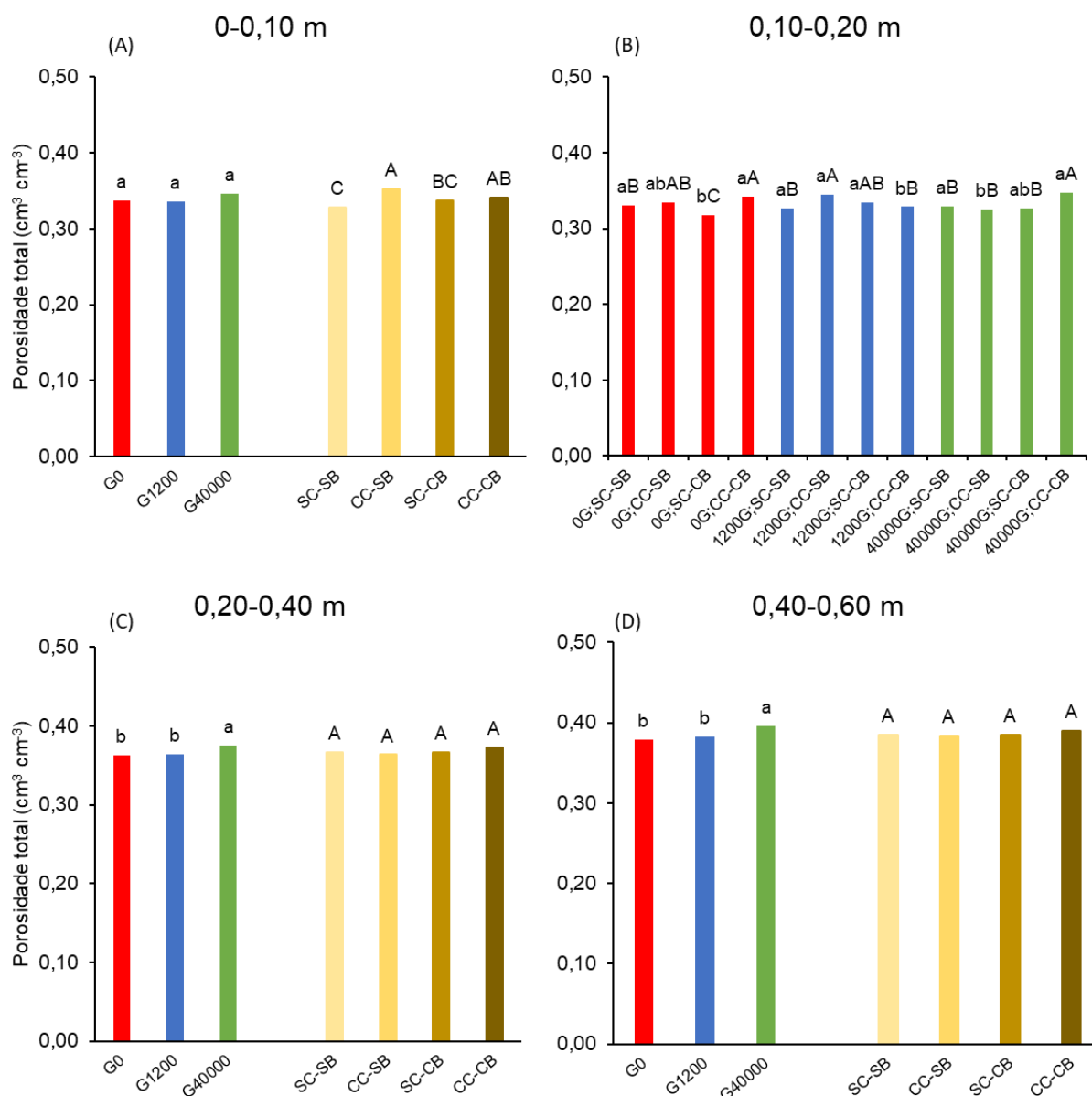


Figura 3 - Macroporosidade (Macro) do solo nas camadas de 0-0,10 (A), 0,10-0,20 (B); 0,20-0,40 (C) e 0,40-0,60 (D) m de profundidade, em função de doses gesso (0G: 0 kg ha⁻¹; 1200G: 1.200 kg ha⁻¹; 40000G: 40.000 kg ha⁻¹) e dos sistemas de manejo (SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas). Letras distintas, minúsculas para o fator gesso, isolado ou dentro de cada nível do fator sistema de manejo, e maiúsculas para o fator sistema de manejo, isolado ou dentro de cada nível do fator gesso, indicam diferença estatística pelo teste LSD a 5% de probabilidade

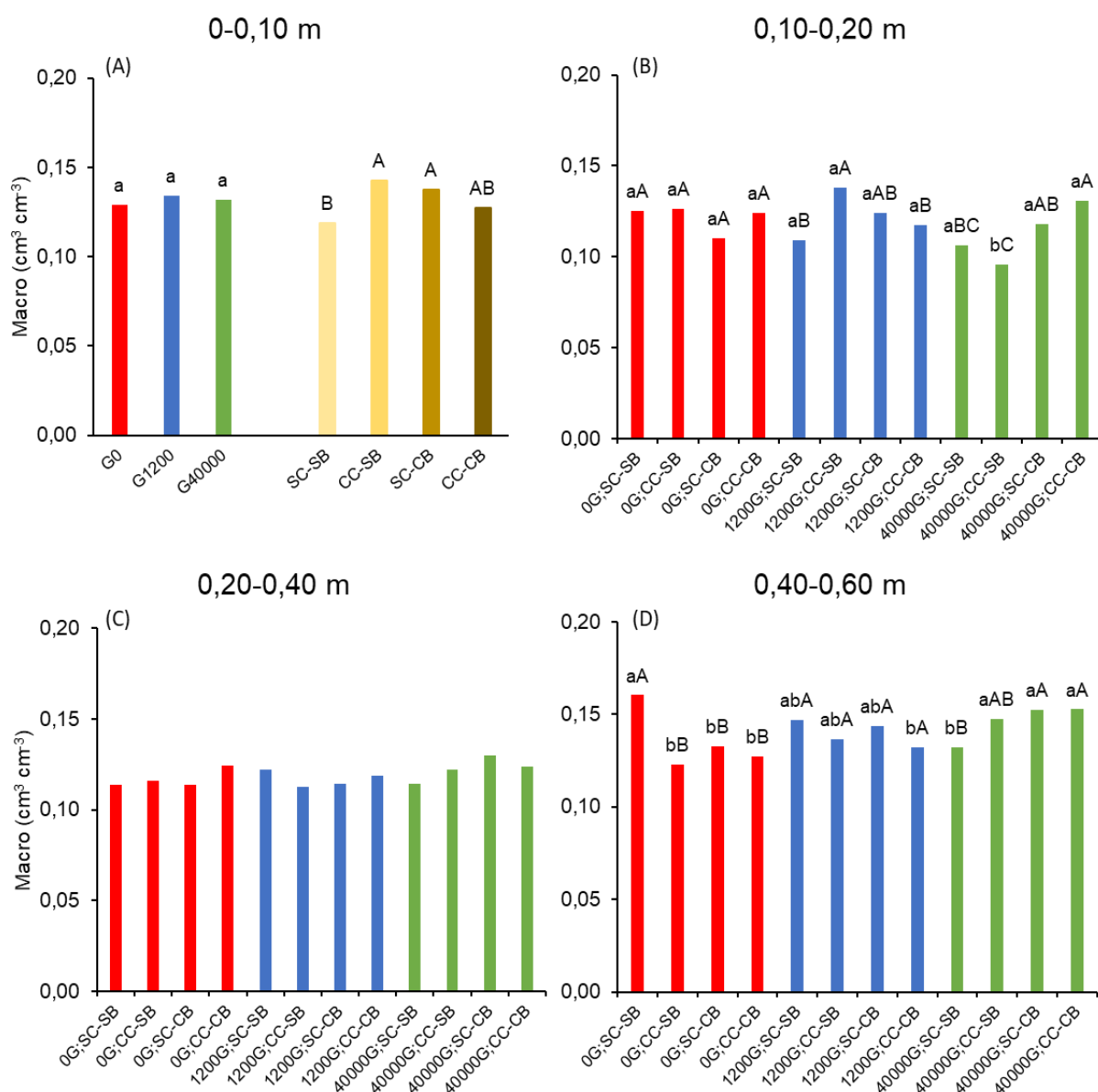
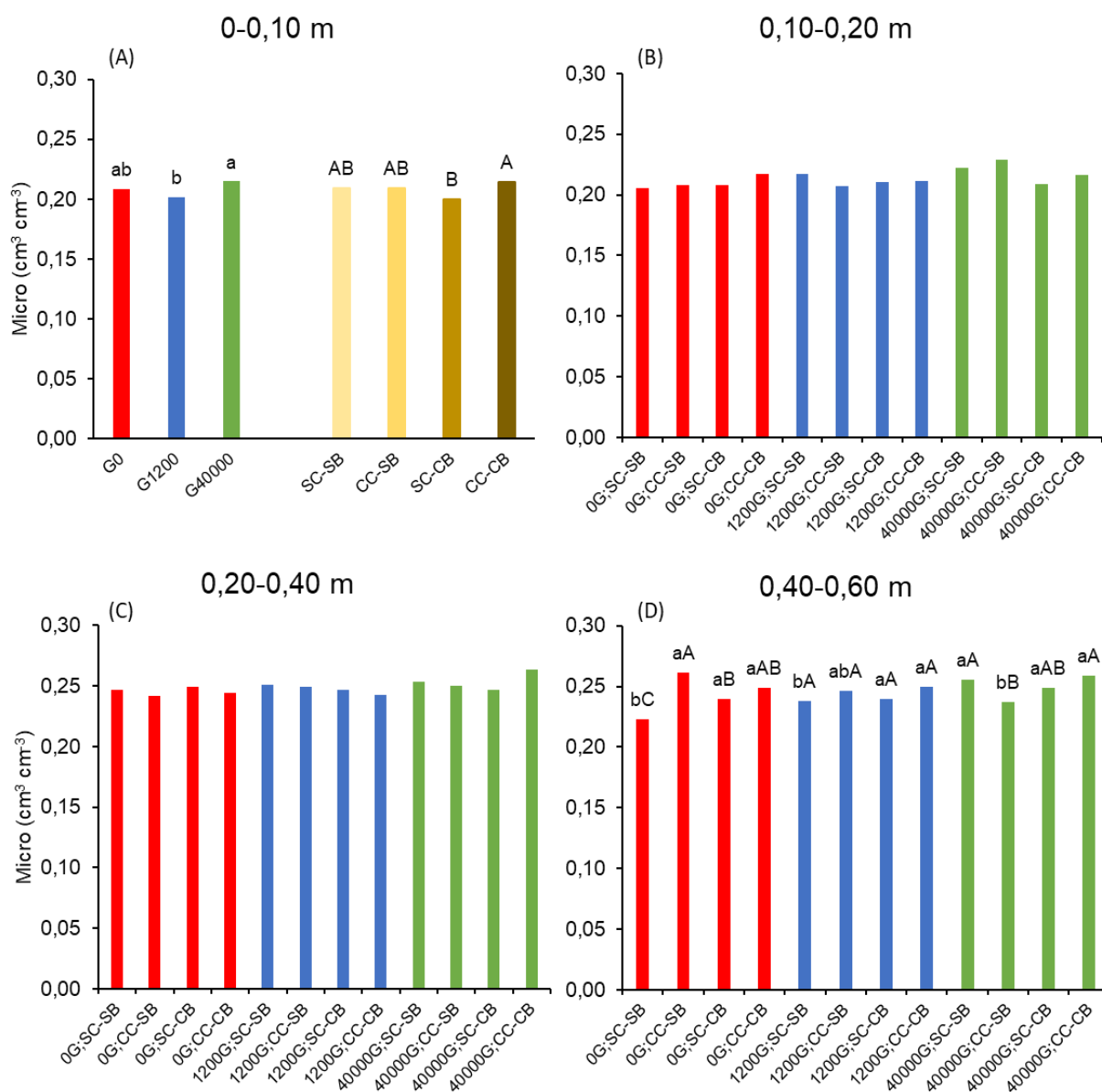


Figura 4 - Microporosidade (Micro) do solo nas camadas de 0-0,10 (A), 0,10-0,20 (B); 0,20-0,40 (C) e 0,40-0,60 (D) m de profundidade, em função de doses gesso (0G: 0 kg ha⁻¹; 1200G: 1.200 kg ha⁻¹; 40000G: 40.000 kg ha⁻¹) e dos sistemas de manejo (SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas). Letras distintas, minúsculas para o fator gesso, isolado ou dentro de cada nível do fator sistema de manejo, e maiúsculas para o fator sistema de manejo, isolado ou dentro de cada nível do fator gesso, indicam diferença estatística pelo teste LSD a 5% de probabilidade



2.2.3.3 Estabilidade de agregados em água

O diâmetro médio ponderado (DMP), o diâmetro médio geométrico (DMG), os agregados $<2,0$ mm e o índice de estabilidade de agregados (IEA), foram influenciadas pelas doses de gesso agrícola e pelo sistema de manejo (Tabela 9). Na camada de 0-0,10 m, o DMP não foi afetado pelos fatores estudados. Nas camadas de 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m, observou-se influência significativa da interação entre os fatores.

Na camada de 0,10-0,20 m, os maiores valores de DMP foram observados nas seguintes condições: ausência de aplicação de gesso associada ao manejo CC-CB; dose recomendada de gesso associada aos manejos CC-SB, SC-CB e CC-CB; e dose elevada de gesso associada ao manejo SC-SB (Figura 5B). Na camada de 0,20-0,40 m, os maiores valores de DMP foram evidenciados quando não houve aplicação de gesso associada ao manejo CC-CB, na dose recomendada associada aos manejos CC-SB e SC-CB, e na dose elevada associada ao manejo SC-SB (Figura 5C). Já na camada de 0,40-0,60 m, os maiores valores de DMP foram observados na ausência de aplicação de gesso associada ao manejo CC-CB, na dose recomendada associada ao manejo CC-CB, e na dose elevada associada ao manejo CC-SB (Figura 5D).

O DMG na camada de 0-0,10 m também não teve efeitos significativos dos fatores estudados (Tabela 9). No entanto, nas camadas de 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m, houve influência significativa da interação entre os fatores. Na camada de 0,10-0,20 m, os maiores valores de DMG foram observados nas seguintes situações: ausência de aplicação de gesso associada ao manejo CC-CB; dose recomendada de gesso associada ao manejo CC-SB; e dose elevada de gesso associada ao manejo SC-SB (Figura 6B). Na camada de 0,20-0,40 m, os maiores valores de DMG foram registrados na ausência de aplicação de gesso associada ao manejo CC-CB, na dose recomendada associada aos manejos CC-SB e SC-CB, e na dose elevada associada aos manejos SC-SB, CC-SB e SC-CB (Figura 6C). Na camada de 0,40-0,60 m, o maior valor de DMG foi observado na dose elevada associada ao manejo CC-SB (Figura 6D).

Em relação aos agregados $>2,0$ mm, a camada de 0-0,10 m não apresentou efeitos significativos dos fatores estudados (Tabela 9). Nas camadas de 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m, houve influência significativa da interação entre os fatores.

Na camada de 0,10-0,20 m, os maiores valores de agregados foram observados na ausência de aplicação de gesso associada ao manejo CC-CB, na dose recomendada associada ao manejo CC-SB, e na dose elevada associada aos manejos SC-SB e SC-CB (Figura 7B). Na camada de 0,20-0,40 m, os maiores valores de agregados foram registrados na ausência de aplicação de gesso associada ao manejo CC-CB, na dose recomendada associada ao manejo CC-SB, e na dose elevada associada ao manejo SC-SB (Figura 7C). Na camada de 0,40-0,60 m, os maiores valores de agregados $>2,0$ mm foram observados na dose recomendada associada ao manejo CC-CB e na dose elevada associada ao manejo CC-SB (Figura 7D).

Com respeito ao IEA, a camada de 0-0,10 m não apresentou efeitos significativos dos fatores estudados (Tabela 9). Já camada de 0,10-0,20 m, os maiores valores de IEA foram observados na dose elevada de gesso e na dose recomendada, independente do sistema de manejo associado (Figura 8B). Nas camadas de 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m, os valores de IEA foram similares (Figura 8C e 8D).

A camada superficial do solo (0-0,10 m) não apresentou variações significativas em nenhuma das variáveis analisadas, porém, houve variações nos valores destes atributos (Tabela 9; Figura 5-8). Possivelmente devido a sensibilidade da análise, não tendo expressado o real efeito dos tratamentos nesta camada, uma vez que se trata de um solo arenoso e as partículas são naturalmente menos agregadoras, frente a um solo argiloso. Segundo Reichert *et al.* (2016), solos arenosos possuem menor capacidade de retenção de partículas agregadas, o que pode limitar algumas respostas à aplicação de gesso. Silva *et al.* (2013) avaliaram a agregação de um Latossolo no Cerrado Mineiro usando gesso agrícola e braquiária entrelinhas de café e, após dois anos, amostras de solo a 0,05 e 0,15 m de profundidade foram analisadas, e o estudo evidenciou que doses elevadas de gesso aumentaram a agregação do solo a 0,15 m (dose superior a 7.000 kg^{-1}), considerando um solo muito argiloso (acima de 70%).

De forma geral, os parâmetros analisados nas distintas camadas, respondem ao sistema de manejo, com forte interação entre o manejo CC-CB, tanto na ausência da aplicação de gesso quanto na dose elevada. Esta segunda, se destaca de forma isolada ou associada aos manejos CC-SB e SC-CB, como as melhores respostas. Esses resultados evidenciam que a inclusão de práticas de manejo que

incrementam a MOS impacta diretamente na qualidade físicas do solo, além dos efeitos benéficos do gesso. Mitsui (2006), afirma que o fornecimento constante de material orgânico funciona como fonte de energia para a atividade microbiana, que atuam diretamente na formação de novos agregados do solo. Isso corrobora os resultados de Vezzani e Mielniczuk (2011), que constatarem aumentos significativos na agregação do solo e nos estoques de C, quando o solo foi mantido sem revolvimento e com maiores adições de resíduos, em comparação aos sistemas de manejo com maior revolvimento e menores adições de resíduos.

Segundo Six *et al.* (2004), em uma extensa revisão sobre agregados, estes relatam que o Ca^{2+} é um elemento crítico para estabilizar a MOS e os agregados do solo, atuando na complexação organomineral, afetando tanto a microagregação quanto a macroagregação ao estimular a atividade biológica em solos ácidos. Os autores também enfatizaram que a agregação é ainda maior quando o Ca^{2+} e material orgânico são adicionados juntos. Os resultados do presente estudo estão de acordo com tais afirmações e deixam mais evidentes o quanto a interação entre a aplicação de gesso e o sistema de manejo, podem se complementar e ser benéficas ao solo.

Além disso, o manejo com o cultivo de braquiária nas entrelinhas pode inibir o crescimento de plantas invasoras, atuando como uma alternativa aos métodos de controle. Siqueira *et al.* (2014) demonstraram que métodos de controle biológico de plantas invasoras, como a utilização de cobertura com a braquiária decumbens [*Urochloa decumbens* (Stapf) R.D.Webster] e amendoim-forrageiro, mantiveram um melhor estado de agregação das partículas do solo. A presença de cobertura vegetal promoveu uma maior estabilidade dos agregados, pois a decomposição do material orgânico fornece compostos que atuam como agentes cimentantes, melhorando a estrutura do solo. Por outro lado, o uso contínuo de métodos mecânicos e químicos, como o uso de herbicidas de pré-emergência, diminuiu a agregação das partículas do solo, devido ao maior revolvimento e quebra dos agregados.

Os efeitos positivos observados pela aplicação da dose elevada de gesso, em maior grau em profundidade, estão ligados ao fato deste subproduto aumentar a concentração de íons Ca^{2+} no perfil do solo, favorecendo a agregação das partículas e a formação de agregados mais estáveis (Caires *et al.*, 2004). A formação de agregados estáveis está diretamente associada a uma melhor infiltração de água e ao desenvolvimento das raízes. A interação entre a aplicação de gesso e o sistema

de manejo, seja o material já compostado (composto orgânico) ou a biomassa das plantas de cobertura, atuando como fonte de MO, desempenham papel crucial na melhoria da qualidade física do solo. A MOS atua como um agente cimentante, ligando as partículas de solo, o que melhora sua estrutura, principalmente em solos arenosos, pois a fração areia não apresenta cargas em sua superfície (Lopes *et al.*, 2017). Além disso, a MOS pode contribuir para até 80% das cargas negativas do solo, e isso explica o fato de a CTC desses solos estar, em grande parte, associada à MOS (Madari *et al.*, 2009). Portanto, o aumento da MOS é crucial em solos com baixa quantidade de argila, pois contribui para a retenção e ciclagem de nutrientes no solo.

Tabela 9 - Probabilidade de F e coeficiente de variação para diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG), agregados >2,0 mm (>2,0 mm) e o índice de estabilidade de agregados (IEA), nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m de profundidade, em função de doses de gesso agrícola e dos sistemas de manejo (composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas). Avaliações realizadas em agosto de 2020

Fonte de variação	DMP	DMG	>2,0 mm	IEA
0-0,10 m				
Gesso (G)	0,840	0,998	0,823	0,918
Manejo (M)	0,114	0,317	0,132	0,436
G × M	0,091	0,199	0,117	0,319
CV(%)	13,5	20,7	16,7	4,82
0,10-0,20 m				
Gesso (G)	0,098	0,461	0,213	0,843
Manejo (M)	0,437	0,479	0,766	0,017
G × M	0,008	0,001	0,001	0,024
CV(%)	14,0	17,3	16,4	2,36
0,20-0,40 m				
Gesso (G)	0,005	0,225	0,008	0,696
Manejo (M)	0,201	0,335	0,245	0,352
G × M	0,001	0,007	0,003	<0,001
CV(%)	8,54	11,4	12,1	1,46
0,40-0,60 m				
Gesso (G)	<0,001	0,001	<0,001	<0,001
Manejo (M)	0,012	0,013	0,013	0,033
G × M	<0,001	<0,001	<0,001	0,004
CV(%)	8,13	9,53	14,1	2,30

Carmeis Filho *et al.* (2016) observaram, em um estudo de 12 anos em sistema de plantio direto, que a aplicação de calcário e gesso, isoladamente ou combinados, melhorou a qualidade física do solo em regiões tropicais. A calagem aumentou a estabilidade dos agregados superficiais, enquanto a combinação com gesso foi eficaz em camadas mais profundas, melhorando a estabilidade de agregados até 0,40 m. Isso demonstra o efeito do gesso na melhoria do ambiente físico do solo, principalmente em profundidade. O que está de acordo com os resultados encontrados no presente estudo, em que observamos maiores valores de DMP, DMG, agregados <2,00 mm e IEA na camada de 0,40-0,60 m, com a aplicação da dose elevada de gesso e, com incremento quando combinada com a aplicação de composto orgânico. Evidenciando que tanto o gesso, como a introdução de fontes orgânicas, pode melhorar a qualidade física do solo, e a combinação destas práticas potencializa essas melhorias.

Estes resultados ressaltam a importância da adoção de sistemas integrados de manejo, para promover a sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola. Assim, a integração de práticas sustentáveis pode garantir a manutenção da qualidade do solo e a sustentabilidade dos sistemas agrícolas ao longo do tempo.

Figura 5 - Diâmetro médio ponderado (DMP) nas camadas de 0-0,10 (A), 0,10-0,20 (B); 0,20-0,40 (C) e 0,40-0,60 (D) m de profundidade, em função de doses gesso (0G: 0 kg ha⁻¹; 1200G: 1.200 kg ha⁻¹; 40000G: 40.000 kg ha⁻¹) e dos sistemas de manejo (SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas). Letras distintas, minúsculas para o fator gesso dentro de cada nível do fator sistema de manejo e maiúsculas para o fator sistema de manejo dentro de cada nível do fator gesso, indicam diferença estatística pelo teste LSD a 5% de probabilidade

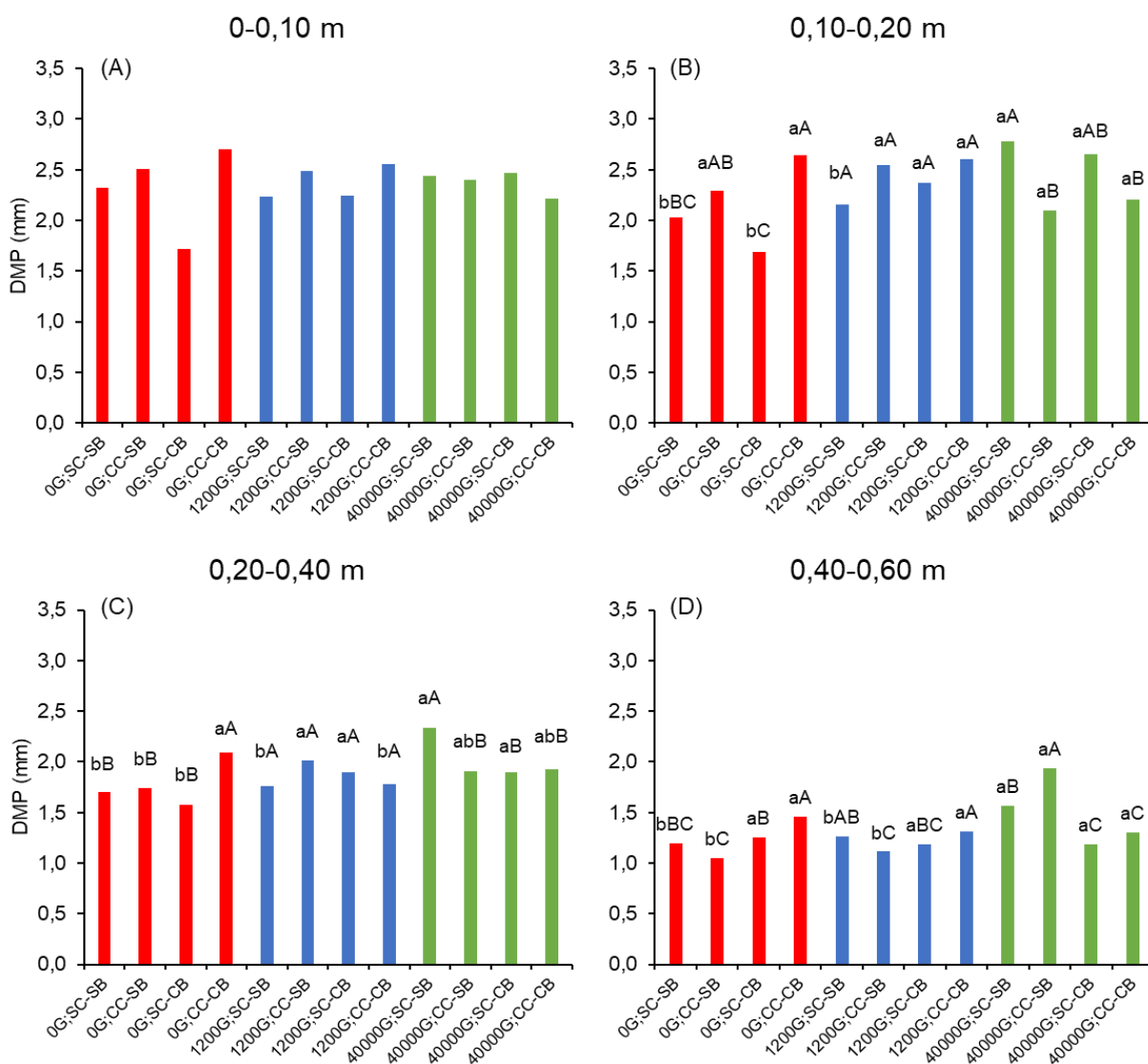


Figura 6 - Diâmetro médio geométrico (DMG) nas camadas de 0-0,10 (A), 0,10-0,20 (B); 0,20-0,40 (C) e 0,40-0,60 (D) m de profundidade, em função de doses gesso (0G: 0 kg ha⁻¹; 1200G: 1.200 kg ha⁻¹; 40000G: 40.000 kg ha⁻¹) e dos sistemas de manejo (SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas). Letras distintas, minúsculas para o fator gesso dentro de cada nível do fator sistema de manejo e maiúsculas para o fator sistema de manejo dentro de cada nível do fator gesso, indicam diferença estatística pelo teste LSD a 5% de probabilidade

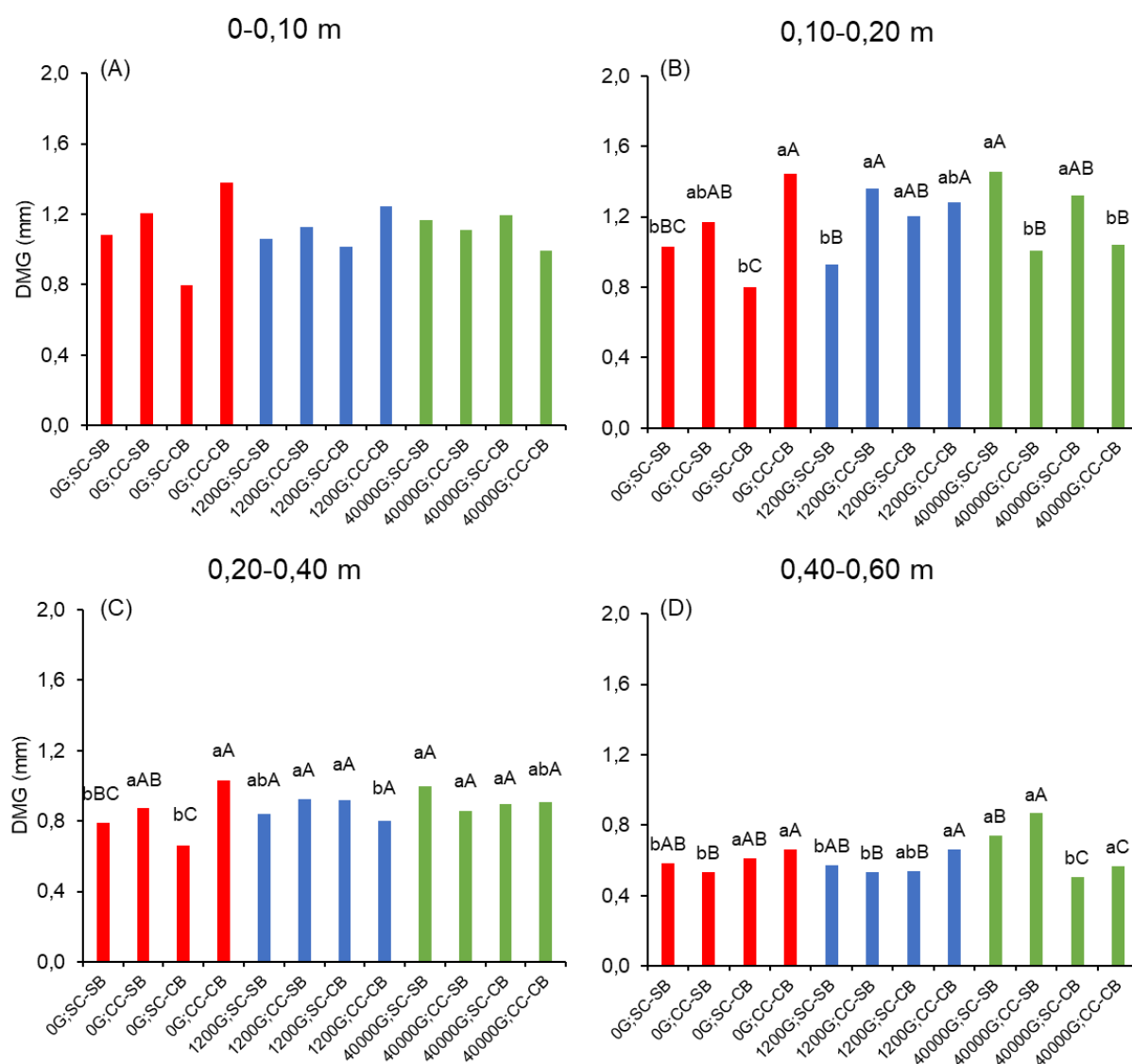


Figura 7 - Agregados do solo >2,0 mm (%) nas camadas de 0-0,10 (A), 0,10-0,20 (B); 0,20-0,40 (C) e 0,40-0,60 (D) m de profundidade, em função de doses gesso (0G: 0 kg ha⁻¹; 1200G: 1.200 kg ha⁻¹; 40000G: 40.000 kg ha⁻¹) e dos sistemas de manejo (SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas). Letras distintas, minúsculas para o fator gesso dentro de cada nível do fator sistema de manejo e maiúsculas para o fator sistema de manejo dentro de cada nível do fator gesso, indicam diferença estatística pelo teste LSD a 5% de probabilidade

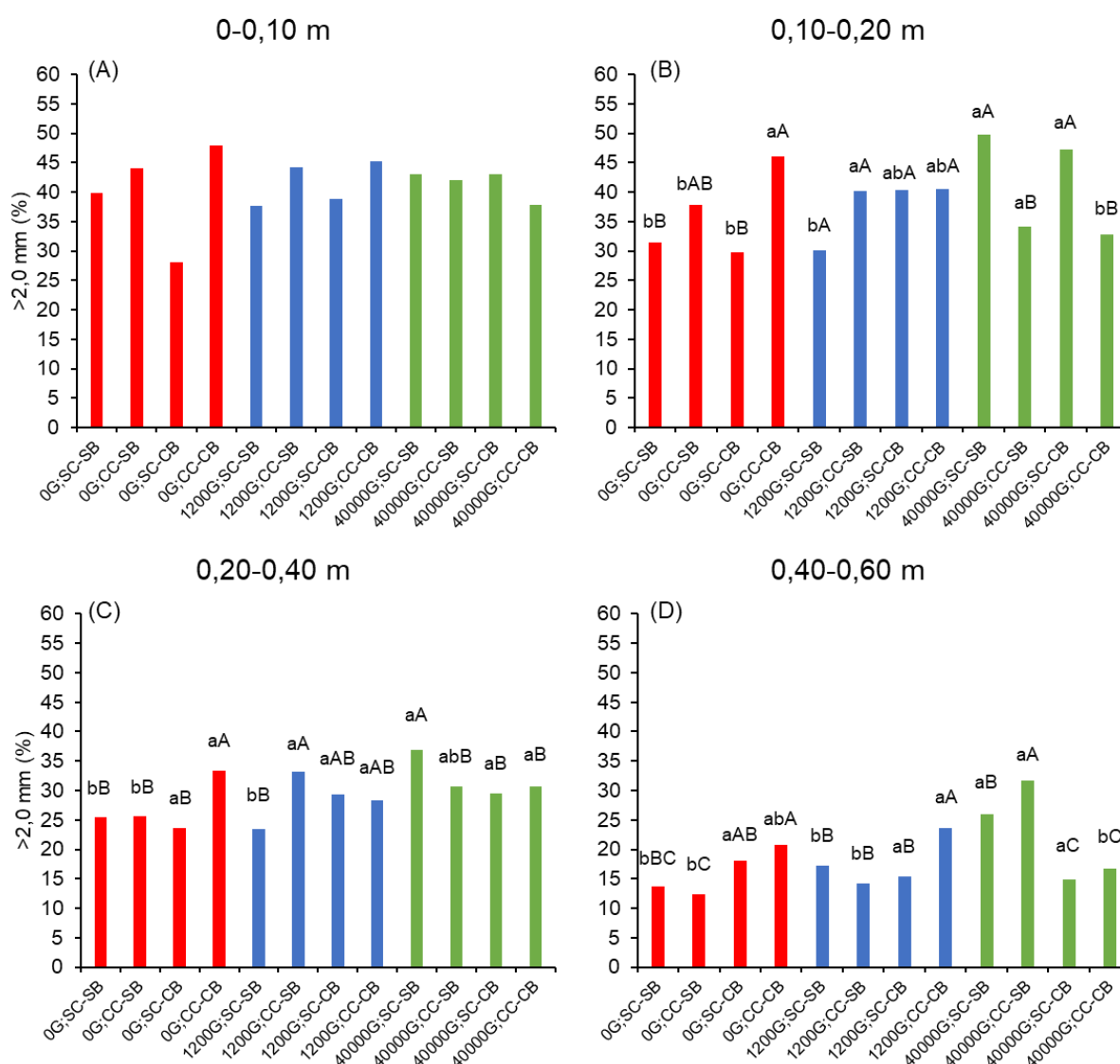
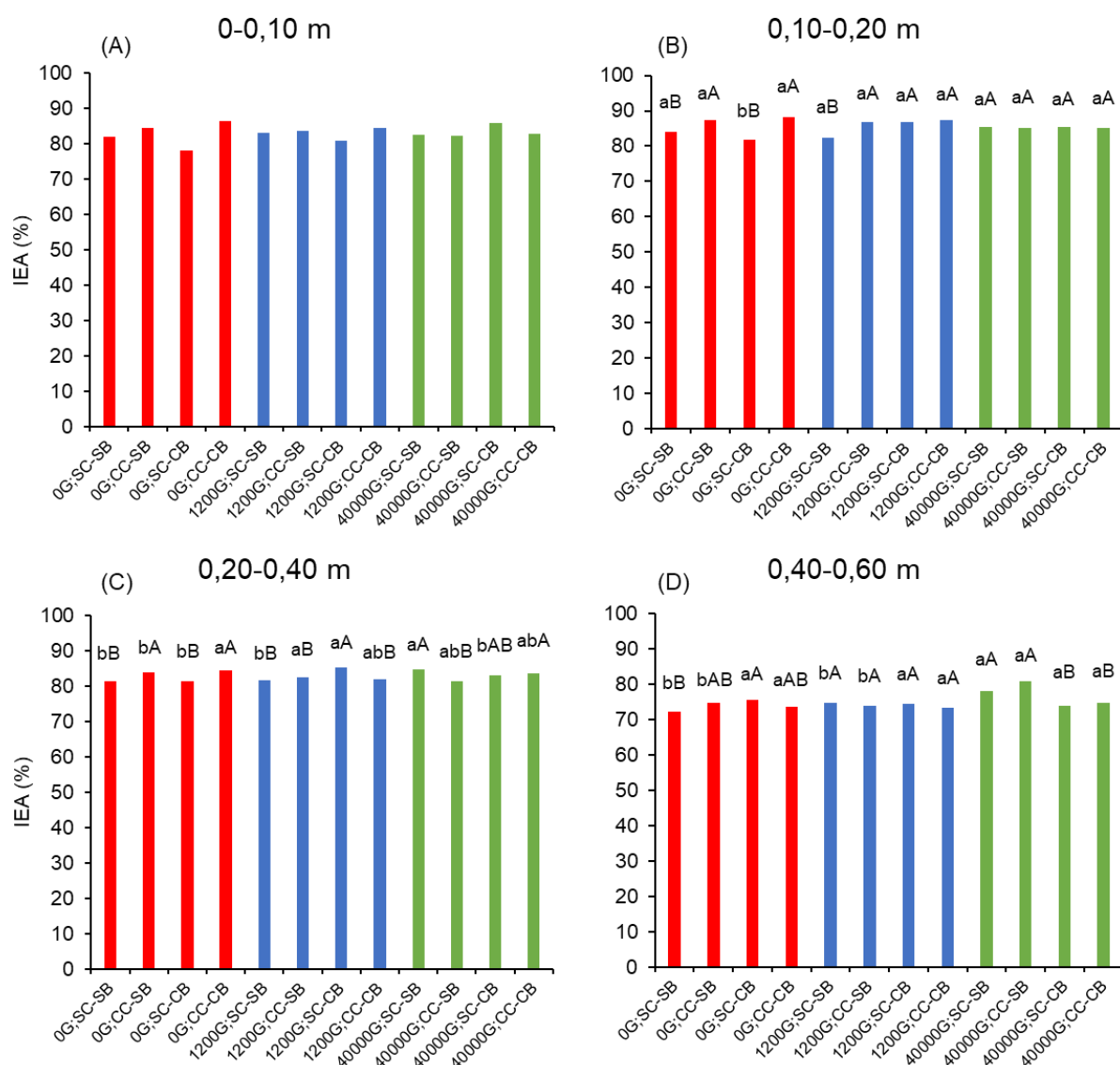


Figura 8 - Índice de estabilidade de agregados (IEA) nas camadas de 0-0,10 (A), 0,10-0,20 (B); 0,20-0,40 (C) e 0,40-0,60 (D) m de profundidade, em função de doses gesso (0G: 0 kg ha⁻¹; 1200G: 1.200 kg ha⁻¹; 40000G: 40.000 kg ha⁻¹) e dos sistemas de manejo (SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas). Letras distintas, minúsculas para o fator gesso dentro de cada nível do fator sistema de manejo e maiúsculas para o fator sistema de manejo dentro de cada nível do fator gesso, indicam diferença estatística pelo teste LSD a 5% de probabilidade



2.2.3.4 Resistência do solo à penetração

Os resultados de resistência do solo à penetração indicam que, nas diferentes camadas avaliadas, não houve influência significativa das doses de gesso e do sistema de manejo (Tabela 10). Todos os tratamentos apresentaram efeitos semelhantes; contudo, na camada de 0,20-0,30 m, houve uma maior resistência do solo à penetração, seguida por uma redução nas camadas mais profundas (Figura 9).

Tabela 10 - Probabilidade de F e coeficiente de variação para a resistência do solo à penetração, nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,30, 0,30-0,40, 0,40-0,50, 0,50-0,60 e 0,60-0,70 m de profundidade, em função de doses de gesso agrícola e dos sistemas de manejo (composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas). Avaliações realizadas em agosto de 2020

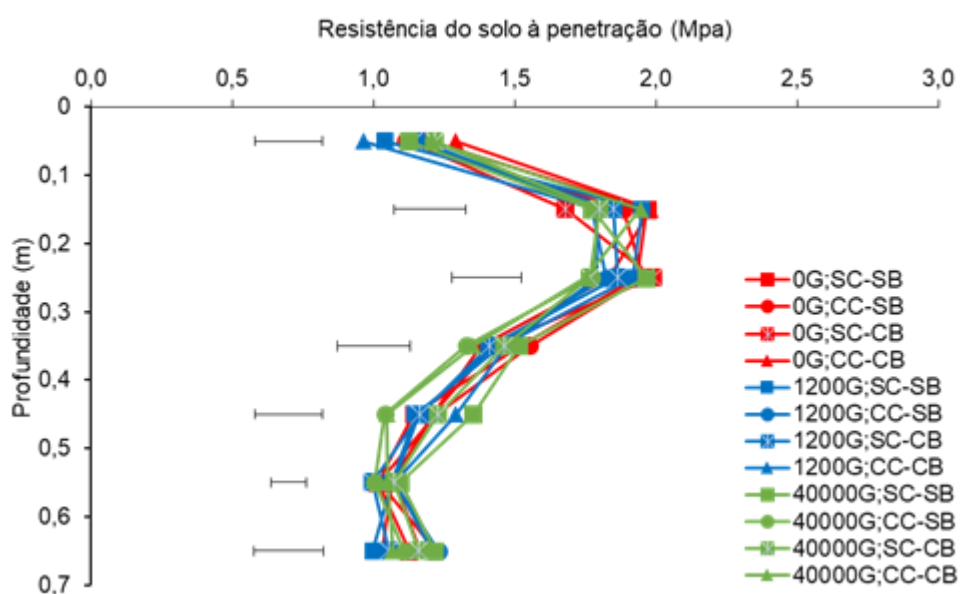
Profundidade (m)	Fonte de variação			
	Gesso (G)	Manejo (M)	G × M	CV (%)
0-0,10 m	0,127	0,921	0,352	12,3
0,10-0,20 m	0,702	0,233	0,266	8,1
0,20-0,30 m	0,172	0,238	0,802	7,9
0,30-0,40 m	0,702	0,642	0,654	10,5
0,40-0,50 m	0,859	0,660	0,080	11,1
0,50-0,60 m	0,923	0,804	0,525	7,0
0,60-0,70 m	0,951	0,623	0,262	12,8

Independente da dose de gesso ou do sistema de manejo, a resistência à penetração foi consistentemente similar em todas as camadas avaliadas. No entanto, as camadas superficiais do solo apresentaram maior resistência à penetração, possivelmente devido à compactação causada pelo tráfego de maquinários, especialmente em sistemas sem revolvimento do solo. Esta compactação superficial é um fenômeno frequentemente observado em sistemas de plantio direto e pode ser atribuída ao tráfego de máquinas agrícolas, como observado por Jorge *et al.* (2012). Na cafeicultura também é comum observar esse fenômeno, uma vez que a lavoura pode receber de 13 até 25 passadas de trator por ciclo de produção (Matiello *et al.* 2016).

Em contraste, estudos de longo prazo, como o realizado por Calonego *et al.* (2011), evidenciaram que a introdução de braquiária em consórcio com milho, melhora as condições físicas e estruturais do solo na camada de 0,20-0,40 m, reduzindo a resistência mecânica à penetração e aumentando a densidade crítica do

solo. Esses resultados sugerem que o uso de cobertura vegetal pode mitigar a compactação em camadas subsuperficiais, promovendo melhor estrutura do solo e maior infiltração de água. Porém, para a cafeicultura, onde o cultivo de braquiária deve-se permanecer a uma distância de no mínimo 1,0 m das plantas de café, para não haver competição, estas respostas podem ser mais sutis (Souza *et al.*, 2006; Serafim *et al.*, 2013; Castanheira *et al.*, 2019). A ausência de respostas na resistência do solo à penetração pode estar atrelada a densidade do solo, que no presente estudo não foi alterada pelos fatores estudados (Tabela 8), permanecendo em média, de $1,56 \text{ g cm}^{-3}$ na camada superficial (0-0,10 m), com redução no perfil, e cerca de $1,42 \text{ g cm}^{-3}$ na camada subsuperficial (0,40-0,60 m).

Figura 9 - Resistência do solo à penetração (Mpa), na projeção da copa, nas camadas 0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,30, 0,30-0,40, 0,40-0,50, 0,50-0,60 e 0,60-0,70 m de profundidade, em função de doses gesso (0G: 0 kg ha^{-1} ; 1200G: 1.200 kg ha^{-1} ; 40000G: $40.000 \text{ kg ha}^{-1}$) e dos sistemas de manejo (SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas). Barras horizontais indicam o DMS ($P=0,05$), pelo teste LSD, em cada tratamento



2.2.3.5 Carbono orgânico do solo: frações e estoque

O carbono orgânico total (COT) do solo foi significativamente influenciado pelas doses de gesso agrícola e pelo sistema de manejo, nas diversas camadas avaliadas (Tabela 11). Na camada de 0-0,10 m, observou-se uma diferença significativa tanto para a aplicação de gesso quanto para o sistema de manejo, com os maiores valores de COT observados com a aplicação da dose elevada de gesso e nos manejos CC-SB e CC-CB (Figura 10A). Na camada de 0,10-0,20 m, os maiores valores de COT foram observados nos manejos CC-SB e CC-CB (Figura 10B). Na camada de 0,20-0,40 m, observou-se efeito significativo somente para o fator sistema de manejo, sendo que os manejos CC-SB, SC-CB e CC-CB apresentaram os maiores valores de COT (Figura 10C). Na maior profundidade, camada de 0,40-0,60 m, houve interação entre os fatores, sendo que o maior valor de COT foi evidenciado na dose elevada de gesso em associação com o manejo CC-CB (Tabela 11; Figura 10D).

Para o COp, na camada de 0-0,10 m, houve interação significativa entre gesso × manejo (Tabela 11). Os maiores valores de COp foram observados na ausência da aplicação de gesso associado aos manejos CC-SB e CC-CB, na dose recomendada associada aos manejos CC-SB e CC-CB e, na dose elevada associada ao manejo CC-CB (Figura 11A). Na camada de 0,10-0,20 m, observou-se diferença significativa tanto para a aplicação de gesso quanto para o sistema de manejo, com os maiores valores de COp encontrados com a aplicação da dose elevada de gesso e nos manejos CC-SB e CC-CB (Figura 11B). Na camada de 0,20-0,40 m, o maior valor de COp foi observado no manejo CC-SB (Figura 11C). Na camada de 0,40-0,60 m, observou-se diferença significativa tanto para a aplicação de gesso quanto para o sistema de manejo, com os maiores valores de COp obtidos com a aplicação da dose recomendada e da dose elevada de gesso e nos manejos CC-SB e CC-CB (Figura 11D).

O COam na camada de 0-0,10 m apresentou efeito da interação entre gesso × manejo (Tabela 11), sendo que o maior valor de COam foi observado com a aplicação da dose elevada de gesso associada ao manejo CC-SB (Figura 12A). Nas camadas de 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m, observou-se diferença significativa para o sistema de manejo (Tabela 11). Na camada de 0,10-0,20 m, o maior valor de COam foi observado no manejo CC-CB, sem diferença significativa em relação ao manejo

CC-SB (Figura 12B). Na camada de 0,20-0,40 m, os maiores valores de CO_{am} foram observados nos manejos CC-SB, SC-CB e CC-CB (Figura 12C). Já na camada de 0,40-0,60 m, houve efeito isolado dos fatores (Tabela 11). A aplicação da dose recomendada e da dose elevada de gesso proporcionaram os maiores valores de CO_{am}, e, quanto ao manejo, os manejos CC-SB, SC-CB e CC-CB apresentaram os maiores valores (Figura 12D).

O estoque de carbono (EC), foi significativamente influenciado pelas doses de gesso e pelo sistema de manejo em todas as profundidades avaliadas (Tabela 11). Na camada superficial de 0-0,10 m, ambos os fatores foram significativos. A aplicação da dose elevada de gesso e os manejos CC-SB e CC-CB, proporcionaram os maiores valores de EC (Figura 13A). Na camada de 0,10-0,20 m, o fator sistema de manejo também apresentou diferença significativa, sendo que os maiores valores foram observados nos manejos CC-SB e CC-CB (Figura 13B). Na profundidade de 0,20-0,40 m, o EC continuou a ser influenciado significativamente pelo sistema de manejo. Os sistemas CC-SB, SC-CB e CC-CB apresentaram os maiores valores (Figura 13C). Na camada mais profunda, 0,40-0,60 m, houve efeito dos fatores isolados (Tabela 11). A aplicação da dose recomendada e da dose elevada de gesso proporcionaram os maiores EC, e para o manejo CC-CB, sem diferença significativa em relação ao manejo CC-SB (Figura 13D).

A estrutura do solo e a presença de MOS desempenham um papel crucial no armazenamento de C, ressaltando que práticas de manejo conservacionistas, como a rotação de culturas e a manutenção de resíduos vegetais na superfície do solo, promovem um aumento significativo do COT (Conceição *et al.*, 2005; Tormena *et al.*, 2004; Sá *et al.*, 2010; Carneiro *et al.*, 2009). Tais contestações, estão alinhadas com os resultados do presente estudo, no qual, os sistemas de manejo CC-SB e CC-CB, proporcionaram os maiores valores de COT em quase todas as profundidades avaliadas. Os sistemas de manejo, com a aplicação de composto orgânico isolado ou associado a biomassa das plantas de cobertura, proporcionam aumento da entrada de C no sistema (Tabela 4, 6 e 7), que consequentemente expressou aumento nos valores de COT.

Tabela 11 - Probabilidade de F e coeficiente de variação para carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COp) e associado aos minerais (COam) e estoque de carbono (EC), nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m de profundidade, em função de doses de gesso agrícola e dos sistemas de manejo (composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas). Avaliações realizadas em agosto de 2020

Fonte de variação	COT	COp	COam	EC
0-0,10 m				
Gesso (G)	<0,001	0,113	0,008	0,001
Manejo (M)	<0,001	<0,001	0,001	<0,001
G × M	0,108	0,006	0,006	0,589
CV(%)	16,6	10,2	3,9	4,1
0,10-0,20 m				
Gesso (G)	0,582	0,006	0,859	0,740
Manejo (M)	<0,001	<0,001	0,003	<0,001
G × M	0,390	0,376	0,665	0,428
CV(%)	4,1	14,0	5,0	5,1
0,20-0,40 m				
Gesso (G)	0,223	0,173	0,504	0,601
Manejo (M)	0,001	0,008	0,016	0,008
G × M	0,327	0,443	0,568	0,620
CV(%)	4,6	14,8	5,3	5,9
0,40-0,60 m				
Gesso (G)	<0,001	<0,001	0,007	<0,001
Manejo (M)	<0,001	<0,001	0,007	0,001
G × M	0,004	0,068	0,075	0,147
CV(%)	2,2	13,1	2,4	3,1

A interação positiva observada entre a dose elevada de gesso e sistema de manejo CC-CB, nos teores de COT, pode indicar que essas práticas combinadas podem potencializar o sequestro de C, especialmente em camadas mais profundas do solo (0,40-0,60 m) (Figura 10D). O gesso, por melhorar as propriedades físicas e químicas do solo, como estrutura e infiltração de água, pode promover o crescimento radicular das culturas e, consequentemente, o aumento do aporte de C no sistema (Raij, 2008; Islam *et al.*, 2022; Sherman, 2021). Além disso, a utilização de sistemas que promovem o incremento de MO, como a integração de plantas de cobertura e materiais orgânicos, podem promover a estabilidade dos estoques de C do solo. Estudos corroboram que um manejo adequado, incluindo a rotação de culturas e a utilização de gesso, pode aumentar significativamente o C orgânico do solo (Islam *et al.*, 2022). Esses dados evidenciam que o manejo adequado, incluindo a aplicação de gesso e o fornecimento de MO, são práticas promissoras para

maximizar a retenção de C no solo, embora não tenha ocorrido a interação destes fatores em maior proporção neste estudo (Tabela 11).

Na camada superficial (0-0,10 m), houve maiores alterações em ambas as frações da MOS (COp e COam) (Figuras 11-12), este fato pode estar relacionado fortemente a adição recorrente de materiais orgânicos, que impacta nos aportes de C e na atividade microbiana (Blanco-Canqui; Lal, 2007; Wagner; Wolf, 1999). Segundo Bayer *et al.* (2002), o COp está associado a fração mais lábil, mais susceptível as alterações causadas pelo manejo do solo, com a maior taxa de reciclagem de constituintes orgânicos. O acúmulo de C no solo em plantio direto, ocorre preferencialmente na fração particulada da MOS (COp), a qual é mais sensível do que o COT às alterações no manejo do solo, o que exige a continuidade de reposição de resíduos para evitar a perda de C para a atmosfera (Bayer *et al.*, 2004).

Portanto, o COp pode ser utilizado como instrumento para medir a qualidade do solo, em período curto de tempo, o que é sustentado por alguns autores (Bayer *et al.*, 2002; Bayer *et al.*, 2004 Conceição *et al.*, 2005; Loss *et al.*, 2009; Rossi *et al.*, 2012; Nanzer *et al.*, 2019). Assim sendo, nota-se que os manejos CC-SB e CC-CB independente da dose de gesso, proporcionaram os maiores valores de COp, o que sugere que a adição destes resíduos é benéfica ao solo cultivado com café, os quais são adicionados com frequência, impactando a dinâmica de C. Loss *et al.* (2009), avaliando diferentes sistemas de uso do solo, também constatou que o COp é mais eficiente que o COT para evidenciar diferenças entre os sistemas de manejo na camada superficial do solo (0-0,05 m). Os autores atribuem esta constatação a falta de respostas do COT nas diferentes áreas analisadas nessa profundidade e, ainda observaram diferenças entre os sistemas de manejo para o COam, os quais foram atribuídas ao uso constante da adubação orgânica.

No presente estudo, a maior sensibilidade da fração COp para captar as alterações ocorridas com a entrada de C no sistema, principalmente na camada de 0-0,10 m, onde houve interação dos fatores estudados, o que não ocorre nos teores de COT, que apresenta influência dos fatores isolados (Tabela 11). Compreender as frações da MOS e suas formas de proteção, é importante para determinar se o manejo empregado está influenciando positivamente (Figueiredo; Resck; Carneiro, 2010). Sendo assim, a identificação dessas frações não apenas esclarece o papel da MOS na qualidade do solo, mas também orienta a tomada de decisão com

relação as práticas de manejo, para otimizar a dinâmica do C e a sustentabilidade do solo. Pode-se observar maior estabilidade do COam em comparação ao COp, o que indica uma maior resistência à mineralização e uma contribuição mais efetiva para o estoque de C a longo prazo. O COam, está associado a fração mais estável da MOS, composta principalmente por substâncias húmicas, e possui grande importância na estabilização dos microagregados (Cambardella; Elliott, 1992) e, as mudanças nesta fração ocorrem de forma mais lenta e gradual (Bayer *et al.*, 2004; Loss *et al.*, 2009; Silva; Mendonça, 2007).

O COam é a fração da MOS que interage com a superfície das partículas minerais, ou seja, associada a fração silte e argila (Loss *et al.*, 2011; Geraei *et al.*, 2016). Como os solos arenosos apresentam naturalmente valores mais baixos de COam, devido à sua composição textural, a elevação observada neste estudo é significativa, principalmente em profundidade. Esse aumento sugere que a aplicação de gesso, juntamente com a adoção de práticas de manejo adequadas, está contribuindo positivamente para o incremento do estoque de C a longo prazo. É importante destacar que essa avaliação foi realizada pouco mais de três anos após a instalação do estudo, indicando que, mesmo em um período relativamente curto, as práticas conservacionistas podem ter um impacto substancial na dinâmica do C. Isso sugere que, em sistemas de produção perenes, a implementação de estratégias de manejo sustentáveis é fundamental para maximizar a retenção de C, mesmo em solos arenosos, que tradicionalmente apresentam menor capacidade de armazenamento.

A retenção do C no solo pode ser melhor analisada pelos valores de EC, onde observou-se que as práticas de manejo introduzidas no sistema causaram impacto no armazenamento de C no perfil do solo (Tabela 11; Figura 13). Nota-se que não houve interação dos fatores estudados, porém, como discutido anteriormente, deve-se analisar a dinâmica de C como um todo, e pode-se observar que nas frações mais sensíveis, houve de fato essa interação. Verifica-se que a aplicação de gesso, promoveu maiores valores de EC ao longo do perfil, sendo significativo na camada de 0-0,10 e 0,40-0,60 m, indicando a ação positiva deste insumo em promover alterações no armazenamento de C no solo.

Silva *et al.* (2013), ao analisar doses de gesso em atributos do solo com cultivo de café sob cerrado, em textura argilosa (763 g kg⁻¹), observaram incremento no EC avaliados até 0,15 m de profundidade, com uso do gesso, sendo

estatisticamente iguais entre as doses de 7.000 e 28.0000 kg ha⁻¹, apresentado cerca de 61,0 e 56,1 Mg ha⁻¹ C, respectivamente. Isso está em consonância com os resultados do presente estudo, em que a aplicação da dose elevada de gesso, promoveu incremento na camada de 0-0,10 m. Os valores são superiores ao do presente estudo, por conta da diferença na textura entre os solos (Tabela 3), o qual reforça, que mesmo em solos com texturas diferentes, o uso do gesso, promove maior retenção de C ao solo.

Araújo (2015), avaliando uso do gesso e sua influência nos atributos do solo e na produção de cana-de-açúcar sob cerrado, observou que o uso de gesso elevou o EC em 5,4 Mg ha⁻¹ C na camada de 0-1,0 m, sendo 80% desse aumento concentrado na camada de 0,40-1,0 m. No presente estudo, ao se analisar a somatória até a profundidade analisada de 0,60 m, nota-se que a dose elevada de gesso, incrementou cerca de 1,45 Mg ha⁻¹ C em relação a dose recomendada e 2,86 Mg ha⁻¹ C em relação a ausência da aplicação. Sendo que 48% (1,37 Mg ha⁻¹ C) deste incremento, está concentrado na camada de 0,40-0,60 m. Estes resultados reforçam o impacto do gesso sobre os atributos do solo, em promover um ambiente mais favorável para o desenvolvimento do sistema radicular, principalmente em profundidade, o que colabora para a maior retenção de C no solo.

Em paralelo, observa-se a influência do sistema de manejo nos valores de EC em todas as profundidades analisadas, com os maiores valores registrados nos manejos CC-SB e CC-CB. Isso evidencia que a adição de composto orgânico, isolado ou combinado com o cultivo de braquiária nas entrelinhas, influência diretamente o armazenamento de C no solo. Segundo Blanco-Canqui e Lal (2007), a adição de materiais orgânicos aumenta o EC ao promover maior atividade microbiana e acelerar a decomposição da MO. Resultados semelhantes foram observados por Silva *et al.* (2015), onde a adubação orgânica no café conilon, utilizando compostos de capim-elefante e palha de café, em relação à adubação mineral, proporcionou acréscimo de 11,0 Mg ha⁻¹ C, quando os cafeeiros foram adubados com 100 % do composto, para a camada de 0,05 m de profundidade.

Houve acréscimos nos valores de EC em todas as camadas para o manejo CC-CB, o que demonstra que a combinação dessas técnicas potencializa a retenção de C no solo, uma vez que ambas aportam C (Tabela 4, 6 e 7). Com a somatória do EC das camadas de 0 a 0,60 m, evidencia-se incremento de 6,69 e 7,85 Mg ha⁻¹ C para os manejos CC-SB e CC-CB, respectivamente, em comparação ao manejo SC-

SB. Isso torna claro que uma parte significativa do aumento de C no solo está diretamente ligada à adição do composto orgânico. Tal fato, pode ter relação com a qualidade deste resíduo orgânico, uma vez que há maior diversidade de materiais no composto orgânico (esterco de galinha, esterco bovino e palha de café), frente apenas a biomassa da parte aérea das plantas de braquiária. Outro ponto seria a relação C:N dos resíduos, que poderia ter impactado no processo e no tempo de decomposição e incorporação ao solo (Kiehl, 1985; Giacomini *et al.*, 2003; Ricci *et al.*, 2005; Silva *et al.* 2012).

Em contrapartida, Cogo *et al.*, (2013), avaliando EC em cafezais sob diferentes sistemas de controle de plantas invasora, evidenciaram que os manejos sem capina e roçadora não diferiram da mata nativa (37 Mg ha⁻¹ C), até a profundidade de 0,30 m, indicando que a roçadora, por permitir crescimento temporário das plantas invasoras e não revolver o solo, é o controle mais apropriado à conservação do C ao solo em cafezais. Os autores não avaliaram a utilização de outras plantas de cobertura, como o cultivo de braquiária, mas o resultado demonstra que a presença de plantas na entrelinha, favorece a manutenção do C e evita perdas.

Carducci *et al.* (2023), avaliaram os impactos ambientais entre os sistemas de produção cafeeira convencional (CV) e múltiplas práticas conservacionistas (MC), por meio da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e dos EC no solo. Em que, o sistema MC, baseava-se na aplicação de doses elevadas de gesso, com introdução posterior do cultivo de braquiária nas entrelinhas. Os autores analisaram vários trabalhos, no período amostrado de 10 anos (2008 a 2018) e, concluíram que, o sistema MC reduziu em 37,7% o potencial de aquecimento, em 5% a acidificação do solo e em 20,1% o uso da terra e, aumentou o EC em 38,5% em relação ao CV. Esses resultados reforçam a eficácia das práticas conservacionistas no aumento do sequestro de C e na mitigação dos impactos ambientais.

Os resultados do presente estudo corroboram com as conclusões de Carducci *et al.* (2023) e ampliam essas evidências ao demonstrar a eficácia das práticas em solos arenosos, que apresentam baixos teores de argila (Tabela 3). Enquanto a maior parte dos estudos anteriores focou em solos argilosos, este estudo evidencia que a aplicação de gesso, e emprego de práticas de manejo como, a aplicação de composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas, são eficazes para a melhoria do sistema produtivo. A capacidade do gesso de promover a melhoria da

estrutura física do solo, combinada com o impacto positivo da introdução de práticas que aumentam o aporte de C, proporciona uma melhoria da qualidade do solo, tornando um ambiente mais sustentável e resiliente.

Assim, este estudo reforça a importância das práticas agrícolas conservacionistas, como o uso de gesso, composto orgânico e plantas de cobertura, para maximizar o sequestro de C, mesmo em solos de baixa fertilidade natural. Essas práticas, ao favorecerem a conservação da MOS e a manutenção de uma estrutura de solo adequada, são essenciais para a sustentabilidade a longo prazo em sistemas de produção cafeeira, especialmente diante dos desafios impostos pelas mudanças climáticas e pela crescente demanda por soluções sustentáveis.

Figura 10 - Carbono orgânico total (COT) nas camadas de 0-0,10 (A), 0,10-0,20 (B); 0,20-0,40 (C) e 0,40-0,60 (D) m de profundidade, em função de doses gesso (0G: 0 kg ha⁻¹; 1200G: 1.200 kg ha⁻¹; 40000G: 40.000 kg ha⁻¹) e dos sistemas de manejo (SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas). Letras distintas, minúsculas para o fator gesso, isolado ou dentro de cada nível do fator sistema de manejo, e maiúsculas para o fator sistema de manejo, isolado ou dentro de cada nível do fator gesso, indicam diferença estatística pelo teste LSD a 5% de probabilidade

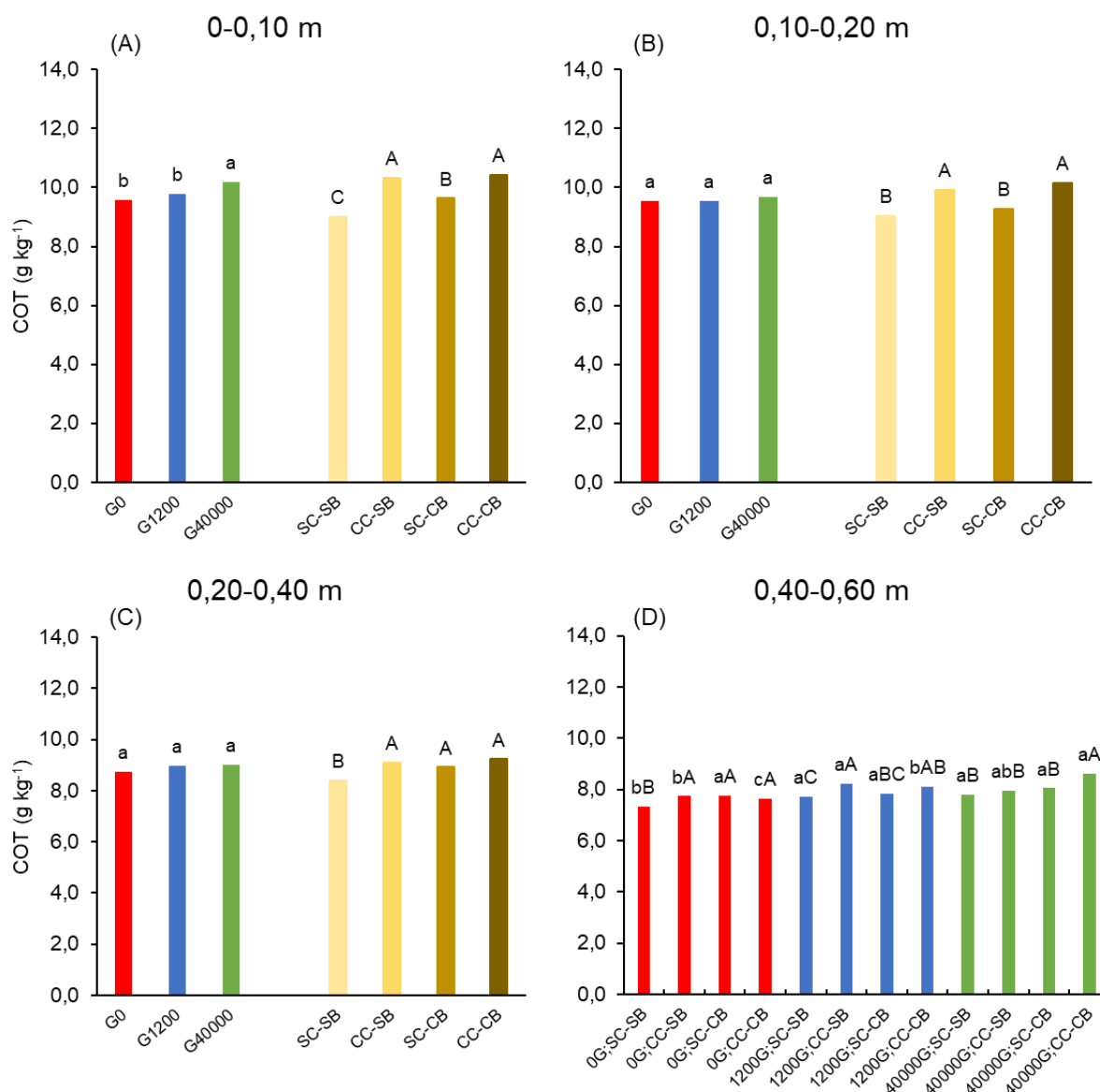


Figura 11 - Carbono orgânico particulado (COp) nas camadas de 0-0,10 (A), 0,10-0,20 (B); 0,20-0,40 (C) e 0,40-0,60 (D) m de profundidade, em função de doses gesso (0G: 0 kg ha⁻¹; 1200G: 1.200 kg ha⁻¹; 40000G: 40.000 kg ha⁻¹) e dos sistemas de manejo (SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas). Letras distintas, minúsculas para o fator gesso, isolado ou dentro de cada nível do fator sistema de manejo, e maiúsculas para o fator sistema de manejo, isolado ou dentro de cada nível do fator gesso, indicam diferença estatística pelo teste LSD a 5% de probabilidade

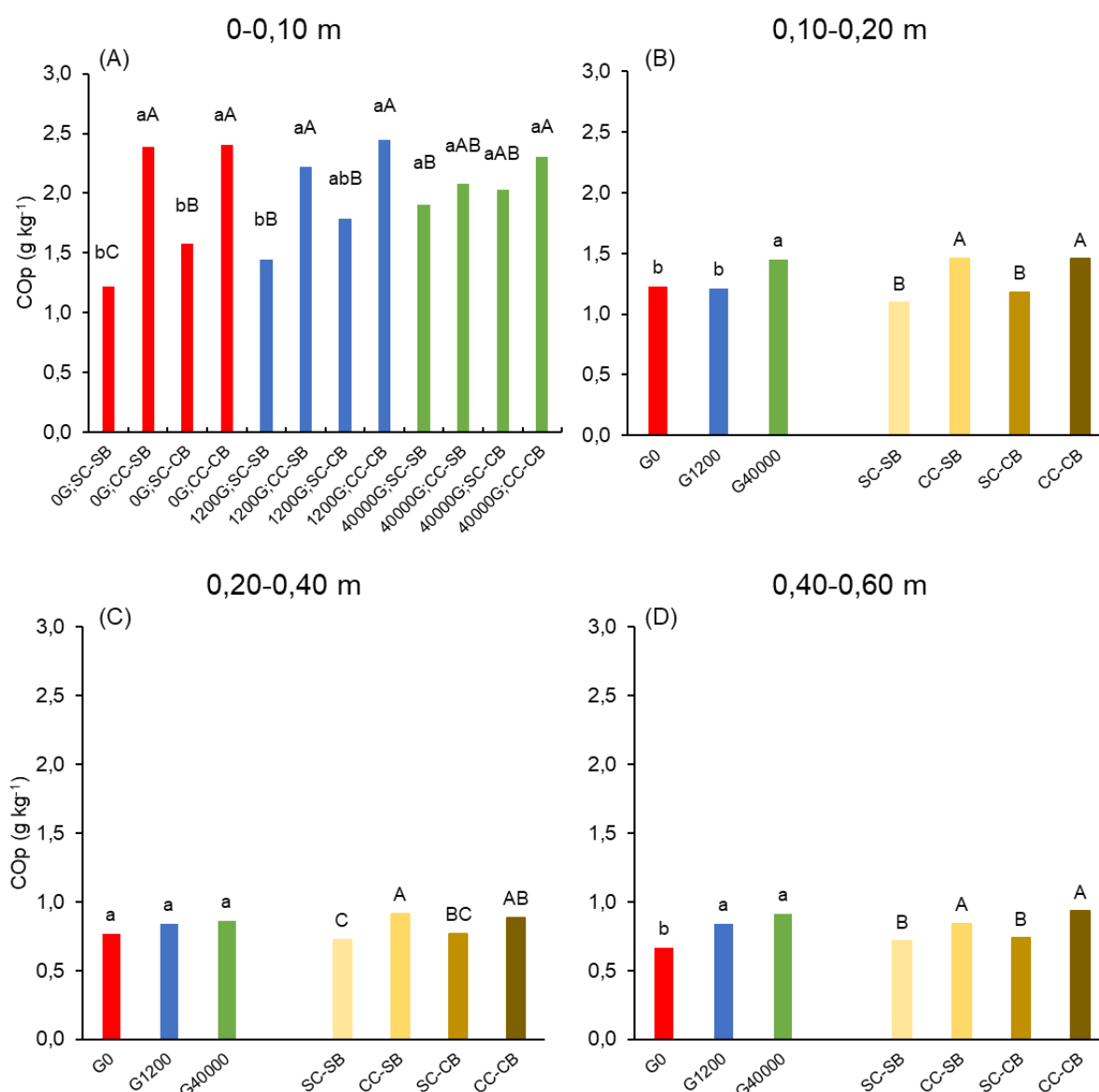


Figura 12 - Carbono orgânico associado aos minerais (COam) nas camadas de 0-0,10 (A), 0,10-0,20 (B); 0,20-0,40 (C) e 0,40-0,60 (D) m de profundidade, em função de doses de gesso (0G: 0 kg ha⁻¹; 1200G: 1.200 kg ha⁻¹; 40000G: 40.000 kg ha⁻¹) e dos sistemas de manejo (SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas). Letras distintas, minúsculas para o fator gesso, isolado ou dentro de cada nível do fator sistema de manejo, e maiúsculas para o fator sistema de manejo, isolado ou dentro de cada nível do fator gesso, indicam diferença estatística pelo teste LSD a 5% de probabilidade

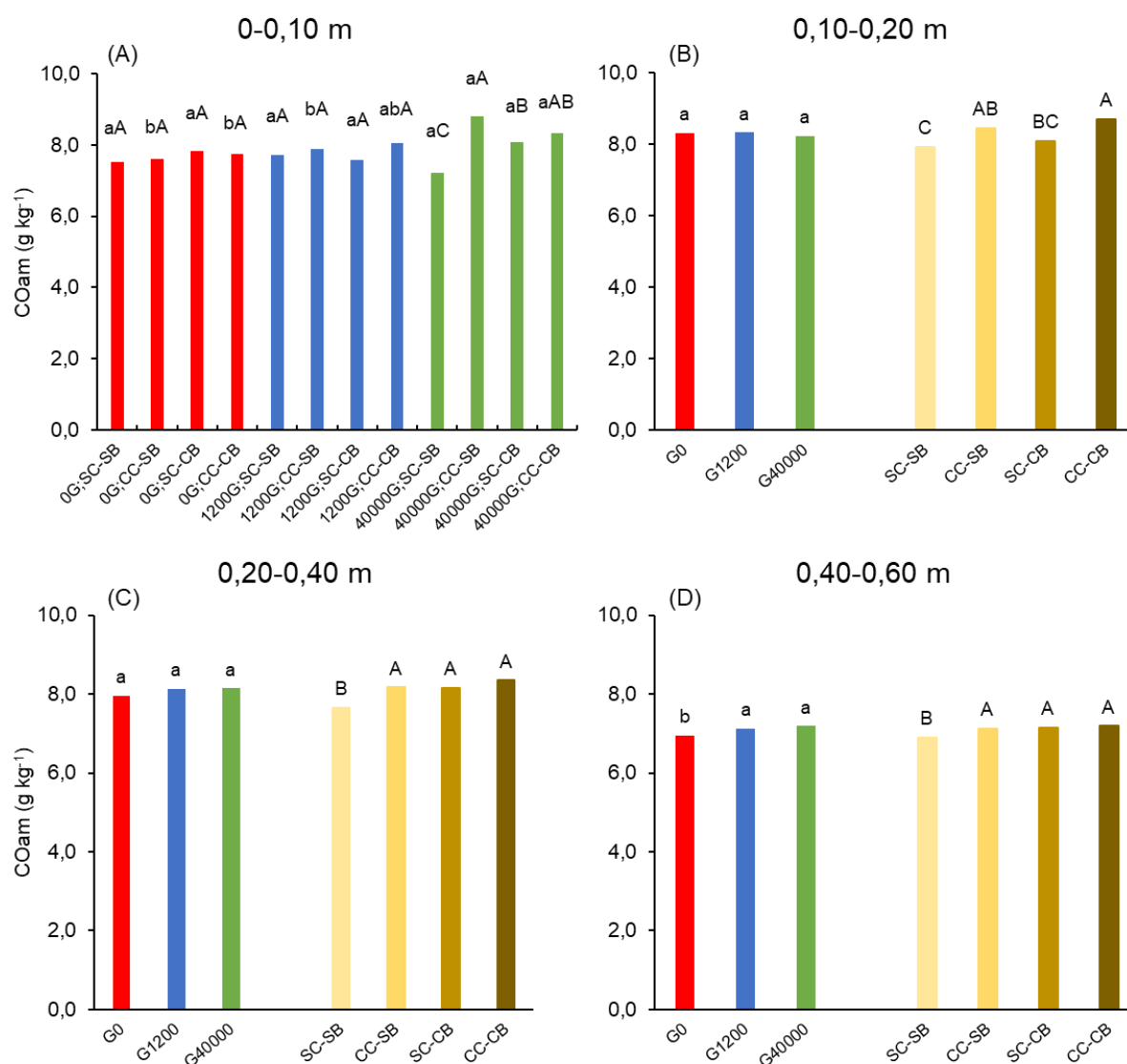
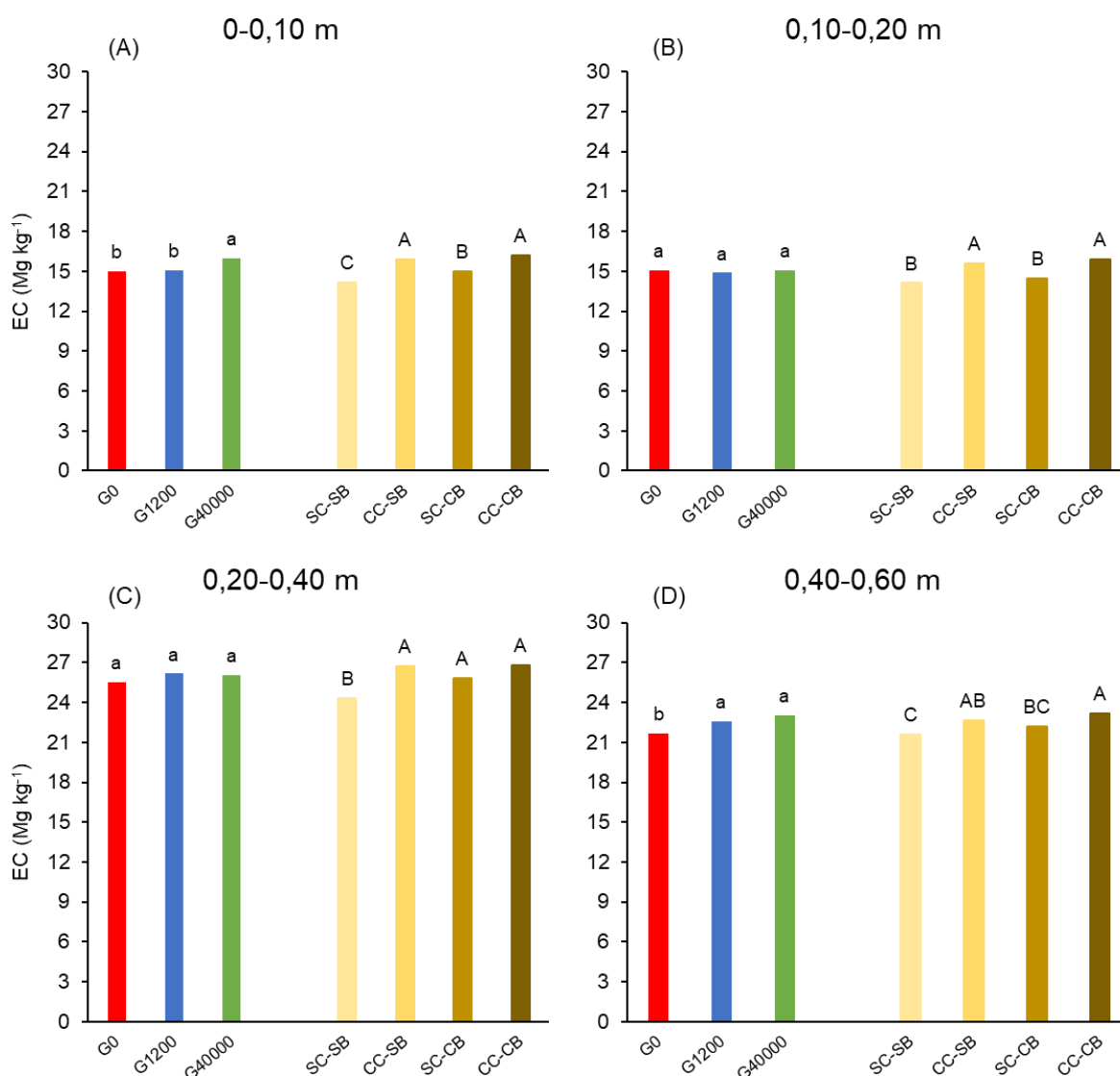


Figura 13 - Estoque de carbono orgânico (EC) nas camadas de 0-0,10 (A), 0,10-0,20 (B); 0,20-0,40 (C) e 0,40-0,60 (D) m de profundidade, em função de doses gesso (0G: 0 kg ha⁻¹; 1200G: 1.200 kg ha⁻¹; 40000G: 40.000 kg ha⁻¹) e dos sistemas de manejo (SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas). Letras distintas, minúsculas para o fator gesso, isolado ou dentro de cada nível do fator sistema de manejo, e maiúsculas para o fator sistema de manejo, isolado ou dentro de cada nível do fator gesso, indicam diferença estatística pelo teste LSD a 5% de probabilidade



2.4 CONCLUSÕES

O cultivo de braquiária nas entrelinhas promoveu maior produção de massa seca e aportou maiores quantidades de C no sistema.

O manejo com cultivo de braquiária nas entrelinhas e aplicação de composto orgânico aumentou a porosidade do solo em superfície e a aplicação da dose elevada de gesso incrementou em profundidade.

A aplicação da dose elevada de gesso proporcionou melhor agregação do solo, principalmente em profundidade. Já a resistência do solo à penetração não foi influenciada pelos fatores estudados.

A aplicação de composto orgânico e o cultivo de braquiária nas entrelinhas, associados ou não, promoveram incremento no estoque no de C perfil do solo. A aplicação de dose elevada de gesso promoveu melhorias no C do solo ao longo do perfil.

REFERÊNCIAS

- BAPTISTELLA, J. L. C. **Ciclagem de fósforo pela braquiária consorciada com o cafeeiro**. 2020. 82 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2020.
- BAPTISTELLA, J. L. C.; DE ANDRADE, S. A. L.; FAVARIN, J. L.; MAZZAFERA, P. Urochloa in tropical agroecosystems. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 4, a. 119, 2020.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 677-683. 2004.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L.; ROBERTO ERNANI, P. Stocks and humification degree of organic matter fractions as affected by no-tillage on a subtropical soil. **Plant and Soil**, 238:133-140, 2002.
- BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. 2. ed. Madison: America Society of Agronomy, p. 363-375. 1986.
- BLANCO-CANQUI, H.; LAL, R. Soil structure and organic carbon relationships following 10 years of wheat straw management in no-till. **Soil and Tillage Research**, v. 95, p. 240-254, 2007.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The nature and properties of soils**. 14th ed. New Jersey: Prentice Hall. 2008.
- BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; VEIGA, M. D. Teor de carbono orgânico e a susceptibilidade à compactação de um Nitossolo e um Argissolo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.131-139, 2010.
- BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; VEIGA, M.; REINERT J. D. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio Proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.605-614, 2006.
- BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: A review. **Geoderma**, v. 124, p. 3-22, 2005.
- CAIRES, E. F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 275-286, 2003.
- CAIRES, E. F.; KUSMAN, M. T.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; PADILHA, J. M. Changes in soil chemical properties and corn response to lime and gypsum applications. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 125-136, 2004.

CAIRES, E. F.; ROSOLEM, C. A.; FERNANDES, D. M.; SOUZA, R. Gypsum effects on the soil chemistry, root development, and yield of soybean in soil with different textures. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 1380-1392, 2015.

CALONEGO, J. C.; BORGHI, E.; CRUSCIOL, C. A. C. Intervalo hídrico ótimo e compactação do solo com cultivo consorciado de milho e braquiária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.2183-2190, 2011.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, v.56, p.777-783, 1992.

CARDUCCI, C. E.; ANIS, C. F.; DE SOUZA, D. P.; COSTA, J. C.; RUVIARO, C. F. Análise do ciclo de vida e balanço de carbono em sistemas de produção cafeeira do cerrado mineiro, Brasil. **RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar**, v. 4, e4124690-e4124690, 2023.

CARDUCCI, C. E.; OLIVEIRA, G. C.; CURI, N.; HECK, R. J.; ROSSONI, D. F.; DE CARVALHO, T. S.; COSTA, A. L. Gypsum effects on the spatial distribution of coffee roots and the pores system in oxidic Brazilian Latosol. **Soil and Tillage Research**, v. 145, p. 171-180, 2015.

CARMEIS FILHO, A. C. A.; CRUSCIOL, C. A. C.; CASTILHOS, A. M. Liming demand and plant growth improvements for an Oxisol under long-term no-till cropping. **Journal of Agricultural Science**, v. 155, p. 1093-1112, 2017.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. D.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. D. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.147-157, 2009.

CASALINHO, H. D.; MARTINS, S. R.; SILVA, J. B.; LOPES, A. S. Qualidade do solo como indicador de sustentabilidade de agroecossistemas. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 13, p. 195-203, 2007.

CASTANHEIRA, D. T.; GUIMARÃES, R. J.; DE FIGUEIREDO CARVALHO, M. A.; RESENDE, T. T.; DA SILVA CARVALHO, R. C.; DE OLIVEIRA ALECRIM, A.; VOLTOLINI, G. B. **Estratégias para o manejo do cafeeiro com foco na otimização do uso da água**. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, X, 2019

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo de amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.527-538, 1998.

CIIAGRO. Centro Integrado de Informações Agrometeorologias. **Boletins Agroclimáticos do Estado de São Paulo**. Instituto Agronômico de Campinas – IAC. Disponível em < <http://www.ciiagro.org.br/diario/cperiodo> > Acesso em março de 2024.

CLEMMENSEN, K.; BAHR, A.; OVASKAINEN, O.; DAHLBERG, A.; EKBLAD, A.; WALLANDER, H.; STENLID, J.; FINLAY, R.; WARLE, D.; LINDAHL, B. Roots and

associated fungi drive long-term carbono sequestration in boreal forest. **Ciência**, v. 339, p. 1615-1618, 2013.

COGO, F. D.; ARAÚJO-JUNIOR, C. F.; ZINN, Y. L.; DIAS JUNIOR, M. DE S.; ALCÂNTARA, E. N.; GUIMARÃES, P. T. G. Estoques de carbono orgânico do solo em cafezais sob diferentes sistemas de controle de plantas invasoras. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, p. 1089-1098, 2013.

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 777-788, 2005.

COSTA, A. R. D.; SATO, J. H.; RAMOS, M. L. G.; FIGUEIREDO, C. C.; SOUZA, G. P. D.; ROCHA, O. C.; GUERRA, A. F. Microbiological properties and oxidizable organic carbon fractions of an oxisol under coffee with split phosphorus applications and irrigation regimes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.55-65, 2013.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; GAMEIRO, R. de A.; PARIZ, C. M.; BUZETTI, S.; LOPES, K. S. M. Adubação nitrogenada no consórcio de milho com duas espécies de braquiária em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p. 1038-1047, 2012.

CRUSCIOL, C. A. C.; MARQUES, R. R.; CARMEIS FILHO, A. C. A.; SORATTO, R. P.; COSTA, C. H. M.; FERRARI NETO, J.; CASTRO, G. S. A.; PARIZ, C. M.; CASTILHOS, A. M.; FRANZLUEBBERS, A. J. Lime and gypsum combination improves crop and forage yields and estimated meat production and revenue in a variable charge tropical soil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 115, p. 347-372, 2019.

CRUSCIOL, C. A. C.; MATEUS, G. P.; PARIZ, C. M.; BORGHI, É.; COSTA, C.; SILVEIRA, J. P. F. D. Nutrição e produtividade de híbridos de sorgo granífero de ciclos contrastantes consorciados com capim-marandu. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 1234-1240, 2011

SILVA, A. P.; KAY, B. D. Estimating the least limiting water range of soils from properties and management. **Soil Science Society of America Journal**, v. 61, p. 877-883, 1997.

D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; GUILHERME, L. R. G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 179-186, 2004.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. **Defining and assessing soil quality**. In: Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicsek, D.F., Stewart, B.A. (Eds.), *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. Soil Science Society of America, Madison, p. 3-35, 1994.

ELLERT, B. H.; BETTANY, J. R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 75, p. 529-538, 1995.

EMBRAPA. Centro nacional de pesquisa de solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

FAGUNDES, A. V.; GARCIA, A. W. R.; MATIELLO, J. B.; RAMOS, S. V. **Altas doses de gesso (irrigação branca) na formação e produção do cafeeiro**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 42., 2016, Serra Negra – SP. Anais... 42º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 2016.

FERNANDES, A. L. T.; SANTINATO, F.; FERREIRA, R. T.; SANTINATO, R. Adubação orgânica do cafeeiro, com uso do esterco de galinha, em substituição à adubação mineral. **Coffee Science**, v. 8, p. 486-499, out./dez. 2013.

FERREIRA, D. F. Sisvar: Acomputer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, p. 1039-1042, 2011.

FIGUEIREDO, C. C. de; RESCK, D. V. S.; CARNEIRO, M. A. C. Labile and stable fractions of soil organic matter under management systems and native cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 34, p. 907-916, 2010.

FRAZÃO, L. A., PÍCCOLO, M. D. C., FEIGL, B. J., CERRI, C. C., CERRI, C. E. P. Propriedades químicas de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado mato-grossense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, p. 641-648, 2008.

GALDOS, M. V.; BROWN, E.; ROSOLEM, C. A.; PIRES, L. F.; HALLETT, P. D.; MOONEY, S. J. Brachiaria species influence nitrate transport in soil by modifying soil structure with their root system. **Scientific Reports**, v. 10, p. 5072, 2020.

GERAEI, D. S.; HOJATI, S.; LANDI, A.; CANO, A. F. Total and labile forms of soil organic carbon as affected by land use change in southwestern Iran. **Geoderma Regional**, v. 7, p. 29-37, 2016.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; VENDRUSCOLO, E. R. O.; CUBILLA, M.; NICOLOSO, R. S.; FRIES, M. R. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 325-334, 2003.

GOMAR, E.P.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; GARCÍA, E. Atributos do solo e biomassa radicular após quatro anos de semeadura direta de forrageiras de estação fria em campo natural dessecado com herbicidas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.211-223, 2002.

GUARÇONI, A. Fatores de sucesso no manejo nutricional do cafeeiro. **Informações Agronômicas**, v. 114, p. 1-12, 2013.

ISLAM, K. A.; DICK, W. A.; WATTS, D. B.; GONZALEZ, J. M.; FAUSEY, N. R.; FLANAGAN, D. C.; BATTE, M. T. Gypsum, crop rotation, and cover crop impacts on soil organic carbon and biological dynamics in rainfed transitional no-till corn-soybean systems. **PLoS ONE**, v. 17, p. e0275198, 2022.

JACAB, G.; VANCSIK, A.; FILEP, T.; MADARÁSZ, B.; ZACHÁRY, D.; RINGER, M.; UJHÁZY, N.; SZALAI, Z. Soil organic matter characterisation using alkali and water

extraction, and its relation to soil properties. **Geoderma Regional**, v. 28, p. 1-9. 2022.

JORGE, R. F.; ALMEIDA, C. X.; BORGES, E. N.; PASSOS, R. R. Distribuição de poros e densidade de Latossolos submetidos a diferentes sistemas de uso e manejo. **Bioscience Journal**, v. 28, p. 159-169, 2012.

KEMPER, W.D.; CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A.; EVANS, D.D.; WHITE, J.L.; ENSMINGER, L.E.; CLARK, F.E., eds. Methods of soil analysis: physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. Part 1. Madison, **American Society of Agronomy**, p. 499-510, 1965.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1985.

KLUTE, A. Water retention: Laboratory methods. In: KLUTE, A., ed. **Methods of soil analysis: Physical and mineralogical methods**. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, p. 635-662. 1986.

LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. **Science**, v. 304, p. 1623-1627, 2004.

LECO CORPORATION. **TruSpec CHN/CHNS Carbon/Hydrogen/Nitrogen/Sulfur Determinators: Instruction Manual**. 1. ed. St JOSEPH, 2011. 532p.

LIMA, V. M. P.; OLIVEIRA, G. C.; SERAFIM, M. E.; CURI, N.; EVANGELISTA, A. R. Intervalo hídrico ótimo como indicador de melhoria da qualidade estrutural de Latossolo degradado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 71-78, 2012.

LOMBARDI NETO, F.; DRUGOWICH, M. I. (coords). **Manual técnico de manejo e conservação de solo e água**. V. III CATI. Campinas: CATI, 1994. P.121-156.

LOPES, I. M.; ZIVIAN, M. M.; PINTO, L. A. D. S.; PINHEIRO, E. F. M.; WEBER, H.; LIMA, E.; DE CAMPOS, D. V. Aggregation and soil carbon aggregates distribution in a red latosol under different levels of sugarcane straw in Paranavaí (PR). **Revista Virtual de Química**, v. 9, p. 1985-1995, 2017.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; GIÁCOMO, S. G.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1269-1276, 2011.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, E. M. R. Carbono e frações granulométricas da matéria orgânica do solo sob sistemas de produção. **Ciência Rural**, v. 39, p. 1077-1082, 2009.

LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.175-187, 2004.

MADARI, B. E.; CUNHA, T. J. F.; NOVOTNY, E. H.; MILORI, D. M. B. P.; MARTIN NETO, L.; BENITES, V. M.; COELHO, M. R.; SANTOS, G. A. Matéria orgânica dos solos antrópicos da Amazônia (terra preta de índio): suas características e papel na

sustentabilidade da fertilidade do solo. In: TEIXEIRA, W. G.; KERN, D. C.; MADARI, B. E.; LIMA, E. N.; WOODS, W. I. As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2009. p. 172-188. **Manual Técnico**, 40.

MARTINELLI, R.; LICERRE, R.; RUFINO JR, L. R.; CAMATARI, Y.; AZEVEDO, F. A. Roçagem ecológica com *Urochloa spp.*: opção de manejo integrado de plantas daninhas que promove a agricultura de conservação em citros. **Innovations Agronomiques**, v. 64, p. 19-29, 2018.

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; ALMEIDA, S. R.; GARCIA, A. W. R. **Cultura de Café no Brasil: manual de recomendações**. São Paulo: Fundação Procafé, 2016.

MIELNICZUK, J. **Matéria orgânica e sustentabilidade de sistemas agrícolas**. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Org.). Fundamentos da matéria orgânica do solo - Ecossistemas tropicais e subtropicais. 1ª ed. Porto Alegre: Genesis, 1999, p. 1-8.

MITSUIKI, C. **Efeito de sistemas de preparo de solo e do uso de microrganismos eficazes nas propriedades físicas do solo, produtividade e qualidade de batata**. 2006. 92 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

NANZER, M. C.; ENSINAS, S. C.; BARBOSA, G. F.; BARRETA, P. G. V.; OLIVEIRA, T. P. DE; SILVA, J. R. M. DA; PAULINO, L. A. Total Organic Carbon Stock and Granulometric Fractioning of Organic Matter in Soil Use Systems in Cerrado. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, p. 136–145, 2019.

OLIVEIRA, F. N. S.; LIMA, H. J. M.; CAJAZEIRA, J. P. **Uso da compostagem em sistemas agrícolas orgânicos**. Embrapa Agroindústria Tropical: Folhetos. 2004.

OTHMER, H.; DIEKKRÜGER, B.; KUTILEK, M. Bimodal porosity and unsaturated hydraulic conductivity. **Soil Science**, v. 152, p. 139-150, 1991.

PARIZ, C. M.; ANDREOTTI, M.; BUZETTI, S.; BERGAMASCHINE, F. A.; ULIAN, N. A.; FURLAN, L. C.; MEIRELLES, P. R. L.; CAVASANO, F. A. Straw decomposition of nitrogen-fertilized grasses intercropped with irrigated maize in an integrated crop livestock system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 2029-2037, 2011.

PEDROSA, A. W. **Eficiência da adubação nitrogenada no consórcio entre cafeeiro e *Brachiaria brizantha***. 2013. 73 p. Tese (Doutorado)- Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

PEDROSA, A. W.; FAVARIN, J. L.; VASCONCELOS, A. D.; CARVALHO, B. V.; OLIVEIRA, F. B.; NEVES, G. B. Brachiaria residues fertilized with nitrogen in coffee fertilization. **Coffee Science**, v. 9, p. 366-373, 2014.

PRETTY, J. Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence. **Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences**, v. 363, p. 447-465, 2008.

RAGASSI, C. F.; PEDROSA, A. W.; FAVARIN, J. L. Aspectos positivos e riscos no consórcio cafeeiro e braquiária. **Visão Agrícola**, v. 8, p. 29-32, 2013.

RAIJ, B. van. **Gesso na agricultura**. Campinas: Instituto Agronômico, 2008. 233 p.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1997. p. 97-101. (Boletim Técnico, 100).

RAMOS, B. Z.; TOLEDO, J. P. V. F.; LIMA, J. M.; SERAFIM, M. E.; BASTOS, A. R. R.; GUIMARÃES, P. T. G.; COSCIONE, A. R. Doses de gesso em cafeeiro: influência nos teores de cálcio magnésio potássio e pH na solução de um Latossolo Vermelho Distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1018-1026, 2013.

REICHERT, J. M.; AMADO, T. J. C.; REINERT, D. J.; RODRIGUES, M. F.; SUZUKI, L. E. A. S. Land use effects on subtropical, sandy soil under sandization/desertification processes. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 233, p. 370-380, 2016.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência Ambiental**, v. 27, p. 29-48, 2003.

REYNOLDS, W. D.; BOWMAN, B. T.; DRURY, C. F.; TAN, C. S.; LU, X. Indicators of Good Soil Physical Qualify: Density and Storage Parameters. **Geoderma**, v. 110, p.131-146, 2002.

REZENDE, F. A. **Aproveitamento da casca de café e borra da purificação de gorduras e óleos residuários em compostagem**. 2010. 74 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

RICCI, M. D. S. F.; ALVES, B. J. R.; MIRANDA, S. C. D.; OLIVEIRA, F. F. D. Growth rate and nutritional status of an organic coffee cropping system. **Scientia Agricola**, v. 62, p. 138-144, mar./abr. 2005.

RICHART, A.; FILHO, J. T.; BRITO, O. R.; LLANILLO, R. F.; FERREIRA, R. Compactação do solo: causas e efeitos. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 26, p. 321-344, 2005.

ROCHA, O. C.; GUERRA, A. F.; RAMOS, M. L. G.; DA SILVA OLIVEIRA, A.; BARTHOLO, G. F. Qualidade físico-hídrica de um latossolo sob irrigação e braquiária em lavoura de café no cerrado. **Coffee Science**, v. 9, p. 516-526, out./dez. 2014.

RODRIGUES, J. C., CARMO, D. L. D., NANNETTI, D. C., MARQUES, H., PEREIRA, R. A. (2015). **Relação Ca/Mg no solo e produtividade do cafeeiro em função de elevadas doses de gesso agrícola**. In: Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 9., 2015, Curitiba – PR. Anais... IX Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil IX 2015.

SÁ, P. C. C. de; DO VALE, C. N. C.; MAIA, C. E.; LEVIEN, S. L. A. Índices e área sob a curva de retenção de água para avaliar qualidade física do solo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.4, p.110–114, 2010.

SALTON, J. C.; TOMAZI, M. **Sistema radicular de plantas e qualidade do solo**. Comunicado Técnico 198. Embrapa Agropecuária Oeste. Dourados, Brasil. 6 p. 2014.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Revisada e atualizada. Brasília: Embrapa, 2013.

SANTOS, N. Z.; DIECKOW, J.; BAYER, C.; MOLIN, R.; FAVARETTO, N.; PAULETTI, V.; PIVA, J. T. Forages, cover crops and related shoot and root additions in no-till rotations to C sequestration in a subtropical Ferralsol. **Soil and Tillage Research**, v. 111, p. 208-218, 2011.

SANTOS, W. J. R.; SILVA, B. M.; OLIVEIRA, G. C.; VOLPATO, M. M. L.; LIMA, J. M.; CURI, N.; MARQUES, J. J. Soil moisture in the root zone and its relation to plant vigor assessed by remote sensing at management scale. **Geoderma**, v. 221-222, p. 91-95, 2014.

SEIDEL, E. P.; GERHARDT, I. F. S.; CASTAGNARA, D. D.; NERES, M. A. Efeito da época e sistema de semeadura da *Brachiaria brizantha* em consórcio com o milho, sobre os componentes de produção e propriedades físicas do solo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, p. 55-66, 2014

SERAFIM, M. E.; OLIVEIRA, G. C.; LIMA, J. M.; SILVA, B. M.; ZEVIANI, W. M.; LIMA, V. M. Disponibilidade hídrica e distinção de ambientes para cultivo de cafeeiros. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 362-370, 2013.

SERAFIM, M. E.; OLIVEIRA, G. C.; OLIVEIRA, A. S.; LIMA, J. M.; GUIMARÃES, P. T. G.; COSTA, J. C. Sistema conservacionista e de manejo intensivo do solo no cultivo de cafeeiros na região do alto São Francisco, MG: um estudo de caso. **Bioscience Journal**, v. 27, p. 964-977, 2011.

SHERMAN, B. **Cover crops and sustainable agriculture**. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2021.

SILVA, E. A.; SANTOS, H. C.; PEREIRA, A. S.; ROSA, S. L.; FRAGA JUNIOR, E. F. Increasing doses of agricultural gypsum, aggregate stability and organic carbon in Cerrado Latosol under Coffee crop. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 56, p. 25-32, jan./mar. 2013.

SILVA, G. S. F.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; CARDOSO, M. J.; ARAÚJO NETO, R. B. Soil water dynamics and yield in maize and *Brachiaria ruziziensis* intercropping. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 50, p.1-9, 2020.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p.113-117, 1997.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do Solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p.1017. 2007.

SILVA, J. A. N.; SOUZA, C. M. A.; SILVA, C. J.; BOTTEGA, S. P. Crescimento e produção de espécies forrageiras consorciadas com pinhão-mansão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p. 769-775, 2012.

SILVA, M. B. D., KLIEMANN, H. J., SILVEIRA, P. M. D., LANNA, A. C. Atributos biológicos do solo sob influência da cobertura vegetal e do sistema de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 1755-1761, dez. 2007.

SILVA, V. M.; TEIXEIRA, A. F. R.; DE SOUZA, J. L.; GUIMARÃES, G. P.; BENASSI, A. C.; SÁ MENDONÇA, E. Estoques de Carbono e Nitrogênio e Densidade do Solo em Sistemas de Adubação Orgânica de Café Conilon. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 39, p.1436-1444, 2015.

SIQUEIRA, R. H. S.; FERREIRA, M. M.; ALCANTARA, E. N.; CARVALHO, R. C. S. Agregação de um latossolo vermelho-amarelo submetido a métodos de controle de plantas invasoras na cultura do café. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1128-1134, 2014.

SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S.; DENEFF, K. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil and Tillage Research**, v. 79, p. 7-31, 2004.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 675–688, 2008.

SOUZA, L. S.; LOSASSO, P. H. L.; OSHIWA, M.; GARCIA, R. R.; GOES FILHO, L. A. Efeitos das faixas de controle do capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*) no desenvolvimento inicial e na produtividade do cafeeiro (*Coffea arabica*). **Planta Daninha**, v. 24, p. 715-720, 2006.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 15, p. 229-235, 1990.

STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V. Penetrômetro de impacto – modelo IAA/Planalsucar – STOF (recomendações para seu uso). **Revista STAB**, 1983.

TORMENA, C. A.; FRIEDRICH, R.; PINTRO, J. C.; COSTA, A. C. S.; FIDALSKI, J. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.1023-1031, 2004.

VANLAUWE, B.; WENDT, J.; DIELS, J. Combined application of organic matter and fertilizer. In: TIAN, G.; ISHIDA, F.; KEATINGE, J. D. H. (Ed.). **Sustaining soil fertility in West-Africa**. Madison: SSSA Special Publication, 2001. p. 247-280.

VASÁT, R.; KODESOVÁ, R.; BORŮVKA, L. Ensemble predictive model for more accurate soil organic carbon spectroscopic estimation. **Computers & Geosciences** v. 104, p. 75-83, 2017.

VELDKAMP, E. Organic carbon turnover in three tropical soils under pasture after deforestation. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, p.175-180, 1994.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 213-223, 2011.

VOLTOLINI, G. B.; DA SILVA, L. C.; ALECRIM, A. O.; CASTANHEIRA, D. T.; RESENDE, L. S.; REZENDE, T. T.; GUIMARÃES, R. J. Soil chemical attributes in coffee growing with different agronomic techniques. **Coffee Science**, v. 15, p. e151689, 2020.

WAGNER, G. H.; WOLF, D. C. Carbon transformations and soil organic matter formation. In: SYLVIA, D. M.; FUHRMANN, J. J.; HARTEL, P. G.; ZUBERER, D. A. **Principles and applications of soil microbiology**. New Jersey: Prentice Hall, p.218-256, 1999.

WILTS, A. R.; REICOSKY, D. C.; ALLMARAS, R. R.; CLAPP, C. E. Long-term corn residue effects: Harvest alternatives, soil carbon turnover, and root-derived carbon. **Soil Science Society of America Journal**, v. 68, p. 1342-1351, 2004.

YODER, R. E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal of American Society of Agronomy**, v.28, p. 337-351, 1936.

CAPÍTULO 3

MONITORAMENTO DAS RELAÇÕES HÍDRICAS EM CAFFEEIROS ARÁBICA EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE GESSO AGRÍCOLA, COMPOSTO ORGÂNICO E DO CULTIVO DE BRAQUIARIA NAS ENTRELINHAS

3.1 INTRODUÇÃO

A sustentabilidade da produção agrícola no Brasil e mundo enfrenta desafios crescentes, em especial devido às mudanças climáticas, que afetam o ambiente e, consequentemente, o desenvolvimento das plantas. O manejo do sistema produtivo visando atenuar ou ainda, prevenir possíveis condições adversas, ganha força nas últimas décadas devido à recorrência destes eventos. A cultura do café, mesmo localizada em áreas consideradas aptas ao cultivo, vem sofrendo constantemente com incertezas climáticas e eventos adversos (Bunn *et al.*, 2015; Matiello *et al.*, 2016; Alemu; Dufera, 2017; DaMatta *et al.*, 2018).

A espécie *Coffea arabica* L. é mais adequada para ambientes úmidos e com temperaturas amenas, sendo consideradas ideais temperaturas médias entre 18 e 22 °C e precipitação anual superior a 1200 mm (Matiello *et al.*, 2016), condições estas, que variam bastante dependendo da região, altitude e manejo adotado. A planta se adapta a estas condições; contudo, as oscilações climáticas muito intensas acabam prejudicando seu desempenho, especialmente no caso do cafeeiro, que é sensível a estas variações, implicando diretamente na sua produtividade (Carvalho *et al.*, 2011; Davis *et al.*, 2012; Martins *et al.*, 2015).

Nesse sentido, a precipitação e a temperatura do ar, são os fatores que mais afetam o cafeeiro arábica (Carvalho *et al.*, 2011; Matta; Ramalho, 2006; Martins *et al.*, 2015). Aparecido, Rolim e Souza (2015) afirmaram que a escassez hídrica é a variável mais limitante para alcançar alta produtividade. Temperaturas elevadas do ar aliada à redução da disponibilidade hídrica pode comprometer o metabolismo celular e reduzir o crescimento dos cafeeiros (Pizetta *et al.*, 2016), mesmo que não haja sintomas visíveis (Matta; Rena, 2002), os reflexos são vistos na redução da produtividade e da qualidade dos frutos.

Uma das tecnologias que pode ser empregadas a fim de atuar esses efeitos é o uso do gesso agrícola. Este insumo é capaz de reduzir a fitotoxidade de Al^{3+} e promove aumento nos teores de Ca^{2+} e SO_4^{2-} ao longo do perfil do solo (Crusciol *et*

al., 2019; Raij *et al.*, 1997; Caires *et al.*, 2003; Raij, 2008; Ramos *et al.*, 2013; Ferraz, 2017). Essa melhoria do ambiente químico ao longo do perfil do solo, com a movimentação de bases e sulfato em profundidade, promove um melhor desenvolvimento do sistema radicular, que, além de favorecer a absorção de água e nutrientes, promove uma maior tolerância das plantas aos veranicos (Zambrosi *et al.*, 2007; Ramos *et al.*, 2013; Costa *et al.*, 2018; Tiritan *et al.*, 2016). Sendo assim, o desenvolvimento do sistema radicular profundo e robusto, torna-se essencial para a cultura do café, especialmente em regiões sujeitas a períodos de seca.

Outra prática que pode ser explorada para otimizar a produção do cafeeiro em condições adversas, é o uso de espécies vegetais cobrindo o solo da entrelinha do cafeeiro. Este manejo da cobertura do solo torna-se também uma importante ferramenta para melhorar a eficiência no uso da água (Bizari *et al.*, 2009; Souza *et al.*, 2011; Téofilo *et al.*, 2012; Tiecher, 2016). Dentre as plantas de cobertura, destacam-se as forrageiras do gênero *Urochloa*, pertencente à família Poaceae, também conhecidas como braquiárias, que têm sido muito exploradas, porque apresentam boa adaptabilidade a condições adversas, facilidade propagativa e rusticidade (Pedrosa *et al.*, 2014; Ragassi; Pedrosa; Favarin, 2013; Baptistella *et al.*, 2020). O consorcio de plantas de café com braquiária tem mostrado resultados promissores, ajudando no armazenamento de água no solo ao manter temperaturas mais amenas e reduzir a evaporação (Ragassi; Pedrosa; Favarin, 2013; Baptistella *et al.*, 2020). Além desta cobertura do solo, é possível utilizar outros resíduos orgânicos, como a casca de café e materiais compostados, para ajudar a manter a umidade do solo. Uma vez que estes materiais são fontes de matéria orgânica, e esta desempenha um papel crucial na retenção de água (Dalchiavon *et al.*, 2014).

Portanto a utilização de práticas de manejo a fim de diminuir a influência de eventos adversos e enfrentar as oscilações climática na cafeicultura, torna-se extremamente relevante (Camargo, 2010). Os efeitos isolados destas práticas já são perceptíveis, contudo, não se sabe se as associações destas práticas podem potencializar os benefícios as plantas de café, principalmente as que estão em condição de sequeiro.

Diante do exposto, foi proposto este trabalho com o objetivo de monitorar as relações hídricas no solo e nas plantas de café arábica, em decorrência da aplicação de gesso e composto orgânico, bem como o cultivo de braquiária nas entrelinhas, em condições de sequeiro.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em condições de campo, em fevereiro de 2017 e foi conduzido até setembro de 2021, ou seja, por um período de quatro anos e sete meses.

3.2.1 Área experimental e cultivar de café

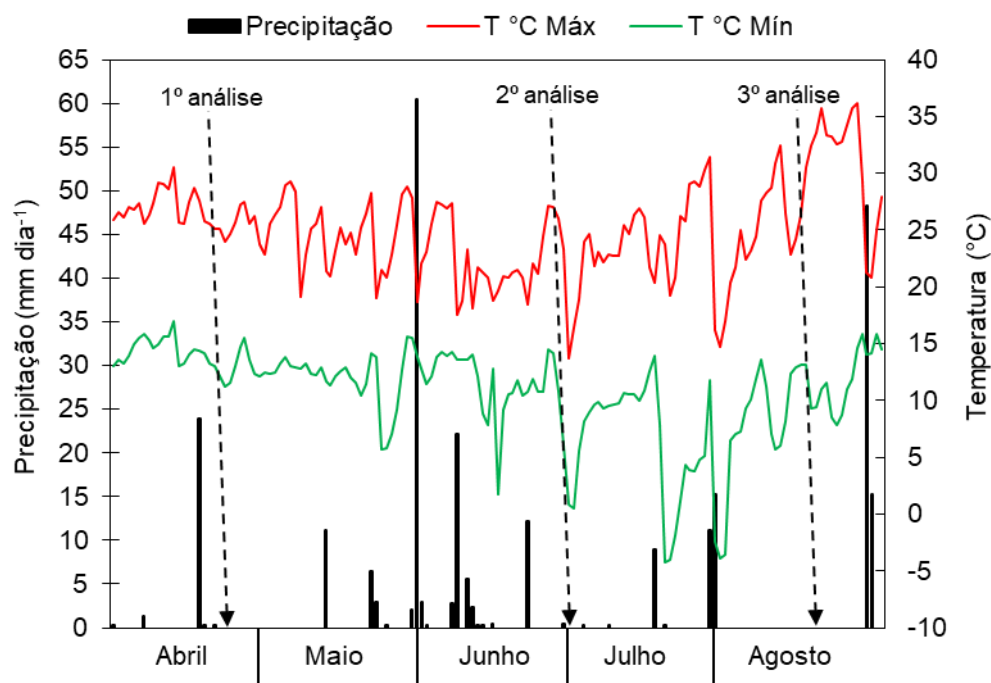
O experimento foi instalado em condição de campo, no Sítio Três Irmãos, localizado no município de Manduri - SP, com latitude 23°03' S, longitude 49°14' W e altitude de 738 m. O solo do local é um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, textura média (Santos *et al.*, 2013). De acordo com a classificação de Köppen, o clima predominante na região é do tipo Cwa, tropical, com estação seca no inverno e verão quente e chuvoso (Lombardi Neto; Drugowich, 1994), temperatura média anual de 21,1 °C e regime pluviométrico anual em torno de 1.457 mm (CIIAGRO, 2024). Os dados mensais de temperaturas médias e precipitação pluvial desde a instalação do experimento estão apresentados na Tabela 1. O monitoramento diário da precipitação e temperatura máxima e mínima durante as avaliações físico-hídricas realizadas, compreendida de 01 de abril a 31 de agosto de 2021 estão descritos na Figura 1 (CIIAGRO, 2024).

O talhão onde o experimento foi instalado é constituído por plantas de café arábica, cultivar Catuaí Vermelho IAC 99, pé-franco, plantadas no campo em março de 2016, no espaçamento 3,5 × 0,70 m, perfazendo um total de 4.082 plantas ha⁻¹.

Tabela 1 - Dados de temperatura média e precipitações pluviiais mensais de fevereiro de 2017 a agosto de 2021, Manduri-SP

Mês	Ano				
	2017	2018	2019	2020	2021
Temperatura média (°C)					
Janeiro	-	24,4	26,2	24,8	22,9
Fevereiro	25,5	23,1	24,7	23,9	24,2
Março	24,3	25,3	24,3	23,9	24,8
Abril	21,8	22,1	22,7	20,8	20,3
Maio	20,0	19,6	20,7	17,2	18,8
Junho	17,1	18,9	18,4	18,8	16,5
Julho	16,4	18,4	16,3	17,7	14,7
Agosto	18,3	17,1	18,8	18,0	19,6
Setembro	22,4	20,6	19,6	22,8	-
Outubro	22,4	22,2	24,7	25,5	-
Novembro	22,6	23,4	24,4	24,4	-
Dezembro	24,5	24,5	24,5	24,6	-
Precipitação pluvial (mm)					
Janeiro	-	257	131	138	130
Fevereiro	147	58	171	218	109
Março	115	180	120	20	105
Abril	166	23	74	43	26
Maio	261	25	78	43	83
Junho	145	26	86	98	50
Julho	1	1	113	10	22
Agosto	91	141	1	92	6
Setembro	10	126	24	34	-
Outubro	195	145	51	12	-
Novembro	206	87	232	129	-
Dezembro	225	158	138	168	-

Figura 1 - Dados diários de precipitação pluvial, temperaturas mínimas e máximas, durante o período de 01 abril a 31 de agosto 2021, exemplificando as três épocas de análises realizadas



No plantio da cultura do café foram distribuídos e incorporados em cada metro de sulco 6 g de N, 22 g de P₂O₅, 12 g de K₂O (formulado 08-28-16), 0,30 kg de calcário dolomítico com 75% de PRNT e 5 L de cama de frango. O experimento foi conduzido em condições de sequeiro.

Em janeiro de 2017, foi amostrado solo, sendo a coleta realizada na projeção da copa do cafeeiro, na camada de 0–0,20 m e 0,20–0,40 m de profundidade. As análises químicas foram realizadas de acordo com a metodologia proposta por Raji *et al.* (2001), cujos resultados estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Características químicas do solo da área antes da instalação do experimento

Profundidade	pH(CaCl ₂)	MOS	P _(resina)	S-SO ₄ ²⁻	H+Al	Al ³⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	CTC	V
m		g kg ⁻¹	mg dm ⁻³				mmol _c dm ⁻³				%
0-0,20	5,1	17	20	10	35	0	0,4	31	8	73	53
0,20-0,40	4,1	14	6	17	50	7	0,3	10	4	64	22

Cada amostra foi composta por 12 amostras simples.

Na mesma época em que foi feita amostragem de solo para análise química, foi amostrado solo da área experimental nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 m para análise granulométrica, que foi utilizada para o cálculo da dose de gesso a ser aplicada (Tabela 3). O cálculo da quantidade de gesso a ser aplicada foi realizado de acordo com Raij *et al.* (1997).

Tabela 3 - Análise granulométrica da área experimental

Profundidade	Areia	Argila	Silte	Textura do solo
m	g kg ⁻¹			
0-0,20	810	160	30	Média
0,20-0,40	775	187	38	Média

Cada amostra foi composta por 12 amostras simples.

Foi realizado uma aferição em fevereiro de 2017, e as plantas de café apresentavam em média cerca de 1,2 cm de diâmetro de caule e cerca de 23,8 cm de altura no momento de aplicação dos tratamentos.

3.2.2 Delineamento experimental

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados, num esquema fatorial 3 × 4 e três repetições. Os 12 tratamentos foram constituídos da combinação de três doses de gesso agrícola [controle - sem aplicação de gesso, dose recomendada (1.200 kg ha⁻¹) de acordo com Raij *et al.* (1997) e dose elevada (40.000 kg ha⁻¹)], e quatro sistemas de manejo (SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas; e CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas).

Não há um critério para recomendação de dose elevada de gesso, assim, no caso da presente pesquisa, a dose elevada foi estipulada com base em um valor próximo da média das doses elevadas de gesso utilizadas em trabalhos sobre o tema (Ramos *et al.*, 2013; Rodrigues *et al.*, 2015; Fagundes *et al.*, 2016). O gesso utilizado continha cerca de 16% Ca e 13% de S. O composto orgânico utilizado consistia em uma mistura homogênea e compostada de esterco de galinha, esterco

bovino e palha de café, com dose de 10.000 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (base úmida). Para o cultivo nas entrelinhas dos tratamentos determinados, utilizou-se a braquiária *ruzizensis*.

Cada parcela foi constituída por três fileiras de plantas, com 8,4 m de comprimento (12 plantas em cada fileira). As parcelas foram separadas umas das outras por uma planta, no sentido da fileira, e por uma fileira. A área considerada útil em cada parcela foi composta por oito plantas da fileira central (19,6 m²), excluindo duas plantas de cada extremidade.

3.2.3 *Condução do experimento*

A aplicação das doses de gesso foi realizada apenas em fevereiro de 2017, sendo aplicado em faixa de 1,0 m de largura na fileira de plantas de café. Assim, na dose de gesso recomendada (1.200 kg ha⁻¹) foram aplicados 0,42 kg m⁻² da faixa e na dose elevada (40.000 kg ha⁻¹) foram aplicados 14,0 kg m⁻² da faixa. Nas entrelinhas do cafeeiro, foi realizada a semeadura da braquiária *ruzizensis* cv. *Ruzizensis* no mês de março de 2017, com o auxílio de semeadora manual (matraca), utilizando de 8,0 kg ha⁻¹ de sementes puras viáveis, sendo semeadas, sem adubação, quatro fileiras da gramínea, com espaçamento de 0,5 m entre as fileiras e 0,1 m entre as covas e profundidade de 0,03 m, deixando-se uma distância de 1,0 m de cada lado das plantas de café livres (Figura 2). A braquiária foi mantida vegetando, porém, devido ao período de inverno as plantas só tiveram desenvolvimento expressivo a partir de outubro de 2017. A primeira ceifa da parte área das plantas presentes nas entrelinhas do cafeeiro ocorreu em janeiro de 2018 e a segunda em abril de 2018, e após a segunda ceifa foi realizada uma operação mecânica conhecida como arruação (limpeza), para realizar a colheita.

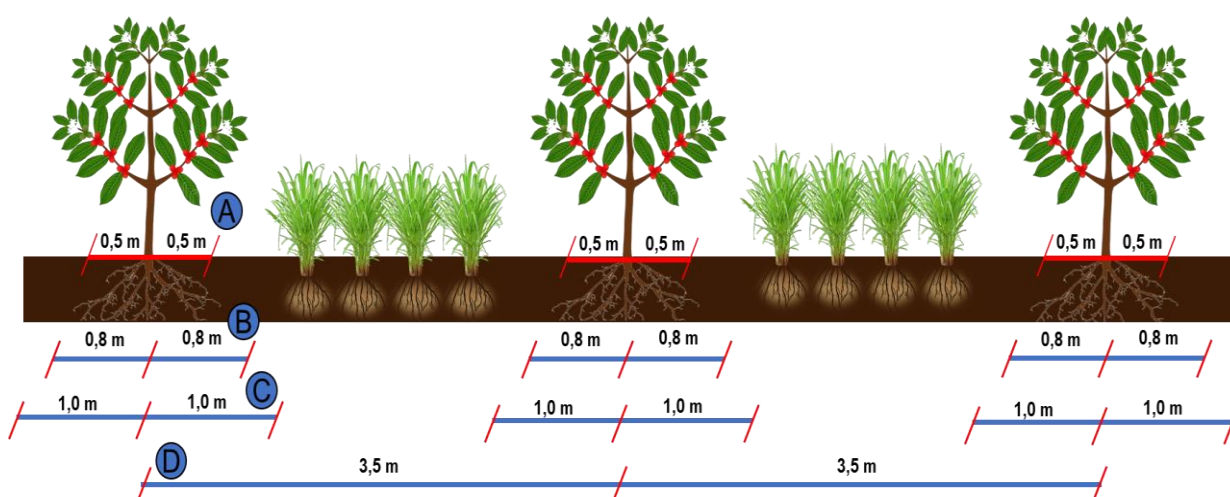
No mês de outubro de 2018, foi realizado o replantio dessa gramínea, a qual permaneceu vegetando até o primeiro e segundo cortes em janeiro e abril de 2019, e novamente após a segunda ceifa foi realizado a arruação (limpeza). Em outubro de 2019, foi realizado o replantio da braquiária a qual foi ceifada em janeiro e abril de 2020, e novamente após a arruação houve o replantio em outubro de 2020, o qual foi ceifada em janeiro e abril de 2021. As entrelinhas do cafeeiro permaneceram cobertas com a braquiária ou as plantas de crescimento espontâneo por um período

de sete meses no ano agrícola, compreendido de outubro a abril, e os outros cinco meses, permaneceram sem a presença das plantas nas entrelinhas, devido à limpeza da área para realizar a colheita do café.

O controle de plantas daninhas na linha do cafeeiro foi realizado através de capina manual (com auxílio de enxadas), mantendo limpa uma faixa de aproximadamente 1,0 m junto à projeção da copa das plantas de café.

Para o preparo da área, antecedendo a colheita, realizou-se através da arruação (com o uso de arruador de asas e limpeza na linha de plantas com auxílio de enxadas) nos anos de 2018 e 2019. Já a partir de 2021 foi utilizado o arruador de café contendo um soprador de direcionamento independente e um varredor de borracha, visando manter a linha na terra limpa, puxando todas as folhas e galhos do cafeeiro e plantas daninhas para a entrelinha. Sempre antes da arruação realizou-se o controle das plantas daninhas em área total, com o uso do herbicida de pós-emergência glifosato potássico na dose de $1.550 \text{ g i.a. ha}^{-1}$. Todas as aplicações de herbicidas foram feitas com o pulverizador de barras protegida, para evitar problemas com deriva no cafeeiro.

Figura 2 - Esquema representativo das parcelas experimentais, local de aplicação do gesso agrícola (A), aplicação do composto orgânico (B), área mantida sem cultivo de braquiária e/ou plantas de crescimento espontâneo (C) e espaçamento entre fileiras de café (D)



O composto orgânico (Tabela 4), com umidade de aproximadamente 40%, foi aplicado na dose de 10.000 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (base úmida), sempre distribuído na faixa da projeção da copa das plantas (0,8 m de cada lado), no mês de outubro de cada ano, de 2017 até 2020.

Tabela 4 - Teores de nutrientes presentes no composto orgânico (base seca) e quantidades aplicadas por ano

Nutrientes	Ano							
	2017	2018	2019	2020	2017	2018	2019	2020
	Teor (g kg ⁻¹)				Quantidade (kg ha ⁻¹)			
N	14	15	14	21	84	90	84	126
P	8	8	9	9	48	48	54	54
K	12	11	10	17	72	66	60	102
Ca	14	12	8	11	84	72	48	60
Mg	4	5	4	5	24	30	24	30
S	2	3	3	3	12	18	18	18
	Teor (mg kg ⁻¹)				Quantidade (g ha ⁻¹)			
B	28	25	21	29	168	150	126	174
Cu	75	60	55	52	450	360	330	312
Fe	1664	5864	20300	14975	9984	35184	121800	89850
Mn	251	346	321	321	1506	2076	1926	1926
Zn	192	178	166	180	1152	1068	996	1080

Em janeiro de 2021, foi realizada aplicação de calcário em todas as parcelas experimentais, aplicando 2.000 kg ha⁻¹ na faixa de adubação, de acordo com Raij *et al.* (1997). O corretivo apresentava cerca de 42% de CaO, 11% MgO e 93% de PRNT. A dose calculada foi aplicada concentrada na faixa de adubação (aproximadamente 1,0 m de largura), desse modo, a aplicação forneceu 0,70 kg do corretivo por m² da faixa.

As demais aplicações de nutrientes e o manejo fitossanitário foram realizados de acordo com os critérios do produtor (Anexo A). Para as adubações de cobertura foram utilizadas as fontes de ureia (46% de N), nitrato de amônio (32% de N), cloreto de potássio (60% de K₂O), MAP (11% de N e 52% de P₂O₅) e o formulado de N-P₂O₅-K₂O de 20-05-20 + 2,0% de Ca + 1,0% de Mg, e constaram das seguintes quantidades anuais de N-P₂O₅-K₂O, em kg ha⁻¹: 50-00-50 em 2016/2017; 100-00-120 em 2017/2018; 200-50-200 em 2018/2019, 250-60-250 em 2019/2020; 300-60-300 em 2020/2021. As doses dos fertilizantes foram parceladas em quatro aplicações, sendo realizada, em média, uma a cada quarenta dias, entre os meses de outubro e fevereiro de cada ano agrícola. As aplicações foram feitas de forma mecanizada (adubadora pendular – Vicon, com pêndulo especial para adubação em

duas faixas), distribuindo-se uniformemente as doses dos fertilizantes sob a projeção da copa das plantas de café.

3.2.4 Avaliações realizadas

As avaliações de umidade do solo, potencial hídrico foliar, teor relativo de água na folha e índice SPAD, foram realizadas no mesmo dia, sendo avaliadas nos meses de abril, julho e agosto de 2021, nos dias 24, 02 e 24 respectivamente.

3.2.4.1 Monitoramento da umidade do solo

O monitoramento da umidade do solo foi realizado mediante a retirada de uma amostra de solo das camadas de 0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60 m de profundidade, na projeção da saia das plantas de café, utilizando-se de um trado tipo tubular fechado. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e mantidas com temperatura controlada até o laboratório. A umidade foi determinada segundo método padrão (EMBRAPA, 1997), avaliou-se a massa úmida, em balança de precisão e mantiveram-se as amostras em estufa a 105 °C até peso constante, para a determinação do peso seco. Em seguida, calculou-se a umidade em base gravimétrica do solo (CGA), pela razão da diferença do peso úmido e seco peso seco. Calculou-se também a umidade em base volumétrica (CVA), multiplicando-se a umidade em base gravimétrica (CGA) pela densidade do solo (D_s), valores expressos em $m^3 m^{-3}$ (EMBRAPA, 1997).

3.2.4.2 Potencial hídrico foliar

O potencial hídrico foliar (Ψ_w) foi determinado utilizando câmara de Scholander, conforme descrito por Scholander *et al.* (1965) (Soil Moisture Equipment, Santa Bárbara, CA, EUA). As leituras foram realizadas no período “antemanhã”, através da coleta de duas folhas por planta, de oito plantas por parcela, sendo coletadas no terço médio do cafeeiro, do terceiro par de folhas dos ramos plagiotrópicos completamente expandido e isentos de pragas e doenças. A

leitura foi determinada quando ocorreu a exsudação pelo corte feito no pecíolo da folha.

3.2.4.3 Teor relativo de água

Foi determinado o teor relativo de água (TRA), coletando-se duas folhas por planta, de oito plantas por parcela folhas, do terço médio do cafeeiro, do terceiro par de folhas dos ramos plagiotrópicos completamente expandido e isentos de pragas e doenças.

Foram retirados seis discos foliares com diâmetro aproximado de 8 mm cada uma das folhas e imediatamente pesados em balança com precisão de 1 mg. Em seguida, foram colocados em frascos de vidro, completados com água destilada e levados à geladeira ($\pm 2^{\circ}\text{C}$). Após 24 horas, as superfícies dos discos foliares foram secas em papel toalha e pesadas novamente. Após esta operação o material foi colocado em estufa com circulação forçada de ar (60°C) até peso constante, obtendo-se assim a massa de matéria seca. O TRA foi calculado por intermédio da seguinte fórmula, conforme a metodologia apresentada por Jamaux *et al.* (1997):

$$\text{TRA} = [(M_f - M_s) / (M_t - M_s)] \times 100$$

Em que: TRA é o teor relativo de água (%), M_f corresponde a massa do tecido fresco (g), M_s é a massa de matéria seca do tecido seco (g) e M_t a massa do tecido túrgido (g).

3.2.4.4 Índice SPAD

A quantificação do índice de clorofila foi determinada utilizando-se um clorofilômetro portátil (SPAD 502DL Plus, Minolta, Japão). As leituras foram realizadas em três pontos de cada folha, sendo avaliadas duas folhas do terceiro par de folhas dos ramos plagiotrópicos, de oito plantas por parcela.

3.2.5 Análise estatística

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste LSD a 5% de probabilidade, auxílio do programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2011).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Relações hídricas solo-planta

O conteúdo de água no solo (CAS) foi influenciado pelos fatores estudados, nas três épocas avaliadas (Tabela 5). Na primeira avaliação em abril de 2021, pode-se observar influência apenas do sistema de manejo, para as camadas de 0,20-0,40 m e 0,40-0,60 m de profundidade, assim como na soma total das camadas (0-0,60 m). O manejo sem a aplicação de composto orgânico e sem o cultivo de braquiária nas entrelinhas (SC-SB) resultou no menor valor de CAS, nesta avaliação, os demais manejos foram superiores estatisticamente (Figura 3). Em julho de 2021, observou-se efeito significativo do fator gesso na camada de 0-0,10 m e da interação entre os fatores na camada de 0,20-0,40 m de profundidade. A aplicação de gesso (dose recomendada ou elevada) proporcionou maior quantidade de CAS na camada superficial do solo, já no desdobramento da interação, nota-se uma maior influência da dose elevada de gesso independente do sistema de manejo associado (Figura 3). Já em agosto de 2021, houve interação dos fatores estudados na camada de 0,20-0,40 m, e efeito isolado do fator gesso na camada de 0,40-0,60 m e da soma das camadas (0-0,60 m), em que a aplicação da dose elevada de gesso proporcionou maiores quantidades de CAS no solo (Figura 3).

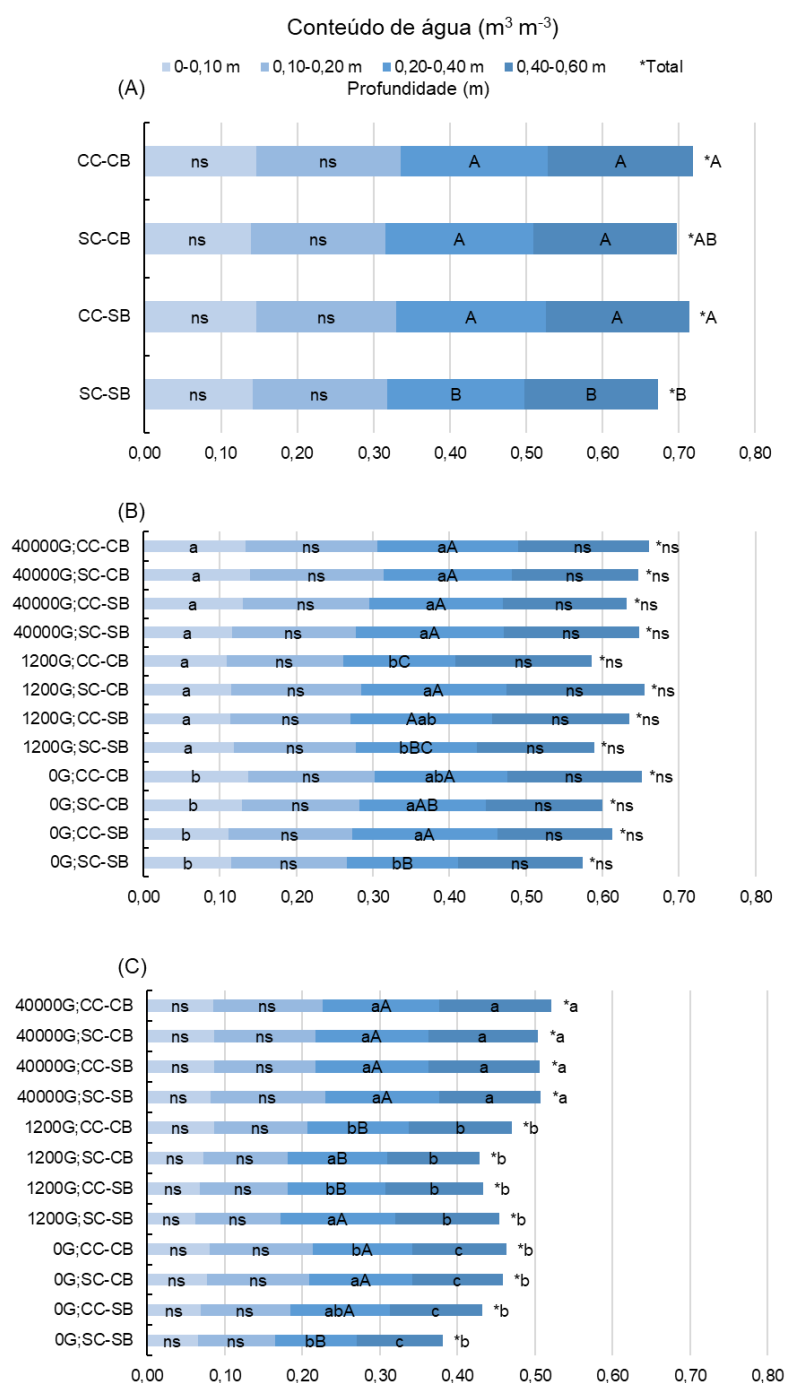
O conteúdo de água no solo pode ser influenciado pelas condições climáticas de temperatura e precipitação, pelas características químicas e físicas do solo, além da demanda fisiológica da planta (Dexter *et al.* 2008; Petry *et al.* 2007; Tormena *et al.* 1998; Santos *et al.* 2014; Matta; Ramalho, 2006; Matta; Rena, 2002). Os tratamentos influenciaram esta variável ao longo das épocas de coleta. Na avaliação de abril de 2021, observa-se os maiores valores de CAS, chegando próximo a $0,70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ de água e nas avaliações seguintes esse conteúdo diminuiu, chegando a menos de $0,40 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ de água na avaliação de agosto de 2021 (Figura 3).

Tabela 5 - Probabilidade de F e coeficiente de variação para o conteúdo de água no solo (CAS), nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60 m de profundidade e a soma das camadas (Total), realizadas em três épocas de avaliação, em função de doses de gesso agrícola e dos sistemas de manejo (composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas)

Fonte de variação	Profundidade (m)				Total
	0-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60	
Abril 2021					
Gesso (G)	0,481	0,785	0,918	0,084	0,389
Manejo (M)	0,663	0,187	0,021	0,042	0,037
G × M	0,162	0,993	0,851	0,098	0,399
CV(%)	9,4	9,3	5,9	5,6	5,0
Julho 2021					
Gesso (G)	0,003	0,489	0,156	0,299	0,096
Manejo (M)	0,093	0,696	0,113	0,580	0,439
G × M	0,109	0,777	0,005	0,431	0,279
CV(%)	9,1	11,4	9,5	12,3	6,9
Agosto 2021					
Gesso (G)	0,135	0,090	<0,001	<0,001	0,001
Manejo (M)	0,343	0,728	0,857	0,461	0,465
G × M	0,871	0,811	0,003	0,381	0,664
CV(%)	22,0	21,2	7,3	8,1	10,2

Nota-se que em abril de 2021, há efeito maior do sistema de manejo, com as maiores quantidades para a aplicação de composto e o cultivo de braquiária nas entrelinhas, ambos, isolados ou associados (Tabela 5; Figura 3). Isso demonstra que a adição de resíduos orgânicos, seja de material compostado ou da biomassa verde da braquiária, pode promover a manutenção da umidade do solo para o cafeeiro. Estas melhorias são possivelmente pela elevação nos teores de MOS, como apontado por Silva e Kay (1997), que destacam que a MOS pode aumentar a capacidade de retenção de água, favorecendo a infiltração e a estabilidade dos agregados do solo. Os autores ainda acrescentam que a MOS está associada à formação de agregados, que por sua vez, têm papel importante na distribuição e no tamanho dos poros, que influenciam na retenção de água no solo (Bronick; Lal, 2015; Seidel *et al.*, 2014; Serafim *et al.*, 2013). Portanto, a MOS exerce papel fundamental na retenção de água no solo, sendo que, os solos arenosos são mais sensíveis e com menor capacidade de retenção, devido a pequena quantidade da fração argila, quando comparado a solos mais argilosos, que possuem textura mais fina (Silva; Mendonça, 2007).

Figura 3 - Conteúdo de água no solo (CAS), avaliado em abril (A), julho (B) e agosto (C) de 2021, nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60 m de profundidade e a soma das camadas (Total), em função de doses gesso (0G: 0 kg ha⁻¹; 1200G: 1.200 kg ha⁻¹; 40000G: 40.000 kg ha⁻¹) e dos sistemas de manejo (SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas). Letras distintas, minúsculas para o fator gesso, isolado ou dentro de cada nível do fator sistema de manejo, e maiúsculas para o fator sistema de manejo, isolado ou dentro de cada nível do fator gesso, indicam diferença estatística pelo teste LSD a 5% de probabilidade. ns: não significativo



A combinação da aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas, isolado ou associado, proporcionou maior CAS, diferindo apenas do manejo SC-SB (Figura 3A). Segundo Guimarães *et al.* (2014), os solos com cafeeiros sob sistema orgânico apresentaram maior umidade e menor resistência à penetração, quando comparados à lavoura convencional, pelo aporte de material orgânico proporcionado por esse sistema. Nessa ótica, Chemura (2014) relata que o uso de composto orgânico melhora o desempenho e o crescimento de cafeeiros jovens submetidos a baixos níveis de água. E ainda, estudos indicam que a cobertura do solo com braquiária pode reduzir a perda de água em até 49% durante os períodos secos, para a camada 0-0,10 m, além de manter a temperatura do solo mais estável (Pedrosa, 2013). Portanto, a utilização de resíduos que elevem a MOS, pode refletir em uma maior retenção de água, devido a melhoria na estruturação do solo, além de que, a MOS poder reter até vinte vezes a sua massa em água (Stevenson, 1994) e ainda, promovem a cobertura do solo, com a redução da evaporação e temperatura.

Há estudos que apontam um maior efeito do cultivo de braquiária nas entrelinhas sobre o CAS. Segundo Rocha *et al.*, (2014), houve um aumento médio de 18% na água prontamente disponível do solo, em função do cultivo do cafeeiro com braquiária. Estes efeitos observados podem ter relação com o sistema radicular da braquiária, que favorece a estruturação do solo, além da proteção térmica do resíduo na superfície do solo (Pedrosa, 2013; Rocha *et al.* 2014). Contudo, no presente estudo, não notou-se efeito tão acentuado no CAS com relação ao cultivo de braquiária nas entrelinhas. A ausência de respostas mais proeminentes pode estar relacionada a condução destas plantas. Ambas as plantas de cobertura (braquiária e de crescimento espontâneo) eram ceifadas duas vezes por ano, nos meses de janeiro e abril, e, após a segunda ceifa, o solo da entrelinha permanecia sem a presença delas até o mês de outubro, em detrimento da limpeza (arruação) para a colheita. O que pode ter corroborado para um menor efeito no período avaliado (abril a agosto).

Na avaliação de julho de 2021, o efeito do gesso foi determinante na camada superficial (0-0,10 m), com destaque tanto para a dose recomendada quando elevada (Figura 3B). Na avaliação de agosto de 2021, pode-se observar a influência da aplicação da dose elevada de gesso sobre o CAS, sendo superior nas camadas

mais profundas (0,20-0,40 e 0,40-0,60 m) e principalmente no somatório das camadas (Figura 3C). Essa maior quantidade de água armazenada, pode ter relação com os benefícios promovidos pelo gesso no perfil do solo. Segundo Raij (2008), o gesso proporciona o aprofundamento radicular, favorecendo assim a absorção de água e nutrientes nas camadas mais profundas, conferindo maior resistência em períodos de seca. O gesso tem característica de melhorar o ambiente químico, diminuindo a toxicidade de Al^{3+} e fornecendo Ca^{2+} e SO_4^{2-} , que melhora o desenvolvimento do sistema radicular (Crusciol *et al.*, 2019; Ramos *et al.*, 2013; Serafim *et al.*, 2011). Assim, estudos evidenciam que a aplicação de gesso traz melhorias ao solo e aumenta a tolerância das plantas a períodos de seca (Carducci *et al.*, 2015; Serafim *et al.*, 2011).

Outra ação do gesso é sobre as propriedades físicas do solo, como aeração, porosidade e agregação das partículas (Carducci *et al.*, 2017; Serafim *et al.*, 2011; Silva *et al.*, 2013). Sendo assim, a aplicação da dose elevada de gesso, pode ter contribuído para a melhoria da porosidade do solo, em especial a microporosidade, que é muito vantajosa para o sistema produtivo, pois são os microporos, os responsáveis por reter a água disponível para as plantas (Brady; Weil, 2008). Silva *et al.* (2015), avaliando a faixa crítica de umidade do solo para a cultura de café em um latossolo oxídico, sob diferentes formas de manejo, verificou que ao longo do perfil do solo (0,15-0,70 m), o tratamento com aplicação de 28.000 kg ha⁻¹ de gesso, com adicional de braquiária nas entrelinhas (cortadas periodicamente), apresentou maior intervalo de água menos limitante (LLWR), sendo explicado pela maior incorporação de material orgânico, associado à fertilização com Ca^{2+} , implicando em melhores condições físicas, que favoreceram à expansão das raízes em profundidade. Vale ressaltar que este LLWR é definido como o intervalo do CAS, no qual essas restrições físicas ao crescimento da planta são mínimas (Da Silva *et al.* 1994).

O potencial hídrico foliar (Ψ_w) foi influenciado apenas nas avaliações de julho e agosto de 2021, com efeito isolado do gesso, sem modificações na avaliação de abril (Tabela 6). Na avaliação de julho nota-se o menor valor para a aplicação da dose elevada de gesso, contudo, estatisticamente igual a dose recomendada (Figura 4B). Já na avaliação de agosto, o menor valor é observado para a aplicação da dose elevada de gesso (Figura 4C). Em relação ao índice relativo de água (TRA), observou-se um efeito significativo da aplicação de gesso em abril e julho de 2021,

enquanto, em agosto de 2021, houve interação entre os fatores (Tabela 6). Nos meses de abril e julho, o TRA foi significativamente influenciado pela aplicação da dose elevada de gesso, proporcionando maior teor relativo de água (Figuras 5A e 5B). No desdobramento da interação entre os fatores estudados, verificou-se que a dose elevada de gesso, associada aos manejos SB-SC, CC-SB e SC-CB, proporcionou as maiores percentagens de TRA (Figura 5C). Quanto ao índice relativo de clorofila (SPAD), as avaliações de julho e agosto de 2021 evidenciaram que a aplicação de gesso proporcionou efeito significativo sobre esse parâmetro (Tabela 5). Em julho de 2021, a dose recomendada e a elevada de gesso proporcionaram os valores mais altos de SPAD (Figura 6B), já em agosto de 2021, a aplicação da dose elevada de gesso resultou no maior valor de SPAD (Figura 6C).

Tabela 6 - Probabilidade de F e coeficiente de variação para o potencial hídrico (Ψ_w), teor relativo de água (TRA) e o índice relativo de clorofila (SPAD) nas folhas, realizadas em três épocas de avaliação, em função de doses de gesso agrícola e dos sistemas de manejo (composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas)

Fonte de variação	Ψ_w	TRA	SPAD
Abril 2021			
Gesso (G)	0,081	<0,001	0,999
Manejo (M)	0,322	0,703	0,336
G × M	0,992	0,348	0,503
CV(%)	-17,2	4,3	2,1
Julho 2021			
Gesso (G)	0,029	0,004	0,004
Manejo (M)	0,392	0,715	0,308
G × M	0,881	0,480	0,820
CV(%)	-21,8	4,4	2,9
Agosto 2021			
Gesso (G)	<0,001	<0,001	<0,001
Manejo (M)	0,556	0,115	0,396
G × M	0,738	0,018	0,867
CV(%)	-35,9	5,2	2,6

Os resultados do potencial hídrico foliar (Ψ_w), do teor relativo de água na folha (TRA) e do índice SPAD, juntamente com o conteúdo de água no solo (CAS), estão inter-relacionados. Observa-se que, em abril de 2021, todos os parâmetros avaliados estavam dentro de uma faixa adequada, indicando um ambiente sem limitações hídricas e sem respostas fisiológicas negativas das plantas. Isso provavelmente se deve às chuvas que ocorreram nos dias anteriores à avaliação

(Figura 1) e ao acumulado de mais de 300 mm de precipitação nos três meses anteriores (Tabela 1). Essas condições favoreceram a manutenção do CAS, evitando respostas fisiológicas adversas em relação ao Ψ_w , ao TRA e ao índice SPAD.

Na avaliação de julho, já houve redução do CAS (Figura 3B), e consequentemente, o início das respostas fisiológicas negativas, bem como maior efeito da aplicação de gesso na atenuação desses efeitos fisiológicos. Houve um menor Ψ_w tanto na dose recomendada quanto na dose elevada de gesso, e para o TRA e o índice SPAD, a dose elevada proporcionou os melhores efeitos (Figura 4B, 5B e 6B). Portanto, com o avanço para o período mais seco do ano e com a redução da precipitação, os efeitos negativos da restrição hídrica entram em cena. A baixa disponibilidade hídrica, afeta o crescimento das plantas, uma vez que a água, é fator principal nas reações metabólicas e dos processos de transporte, translocação de fotoassimilados, turgescência celular e abertura e fechamento dos estômatos (Taiz; Zeiger, 2013).

Sob condições de menor disponibilidade hídrica, Peloso, Tatagiba e Amaral (2017), observaram que o crescimento do cafeeiro é significativamente reduzido, com menor altura de plantas e área foliar. Esse impacto negativo é amplificado em solos com baixa capacidade de retenção de água, o que reforça a importância da aplicação de gesso como uma estratégia de manejo para mitigar os efeitos do estresse hídrico, principalmente, em cafeeiro conduzidos em sequeiro.

A avaliação realizada em agosto de 2021, foi o momento que teve-se o maior estresse hídrico sobre as plantas e percebeu-se claramente como a adoção de práticas de manejo sustentáveis podem auxiliar na redução destes efeitos negativos. A avaliação ocorreu em um período que a cultura estava a mais 20 dias sem precipitações (Figura 1). A aplicação da dose elevada de gesso promoveu a manutenção do CAS (Figura 3C). Ao analisar mais detalhadamente esta mesma figura, nota-se o secamento do solo nas camadas superficiais (0-0,10 e 0,10-0,20 m), sem efeito significativo para nenhum fator. Segundo Hu *et al.* (2010), a falta de precipitação por um longo período, afeta com maior variação de umidade as camadas superficiais do solo, uma vez que fatores climáticos como radiação solar, vento e temperatura são mais ativos em superfície, afetando o CAS.

A manutenção do CAS, promovida pela aplicação da dose elevada de gesso, também assegurou a preservação dos processos hídricos das plantas. Isso é

evidente pelo menor valor de Ψ_w , que reflete uma menor pressão exercida para extravasar o conteúdo celular (Figura 4C), indicando uma maior quantidade de água nas folhas. Esse dado foi confirmado pela maior porcentagem do TRA nas folhas, observada no tratamento com aplicação da dose elevada de gesso (Figura 5C). Portanto, ambos os parâmetros analisados (Ψ_w e TRA) indicam que as plantas estavam menos estressadas, sendo resultado direto do manejo adotado. Esses resultados mostram que a planta conseguiu absorver e transportar água eficientemente do solo para as partes aéreas.

Ao analisar os valores de potencial hídrico foliar (Ψ_w), em agosto, observou-se diferença expressiva entre as plantas sem aplicação de gesso (-0,48 MPa) e as que receberam a dose elevada de gesso (-1,87 MPa) (Figura 4C), resultando em uma redução de 73,8% no valor de Ψ_w . Essa diferença é significativa e indica que as plantas sob o manejo com gesso mantiveram uma maior eficiência na absorção e transporte de água, mesmo durante o período mais seco do ano. Silva *et al.* (2019), em estudo similar com cafeeiros sob diferentes doses de gesso, também observaram que agosto foi o período mais crítico em termos de déficit hídrico, o que é coerente com os resultados do presente estudo. Os autores relataram valores de -1,26 MPa (ausência de gesso), -1,08 MPa (7.000 kg ha⁻¹ de gesso) e -1,16 MPa (28.000 kg ha⁻¹ de gesso), demonstrando que, apesar de condições distintas de solo (argiloso), o comportamento foi semelhante, com menores valores de Ψ_w associados à aplicação de gesso.

Esses resultados evidenciam o papel do gesso como um atenuador do estresse hídrico, especialmente em condições de sequeiro. O valor de -1,87 MPa indica que, embora o estresse hídrico estivesse presente, ele teoricamente não estava limitando o desenvolvimento do cafeeiro, uma vez que danos mais severos foram observados com valores de Ψ_w menores que -2,5 MPa, conforme Silva *et al.* (2009), onde houve redução no número de flores e na produção de grãos. Estudos anteriores também sugerem que a produtividade é impactada com potenciais hídricos de -2,3 MPa (Guerra *et al.*, 2005), contudo, Soares *et al.* (2005), observou reduções no estabelecimento floral e na quantidade de frutos colhidos com valores próximos de -1,8 Mpa. Assim, há alguns dados controversos na literatura, sobre os valores de Ψ_w , e seus impactos reais sobre as plantas. Variações de Ψ_w entre -1,26 a -4,00 MPa para o cafeeiro de sequeiro na região do Cerrado são observadas (Guerra *et al.*, 2005; Kobayashi *et al.*, 2008; Silva *et al.*, 2009; Silva *et al.* 2019), e há

diferentes respostas das plantas. Contudo, reforçam que a adoção de práticas de manejo podem minimizando os efeitos do estresse hídrico, como o uso do gesso, promove condições mais favoráveis ao desenvolvimento do cafeeiro.

A relação entre a absorção de água do solo e os parâmetros fisiológicos das folhas é fundamental para a sobrevivência das plantas, especialmente em ambientes com seca sazonal, como os ecossistemas subtropicais onde estão inseridos grande parte da cafeicultura mundial (Bunn *et al.*, 2015; Matiello *et al.*, 2016; Alemu; Dufera, 2017; DaMatta *et al.*, 2018). Em plantas que enfrentam essas condições, o acesso das raízes a fontes de água mais profundas, desempenha um papel crucial na manutenção dos processos fisiológicos e na sobrevivência em períodos de escassez hídrica (Carducci *et al.*, 2015; Serafim *et al.*, 2011).

Ding *et al.* (2021), avaliaram 11 espécies lenhosas um estudo de exclusão de chuva por 135 dias. O estudo revelou que a profundidade de absorção de água do solo influenciou diretamente o Ψ_w , em que as espécies com raízes mais superficiais, que acessavam água em camadas rasas, apresentaram Ψ_w mais negativos, ocasionando severa desfolha e até mortalidade do dossel. Em contraste, as espécies com raízes mais profundas, que acessavam fontes de água profundas, apresentam os valores de Ψ_w menos negativos e sobreviveram à seca com apenas uma desfolha moderada. Portanto a diversos relatos na literatura, evidenciando a absorção de água e os parâmetros fisiológicos, principalmente, em detrimento do melhor desenvolvimento do sistema radicular em profundidade, sendo benéfico e que deve ser almejado (Ding *et al.*, 2021; Carducci *et al.*, 2015; Serafim *et al.*, 2011; Bossolani *et al.*, 2021; Maciel, *et al.*, 2020; Mauri *et al.*, 2020; León-burgos; Unigarro; Balaguera-lópez, 2022).

Outro parâmetro fisiológico que foi avaliado e apresentou resposta positiva foi o índice SPAD. Pode-se interpretar o maior valor do índice SPAD, observado com a aplicação da dose elevada de gesso, como uma resposta fisiológica positiva da planta (Figura 6C). Em que houve a manutenção dos seus processos metabólicos, mantendo a absorção e utilização da energia luminosa nos cloroplastos, que foi aferida indiretamente, pela intensidade da cor verde mensurada pelo índice SPAD.

Analisando os parâmetros, CAS, Ψ_w , TRA e índice SPAD ao longo de 2021, pode-se observar que a aplicação de gesso, especialmente em dose elevada, desempenhou um papel essencial na mitigação do estresse hídrico em plantas, complementada por um manejo de solo adequado. Os resultados obtidos nas três

épocas de avaliação mostram que o gesso não só melhora as condições hídricas do solo, como também sustenta os processos fisiológicos das plantas, principalmente durante os períodos de maior déficit hídrico, como observado em julho e agosto de 2021. Esses efeitos evidenciam o potencial do gesso como uma ferramenta eficaz no aumento da resiliência das plantas frente a períodos de seca.

Figura 4 - Potencial hídrico foliar (Ψ_w), avaliado em abril (A), julho (B) e agosto (C) de 2021, no período antemanhã, em função de doses gesso (0G: 0 kg ha⁻¹; 1200G: 1.200 kg ha⁻¹; 40000G: 40.000 kg ha⁻¹) e dos sistemas de manejo (SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas). Letras distintas, minúsculas para o fator gesso, isolado ou dentro de cada nível do fator sistema de manejo, e maiúsculas para o fator sistema de manejo, isolado ou dentro de cada nível do fator gesso, indicam diferença estatística pelo teste LSD a 5% de probabilidade

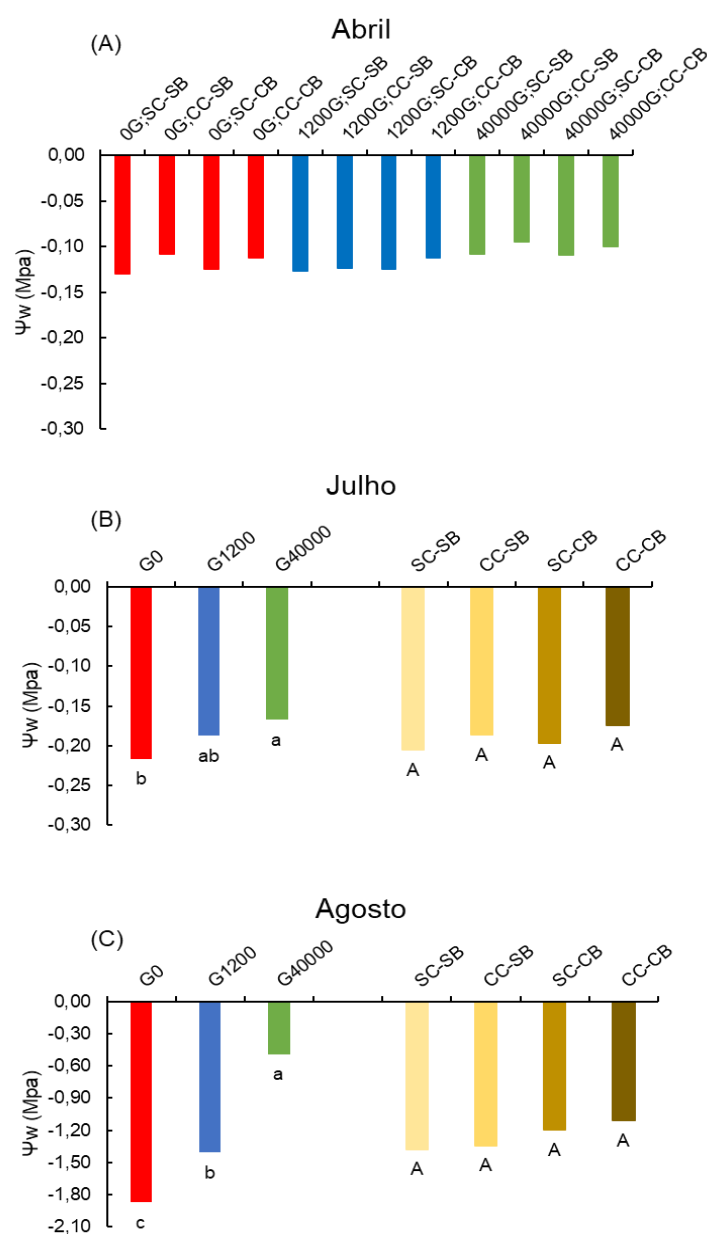


Figura 5 - Teor relativo de água (TRA), avaliado em abril (A), julho (B) e agosto (C) de 2021), em função de doses gesso (0G: 0 kg ha⁻¹; 1200G: 1.200 kg ha⁻¹; 40000G: 40.000 kg ha⁻¹) e dos sistemas de manejo (SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas). Letras distintas, minúsculas para o fator gesso, isolado ou dentro de cada nível do fator sistema de manejo, e maiúsculas para o fator sistema de manejo, isolado ou dentro de cada nível do fator gesso, indicam diferença estatística pelo teste LSD a 5% de probabilidade

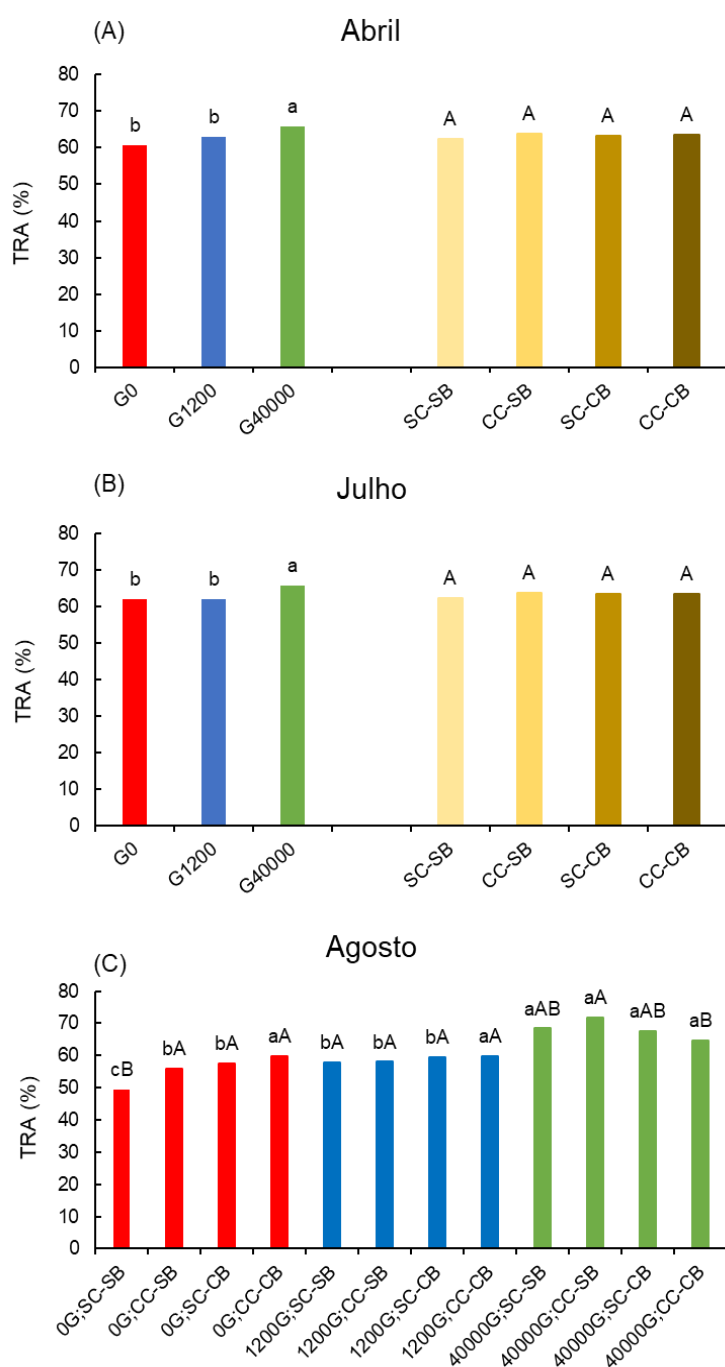
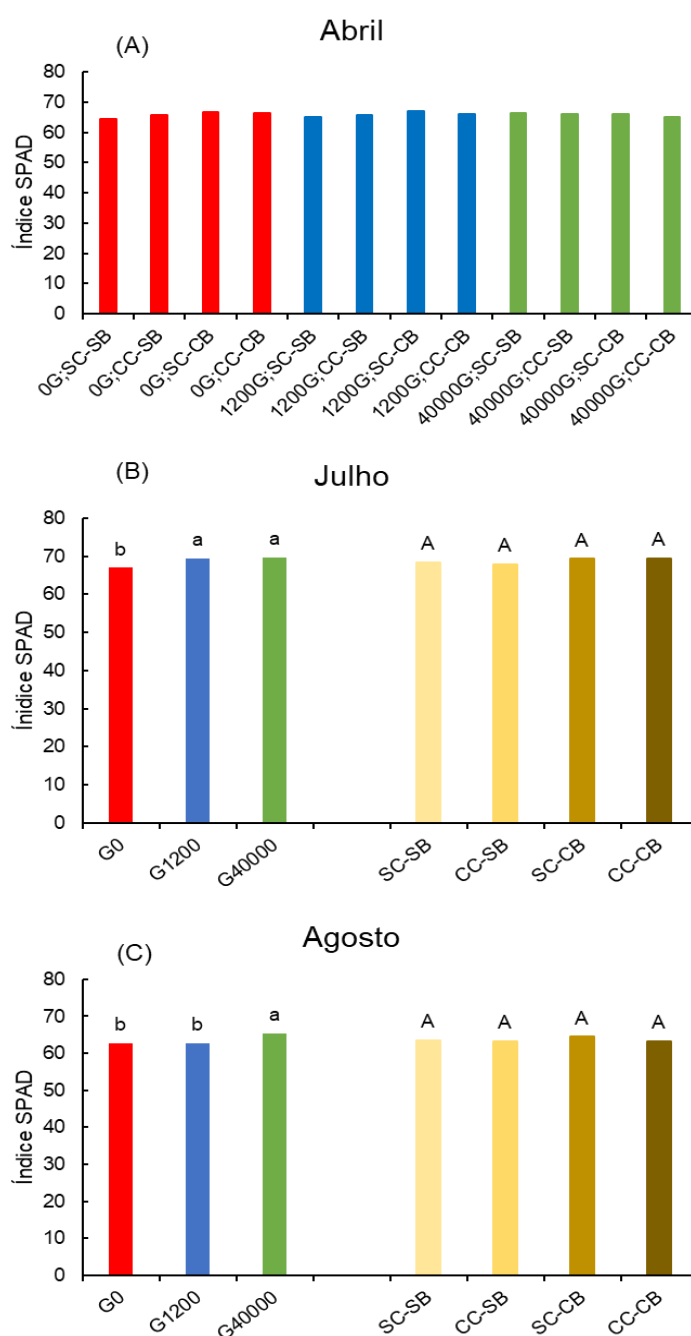


Figura 6 - Índice SPAD, avaliado em abril (A), julho (B) e agosto (C) de 2021, em função de doses gesso (0G: 0 kg ha⁻¹; 1200G: 1.200 kg ha⁻¹; 40000G: 40.000 kg ha⁻¹) e dos sistemas de manejo (SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas). Letras distintas, minúsculas para o fator gesso, isolado ou dentro de cada nível do fator sistema de manejo, e maiúsculas para o fator sistema de manejo, isolado ou dentro de cada nível do fator gesso, indicam diferença estatística pelo teste LSD a 5% de probabilidade



3.4 CONCLUSÕES

As relações hídricas solo-planta foram influenciadas pelos fatores climáticos e as práticas de manejo podem atenuar esses efeitos.

A aplicação da dose elevada de gesso promoveu a manutenção do conteúdo de água no solo, em período de déficit hídrico, e manteve os processos fisiológicos da planta em ação. A aplicação da dose elevada de gesso reduziu o potencial hídrico foliar, promoveu a manutenção do teor relativo de água na folha e do índice SPAD.

O sistema de manejo com a aplicação de composto orgânico e o cultivo de braquiária nas entrelinhas influenciou pouco nestes atributos hídricos solo-planta.

REFERÊNCIAS

- ALEMU, A.; DUFERA, E. Climate smart coffee (*Coffea arabica*) production. **American Journal of Data Mining and Knowledge Discovery**, v. 2, p. 62-68, 2017.
- APARECIDO, L. E. O.; ROLIM, G. S.; SOUZA, P. S. Sensitivity of newly transplanted coffee plants to climatic conditions at altitudes of Minas Gerais, Brazil. **Australian Journal of Crop Science**, v. 9, p. 160-167, Jan. 2015.
- BAPTISTELLA, J. L. C.; DE ANDRADE, S. A. L.; FAVARIN, J. L.; MAZZAFERA, P. Urochloa in tropical agroecosystems. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 4, a. 119, 2020.
- BIZARI, D. R.; MATSURA, E. E.; ROQUE, M. W.; SOUZA, A. L. D. Consumo de água e produção de grãos do feijoeiro irrigado em sistemas plantio direto e convencional. **Ciência Rural**, v. 39, p. 2073-2079, out. 2009.
- BOSSOLANI, J. W.; CRUSCIOL, C. A. C.; GARCIA, A.; MORETTI, L. G.; PORTUGAL, J. R.; RODRIGUES, V. A.; FONSECA, M. C.; CALONEGO, J. C.; CAIRES, E. F.; AMADO, T. J. C.; REIS, A. R. D. Long-term lime and phosphogypsum amended-soils alleviates the field drought effects on carbon and antioxidative metabolism of maize by improving soil fertility and root growth. **Frontiers in Plant Science**, v.12, p. 1437, 2021.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The nature and properties of soils**. 14th ed. New Jersey: Prentice Hall. 2008.
- BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: A review. **Geoderma**, v. 124, p. 3-22, 2005.
- BUNN, C.; LÄDERACH, P.; PÉREZ JIMENEZ, J. G.; MONTAGNON, C.; SCHILLING, T. Multiclass classification of agro-ecological zones for Arabica coffee: an improved understanding of the impacts of climate change. **PLoS One**, v. 10, p. e0140490, 2015.
- CAIRES, E. F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 275-286, 2003.
- CAMARGO, M. B. P. de. The impact of climatic variability and climate change on arabic coffee crop in Brazil. **Bragantia**, v. 69, p. 239-247, 2010.
- CARDUCCI, C. E., OLIVEIRA, G. C., CURI, N., HECK, R. J., ROSSONI, D. F., DE CARVALHO, T. S., COSTA, A. L. Gypsum effects on the spatial distribution of coffee roots and the pores system in oxidic Brazilian Latosol. **Soil and Tillage Research**, v. 145, p. 171-180, 2015.
- CARDUCCI, C. E.; ZINN, Y. L.; ROSSONI, D. F.; HECK, R. J.; OLIVEIRA, G. C. Visual analysis and X-ray computed tomography for assessing the spatial variability

of soil structure in a cultivated Oxisol. **Soil and Tillage Research**, v. 173, p. 15-23, 2017.

CARVALHO, H. P. Balanço hídrico climatológico, armazenamento efetivo da água no solo e transpiração na cultura de café. **Bioscience Journal**, v. 27, p. 221-229, 2011.

CHEMURA, A. The growth response of coffee (*Coffea arabica* L) plants to organic manure, inorganic fertilizers and integrated soil fertility management under different irrigation water supply levels. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, v. 3, p. 59, 2014.

CIIAGRO. Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas. **Boletins Agroclimáticos do Estado de São Paulo**. Instituto Agrônomo de Campinas – IAC. Disponível em < <http://www.ciiagro.org.br/diario/cperiodo> > Acesso em março de 2024.

COSTA, C. H. M.; CARMEIS FILHO, A. C. A.; CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; GUIMARÃES, T. M. Intensive annual crop production and root development in a tropical acid soil under long-term no-till and soil-amendment management. **Crop and Pasture Science**, v. 69, 488-505, 2018.

CRUSCIOL, C. A. C.; MARQUES, R. R.; CARMEIS FILHO, A. C. A.; SORATTO, R. P.; COSTA, C. H. M.; FERRARI NETO, J.; CASTRO, G. S. A.; PARIZ, C. M.; CASTILHOS, A. M.; FRANZLUEBBERS, A. J. Lime and gypsum combination improves crop and forage yields and estimated meat production and revenue in a variable charge tropical soil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 115, p. 347-372, 2019.

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. D. P.; MONTANARI, R.; ANDREOTTI, M.; BEM, E. A. D. Inter-relações da produtividade de cana soca com a resistência à penetração, umidade e matéria orgânica do solo. **Revista Ceres**, v. 61, p. 255-264, 2014.

DAMATTA, F. M.; AVILA, R. T.; CARDOSO, A. A.; MARTINS, S. C.; RAMALHO, J. C. Physiological and agronomic performance of the coffee crop in the context of climate change and global warming: A review. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 66, p. 5264-5274, 2018.

DAVIS, A. P., GOLE, T. W., BAENA, S., MOAT, J. The impact of climate change on indigenous arabica coffee (*Coffea arabica*): predicting future trends and identifying priorities. **Plos One**, v. 7, p. e47981, 2012.

DEXTER, A. R.; CZYZ, F. A.; RICHARD, G.; RESZKOWSKA, A. A user-friendly water retention function that takes account of the textural and structural pore spaces in soil. **Geoderma**, v. 143, p. 243-253, 2008.

DING, Y.; NIE, Y.; CHEN, H.; WANG, K.; QUEREJETA, J. I. Water uptake depth is coordinated with leaf water potential, water-use efficiency and drought vulnerability in karst vegetation. **New Phytologist**, v. 229, p. 1339-1353, 2021.

EMBRAPA. **Manual de análises de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA/SNCS, 1997. 212p.

FAGUNDES, A. V.; GARCIA, A. W. R.; MATIELLO, J. B.; RAMOS, S. V. **Altas doses de gesso (irrigação branca) na formação e produção do cafeeiro**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 42., 2016, Serra Negra – SP. Anais... 42º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 2016.

FERRAZ, R. M. **Efeitos a longo prazo da aplicação de altas doses de gesso nas características químicas em perfil de latossolo cultivado com café**. 2017. 50 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.

FERREIRA, D. F. Sisvar: A computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, p. 1039-1042, 2011.

GUERRA, A. F.; ROCHA, O. C.; RODRIGUES, G. C. Manejo do cafeeiro irrigado no Cerrado com estresse hídrico controlado. **Irrigação & Tecnologia Moderna**, v. 65, p. 42-45, 2005.

GUIMARÃES, G. P., MENDONÇA, E. D. S., PASSOS, R. R., ANDRADE, F. V. Soil aggregation and organic carbon of Oxisols under coffee in agroforestry systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 278-287, jan./fev. 2014.

HU, W.; SHAO, M.; HAN, F.; REICHARDT, K.; TAN, J. Watershed scale temporal stability of soil water content. **Geoderma**, v. 158, p. 181-198, 2010.

JAMAUX, I.; STEINMETZ, A.; BELHASSEN, E. Looking for molecular and physiological markers of osmotic adjustment in sunflower. **New Phytologist**, Chichester, v.137, n.1, p.117-127, 1997.

KOBAYASHI, E. S.; SAKAI, E.; SILVA, E. A. D.; ARRUDA, F. B.; SILVEIRA, J. M. D. C.; SOUZA, P. S. D.; PIRES, R. C. D. M. Seasonal changes in coffee leaf water potential in Mococa, São Paulo State, Brazil. **Bragantia**, v. 67, p. 421-428, 2008.

LEÓN-BURGOS, A. F.; UNIGARRO, C.; BALAGUERA-LÓPEZ, H. E. Can prolonged conditions of water deficit alter photosynthetic performance and water relations of coffee plants in central-west Colombia?. **South African Journal of Botany**, v. 149, p. 366-375, 2022.

LOMBARDI NETO, F.; DRUGOWICH, M. I. (coords). **Manual técnico de manejo e conservação de solo e água**. V. III CATI. Campinas: CATI, 1994. P.121-156. Manual Técnico, 40.

MACIEL, D. A.; SILVA, V. A.; ALVES, H. M. R.; VOLPATO, M. M. L.; BARBOSA, J. P. R. A. D.; SOUZA, V. C. O. D.; SANTOS, M. O.; SILVEIRA, H. R. D. O.; DANTAS, M. F.; FREITAS, A. F. D.; CARVALHO, G. R.; SANTOS, J. O. Leaf water potential of coffee estimated by landsat-8 images. **Plos One**, v. 15, p. e0230013, 2020.

MARTINS, E., APARECIDO, L. E. D. O., SANTOS, L. P. S., MENDONÇA, J. M. A. D., SOUZA, P. S. D. Influência das condições climáticas na produtividade e

qualidade do cafeeiro produzido na região do Sul de Minas Gerais. **Coffee Science**, v. 10, p. 499-506, 2015.

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; ALMEIDA, S. R.; GARCIA, A. W. R. **Cultura de Café no Brasil: manual de recomendações**. São Paulo: Fundação Procafé, 2016.

MATTA, F. M. da; RAMALHO, J. D. C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 18, p. 55-81, 2006.

MATTA, F. M. da; RENA, A. B. **Relações hídricas no cafeeiro**. [S.l.: s.n.], 2002.

MAURI, R.; CARDOSO, A. A.; DA SILVA, M. M.; OLIVEIRA, L. A.; AVILA, R. T.; MARTINS, S. C.; DAMATTA, F. M. Leaf hydraulic properties are decoupled from leaf area across coffee species. **Trees**, v. 34, p. 1507-1514, 2020.

PEDROSA, A. W. **Eficiência da adubação nitrogenada no consórcio entre cafeeiro e Brachiaria brizantha**. Tese de Doutorado. ESALQ/USP, 73p. 2013.

PEDROSA, A. W.; FAVARIN, J. L.; VASCONCELOS, A. D.; CARVALHO, B. V.; OLIVEIRA, F. B.; NEVES, G. B. Brachiaria residues fertilized with nitrogen in coffee fertilization. **Coffee Science**, v. 9, p. 366-373, 2014.

PELOSO, A. F.; TATAGIBA, S. D.; AMARAL, J. F. T. Limitações do crescimento vegetativo em cafeeiro arábica promovido pelo déficit hídrico. **Revista engenharia na Agricultura**, v. 25, p. 139-147, 2017.

PETRY, M. T.; ZIMMERMMANN, F. L.; CARLESSO, R.; MICHELON, C. J.; KUNZ, J. H. Disponibilidade de água do solo ao milho cultivado sob sistemas de semeadura direta e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 531-539, 2007.

PIZETTA, S. C.; LOPES, R. P.; PEREIRA, C. F.; MANTOVANI, E. C.; FRANÇA, G. E. Análise do crescimento do cafeeiro arábica, em relação à fração de água transpirável do solo. **Coffee Science**, v. 1, p. 46-54, jan./mar. 2016.

RAGASSI, C. F.; PEDROSA, A. W.; FAVARIN, J. L. Aspectos positivos e riscos no consórcio cafeeiro e braquiária. **Visão Agrícola**, v. 8, p. 29-32, 2013.

RAIJ, B. V. **Gesso na agricultura**. Campinas: Instituto Agronômico, 2008. 233p.

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 284p.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1997. p. 97-101. (Boletim Técnico, 100).

ROCHA, O. C.; GUERRA, A. F.; RAMOS, M. L. G.; DA SILVA OLIVEIRA, A.; BARTHOLO, G. F. Qualidade físico-hídrica de um latossolo sob irrigação e

braquiária em lavoura de café no cerrado. **Coffee Science**, v. 9, p. 516-526, out./dez. 2014.

RODRIGUES, J. C.; CARMO, D. L. D.; NANNETTI, D. C.; MARQUES, H.; PEREIRA, R. A. (2015). **Relação Ca/Mg no solo e produtividade do cafeeiro em função de elevadas doses de gesso agrícola**. In: Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 9., 2015, Curitiba – PR. Anais... IX Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil IX 2015.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J.B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Revisada e atualizada. Brasília: Embrapa, 2013.

SANTOS, W. J. R.; SILVA, B. M.; OLIVEIRA, G. C.; VOLPATO, M. M. L.; LIMA, J. M.; CURI, N.; MARQUES, J. J. Soil moisture in the root zone and its relation to plant vigor assessed by remote sensing at management scale. **Geoderma**, v. 221-222, p. 91-95. 2014.

SCHOLANDER, P. F.; J HAMMEL, H.; HEMMINGSEN, E. A.; BRADSTREET, E. D. Sap pressure in vascular plants. **Science**, v. 148, p. 339-46, 1965.

SEIDEL, E. P.; GERHARDT, I. F. S.; CASTAGNARA, D. D.; NERES, M. A. Efeito da época e sistema de semeadura da Brachiaria brizantha em consórcio com o milho, sobre os componentes de produção e propriedades físicas do solo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, p. 55-66, jan./fev. 2014

SERAFIM, M. E.; OLIVEIRA, G. C.; LIMA, J. M.; SILVA, B. M.; ZEVIANI, W. M.; LIMA, V. M. Disponibilidade hídrica e distinção de ambientes para cultivo de cafeeiros. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 362-370, abr. 2013.

SERAFIM, M. E.; OLIVEIRA, G. C.; OLIVEIRA, A. S.; LIMA, J. M.; GUIMARÃES, P. T. G.; COSTA, J. C. Sistema conservacionista e de manejo intensivo do solo no cultivo de cafeeiros na região do alto São Francisco, MG: um estudo de caso. **Bioscience Journal**, v. 27, p. 964-977, 2011.

SILVA, A. P.; KAY, B. D. Estimating the least limiting water range of soils from properties and management. **Soil Science Society Journal**, v. 61, p. 877-883, 1997.

SILVA, A. P.; KAY, B. D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range of soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, p. 1775-1781, 1994.

SILVA, B. M.; OLIVEIRA, G. C.; SERAFIM, M. E.; SILVA, E. A.; FERREIRA, M. M. NORTON, L. D.; CURI, N. Critical soil moisture range for a coffee crop in an oxidic latosol as affected by soil management. **Soil and Tillage Research**, v. 154, p. 103-113, 2015.

SILVA, B. M.; OLIVEIRA, G.C; SERAFIM, M.E.; SILVA, É. A.; GUIMARÃES, P. T. G.; MELO, L. B. B.; NORTON, L. D.; CURI, N. Soil moisture associated with least limiting

water range, leaf water potential, initial growth and yield of coffee as affected by soil management system. **Soil and Tillage Research**, v. 189, p. 36-43, 2019.

SILVA, E. A. D.; BRUNINI, O.; SAKAI, E.; ARRUDA, F. B.; PIRES, R. C. D. M. Influence of controlled water deficits on flowering synchronization and yield of coffee under three distinct edapho-climatic conditions of São Paulo State, Brazil. **Bragantia**, v. 68, p. 493-501, 2009.

SILVA, E. A.; SANTOS, H. C.; PEREIRA, A. S.; ROSA, S. L.; FRAGA JUNIOR, E. F. Increasing doses of agricultural gypsum, aggregate stability and organic carbon in Cerrado Latosol under Coffee crop. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 56, p. 25-32, 2013.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. **Matéria orgânica do solo**. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. Fertilidade do Solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p.1017. 2007.

SOARES, A. R.; MANTOVANI, E. C.; RENA, A. B.; SOARES, A. A. Irrigation and physiology of mature coffee blooming in the Zona da Mata region (Viçosa)—state of Minas Gerais—Brazil. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 27, p. 117-125, 2005.

SOUZA, A. P. D.; PEREIRA, J. B. A.; SILVA, L. D. B.; GUERRA, J. G. M.; CARVALHO, D. F. D. Evapotranspiração, coeficientes de cultivo e eficiência do uso da água da cultura do pimentão em diferentes sistemas de cultivo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, p. 15-22, 2011.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: Genesis, composition and reactions**. 2 ed, New York, John Wiley & Sons, 443p. 1994.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5 ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

TÉOFILO, R. F.; CARVALHO, S. J. P.; MARTINS, D. E.; SANTOS, R. R. Avaliação do efeito da cobertura do solo e da conservação de água em cafeeiros em regiões semiáridas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 337-345, 2012.

TIECHER, T. **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil: práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água**. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 186 p. 2016.

TIRITAN, C. S.; BÜLL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. C.; CARMEIS FILHO, A. C. A.; FERNANDES, D. M.; NASCENTE, A. S. Tillage system and lime application in a tropical region: Soil chemical fertility and corn yield in succession to degraded pastures. **Soil and Tillage Research**, v. 155, p. 437-447, 2016.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G.; SÁ, J. C. M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciado por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 301-309, 1998.

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

CAPÍTULO 4

CRESCIMENTO, NUTRIÇÃO E PRODUTIVIDADE DO CAFEEIRO ARÁBICA INFLUENCIADOS PELA APLICAÇÃO DE GESSO AGRÍCOLA, COMPOSTO ORGÂNICO E PELO CULTIVO DE BRAQUIARIA NAS ENTRELINHAS

4.1 INTRODUÇÃO

O cultivo do cafeeiro arábica (*Coffea arabica* L.) é uma atividade agrícola de grande relevância econômica em diversos países, destacando-se pelo seu papel na geração de emprego e renda. O manejo adequado do solo e das plantas é essencial para garantir o crescimento, a nutrição e a produtividade das lavouras de café. Assim, a aplicação de gesso agrícola, o cultivo de plantas de cobertura e a utilização de composto orgânico emergem como práticas agronômicas promissoras para a melhoria das condições edáficas e fisiológicas do cafeeiro (Castanheira *et al.*, 2019; Voltolini *et al.*, 2020; Martinez *et al.*, 2024).

O crescimento saudável do cafeeiro é diretamente influenciado pela disponibilidade de nutrientes no solo. A aplicação de gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) tem se mostrado eficaz na melhoria do solo e da disponibilidade de Ca e S, nutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas. Segundo Amaral *et al.* (2017), a aplicação de gesso agrícola em solos ácidos promove um ambiente radicular mais favorável, aumentando a absorção de nutrientes e, conseqüentemente, o crescimento das plantas. O gesso contribui no sistema, pois ajuda a neutralizar o Al^{3+} , fator de grande relevância considerando que o Al é um elemento tóxico para as plantas e pode acarretar engrossamento e encurtamento das raízes, inibindo o crescimento da planta (Raij *et al.* 1997; Raij, 2008). A raiz é responsável por captar água e nutrientes necessários ao desenvolvimento, dessa forma, fatores que podem afetar seu desenvolvimento causarão prejuízos, devido ao menor volume de solo explorado.

Diversos estudos têm demonstrado os benefícios da aplicação de gesso para a cultura do café (Carducci *et al.*, 2015; Ferraz, 2017; Serafim *et al.*, 2013). Rodrigues *et al.* (2015) aplicaram diferentes doses de gesso em superfície, na faixa ou em área total, em cafezais recém-implantados em um Latossolo Vermelho distrófico. Eles observaram que a produtividade do cafeeiro aumentou de forma linear com o incremento das doses de gesso (até 52.000 kg ha⁻¹), independentemente da forma

de aplicação. Os trabalhos evidenciam que na melhoria do ambiente radicular das plantas, em reposta, há melhoria dos processos fisiológicos, que porventura acarretam uma melhor nutrição e pode levar a ganhos de produtividade.

As plantas de cobertura desempenham papel importante no sistema produtivo, sendo uma prática antiga, muito empregada pela agricultura familiar e pelos novos sistemas de produção, seja de grãos como de culturas perenes, o qual se sobressai como uma das alternativas eficaz para aumentar a sustentabilidade das lavouras (Borghi, Crusciol; 2007; Crusciol *et al.*, 2011; Pedrosa *et al.*, 2014; Tiecher, 2016; Favarin *et al.*, 2018). Dentre as várias plantas que podem ser utilizadas, os capins do gênero *Urochloa*, destacam-se (Crusciol *et al.*, 2011; Pariz *et al.*, 2011; Martinelli *et al.*, 2017; Favarin *et al.*, 2018) pela alta capacidade de produção de massa verde. Em sistemas de consorcio de milho com *Urochloa brizantha*, Garcia *et al.* (2008) evidenciaram o aumento de K no solo, e atribuíram a capacidade desses capins de absorverem e acumularem K, reciclando tal nutriente. Já no sistema de consorcio com o cafeeiro, Pedrosa *et al.* (2014), observaram que a *U. brizantha*, promoveu maior eficiência de uso do N e aumento dos teores foliares do cafeeiro, evidenciando que, quando o *U. brizantha* não é adubada com N mineral, a adição da braquiária cortada na linha do cafeeiro, favorece a imobilização do nitrogênio no solo e reduz a concentração desse nutriente nas folhas.

O uso da espécie *Urochloa* spp. como planta de cobertura se constitui numa estratégia capaz de aumentar a sustentabilidade da produção agrícola com benefícios para as culturas, de importância econômica, para o solo e para o ambiente (Pedrosa *et al.*, 2014; Baptistella *et al.*, 2020). Contudo, esta deve ser bem manejada para que não haja competição com o cafeeiro, segundo Voltolini *et al.* (2019), o manejo com braquiária na entrelinha do cafeeiro cultivada com distância de 1,0 metro da linha, propicia maior produtividade e, o mesmo pode ser observado com outros autores (Souza *et al.*, 2006; Serafim *et al.*, 2013; Castanheira *et al.*, 2019). Conforme Silva e Ronchi (2004), o manejo da braquiária na entrelinha acarretou maior vigor do cafeeiro no período da seca, contribuindo também para melhor retenção da umidade de solo.

Outra forma de melhorar a nutrição das plantas de café, é a utilização de compostos orgânicos, que são, frequentemente, produzidos nas propriedades rurais. Estudos demonstram que a adubação orgânica pode elevar os teores foliares de N, K e Mg nas plantas de café, além de aumentar o pH do solo e a capacidade de troca

catiônica (Araújo *et al.*, 2007). Além disso, o uso de compostos orgânicos pode ser utilizado em substituição parcial ou em complemento com a adubação mineral, conforme Fernandes *et al.* (2013a), evidenciando um aumento de 16 a 19% na produtividade ao substituir parcialmente a adubação mineral por adubação orgânica.

Santinato *et al.* (2010), ao testar doses de diferentes tipos de adubos orgânicos, obtiveram resultados positivos ao utilizar esterco de curral e de galinha em associação com o adubo mineral, aumentando a produtividade do cafeeiro arábica de 9 a 20% em relação à adubação mineral exclusiva. Resultados satisfatórios também foram obtidos por Barros *et al.* (2001), as doses de 2,0 kg por planta de palha seca de café e de esterco de gado promoveram aumento de 68,9 e 53,7% na produção de café arábica.

A manutenção do ambiente produtivo de uma lavoura é expressa pela capacidade de fornecer recursos as plantas de forma conjunta, trabalhando um sistema de produção. A integração de práticas agronômicas, como a aplicação de gesso agrícola, composto orgânico e o cultivo de braquiária nas entrelinhas, representa uma abordagem promissora para o aumento da eficiência produtiva do cafeeiro.

Diante do exposto, foi proposto este trabalho objetivando avaliar o crescimento, nutrição e a produtividade da cultura do café arábica, em decorrência da aplicação de gesso e composto orgânico, bem como o cultivo de braquiária nas entrelinhas, em condições de sequeiro.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em condições de campo, em fevereiro de 2017 e foi conduzido até agosto de 2023, ou seja, por um período de seis anos e seis meses.

4.2.1 Área experimental e cultivar de café

O experimento foi instalado em condição de campo, no Sítio Três Irmãos, localizado no município de Manduri - SP, com latitude 23°03' S, longitude 49°14' W e altitude de 738 m. O solo do local é um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico,

textura média (Santos *et al.*, 2013). De acordo com a classificação de Köppen, o clima predominante na região é do tipo Cwa, tropical, com estação seca no inverno e verão quente e chuvoso (Lombardi Neto; Drugowich, 1994), temperatura média anual de 21,1 °C e regime pluviométrico anual em torno de 1.457 mm (CIIAGRO, 2024). Os dados mensais de temperaturas médias e precipitação pluvial durante a condução dos experimentos são apresentados na Tabela 1.

O talhão onde o experimento foi instalado é constituído por plantas de café arábica, cultivar Catuaí Vermelho IAC 99, pé-franco, plantadas no campo em março de 2016, no espaçamento 3,5 × 0,70 m, perfazendo um total de 4.082 plantas ha⁻¹.

A cultivar Catuaí IAC 99 apresenta elevado potencial produtivo, ampla capacidade de adaptação às regiões cafeeiras, alto vigor vegetativo e porte reduzido dos cafeeiros. Os internódios são curtos e as ramificações secundárias e terciárias são abundantes. O sistema radicular é bem desenvolvido e apresenta susceptibilidade à ferrugem, aos nematoides e outras doenças (Sakiyama *et al.*, 2015).

Tabela 1 - Dados de temperatura média e precipitações pluviais mensais de fevereiro de 2017 a agosto de 2023, Manduri-SP

Mês	Ano						
	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Temperatura média (°C)							
Janeiro	-	24,4	26,2	24,8	22,9	25,1	24,2
Fevereiro	25,5	23,1	24,7	23,9	24,2	25,2	24,5
Março	24,3	25,3	24,3	23,9	24,8	25,4	24,7
Abril	21,8	22,1	22,7	20,8	20,3	21,7	22,0
Maio	20,0	19,6	20,7	17,2	18,8	17,6	19,5
Junho	17,1	18,9	18,4	18,8	16,5	16,8	17,1
Julho	16,4	18,4	16,3	17,7	14,7	18,3	17,9
Agosto	18,3	17,1	18,8	18,0	19,6	17,9	19,8
Setembro	22,4	20,6	19,6	22,8	23,6	18,2	-
Outubro	22,4	22,2	24,7	25,5	21,6	22,1	-
Novembro	22,6	23,4	24,4	24,4	23,9	21,6	-
Dezembro	24,5	24,5	24,5	24,6	24,3	24,0	-
Precipitação pluvial (mm)							
Janeiro	-	257	131	138	130	372	135
Fevereiro	147	58	171	218	109	131	223
Março	115	180	120	20	105	132	239
Abril	166	23	74	43	26	99	121
Maio	261	25	78	43	83	57	21
Junho	145	26	86	98	50	52	82
Julho	1	1	113	10	22	10	23
Agosto	91	141	1	92	6	99	17
Setembro	10	126	24	34	51	182	-
Outubro	195	145	51	12	166	212	-
Novembro	206	87	232	129	181	91	-
Dezembro	225	158	138	168	130	200	-

No plantio da cultura do café foram distribuídos e incorporados em cada metro de sulco 6 g de N, 22 g de P₂O₅, 12 g de K₂O (formulado 08-28-16), 0,30 kg de calcário dolomítico com 75% de PRNT e 5 L de cama de frango. O experimento foi conduzido em condições de sequeiro.

Em janeiro de 2017, foi amostrado solo, sendo a coleta realizada na projeção da copa do cafeeiro, na camada de 0–0,20 m e 0,20–0,40 m de profundidade. As análises químicas foram realizadas de acordo com a metodologia proposta por Raij *et al.* (2001), cujos resultados estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Características químicas do solo da área antes da instalação do experimento

Profundidade m	pH(CaCl ₂)	MOS g kg ⁻¹	P — mg dm ⁻³ —	S-SO ₄ ²⁻	H+Al	Al ³⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	CTC	V
											%
0-0,20	5,1	17	20	10	35	0	0,4	31	8	73	53
0,20-0,40	4,1	14	6	17	50	7	0,3	10	4	64	22

Cada amostra foi composta por 12 amostras simples.

Na mesma época em que foi feita amostragem de solo para análise química, foi amostrado solo da área experimental nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 m para análise granulométrica, que foi utilizada para o cálculo da dose de gesso a ser aplicada (Tabela 3). O cálculo da quantidade de gesso a ser aplicada foi realizado de acordo com Raij *et al.* (1997).

Tabela 3 - Análise granulométrica da área experimental

Profundidade m	Areia	Argila	Silte	Textura do solo
	g kg ⁻¹			
0-0,20	810	160	30	Média
0,20-0,40	775	187	38	Média

Cada amostra foi composta por 12 amostras simples.

Foi realizado uma aferição em fevereiro de 2017, e as plantas de café apresentavam em média cerca de 1,2 cm de diâmetro de caule e cerca de 23,8 cm de altura no momento de aplicação dos tratamentos.

4.2.2 Delineamento experimental

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados, num esquema fatorial 3 × 4 e três repetições. Os 12 tratamentos foram constituídos da combinação de três doses de gesso agrícola [controle - sem aplicação de gesso, dose recomendada (1.200 kg ha⁻¹) de acordo com Raij *et al.* (1997) e dose elevada (40.000 kg ha⁻¹)], e quatro sistemas de manejo (SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas; e CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas).

Não há um critério para recomendação de dose elevada de gesso, assim, no caso da presente pesquisa, a dose elevada foi estipulada com base em um valor próximo da média das doses elevadas de gesso utilizadas em trabalhos sobre o tema (Ramos *et al.*, 2013; Rodrigues *et al.*, 2015; Fagundes *et al.*, 2016). O gesso utilizado continha cerca de 16% Ca e 13% de S. O composto orgânico utilizado

consistia de uma mistura homogênea e compostada de esterco de galinha, esterco bovino e palha de café, com dose de 10.000 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (base úmida). Para o cultivo nas entrelinhas dos tratamentos determinados, utilizou-se a braquiária *ruziziensis*.

Cada parcela foi constituída por três fileiras de plantas, com 8,4 m de comprimento (12 plantas em cada fileira). As parcelas foram separadas umas das outras por uma planta, no sentido da fileira, e por uma fileira. A área considerada útil em cada parcela foi composta por oito plantas da fileira central (19,6 m²), excluindo duas plantas de cada extremidade.

4.2.3 *Condução do experimento*

A aplicação das doses de gesso foi realizada apenas em fevereiro de 2017, sendo aplicado em faixa de 1,0 m de largura na fileira de plantas de café. Assim, na dose de gesso recomendada (1.200 kg ha⁻¹) foram aplicados 0,42 kg m⁻² da faixa e na dose elevada (40.000 kg ha⁻¹) foram aplicados 14,0 kg m⁻² da faixa. Nas entrelinhas do cafeeiro, foi realizada a semeadura da braquiária *ruziziensis* cv. *Ruziziensis* no mês de março de 2017, com o auxílio de semeadora manual (matraca), utilizando de 8,0 kg ha⁻¹ de sementes puras viáveis, sendo semeadas, sem adubação, quatro fileiras da gramínea, com espaçamento de 0,5 m entre as fileiras e 0,1 m entre as covas e profundidade de 0,03 m, deixando-se uma distância de 1,0 m de cada lado das plantas de café livres (Figura 1). A braquiária foi mantida vegetando, porém, devido ao período de inverno as plantas só tiveram desenvolvimento expressivo a partir de outubro de 2017. A primeira ceifa da parte área das plantas presentes nas entrelinhas do cafeeiro ocorreu em janeiro de 2018 e a segunda em abril de 2018, e após a segunda ceifa foi realizada uma operação mecânica conhecida como arruação (limpeza), para realizar a colheita.

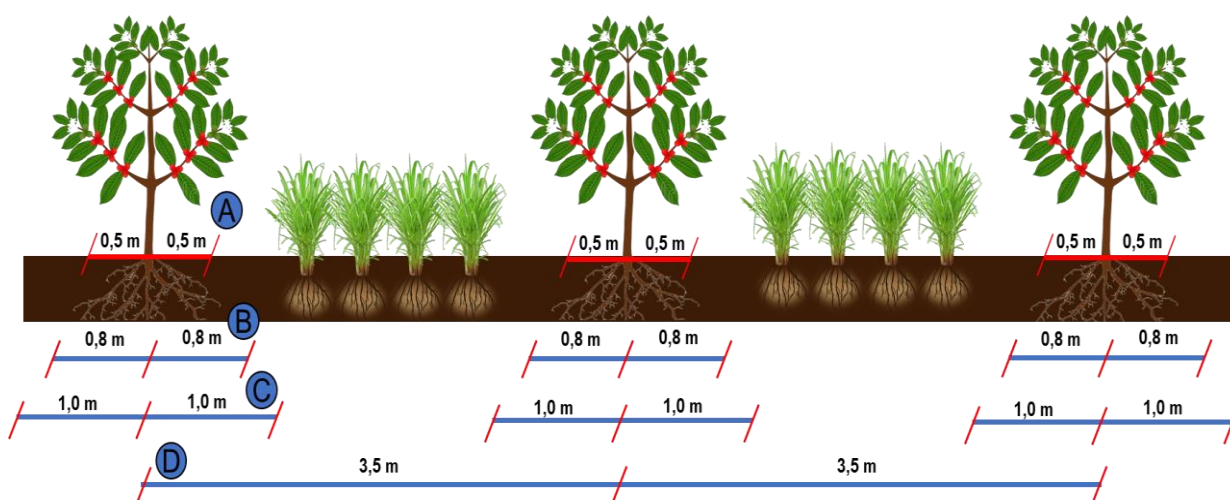
No mês de outubro de 2018, foi realizado o replantio dessa gramínea, a qual permaneceu vegetando até o primeiro e segundo cortes em janeiro e abril de 2019, e novamente após a segunda ceifa foi realizado a arruação (limpeza). Em outubro de 2019, foi realizado o replantio da braquiária a qual foi ceifada em janeiro e abril de 2020, e novamente após a arruação houve o replantio em outubro de 2020, o qual foi ceifada em janeiro e abril de 2021. Em outubro de 2021, foi realizado o

replanteio da braquiária a qual foi ceifada em janeiro e abril de 2022, com posterior arruação. As entrelinhas do cafeeiro permaneceram cobertas com a braquiária ou as plantas de crescimento espontâneo por um período de sete meses no ano agrícola, compreendido de outubro a abril, e os outros cinco meses, permaneceram sem a presença das plantas nas entrelinhas, devido à limpeza da área para realizar a colheita do café.

O controle de plantas daninhas na linha do cafeeiro foi realizado através de capina manual (com auxílio de enxadas), mantendo limpa uma faixa de aproximadamente 1,0 m junto à projeção da copa das plantas de café.

Para o preparo da área, antecedendo a colheita, realizou-se através da arruação (com o uso de arruador de asas e limpeza na linha de plantas com auxílio de enxadas) nos anos de 2018 e 2019. Já a partir de 2021 foi utilizado o arruador de café contendo um soprador de direcionamento independente e um varredor de borracha, visando manter a linha na terra limpa, puxando todas as folhas e galhos do cafeeiro e plantas daninhas para a entrelinha. Sempre antes da arruação realizou-se o controle das plantas daninhas em área total, com o uso do herbicida de pós-emergência glifosato potássico na dose de $1.550 \text{ g i.a. ha}^{-1}$. Todas as aplicações de herbicidas foram feitas com o pulverizador de barras protegida, para evitar problemas com deriva no cafeeiro.

Figura 1 - Esquema representativo das parcelas experimentais, local de aplicação do gesso agrícola (A), aplicação do composto orgânico (B), área mantida sem cultivo de braquiária e/ou plantas de crescimento espontâneo (C) e espaçamento entre fileiras de café (D)



O composto orgânico (Tabela 4), com umidade de aproximadamente 40%, foi aplicado na dose de 10.000 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (base úmida), sempre distribuído na faixa da projeção da copa das plantas (0,8 m de cada lado), no mês de outubro de cada ano, de 2017 até 2022.

Em janeiro de 2021, foi realizada aplicação de calcário em todas as parcelas experimentais, aplicando 2.000 kg ha⁻¹ na faixa de adubação, de acordo com Raij *et al.* (1997). O corretivo apresentava cerca de 42% de CaO, 11% MgO e 93% de PRNT. A dose calculada foi aplicada concentrada na faixa de adubação (aproximadamente 1,0 m de largura), desse modo, a aplicação forneceu 0,70 kg do corretivo por m² da faixa.

Tabela 4 - Teores de nutrientes presentes no composto orgânico (base seca) e quantidades aplicadas por ano

Nutrientes	Ano					
	2017	2018	2019	2020	2021	2022
	Teor (g kg ⁻¹)					
N	14	15	14	21	13	12
P	8	8	9	9	6	4
K	12	11	10	17	4	4
Ca	14	12	8	11	10	11
Mg	4	5	4	5	3	3
S	2	3	3	3	3	4
	Teor (mg kg ⁻¹)					
B	28	25	21	29	7	4
Cu	75	60	55	52	63	70
Fe	1664	5864	20300	14975	6750	8950
Mn	251	346	321	321	444	312
Zn	192	178	166	180	161	187
	Quantidade aplicada (kg ha ⁻¹)					
N	84	90	84	126	78	72
P	48	48	54	54	36	24
K	72	66	60	102	24	24
Ca	84	72	48	60	60	66
Mg	24	30	24	30	18	18
S	12	18	18	18	18	24
	Quantidade aplicada (g ha ⁻¹)					
B	168	150	126	174	42	24
Cu	450	360	330	312	378	420
Fe	9984	35184	121800	89850	40500	53700
Mn	1506	2076	1926	1926	2664	1872
Zn	1152	1068	996	1080	966	1122

As demais aplicações de nutrientes e o manejo fitossanitário foram realizados de acordo com os critérios do produtor (Anexo A). Para as adubações de cobertura

foram utilizadas as fontes de ureia (46% de N), nitrato de amônio (32% de N), cloreto de potássio (60% de K₂O), MAP (11% de N e 52% de P₂O₅) e o formulado de N-P₂O₅-K₂O de 20-05-20 + 2,0% de Ca + 1,0% de Mg, e constaram das seguintes quantidades anuais de N-P₂O₅-K₂O, em kg ha⁻¹: 50-00-50 em 2016/2017; 100-00-120 em 2017/2018; 200-50-200 em 2018/2019, 250-60-250 em 2019/2020; 300-60-300 em 2020/2021; 250-60-250 em 2021/2022 e 300-60-300 em 2022/2023. As doses dos fertilizantes foram parceladas em quatro aplicações, sendo realizada, em média, uma a cada quarenta dias, entre os meses de outubro e fevereiro de cada ano agrícola. As aplicações foram feitas de forma mecanizada (adubadora pendular – Vicon, com pêndulo especial para adubação em duas faixas), distribuindo-se uniformemente as doses dos fertilizantes sob a projeção da copa das plantas de café.

Além da adubação via solo, nos anos agrícolas de 2017/2018 a 2019/2020 foram aplicados, 1,5 L ha⁻¹ do fertilizante foliar Nutry Amino (5,0% de N, 8,0% de P₂O₅, 5,0% de K₂O, 0,4% de B, 0,2% de Cu, 0,6% de Mg, 0,5% de Mn, 1,0% de Zn e 5,0% de carbono orgânico total), nos meses de outubro e fevereiro. Já nos anos agrícolas de 2020/2021 a 2022/2023, 1,0 L ha⁻¹ do fertilizante concorde (8,4% de N; 2,4% de P₂O₅; 1,2% de K₂O; 2,4% de S; 0,05% de B; 0,12% de Cu; 0,12% de Mn; 0,12% de Mo; 0,12% de Zn; 7,2% de carbono orgânico total) e 0,6 L ha⁻¹ do fertilizante foliar Limone (1,0% de N e 0,1% de B), no mês de setembro; 1,5 L ha⁻¹ do fertilizante foliar Niphokam (10,0% de N, 8,0% de P₂O₅, 8% de K₂O, 1,0% de Ca, 0,5% de Mg, 0,5% de B, 0,2% de Cu, 0,5% de Mn e 1,0% de Zn) em outubro; e 3,0 L ha⁻¹ do fertilizante foliar Mover (5,0% de N, 4,0% de B, 0,17% de Cu, 0,015% de Mo e 4,5% de Zn) em fevereiro. Já nos anos de safra alta, foram aplicados 1,5 L ha⁻¹ do fertilizante foliar Phytogard (26,0% de K₂O), nos meses de novembro e fevereiro. Para ambas as aplicações foi utilizado um volume de calda de 400 L ha⁻¹.

4.2.4 Avaliações realizadas

4.2.4.1 Produção de massa seca e acúmulo de nutrientes pelas plantas daninhas e braquiária

Foram realizadas coletas da parte aérea das plantas presente nas entrelinhas do café (plantas daninhas e/ou braquiária *ruziziensis*) nos meses de janeiro e abril de

cada ano, iniciadas em 2018 até 2022. Foi realizado o corte da parte aérea das plantas presente nas entrelinhas do café (plantas daninhas e/ou braquiária *ruziziensis*), sendo coletadas sempre antes da ceifa, ou seja, no ponto ideal de corte (maior volume de massa) para obtenção da massa fresca, seca e teor de nutrientes. O corte destas plantas foi realizado a uma altura de 0,10 m em relação ao solo, com a utilização de um quadrado de 0,25 × 0,25 m para padronizar a coleta, e coletando-se quatro pontos por parcela. O material cortado foi submetido à lavagem rápida com água deionizada e colocado para secagem em estufa com circulação forçada de ar a 60 °C, até atingir massa constante. Posteriormente, as amostras foram pesadas para determinação da massa seca (MS) e em seguida moídas em moinho tipo Willey. Para o cálculo da MS produzida, foi considerada apenas a área útil da entrelinha, que foi estimada em 5.714 m².

Os teores de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) foram determinados segundo metodologia descrita por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). As quantidades de nutrientes acumuladas foram determinadas mediante a multiplicação da quantidade de MS produzida pelo teor de cada nutriente, considerando apenas a área da entrelinha. As quantidades de nutrientes acumuladas em ambas as épocas (janeiro e abril) de cada ano foram somadas para expressar a quantidade anual.

4.2.4.2 Variáveis fitotécnicas da cultura do café

As medições de desenvolvimento das plantas de cafeeiro foram iniciadas em abril de 2017 e foram realizadas até agosto de 2023, avaliando-se:

4.2.4.2.1 Crescimento da planta: diâmetro do caule e altura

O diâmetro do caule foi aferido medindo a 0,05 m de altura em relação à superfície do solo com o uso de um paquímetro. Já a altura das plantas, mediu-se com uma régua graduada, da superfície do solo ao meristema apical da planta, ambas avaliações foram realizadas nos meses de abril e outubro de cada ano.

4.2.4.2.3 Teor de nutrientes nas folhas de café arábica

Foi determinado os teores de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn) nas folhas de café, sendo coletadas 32 folhas por parcela, no terceiro par de folhas dos ramos plagiotrópicos, no terço média das plantas, no início do verão (janeiro) de cada ano agrícola, conforme recomendações de Raij *et al.* (1997). As folhas foram submetidas à lavagem rápida com água deionizada e colocadas para secagem em estufa com circulação forçada de ar a 60 °C, até peso constante, sendo em seguida moídas em moinho tipo Willey. Os teores de nutrientes foram determinados segundo metodologia descrita por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997).

4.2.4.2.4 Produtividade de grãos beneficiados

Foi realizada a colheita dos grãos de café no mês de julho dos anos de 2018, 2019, 2020, 2021, 2022 e 2023 sendo colhidas oito plantas da fileira central de cada parcela. Os frutos foram derriçados no chão e, posteriormente, procedeu-se a abanação e secagem em terreiro de alvenaria, até atingir teor de água entre 11 e 12 %. Em seguida, os grãos “em coco” foram beneficiados e foi determinada a produtividade de grãos beneficiados, pesando-se a massa de grãos de café após o beneficiamento com uso de balança eletrônica.

4.2.4.2.5 Teor de nutrientes nos frutos de café arábica em coco

Foi determinado dos teores de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn) nos frutos, uma amostra de café “em coco” de cada parcela foi submetida à lavagem rápida com água destilada e, posteriormente, secada em estufa de circulação forçada de ar a 60 °C, até peso constante, sendo em seguida moídas (grãos + casca). Os teores de nutrientes foram determinados segundo metodologia descrita por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997).

4.2.5 Análise estatística

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste LSD a 5% de probabilidade, auxílio do programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2011).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 Produção de massa seca e acúmulo de nutrientes pelas plantas daninhas e braquiária

A produção de massa seca da parte aérea das plantas de braquiária ou de crescimento espontâneo nas entrelinhas do cafeeiro, ao longo das épocas de avaliação, foi influenciada significativamente pela aplicação de doses de gesso e pelo sistema de manejo (Tabela 5). Diante do exposto, para a avaliação realizada em janeiro de 2018, foi observado influência significativa do sistema de manejo para as quantidades de massa seca da parte aérea, no qual, os maiores valores foram observados quando houve o cultivo de braquiária nas entrelinhas, com ou sem associação ao composto orgânico aplicado apenas na faixa de adubação das plantas de café, e não houve influência das doses de gesso (Tabela 5). Já para as avaliações de abril de 2018, janeiro de 2019 e 2020, houve influência da interação das doses gesso e o sistema de manejo (Tabela 5). Para o desdobramento da interação (gesso $\times$ manejo), observa-se as maiores quantidades de massa seca para o cultivo de braquiária nas entrelinhas, com ou sem a aplicação de composto orgânico, e quando associados a dose elevada de gesso, houve incremento desses valores (Tabela 6). Em abril de 2019 e 2020, apenas o fator sistema de manejo influenciou na massa seca produzida, no qual, observou-se os maiores valores com o cultivo de braquiária nas entrelinhas em comparação a sua ausência e quando associado a aplicação de composto orgânico houve um crescimento (Tabela 5).

Na avaliação de janeiro de 2021, houve influência da interação dos fatores estudados, observou-se as maiores quantidade de massa seca com o cultivo de braquiária nas entrelinhas frente a sua ausência, e sem muitas variações da aplicação de composto orgânico e das doses de gesso (Tabela 5 e 6). Em abril de 2021 não houve coleta, por conta do baixo desenvolvimento das plantas na entrelinha, muito possivelmente devido a aplicação de herbicida, realizado no final de janeiro para controlar algumas plantas que estavam invadindo outras parcelas, o

qual pode ter ocorrido deriva do produto restringindo o crescimento. Para as avaliações em janeiro e abril de 2022, houve influencia apenas do sistema de manejo, em que os maiores valores foram observados quando houve o cultivo de braquiária nas entrelinhas, com ou sem associação ao composto orgânico (Tabela 5).

Vale ressaltar que as doses de gesso e o sistema de manejo que apresentava aplicação de composto orgânico, foram realizadas sob as plantas de café ou na faixa de adubação, respectivamente (Figura 1). Ambos, influenciaram as quantidades de massa seca avaliada nas entrelinhas em algumas épocas, contudo, não houve aplicação destes materiais nas entrelinhas (Tabela 5 e 6). Provavelmente, os efeitos observados foram em detrimento de práticas realizadas na condução da lavoura, como a arruação e esparramação, ou seja, a movimentação de uma fina camada superficial de solo do sentido da linha das plantas de café para a entrelinha. Devido a essa movimentação houve melhorias das características químicas na entrelinha que influenciaram o crescimento, e consequentemente a produção de massa seca destas plantas.

Essa prática é comum nas lavouras cafeeiras, e alguns autores já observaram comportamento semelhante quanto à fertilidade do solo. Segundo Parecido *et al.* (2021), avaliando a forma de aplicação de calcário em cafeeiros arábica, concentrado em faixa ou área total, observaram melhorias nas características químicas do solo avaliadas na entrelinha, no qual as doses aplicadas foram concentradas em faixa, e pressupõem que foi devido a essas práticas de condução da lavoura. Raij *et al.* (1996) também verificaram esse efeito, os quais influenciaram positivamente as características químicas do solo da entrelinha do cafeeiro.

Tabela 5 - Massa seca da parte aérea da braquiária e das plantas de crescimento espontâneo em função da aplicação de gesso agrícola, composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas, avaliações realizadas em janeiro e abril dos anos de 2018, 2019, 2020, 2021 e 2022

Tratamento	Época de avaliação								
	Jan. 2018	Abr. 2018	Jan. 2019	Abr. 2019	Jan. 2020	Abr. 2020	Jan. 2021	Jan. 2022	Abr. 2022
	Massa seca (kg ha ⁻¹)								
Gesso (G)									
Sem aplicação	2963,8a	5111,1	1714,2	2086,7a	4051,6	4604,3a	3082,8	2495,2a	3839,3a
Dose recomendada	2895,6a	5777,7	1941,7	1750,2a	4443,6	5140,1a	2883,5	2723,8a	3863,8a
Dose elevada	3144,7a	7142,8	2523,8	1966,1a	4089,6	4640,6a	3194,3	2495,2a	3965,6a
Manejo (M) ¹									
SC–SB	1917,4b	2102,2	846,5	792,9c	3412,5	3381,3c	2500,0	2260,3b	2611,3b
CC–SB	2113,0b	2553,7	761,9	996,1c	3587,5	3997,9c	2554,8	2387,3b	2857,6b
SC–CB	3921,2a	8874,7	3329,8	2553,7b	4767,7	5528,8b	3596,6	2869,8a	5075,3a
CC–CB	4053,3a	10511,4	3301,5	3394,7a	5012,0	6272,0a	3562,7	2920,6a	5014,1a
Fonte de variação	(P > F)								
G	0,494	<0,001	0,001	0,166	0,043	0,120	0,003	0,170	0,653
M	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
G × M	0,176	0,001	0,001	0,226	0,023	0,848	<0,001	0,999	0,947
CV(%)	17,4	14,0	23,0	21,8	9,3	14,1	6,6	10,9	9,0

¹SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas. Médias seguidas por letras distintas, na coluna e dentro de cada fator, diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Tabela 6 - Desdobramento da interação entre gesso × manejo para a quantidade de massa seca produzida em abril de 2018, janeiro de 2019, 2020 e 2021

Gesso	Sistema de Manejo			
	SC-SB ¹	CC-SB	SC-CB	CC-CB
Massa seca (kg ha ⁻¹) – abril - 2018				
Sem aplicação	2243,3aB	1904,7aB	7788,3bA	8507,9bA
Dose recomendada	1820,1aB	2624,3aB	9142,8abA	9523,8bA
Dose elevada	2243,3aC	3132,2aC	9693,1aB	13502,6aA
Massa seca (kg ha ⁻¹) – janeiro - 2019				
Sem aplicação	380,9bC	634,9aC	2497,3bB	3343,9bA
Dose recomendada	888,8abC	846,5aC	3364,0aA	2285,7cB
Dose elevada	1269,8aB	804,2aB	4126,9aA	4275,1aA
Massa seca (kg ha ⁻¹) – janeiro - 2020				
Sem aplicação	3465,4abB	3732,4aB	4126,4bB	4882,3aA
Dose recomendada	3800,8aB	3706,7aB	4900,2aA	5366,7aA
Dose elevada	2971,4bB	3323,5aB	5276,6aA	4786,8aA
Massa seca (kg ha ⁻¹) – janeiro - 2021				
Sem aplicação	2705,5aB	2220,6bC	3538,8aA	3866,3aA
Dose recomendada	2157,9bC	2753,1aB	3552,6aA	3070,5bB
Dose elevada	2636,7aB	2690,6aB	3698,4aA	3751,4aA

¹SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas. Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Segundo Ragassi, Pedrosa e Favarin (2013), o potencial produtivo das braquiárias é elevado, cerca de 5.000 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de MS na parte aérea, podendo acumular cerca de 7.000 kg ha⁻¹ (Baptistella, 2020) e, ainda mais, em virtude do manejo, espécie e quantidade de cortes. Nesse estudo, a produção de MS da parte aérea da braquiária foi superior as plantas de crescimento espontâneo, e na associação com a aplicação da dose elevada de gesso houve um incremento em algumas coletas realizadas (Tabela 5 e 6).

Fonseca *et al.* (2023) ao avaliar o efeito de doses de gesso (0, 500, 1000 e 2000 kg ha⁻¹) nas variedades *Panicum maximum* cv. *Mombaça* e braquiária *ruziziensis*, concluíram que a *B. ruziziensis* apresentou maior ganho produtivo de MS com o aumento das doses de gesso, já cultivar *Mombaça* não apresentou produtividade significativa. Reforçando que a braquiária *ruziziensis* responde positivamente a aplicação de gesso, o que está em consonância com os resultados observados, mesmo que no presente trabalho as doses de gesso não terem sido aplicadas diretamente nas plantas da entrelinha.

Para o acúmulo de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) na parte aérea da braquiária e das plantas de crescimento espontâneo, houve diferença significativa para todos os nutrientes em cada ano avaliado (Tabela 7, 9 e 11). O acúmulo de cada nutrientes foi estimado pela multiplicação da massa seca das plantas presentes na entrelinha pelo teor de cada nutriente, e estão apresentados os valores somados das épocas de janeiro e abril para cada ano agrícola. Vale ressaltar que foi considerado apenas a área útil das plantas de cobertura.

No ano agrícola de 2018, a dose elevada de gesso proporcionou maior acúmulo de N ($130,1 \text{ kg ha}^{-1}$) nas plantas de cobertura avaliadas na entrelinha, sendo superiores a dose recomendada e a ausência de aplicação de gesso (Tabela 7). O manejo com a aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas (CC–CB) proporcionou no maior acúmulo de N ($180,3 \text{ kg ha}^{-1}$), seguido do manejo com a ausência de aplicação de composto orgânico e da presença cultivo de braquiária nas entrelinhas (SC–CB), atingindo $145,3 \text{ kg ha}^{-1}$, enquanto os manejos com a ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas (SC–SB) e presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas (CC–SB), apresentaram os menores valores, com $59,0 \text{ kg ha}^{-1}$ e $75,8 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente. Em 2019, apenas a dose elevada de gesso proporcionou maior acúmulo de N ($71,4 \text{ kg ha}^{-1}$) nas plantas de cobertura avaliadas na entrelinha. O manejo CC–CB continuou a apresentar o maior acúmulo de N ($98,5 \text{ kg ha}^{-1}$), seguido do manejo SC–CB ($86,9 \text{ kg ha}^{-1}$), comparado ao manejo SC–SB e CC–SB que tiveram os menores acúmulos, $30,5$ e $33,2 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente (Tabela 7).

A interação entre a aplicação de gesso agrícola e os diferentes sistemas de manejo, impactaram significativamente no acúmulo de P nas plantas de cobertura avaliadas na entrelinha do cafeeiro, nos anos de 2018 e 2019 (Tabela 7). No desdobramento da interação, observa-se que a dose elevada de gesso associada com o manejo CC–CB, proporcionou o maior acúmulo de P, alcançando $76,0 \text{ kg ha}^{-1}$. Já em 2019, com o desdobramento da interação, observou-se que na ausência da aplicação de gesso associado com o manejo CC–CB, apresentou o maior acúmulo de P nas plantas de cobertura avaliada na entrelinha (Tabela 8).

Em 2018, a dose elevada de gesso proporcionou aumento no acúmulo de K quando comparado a dose recomendada e na ausência da aplicação de gesso para as plantas de cobertura avaliadas na entrelinha, já, para os sistemas de manejos

SC–CB e CC–CB apresentaram os maiores acúmulos de K, 369,0 e 388,0 kg ha⁻¹, quando comparados aos manejos SC–SB e SB e CC–SB, 93,6 e 112,4 kg ha⁻¹, respectivamente (Tabela 7). Em 2019, a dose elevada de gesso continuou apresentando o maior acúmulo de K nas plantas de cobertura avaliadas na entrelinha (150,4,0 kg ha⁻¹). O manejo CC–CB apresentou o maior acúmulo de K (227, 7 kg ha⁻¹), enquanto os manejos SC–SB e CC–SB apresentaram os menores acúmulos K nas plantas avaliadas na entrelinha do café (Tabela 7).

A interação entre as doses de gesso e o sistema de manejo impactou significativamente no acúmulo de Ca nas plantas de cobertura avaliadas na entrelinha do cafeeiro, nos anos de 2018 e 2019 (Tabela 7). Em 2018, no desdobramento da interação, observa-se que a dose elevada de gesso associada com os manejos SC–CB e CC–CB, proporcionaram o maior acúmulo de Ca, alcançando 57,3 e 51,7 kg ha⁻¹, respectivamente. Em 2019, no desdobramento da interação, a associação entre a dose elevada de gesso e o sistema de manejo SC–CB, resultou no maior acúmulo de Ca, atingindo 41,8 kg ha⁻¹ (Tabela 8).

O acúmulo de Mg apresentou efeito significativo apenas para o sistema de manejo, em 2018, e para ambos os fatores isolados em 2019 (Tabela 7). Os manejos SC–CB e CC–CB apresentaram os maiores acúmulo de Mg nas plantas de cobertura. Já em 2019, o maior acúmulo de Mg, foram observados na ausência da aplicação de gesso. Os sistemas de manejos SC–CB (12,5 kg ha⁻¹) e CC–CB (12,6 kg ha⁻¹) apresentaram os maiores acúmulos de Mg nas plantas de cobertura, enquanto o SC–SB (5,64 kg ha⁻¹) apresentou o menor acúmulo de Mg (Tabela 7).

A interação entre os fatores impactou significativamente no acúmulo de S nas plantas de cobertura avaliadas na entrelinha do cafeeiro, nos anos de 2018 e 2019 (Tabela 7). Em ambos os anos avaliados, nota-se que a dose elevada de gesso associada com o manejo SC–SB e CC–CB, proporcionou nos maiores acúmulos de S (Tabela 7).

Tabela 7 - Acúmulo de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) na parte área da braquiária e das plantas de crescimento espontâneo, de duas épocas de avaliação somadas (janeiro + abril) de cada ano, em função da aplicação de gesso agrícola, composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas, nos anos agrícolas de 2018 e 2019.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
kg ha ⁻¹						
2018						
Gesso (G)						
Sem aplicação	98,7c	36,5	226,5b	27,8	22,3a	15,7
Dose recomendada	116,5b	40,4	232,7b	34,9	21,8a	13,9
Dose elevada	130,1a	46,0	263,1a	41,3	22,4a	23,5
Manejo (M) ¹						
SC-SB	59,0d	20,8	93,6b	24,0	12,2b	9,15
CC-SB	75,8c	23,4	112,4b	26,0	14,3b	11,3
SC-CB	145,3b	56,9	369,0a	43,1	29,7a	23,1
CC-CB	180,3a	62,4	388,0a	45,5	32,6a	27,3
Fonte de variação	(P > F)					
G	<0,001	<0,001	0,017	<0,001	0,923	<0,001
M	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
G × M	0,116	0,003	0,063	0,018	0,719	0,001
CV(%)	13,6	10,6	12,7	13,5	16,8	16,9
2019						
Gesso (G)						
Sem aplicação	60,0b	16,7	130,6b	24,6	10,9a	2,33
Dose recomendada	55,3b	12,0	117,2b	19,8	7,84c	2,15
Dose elevada	71,4a	14,6	150,4a	30,1	9,53b	4,57
Manejo (M) ¹						
SC-SB	30,5c	6,16	49,6c	23,0	5,64c	1,12
CC-SB	33,2c	6,91	51,4c	19,0	6,99b	1,39
SC-CB	86,9b	21,6	202,1b	28,7	12,5a	4,45
CC-CB	98,5a	23,1	227,7a	28,7	12,6a	5,11
Fonte de variação	(P > F)					
G	0,001	<0,001	0,003	<0,001	<0,001	<0,001
M	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
G × M	0,085	0,017	0,060	<0,001	0,149	0,001
CV(%)	15,8	17,1	16,0	14,8	14,3	26,6

¹SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas. Médias seguidas por letras distintas, na coluna e dentro de cada fator, diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Tabela 8 - Desdobramento da interação entre gesso × manejo para o acúmulo de P, Ca e S nos anos de 2018 e 2019

Gesso	Sistema de Manejo			
	SC-SB ¹	CC-SB	SC-CB	CC-CB
Acúmulo de P (kg ha ⁻¹) – 2018				
Sem aplicação	18,7aB	22,1aB	53,5aA	51,6cA
Dose recomendada	22,7aB	21,9aB	57,5aA	59,6bA
Dose elevada	20,9aC	27,4aC	59,8aB	76,0aA
Acúmulo de Ca (kg ha ⁻¹) – 2018				
Sem aplicação	18,6bB	22,7aB	33,2bA	36,7bA
Dose recomendada	26,6aC	25,9aC	38,8bB	48,2aA
Dose elevada	26,7aB	29,4aB	57,3aA	51,7aA
Acúmulo de S (kg ha ⁻¹) – 2018				
Sem aplicação	7,16aC	9,62aC	18,6bB	27,3bA
Dose recomendada	8,31aB	11,0aB	17,3bA	18,9bA
Dose elevada	11,9aB	13,2aB	33,1aA	35,7aA
Acúmulo de P (kg ha ⁻¹) – 2019				
Sem aplicação	5,49aD	9,95aC	23,3aB	28,1aA
Dose recomendada	6,58aB	5,44bB	18,4bA	17,7cA
Dose elevada	6,42aB	5,33aB	23,1aA	23,5bA
Acúmulo de Ca (kg ha ⁻¹) – 2019				
Sem aplicação	21,7aB	24,7aAB	23,7bAB	28,3bA
Dose recomendada	22,2aA	14,3bB	20,5bAB	22,2bA
Dose elevada	25,1aC	18,1bD	41,8aA	35,5aB
Acúmulo de S (kg ha ⁻¹) – 2019				
Sem aplicação	0,98aC	1,66aBC	2,71bAB	3,97bA
Dose recomendada	1,01aB	0,97aB	2,78bA	3,84bA
Dose elevada	1,37aB	1,55aB	7,86aA	7,52aA

¹SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas. Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

O acúmulo de N apresentou efeito significativo apenas para o sistema de manejo, em 2020, e para ambos os fatores isolados em 2021 (Tabela 9). Os manejos SC–CB e CC–CB apresentaram os maiores acúmulos de N nas plantas de cobertura avaliadas. Já em 2021, o maior acúmulo de N nas plantas de cobertura ocorreu na ausência da aplicação de gesso ou na dose elevada, estatisticamente iguais. O sistema de manejo SC–CB (79,4 kg ha⁻¹) apresentou o maior acúmulo de N nas plantas de cobertura, não diferindo do sistema de manejo CC-CB (70,0 kg ha⁻¹) (Tabela 9).

No ano de 2020 e 2021, a aplicação de gesso não proporcionou diferença significativa entre os tratamentos para o acúmulo de P, já para o sistema de manejo,

o maior acúmulo de P foi observado com o manejo CC–CB, quando comparado aos demais sistemas de manejos (Tabela 9).

Em 2020, o sistema de manejo CC–CB ($336,9 \text{ kg ha}^{-1}$) apresentou o maior acúmulo de K nas plantas de cobertura, enquanto o manejo SC–SB teve o menor acúmulo ($190,1 \text{ kg ha}^{-1}$) (Tabela 9). Em 2021, a ausência da aplicação de gesso ou a aplicação da dose elevada proporcionaram aumento no acúmulo de K para as plantas de cobertura avaliadas na entrelinha. Os sistemas de manejos SC–CB e CC–CB apresentaram os maiores acúmulos de K, $120,0$ e $129,7 \text{ kg ha}^{-1}$, quando comparados aos manejos SC–SB e CC–SB, $72,6$ e $70,0 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente (Tabela 9).

A interação entre os fatores impactou significativamente no acúmulo de Ca nas plantas de cobertura avaliadas na entrelinha do cafeeiro, no ano de 2020 (Tabela 9). No desdobramento da interação, observa-se que a dose recomendada de gesso associada ao manejo CC–CB proporcionou maior acúmulo de Ca ($43,9 \text{ kg ha}^{-1}$), e a dose elevada de gesso associada ao manejo SC–CB também proporcionou maior acúmulo de Ca ($44,8 \text{ kg ha}^{-1}$) (Tabela 10). Em 2021, a aplicação da dose elevada proporcionou aumento no acúmulo de Ca para as plantas de cobertura avaliadas na entrelinha, e o sistema de manejo CC–CB apresentou o maior acúmulo de Ca, $27,5 \text{ kg ha}^{-1}$ (Tabela 9).

O acúmulo de Mg sofreu efeitos significativos de ambos os fatores isolados, em 2020, e para interação entre os fatores em 2021 (Tabela 9). Em 2020, a ausência da aplicação de gesso ou a aplicação da dose recomendada proporcionaram aumento no acúmulo de Mg para as plantas de cobertura avaliadas na entrelinha. Os sistemas de manejos SC–CB e CC–CB apresentaram os maiores acúmulos de Mg, $21,1$ e $23,9 \text{ kg ha}^{-1}$, quando comparados aos manejos SC–SB e CC–SB, $14,3$ e $16,2 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente (Tabela 9). Em 2021, no desdobramento da interação, observa-se que a ausência da aplicação de gesso associada ao sistema de manejo CC–CB proporcionou maior acúmulo de Mg (Tabela 10).

O acúmulo de S apresentou efeito significativo para ambos os fatores isolados, em 2020, e para interação dos fatores em 2021 (Tabela 9). Em 2020, a aplicação da dose elevada proporcionou aumento no acúmulo de S, já os sistemas de manejos CC–SB, SC–CB e CC–CB apresentaram os maiores acúmulos de S, $9,80$, $9,75$ e $11,01 \text{ kg ha}^{-1}$, quando comparados ao manejo SC–SB, $7,50 \text{ kg ha}^{-1}$,

respectivamente (Tabela 9). Em 2021, no desdobramento da interação, observa-se que a aplicação da dose elevada de gesso associada ao manejo CC-CB proporcionou maior acúmulo de S (Tabela 10).

Tabela 9 - Acúmulo de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) na parte área da braquiária e das plantas de crescimento espontâneo, de duas épocas de avaliação somadas (janeiro + abril) de cada ano, em função da aplicação de gesso agrícola, composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas, nos anos agrícolas de 2020 e 2021

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
kg ha ⁻¹						
2020						
Gesso (G)						
Sem aplicação	131,0a	18,8a	253,2a	28,6	19,5a	7,36b
Dose recomendada	142,6a	16,8a	273,3a	33,2	20,6a	9,06b
Dose elevada	136,3a	15,9a	266,7a	35,3	16,4b	12,1a
Manejo (M) ¹						
SC-SB	106,6b	13,8b	190,1d	27,1	14,3b	7,50b
CC-SB	117,4b	14,6b	227,3c	29,4	16,2b	9,80a
SC-CB	165,3a	17,6b	303,3b	35,4	21,1a	9,75a
CC-CB	166,4a	22,7a	336,9a	37,5	23,9a	11,01a
Fonte de variação	(P > F)					
G	0,204	0,248	0,211	<0,001	0,005	<0,001
M	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,010
G × M	0,534	0,607	0,796	0,002	0,666	0,287
CV(%)	11,2	24,4	10,4	12,0	15,7	21,2
2021						
Gesso (G)						
Sem aplicação	70,4a	10,1a	107,1a	21,4b	13,8	3,35
Dose recomendada	49,5b	10,2a	84,7b	22,0b	11,2	3,97
Dose elevada	69,4a	11,8a	102,4a	29,4a	11,8	9,25
Manejo (M) ¹						
SC-SB	48,7c	9,51b	72,6b	21,3b	10,9	4,19
CC-SB	54,4bc	10,13b	70,0b	22,7b	10,7	4,70
SC-CB	79,4a	10,87ab	120,0a	25,6ab	13,3	6,39
CC-CB	70,0ab	12,5a	129,7a	27,5a	14,2	6,80
Fonte de variação	(P > F)					
G	0,008	0,050	<0,001	<0,001	0,001	<0,001
M	0,002	0,011	<0,001	0,041	<0,001	<0,001
G × M	0,795	0,747	0,147	0,449	0,001	<0,001
CV(%)	26,3	16,9	12,9	19,2	12,4	17,8

¹SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas. Médias seguidas por letras distintas, na coluna e dentro de cada fator, diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Tabela 10 - Desdobramento da interação entre gesso × manejo para o acúmulo de Ca no ano de 2020, Mg e S no ano de 2021 e N e P no ano de 2022

Gesso	Sistema de Manejo			
	SC-SB ¹	CC-SB	SC-CB	CC-CB
Acúmulo de Ca (kg ha ⁻¹) – 2020				
Sem aplicação	26,9aB	26,1bB	27,6bAB	33,8bA
Dose recomendada	26,1aB	29,2abAB	33,7bB	43,9aA
Dose elevada	28,4aB	32,9aB	44,8aA	34,8bB
Acúmulo de Mg (kg ha ⁻¹) – 2021				
Sem aplicação	13,2aB	9,44aC	15,6aAB	17,1aA
Dose recomendada	7,86bB	11,5aA	12,9bA	12,6bA
Dose elevada	11,7aA	11,2abA	11,4bA	12,9bA
Acúmulo de S (kg ha ⁻¹) – 2021				
Sem aplicação	2,48bB	2,39bB	4,49bA	4,04bAB
Dose recomendada	3,19bB	3,93bAB	5,44bA	3,32bB
Dose elevada	6,92aC	7,79aBC	9,25aB	13,0aA
Acúmulo de N (kg ha ⁻¹) – 2022				
Sem aplicação	87,8aB	100,6aB	114,1cB	154,1aA
Dose recomendada	96,3aB	115,5aB	146,7bA	157,9aA
Dose elevada	108,1aC	97,1aC	180,8aA	149,7aB
Acúmulo de P (kg ha ⁻¹) – 2022				
Sem aplicação	22,7aA	24,9aA	19,8bA	26,2aA
Dose recomendada	13,2bB	13,6bB	25,5abA	16,8bAB
Dose elevada	18,4abB	16,2abB	31,0aA	34,5aA

¹SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas. Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

A interação entre a aplicação de gesso agrícola e os diferentes sistemas de manejo afetou os acúmulos de N e P nas plantas de cobertura avaliadas na entrelinha do cafeeiro, no ano de 2022 (Tabela 11). Observa-se no desdobramento, que a dose elevada associada ao manejo SC–CB proporcionou maior acúmulo de N, enquanto, para o acúmulo de P, a dose elevada associada aos manejos SC–CB e CC–CB proporcionaram maiores valores (Tabela 10).

Para o acúmulo de K, os sistemas de manejos SC–CB e CC–CB proporcionaram os maiores valores para K em 2022. Para o acúmulo de Ca, Mg e S, ambos obtiveram efeitos isolados, em 2022 (Tabela 11). A aplicação da dose recomendada e da dose elevada de gesso proporcionaram os maiores acúmulos de Ca, enquanto os manejos SC–CB e CC–CB apresentaram os maiores acúmulos de Ca, nos fatores isolados (Tabela 11). A ausência da aplicação de gesso e a dose

recomendada proporcionaram maiores acúmulos de Mg nas plantas de cobertura, enquanto os manejos SC–CB e CC–CB apresentaram os maiores acúmulos de Mg, em seus respectivos fatores isolados. Para o acúmulo de S, apenas a dose elevada proporcionou maior acúmulo, enquanto o manejo SC–SB apresentou o menor acúmulo de S, quando comparado aos demais manejos (Tabela 11).

Tabela 11 - Acúmulo de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) na parte aérea da braquiária e das plantas de crescimento espontâneo, de duas épocas de avaliação somadas (janeiro + abril) de cada ano, em função da aplicação de gesso agrícola, composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas, nos anos agrícolas de 2022

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
	kg ha ⁻¹					
	2022					
Gesso (G)						
Sem aplicação	114,1	23,4	253,7a	66,1b	19,8a	10,2b
Dose recomendada	129,1	17,3	253,3a	81,7a	20,0a	10,4b
Dose elevada	133,9	25,0	259,9a	82,4a	17,2b	14,1a
Manejo (M) ¹						
SC–SB	97,4	18,1	177,2b	62,0b	14,6b	9,29b
CC–SB	104,4	18,2	185,8b	66,2b	16,5b	11,6a
SC–CB	147,2	25,4	328,6a	88,1a	23,0a	12,9a
CC–CB	153,9	25,8	331,1a	90,6a	21,9a	12,5a
Fonte de variação	(P > F)					
G	0,035	0,004	0,766	<0,001	0,012	<0,001
M	<0,001	0,004	<0,001	<0,001	<0,001	0,012
G × M	0,038	0,014	0,555	0,119	0,210	0,508
CV(%)	14,4	24,5	9,6	9,2	12,0	19,8

¹SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas. Médias seguidas por letras distintas, na coluna e dentro de cada fator, diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

O gesso utilizado continha cerca de 16% Ca e 13% de S, fato que, provavelmente, aumentou a disponibilidade no solo da entrelinha, e devido a prática de arruação e esparramação, onde as plantas de cobertura da entrelinha o absorveram em maior quantidade. Os resultados obtidos neste estudo são consistentes outros encontrados em pesquisas que utilizaram o gesso, em culturas como algodão (Silva *et al.*, 1997), milho (Carvalho e Raij, 1997) e soja (Caires *et al.*, 1998 e 2003; Quaggio *et al.*, 1993), confirmando que os nutrientes provenientes do gesso foram efetivamente alocados nos tecidos vegetais. O aumento do acúmulo de Ca no ano de 2022 ocorreu devido a aplicação de calcário do ano anterior, que

forneceu esse nutriente (Tabela 11). Esse efeito pode estar relacionado ao aumento na disponibilidade de Ca e Mg no solo, decorrente da aplicação de calcário. O incremento no acúmulo desses nutrientes depende tanto do aumento no teor do solo quanto na produção de biomassa, ou de ambos (Malavolta *et al.*, 1997). Uma vez que há uma pequena movimentação do solo, da linha do café para a entrelinha, explica a maior absorção destes nutrientes e acarreta maior acúmulo nos tecidos vegetais.

Cantarella e Montezano (2010) afirmaram que a gessagem, fonte de S, também pode favorecer o aproveitamento de N pelas plantas, devido à interação entre esses dois elementos, pois a ausência de aminoácidos que contém S pode favorecer o acúmulo de N em aminoácidos solúveis, aminas e amidas que não tem atividade metabólica nas plantas (Epstein; Bloom, 2005).

Nesses ambientes de alta produtividade há elevada remoção de nutrientes, segundo Santos *et al.* (2021b), em sistema intensivo de produção de forragem, em Coruripe (AL), relatam que as concentrações de nutrientes nas braquiárias brizantha e decumbens, foram em média de 17,5; 2,7; 28,0; 3,9; 2,5 e 3,0 g de N, P, K, Ca, Mg e S por kg de massa seca da parte aérea das plantas, respectivamente. Então, se a cada quatro semanas houver produção de 5.000 kg de matéria seca por hectare, o acúmulo de nutrientes na parte aérea será de 87,5; 13,5; 140,0; 19,5; 12,5 e 15,0 kg de N, P, K, Ca, Mg e S por hectare. Baptistella (2020), ao avaliar a ciclagem de P pela braquiária decumbens consorciada com o cafeeiro, observou que a braquiária acumulou 127 kg de N, 11 kg de P, 143 kg de K, 32 kg de Ca, 33 kg de Mg e 8 kg de S por hectare ao longo de 194 dias de experimento. Esses dados destacam a capacidade da braquiária em ciclar nutrientes, especialmente o K, que é o nutriente mais acumulado pelas plantas de braquiária. No presente estudo, a ordem de acúmulo dos nutrientes na parte aérea dessas plantas foi: K > N > Ca > Mg > P > S, evidenciando a elevada capacidade dessas plantas de acumular nutrientes.

Garcia *et al.* (2008) destacaram que, no consórcio de milho com *U. brizantha*, houve um aumento significativo nos teores de K no solo, atribuído à capacidade dessas gramíneas de absorverem e acumularem potássio, promovendo sua reciclagem eficiente. Esse processo de ciclagem é também observado em sistemas de produção de grãos com rotação de culturas, onde *U. ruziziensis* demonstra alta eficiência na utilização de K, acumulando grandes quantidades do nutriente em seus tecidos. Após o corte, esses nutrientes são devolvidos ao solo, o que potencializa a

reciclagem e a sustentabilidade do sistema agrícola (Ernani *et al.*, 2007; Volf *et al.*, 2018; Mielniczuk, 2005; Giacomini *et al.*, 2003; Rosolem *et al.*, 2003; Calonego *et al.*, 2005).

A quantidade de biomassa acumulada na parte aérea da braquiária, bem como a quantidade de nutrientes acumulados por essas plantas depende de muitos fatores, havendo grande interação entre eles, mas em geral, os que mais afetam são as condições climáticas como o comprimento do dia, a disponibilidade hídrica, radiação solar, temperaturas diurnas e noturnas, práticas culturais, uso anterior do solo e fertilidade do solo (Portes *et al.*, 2000; Cantarella *et al.*, 2002).

4.3.2 Crescimento da planta: diâmetro do caule e altura

Em relação ao diâmetro do caule, a aplicação de gesso agrícola, o composto orgânico e o cultivo de braquiária nas entrelinhas não apresentaram interações significativas em nenhum dos períodos avaliados (abril de 2017 a outubro de 2022) (Tabela 12). Observou-se ao longo das doze épocas de avaliação, um aumento gradual no diâmetro do caule, sem variações significativas (Figura 2).

Para a altura de plantas, apenas as épocas de abril de 2018, outubro de 2021 e abril de 2022, apresentaram efeito significativo para o fator gesso (Tabela 12). Em abril de 2018, a aplicação da dose elevada gesso proporcionou um incremento na altura das plantas (Figura 2). O decréscimo na altura das plantas que ocorreu em outubro de 2021 para todos os tratamentos e, de forma mais acentuada para as doses de gesso, deve-se a uma geada que afetou a área experimental em julho. A geada ocasionou na morte de alguns ramos e folhas do ápice das plantas, sendo necessário realizar um decote, poda alta, o que está evidenciado na Figura 2. A diferença significativa observada em abril de 2022, ainda é reflexo da geada, e os efeitos foram mais acentuados nas plantas dos tratamentos com a aplicação da dose elevada de gesso, muito provavelmente, porque estas eram numericamente maiores que as demais, e foram mais afetadas no ápice.

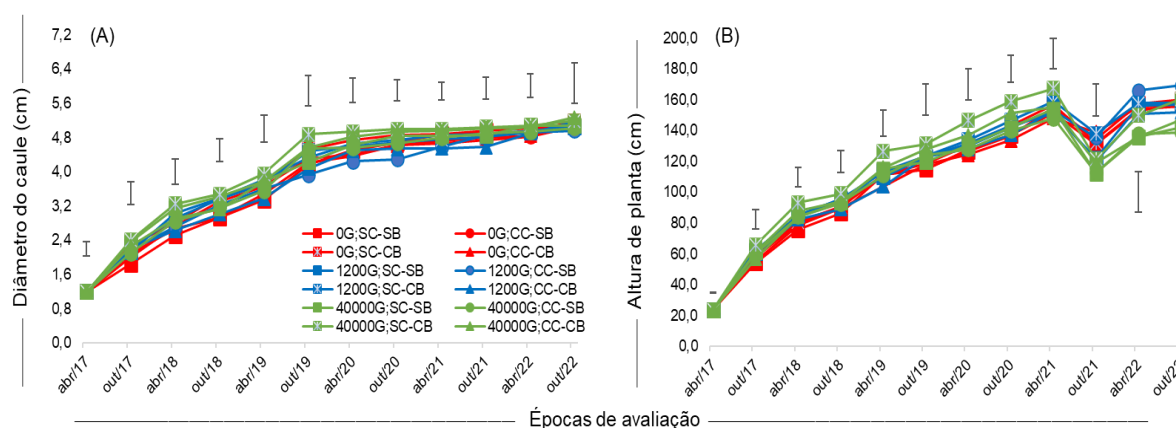
Apesar da dose elevada de gesso proporcionar um maior diâmetro do caule e altura de plantas numericamente, não foi possível evidenciar essas diferenças estatisticamente, muito provavelmente esse fenômeno pode ser explicado pelo crescimento inicial relativamente lento das plantas de café, o que resulta em uma menor demanda por nutrientes até a primeira produção, o qual a demanda cresce

(Matiello *et al.*, 2016). Corrêa (1992) conduziu um experimento no qual aplicou doses de calcário de maneira incorporada e gesso na superfície antes do plantio do café, tanto de forma isolada quanto combinada, em um Latossolo Roxo Distrófico. O estudo não encontrou qualquer influência da calagem ou da gessagem no diâmetro do caule e altura das plantas de café, cultivar Mundo Novo, o qual está de acordo com os resultados do presente estudo. Silva (2019), ao avaliar diferentes sistemas de manejos (filme de polietileno, braquiária e vegetação espontânea, casca de café, gesso agrícola e composto orgânico) em cafeeiros arábica, também não notou efeito dos tratamentos quanto à altura de plantas e diâmetro do caule.

Tabela 12 - Probabilidade de F e coeficiente de variação para o diâmetro do caule e altura das plantas de café arábica, em doze épocas de avaliação, em função da aplicação de gesso agrícola, composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas

Época de avaliação	Fonte de variação							
	Gesso (G)	Manejo (M)	G × M	CV (%)	Gesso (G)	Manejo (M)	G × M	CV (%)
	Diâmetro do caule				Altura da planta			
Abr. 2017	1,000	1,000	1,000	16,1	0,993	1,000	0,999	1,8
Out. 2017	0,240	0,552	0,879	14,7	0,262	0,480	0,983	12,6
Abr. 2018	0,065	0,390	0,793	12,4	0,026	0,610	0,898	8,9
Out. 2018	0,505	0,097	0,626	9,6	0,245	0,815	0,929	9,0
Abr. 2019	0,338	0,549	0,710	10,1	0,139	0,300	0,789	8,9
Out. 2019	0,136	0,181	0,835	9,6	0,189	0,816	0,990	10,0
Abr. 2020	0,162	0,184	0,873	7,3	0,257	0,427	0,875	9,0
Out. 2020	0,063	0,141	0,906	6,1	0,064	0,170	0,695	7,1
Abr. 2021	0,117	0,260	0,863	5,0	0,791	0,270	0,915	7,5
Out. 2021	0,378	0,810	0,846	6,2	0,005	0,647	0,500	9,7
Abr. 2022	0,585	0,860	0,999	6,7	0,021	0,829	0,870	10,2
Out. 2022	0,942	0,886	1,000	10,9	0,159	0,857	0,618	10,2

Figura 2 - Diâmetro do caule (A) e altura de planta (B) de café arábica em doze épocas de avaliação, em função de doses gesso (0G: 0 kg ha⁻¹; 1200G: 1.200 kg ha⁻¹; 40000G: 40.000 kg ha⁻¹) e dos sistemas de manejo (SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas). Barras horizontais indicam o DMS ($P=0,05$), pelo teste LSD, em cada época de avaliação



4.3.3 Teor de nutrientes nas folhas de café arábica

O teor de nutrientes nas folhas de café arábica foram influenciados significativamente pelos fatores estudados em 2018, em que a ausência da aplicação de gesso proporcionou maior teor de N nas folhas de café (36,7 g kg⁻¹), e os sistemas de manejos CC-SB e CC-CB apresentaram os maiores teores de N nas folhas (Tabela 13). Já em 2019, não houve efeito dos fatores estudados em relação ao teor de N na folha do cafeeiro. A interação entre as doses de gesso e o sistema de manejo, impactaram significativamente no teor de P nas folhas do cafeeiro em 2018, enquanto, em 2019 houve efeito significativo para os fatores isolados (Tabela 13). No desdobramento da interação, observa-se que a dose recomendada de gesso associada ao manejo CC-CB, e a dose elevada de gesso associada aos manejos SC-SB, CC-SB e SC-CB, proporcionaram os maiores teores de P na folha, alcançando 3,33, 2,93, 3,06 e 2,99 g kg⁻¹, respectivamente (Tabela 14). Já em 2019, o maior teor de P na folha foi proporcionado pela aplicação da dose elevada de gesso, e, pelo sistema de manejo SC-CB de forma isolada. Em 2018, a dose recomendada e a dose elevada de gesso proporcionaram maiores teores de K nas folhas de café quando comparado à ausência da aplicação de gesso. O sistema de manejo CC-CB apresentou o maior teor de K (24,5 g kg⁻¹) quando comparado ao

sistema de manejo SC–SB (21,5 g kg⁻¹), respectivamente. Em 2019, a ausência da aplicação de gesso e a dose elevada de gesso apresentaram os maiores teores de K nas folhas de café (22,4 e 23,9 g kg⁻¹) (Tabela 13).

Para os teores de Ca nas folhas de café, em 2018, houve efeito significativo da interação (gesso × manejo), enquanto em 2019, houve efeito do fator isolado gesso (Tabela 13). No desdobramento da interação, observa-se que a dose elevada de gesso associada ao manejo CC–CB, proporcionou os maiores teores de Ca na folha, alcançando 13,8 g kg⁻¹, em 2018 (Tabela 14). Já em 2019, o maior teor de Ca na folha foi proporcionado somente pela aplicação da dose elevada de gesso, 13,1 g kg⁻¹ (Tabela 13). Houve efeito isolado do fator gesso nos teores de Mg nas folhas do cafeeiro, em 2018, e houve efeito dos fatores isolados gesso e manejo, em 2019 (Tabela 13). O maior teor de Mg na folha foi encontrado na ausência da aplicação de gesso, e o menor teor na aplicação da dose elevada de gesso, em 2018. O mesmo efeito foi observado em 2019 para o fator isolado gesso, enquanto no sistema de manejo, o sistema CC–CB, proporcionou maior teor de Mg na folha de café (Tabela 13). A interação entre os fatores, impactaram significativamente no teor de S nas folhas do cafeeiro, nos anos de 2018 e 2019 (Tabela 13). No desdobramento da interação de ambos os anos, observa-se que na dose elevada de gesso associada com o sistema de manejo SC–CB, proporcionou o maior teor de S nas folhas (Tabela 14).

Tabela 13 - Teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) nas folhas de café arábica em função da aplicação de gesso agrícola, composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas, nos anos agrícolas de 2018 e 2019

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
g kg⁻¹						
<u>2018</u>						
Gesso (G)						
Sem aplicação	36,7a	2,39	21,3b	9,81	1,80a	2,19
Dose recomendada	35,3b	2,48	23,4a	11,6	1,50b	2,35
Dose elevada	34,9b	3,00	24,5a	13,2	0,94c	3,41
Manejo (M) ¹						
SC-SB	32,9b	2,55	21,5c	10,9	1,32a	2,61
CC-SB	38,4a	2,54	23,6ab	11,8	1,45a	2,58
SC-CB	33,2b	2,46	22,6bc	11,5	1,40a	2,62
CC-CB	38,0a	2,94	24,5a	12,0	1,48a	2,79
Fonte de variação	(P > F)					
G	0,031	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
M	<0,001	<0,001	<0,001	0,005	0,567	0,579
G × M	0,239	<0,001	0,367	0,005	0,115	0,004
CV(%)	4,6	6,7	6,7	5,4	17,6	13,1
<u>2019</u>						
Gesso (G)						
Sem aplicação	27,2a	0,55c	22,4a	11,2b	3,03a	0,82
Dose recomendada	26,4a	0,77b	18,7b	11,9ab	2,56b	0,85
Dose elevada	27,0a	1,29a	23,9a	13,1a	1,82c	2,12
Manejo (M) ¹						
SC-SB	27,2a	0,74bc	22,5a	11,5a	2,06b	1,29
CC-SB	26,9a	0,72c	20,4a	12,4a	2,71a	1,04
SC-CB	26,8a	1,05a	22,2a	12,6a	2,69a	1,46
CC-CB	26,4a	0,95ab	21,5a	11,8a	2,41ab	1,26
Fonte de variação	(P > F)					
G	0,132	<0,001	<0,001	0,017	<0,001	<0,001
M	0,345	0,019	0,432	0,390	0,008	0,127
G × M	0,751	0,180	0,175	0,102	0,470	0,002
CV(%)	3,4	27,8	13,2	12,5	16,5	27,8

¹SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas. Médias seguidas por letras distintas, na coluna e dentro de cada fator, diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Tabela 14 - Desdobramento da interação entre gesso × manejo para os teores foliares de P, Ca, S, Cu, Fe, Mn no ano de 2018 e S, Cu e Fe no ano de 2019

Gesso	Sistema de Manejo			
	SC-SB ¹	CC-SB	SC-CB	CC-CB
Teor de P na folha (g kg ⁻¹) – 2018				
Sem aplicação	2,25bA	2,31bA	2,53bA	2,49cA
Dose recomendada	2,46bB	2,26bB	1,87cC	3,33aA
Dose elevada	2,93aA	3,06aA	2,99aA	3,01bA
Teor de Ca na folha (g kg ⁻¹) – 2018				
Sem aplicação	8,77cB	9,96bA	10,6bA	9,85cA
Dose recomendada	10,5bC	12,5aA	11,3bBC	12,3bAB
Dose elevada	13,4aAB	13,1aAB	12,5aB	13,8aA
Teor de S na folha (g kg ⁻¹) – 2018				
Sem aplicação	1,84bA	2,36aA	2,16bA	2,41bA
Dose recomendada	2,14bB	2,47aAB	2,01bB	2,80abA
Dose elevada	3,86aA	2,92aC	3,70aAB	3,16aBC
Teor de Cu na folha (mg kg ⁻¹) – 2018				
Sem aplicação	9,05abA	9,83aA	11,3aA	9,83aA
Dose recomendada	6,77bB	12,0aA	12,1aA	10,2aA
Dose elevada	11,2aA	11,2aA	11,3aA	7,94aB
Teor de Fe na folha (mg kg ⁻¹) – 2018				
Sem aplicação	123,6bBC	154,5bAB	166,7bA	108,1bC
Dose recomendada	112,4bB	208,8aA	179,8abA	206,0aA
Dose elevada	206,9aA	234,1aA	207,9aA	209,8aA
Teor de Mn na folha (mg kg ⁻¹) – 2018				
Sem aplicação	36,6bB	82,2aA	74,3bA	86,3aA
Dose recomendada	40,7bAB	35,0cB	36,3cAB	53,1bA
Dose elevada	86,3aA	60,7bB	92,2aA	77,6aAB
Teor de S na folha (g kg ⁻¹) – 2019				
Sem aplicação	0,88bA	0,96aA	0,61bA	0,83bA
Dose recomendada	0,91bA	0,90aA	0,80bA	0,82bA
Dose elevada	2,10aB	1,27aC	2,98aA	2,15aB
Teor de Cu na folha (mg kg ⁻¹) – 2019				
Sem aplicação	9,83aA	9,11aAB	8,10aBC	7,20aC
Dose recomendada	8,39aAB	5,20bC	9,36aA	6,35aBC
Dose elevada	8,66aA	4,04bB	5,20bB	7,99aA
Teor de Fe na folha (mg kg ⁻¹) – 2019				
Sem aplicação	154,4aA	109,8aBC	90,8aC	132,9aAB
Dose recomendada	94,8bA	104,9aA	115,0aA	88,6bA
Dose elevada	109,5bA	107,2aA	121,0aA	103,2abA

¹SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas. Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Para os teores de micronutrientes (Cu, Zn, Fe, Mn) houve diferença significativa, enquanto os teores de B não foram influenciados pelos fatores estudados, nos anos de 2018 e 2019 (Figura 15).

A interação entre os fatores afetou o teor de Cu nas folhas do cafeeiro, nos anos de 2018 e 2019 (Tabela 15). Na interação entre os fatores, nota-se que os teores foliares de Cu foram similares, no entanto, os menores teores de Cu foram observados na ausência da aplicação de gesso e na dose recomendada, associados ao manejo SC-SB em 2018, ao contrário de 2019, em que os maiores teores foram observados no sistema de manejo SC-SB, independente da dose de gesso (Tabela 14). Quanto aos teores de Zn nas folhas de café em 2018, a ausência da aplicação de gesso proporcionou o menor teor, enquanto o SC-SB também proporcionou o menor teor, com relação aos fatores isolados (Tabela 15). Por outro lado, em 2019, não houve efeito significativo para o fator gesso, mas para o fator sistema de manejo, sim, em que o sistema CC-SB apresentou o menor teor de Zn (Tabela 15).

A interação entre os fatores, impactaram significativamente no teor de Fe nas folhas do cafeeiro, nos anos de 2018 e 2019 (Tabela 15). De maneira geral, nota-se que os maiores teores de Fe foram observados na associação da dose elevada de gesso independente do sistema de manejo, em 2018. Quanto aos teores de Fe, no ano de 2019, os menores teores variaram entre 88,6 a 90,8 g kg⁻¹. Para os teores de Mn nas folhas, houve interação significativa entre os fatores estudados no ano de 2018, observa-se que os menores teores variaram entre 35,0 a 36,6 g kg⁻¹ (Tabela 15). Já para os teores de Mn analisados em 2019, notou-se que o maior teor foi apresentado com a aplicação da dose elevada de gesso, e quanto ao manejo, o menor teor foi apresentado no manejo CC-CB (Tabela 15).

Tabela 15 - Teores de micronutrientes (Cu, Zn, Fe, Mn e B) nas folhas de café arábica em função da aplicação de gesso agrícola, composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas, nos anos agrícolas de 2018 e 2019

Tratamento	Cu	Zn	Fe	Mn	B
mg kg ⁻¹					
2018					
Gesso (G)					
Sem aplicação	10,0	15,1b	138,2	69,8	58,7a
Dose recomendada	10,2	23,0a	176,7	41,3	57,7a
Dose elevada	10,4	22,0a	214,7	79,2	61,1a
Manejo (M) ¹					
SC-SB	9,01	16,9b	147,6	54,5	54,2a
CC-SB	11,0	20,4a	199,1	59,3	62,0a
SC-CB	11,5	20,3a	184,8	67,6	57,6a
CC-CB	9,33	22,6a	174,6	72,3	62,8a
Fonte de variação	(P > F)				
G	0,783	<0,001	<0,001	<0,001	0,730
M	0,003	0,004	<0,001	0,005	0,296
G × M	0,016	0,364	0,001	0,001	0,492
CV(%)	14,7	14,4	11,1	16,1	17,6
2019					
Gesso (G)					
Sem aplicação	8,56	9,68a	122,0	147,9b	34,4a
Dose recomendada	7,32	8,58a	100,8	139,8b	40,6a
Dose elevada	6,47	9,09a	110,3	190,5a	38,2a
Manejo (M) ¹					
SC-SB	8,96	8,91b	119,6	174,2ab	39,4a
CC-SB	6,11	7,22a	107,3	139,6bc	37,4a
SC-CB	7,55	9,86ab	108,9	193,6a	38,6a
CC-CB	7,18	10,4a	108,2	130,3c	35,6a
Fonte de variação	(P > F)				
G	0,002	0,168	0,029	0,010	0,387
M	0,001	<0,001	0,447	0,008	0,891
G × M	0,002	0,068	0,007	0,078	0,960
CV(%)	17,4	15,0	16,1	24,8	28,9

¹SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas. Médias seguidas por letras distintas, na coluna e dentro de cada fator, diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Os teores de N, P e Ca nas folhas do cafeeiro foram influenciados pela aplicação de gesso, enquanto os teores de Mg e S apresentaram interação entre os fatores (gesso × manejo), e, o teor foliar de K não foi influenciado por nenhum fator avaliado, em 2020 (Tabela 16). Para os teores de N, P e Ca, a dose elevada de gesso proporcionou o maior incremento nas folhas de café (Tabela 16). Para o teor de Mg, no desdobramento da interação, observa-se os menos teores com a aplicação da dose elevada de gesso, independente do sistema de manejo (Tabela

17). No desdobramento da interação, para o teor de S na folha de café, notou-se que a dose elevada de gesso associada ao manejo SC–CB apresentou o maior teor (Tabela 17).

Em 2021, o teor de N foi influenciado pela interação (dose × manejo), já o teor de K foi influenciado apenas pelo sistema de manejo, e os teores de Ca, Mg e S foram afetados pela aplicação de gesso, no entanto, o teor de P nas folhas do cafeeiro não foi afetado por nenhum fator avaliado (Tabela 16). No desdobramento da interação, para o teor de N na folha de café, notou-se uma variação muito pequena, com o menor valor 27,4 e o maior 31,2 g kg⁻¹ (Tabela 17). Os sistemas de manejos CC–SB e CC–CB proporcionaram os maiores teores foliares de K (Tabela 16). Para os teores foliares de Ca e S, a aplicação da dose elevada de gesso proporcionou os maiores teores, já, para o teor foliar de Mg, a aplicação da dose elevada proporcionou o menor teor, enquanto na ausência da aplicação e na dose recomendada de gesso, os teores eram mais elevados (Tabela 16).

Para os teores de micronutrientes nas folhas de café, apenas o teor de Cu foi influenciado pela interação dos fatores, e o teor de Fe pela aplicação de gesso, os demais (Zn, Mn e B) não foram significativos, em 2020 (Tabela 18). No desdobramento da interação, os menores teores de Cu foram observados com a aplicação da dose recomendada de gesso associada aos manejos CC-SB e CC-CB e na dose elevada de gesso associada ao manejo SC-SB (Tabela 17). Para o teor foliar de Fe, apenas a dose recomendada de gesso proporcionou menor teor foliar. Em 2021, os teores foliares de Cu e B foram influenciados apenas pelo fator gesso, e para Zn, houve efeito da interação entre os fatores avaliados, já Fe e Mn, não diferiram (Tabela 18). A aplicação da dose recomendada ou da dose elevada de gesso proporcionaram maiores teores de Cu e B nas folhas de café (Tabela 18). Quanto à interação dos fatores no teor de Zn, na ausência da aplicação de gesso associado ao manejo SC-CB e na dose elevada associada ao manejo SC-SB, apresentaram os maiores teores de Zn nas folhas de café (Tabela 17).

Tabela 16 - Teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) nas folhas de café arábica em função da aplicação de gesso agrícola, composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas, nos anos agrícolas de 2020 e 2021

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
g kg ⁻¹						
2020						
Gesso (G)						
Sem aplicação	29,0ab	0,67b	26,0b	6,32c	1,95	1,16
Dose recomendada	27,3b	0,78b	27,9a	7,26b	1,61	1,21
Dose elevada	31,0a	1,01a	26,7ab	9,36a	1,34	2,08
Manejo (M) ¹						
SC-SB	29,3a	0,66a	26,0a	7,43a	1,63	1,44
CC-SB	29,5a	0,93a	27,5a	7,76a	1,65	1,34
SC-CB	28,3a	0,79a	26,7a	7,37a	1,52	1,69
CC-CB	29,2a	0,91a	27,5a	8,03a	1,73	1,48
Fonte de variação	(P > F)					
G	0,016	0,008	0,073	<0,001	<0,001	<0,001
M	0,816	0,121	0,367	0,352	0,436	0,011
G × M	0,508	0,762	0,477	0,155	0,039	<0,001
CV(%)	9,7	30,0	7,1	11,1	16,8	13,4
2021						
Gesso (G)						
Sem aplicação	28,4	1,18a	24,4a	9,90b	2,45a	0,89b
Dose recomendada	29,0	1,20a	23,9a	10,2b	2,42a	0,88b
Dose elevada	30,4	1,14a	25,8a	11,8a	1,94b	1,52a
Manejo (M) ¹						
SC-SB	29,4	1,14a	23,3b	10,1a	2,20a	1,00a
CC-SB	29,3	1,23a	26,1a	11,1a	2,28a	1,03a
SC-CB	28,6	1,13a	23,2b	10,4a	2,21a	1,07a
CC-CB	29,7	1,19a	26,4a	10,9a	2,38a	1,28a
Fonte de variação	(P > F)					
G	<0,001	0,386	0,095	0,001	<0,001	<0,001
M	0,094	0,150	0,004	0,259	0,279	0,145
G × M	0,035	0,746	0,996	0,190	0,090	0,368
CV(%)	3,2	8,3	8,7	11,0	9,3	24,7

¹SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas. Médias seguidas por letras distintas, na coluna e dentro de cada fator, diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Tabela 17 - Desdobramento da interação entre gesso × manejo para os teores foliares de Mg, S e Cu no ano de 2020, N e Zn no ano de 2021 e Ca, Cu e Zn no ano de 2022

Gesso	Sistema de Manejo			
	SC-SB ¹	CC-SB	SC-CB	CC-CB
Teor de Mg na folha (g kg ⁻¹) – 2020				
Sem aplicação	2,16aA	1,80aAB	1,66aB	2,16aA
Dose recomendada	1,44bAB	1,88aA	1,73aAB	1,40bB
Dose elevada	1,29bAB	1,26bAB	1,16bC	1,63bA
Teor de S na folha (g kg ⁻¹) – 2020				
Sem aplicação	0,87cB	1,22bA	1,23bA	1,34bA
Dose recomendada	1,28bA	1,21bA	1,10bA	1,16bA
Dose elevada	2,07aB	1,60aC	2,73aA	1,93aBC
Teor de Cu na folha (mg kg ⁻¹) – 2020				
Sem aplicação	22,2abA	16,9aA	19,7aA	14,5aA
Dose recomendada	29,0aA	9,68aB	19,3aAB	10,4aB
Dose elevada	12,5bA	17,7aA	21,8aA	20,5aA
Teor de Zn na folha (mg kg ⁻¹) – 2021				
Sem aplicação	7,81bAB	8,41aAB	10,4aA	5,07bB
Dose recomendada	4,67bA	4,54bA	4,14bA	7,61abA
Dose elevada	12,2aA	11,2aAB	8,01aB	9,88aAB
Teor de N na folha (g kg ⁻¹) – 2021				
Sem aplicação	27,7cB	28,4aAB	27,4bB	29,9abA
Dose recomendada	29,4bAB	29,9aA	28,1bB	28,7bAB
Dose elevada	31,2aA	29,5aB	30,3aAB	30,5aAB
Teor de Ca na folha (g kg ⁻¹) – 2022				
Sem aplicação	6,85aA	4,97bB	7,26aA	6,40bA
Dose recomendada	6,44aA	7,01aA	7,18aA	7,75aA
Dose elevada	7,55aA	6,36aAB	6,04aB	4,65cC
Teor de Cu na folha (mg kg ⁻¹) – 2022				
Sem aplicação	9,95abA	7,65bB	9,95bA	7,27cB
Dose recomendada	8,61bB	10,9aAB	12,6aA	10,3bAB
Dose elevada	11,2aB	12,0aAB	13,5aAB	14,7aA
Teor de Zn na folha (mg kg ⁻¹) – 2022				
Sem aplicação	11,1aA	9,99bA	9,60aA	10,6aA
Dose recomendada	6,76bC	12,7aA	10,2aB	10,1aB
Dose elevada	12,1aA	10,3bAB	10,6aAB	10,0aB

¹SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas. Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Tabela 18 - Teores de micronutrientes (Cu, Zn, Fe, Mn e B) nas folhas de café arábica em função da aplicação de gesso agrícola, composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas, nos anos agrícolas de 2020 e 2021

Tratamento	Cu	Zn	Fe	Mn	B
mg kg ⁻¹					
2020					
Gesso (G)					
Sem aplicação	18,3	13,2a	51,6a	95,0a	27,2a
Dose recomendada	17,1	10,7a	28,8b	86,1a	31,1a
Dose elevada	18,1	11,0a	49,4a	117,2a	29,2a
Manejo (M) ¹					
SC-SB	21,2	12,1a	45,2a	118,5a	29,4a
CC-SB	14,8	12,3a	49,0a	88,0a	27,4a
SC-CB	20,3	10,9a	29,3a	92,3a	29,5a
CC-CB	15,2	11,4a	49,7a	99,1a	30,4a
Fonte de variação	(P > F)				
G	0,886	0,187	0,035	0,080	0,060
M	0,091	0,822	0,201	0,242	0,417
G × M	0,038	0,461	0,664	0,818	0,881
CV(%)	36,1	29,8	50,8	33,2	13,1
2021					
Gesso (G)					
Sem aplicação	9,16b	7,92	128,4a	93,7a	34,9b
Dose recomendada	12,6a	5,24	103,5a	109,3a	38,5a
Dose elevada	14,5a	10,3	135,7a	109,8a	37,9a
Manejo (M) ¹					
SC-SB	12,6a	8,25	126,7a	108,4a	38,1a
CC-SB	11,4a	8,05	135,2a	100,4a	35,7a
SC-CB	13,0a	7,52	111,2	101,1a	38,0a
CC-CB	11,4a	7,52	116,9a	107,2a	26,7a
Fonte de variação	(P > F)				
G	<0,001	<0,001	0,503	0,094	0,016
M	0,384	0,848	0,887	0,751	0,273
G × M	0,557	0,018	0,880	0,977	0,541
CV(%)	19,7	27,8	56,6	18,7	8,0

¹SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas. Médias seguidas por letras distintas, na coluna e dentro de cada fator, diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Em 2022, os teores foliares de N, K e S não foram influenciados pelos fatores estudados (Tabela 19). As folhas de café arábica apresentaram maiores teores de P na ausência da aplicação de gesso e na dose elevada (Tabela 19). Quanto à interação dos fatores no teor de Ca nas folhas, os menores teores foram observados na ausência da aplicação de gesso associada ao manejo CC-SB (4,97 g kg⁻¹) (Tabela 17). Em relação ao fator gesso, apenas a dose elevada proporcionou menor teor de Mg, e para o fator sistema de manejo, o manejo SC-CB apresentou o maior

teor foliar de Mg (Tabela 19). Em 2023, os teores de P, K, Ca, Mg e S foram influenciadas significativamente pela aplicação de doses de gesso (Tabela 19). Os maiores teores foliares de P e Ca foram evidenciados com a aplicação da dose elevada de gesso. Para o teor foliar de K, o maior teor foi notado na ausência da aplicação de gesso. Já para os teores foliares de Mg e S nas folhas de café, a ausência da aplicação de gesso proporcionou os maiores teores, 3,23 e 2,53 g kg⁻¹ (Tabela 19).

Os teores foliares de Cu e Zn foram influenciados pela interação (gesso × manejo), e os teores foliares de Fe e Mn foram influenciados apenas pela aplicação de gesso, em 2022 (Tabela 20). No desdobramento da interação, os maiores teores de Cu foram observados na aplicação da dose recomendada de gesso associada ao manejo SC-CB, e na dose elevada associada ao manejo SC-CB (Tabela 17). O menor teor de Zn na folha (6,76 mg kg⁻¹) foi notado quando associado à dose recomendada de gesso e o sistema de manejo SC-CB (Tabela 17). Os maiores teores foliares de Fe foram encontrados na ausência da aplicação de gesso e com a aplicação da dose elevada 82,8 e 75,3 mg kg⁻¹, respectivamente. Para Mn, o maior teor foi notado com a aplicação da dose elevada de gesso, 121,0 mg kg⁻¹. Em 2023, apenas o teor de Cu foi influenciado pelos manejos isolados, os demais (Zn, Fe, Mn e B) não diferiram (Tabela 19). O maior teor de Cu foi observado na ausência da aplicação de gesso, enquanto os manejos SC-CB e CC-CB apresentaram os maiores teores de Cu (Tabela 19).

Tabela 19 - Teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) nas folhas de café arábica em função da aplicação de gesso agrícola, composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas, nos anos agrícolas de 2022 e 2023

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
g kg ⁻¹						
2022						
Gesso (G)						
Sem aplicação	31,6a	2,13a	22,7a	6,37	3,25a	2,43a
Dose recomendada	32,0a	1,70b	22,8a	7,09	3,28a	2,59a
Dose elevada	32,2a	2,09a	24,3a	6,15	2,88b	2,45a
Manejo (M) ¹						
SC-SB	32,0a	1,96a	22,8a	6,95	3,15ab	2,55a
CC-SB	31,8a	2,09a	24,5a	6,12	2,97b	2,40a
SC-CB	32,2a	1,95a	21,5a	7,82	3,35a	2,59a
CC-CB	31,9a	1,89a	24,3a	6,27	3,08b	2,42a
Fonte de variação	(P > F)					
G	0,433	0,011	0,241	0,018	<0,001	0,408
M	0,920	0,680	0,071	0,089	0,021	0,518
G × M	0,495	0,820	0,736	0,001	0,167	0,526
CV(%)	3,8	17,7	10,8	11,9	7,5	12,9
2023						
Gesso (G)						
Sem aplicação	28,0a	0,83b	20,7a	5,98b	3,23a	2,53a
Dose recomendada	30,3a	0,75b	18,1b	5,89b	2,81b	2,14b
Dose elevada	30,6a	1,12a	20,0ab	7,13a	2,83b	1,89b
Manejo (M) ¹						
SC-SB	29,9a	0,81a	18,2a	6,27a	3,06a	2,17a
CC-SB	30,9a	0,88a	21,2a	6,05a	2,82a	2,37a
SC-CB	30,2a	0,99a	19,1a	6,10a	3,13a	2,09a
CC-CB	27,5a	1,04a	19,9a	6,93a	2,83a	2,13a
Fonte de variação	(P > F)					
G	0,123	<0,001	0,047	0,003	0,001	<0,001
M	0,168	0,182	0,108	0,162	0,050	0,225
G × M	0,202	0,320	0,957	0,965	0,176	0,943
CV(%)	11,0	25,6	12,7	14,0	9,2	13,4

¹SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas. Médias seguidas por letras distintas, na coluna e dentro de cada fator, diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Tabela 20 - Teores de micronutrientes (Cu, Zn, Fe, Mn e B) nas folhas de café arábica em função da aplicação de gesso agrícola, composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas, nos anos agrícolas de 2022 e 2023

Tratamento	Cu	Zn	Fe	Mn	B
mg kg ⁻¹					
2022					
Gesso (G)					
Sem aplicação	8,70	10,3	82,8a	103,0b	28,7a
Dose recomendada	10,6	9,97	57,6b	93,3b	29,1a
Dose elevada	12,9	10,8	75,3a	121,0a	31,6a
Manejo (M) ¹					
SC-SB	9,95	10,0	70,1a	105,7a	31,7a
CC-SB	10,2	11,0	72,3a	111,4a	28,8a
SC-CB	12,0	10,1	68,1a	104,0a	28,1a
CC-CB	10,7	10,2	77,0a	108,7a	30,5a
Fonte de variação	(P > F)				
G	<0,001	0,220	0,002	0,026	0,098
M	0,008	0,278	0,664	0,866	0,129
G × M	0,005	<0,001	0,882	0,861	0,276
CV(%)	11,7	11,0	21,9	18,5	11,3
2023					
Gesso (G)					
Sem aplicação	10,2a	12,6a	101,9a	138,7a	21,3a
Dose recomendada	6,50b	10,9a	89,9a	113,4a	23,2a
Dose elevada	8,85ab	11,5a	99,4a	131,5a	21,2a
Manejo (M) ¹					
SC-SB	8,35ab	12,4a	99,6a	124,2a	25,6a
CC-SB	6,12b	11,8a	88,1a	111,4a	19,6a
SC-CB	10,3a	10,9a	92,4a	135,3a	19,5a
CC-CB	9,31a	11,6a	108,2a	140,5a	22,9a
Fonte de variação	(P > F)				
G	0,018	0,100	0,337	0,082	0,597
M	0,039	0,421	0,207	0,133	0,067
G × M	0,131	0,382	0,735	0,126	0,195
CV(%)	35,1	16,2	21,2	21,0	24,0

¹SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas. CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas. Médias seguidas por letras distintas, na coluna e dentro de cada fator, diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

De acordo com Quaggio *et al.* (2021), os teores foliares adequados de N, P e K para cafeeiro são de 25-30, 1,5-2,0 e 20-30 g kg⁻¹, respectivamente. Em 2018, as concentrações foliares de N e P em folhas de café arábica estavam elevadas, excedendo os valores considerados adequados por Quaggio *et al.* (2021), enquanto o teor de K nas folhas estava dentro da faixa recomendada. Em 2019, as concentrações foliares de N e K estavam dentro dos níveis adequados, porém o teor de P estava abaixo do valor recomendado. Nos anos de 2020 e 2021, apenas os

teores foliares de N e K estavam dentro da faixa considerada adequada, enquanto o teor de P permaneceu baixo. Em 2022, os teores de N, P e K estavam todos dentro dos valores adequados. No entanto, em 2023, somente o teor de P nas folhas permaneceu abaixo do nível adequado.

Os teores foliares adequados de Ca, Mg e S para cafeeiro são de 10-15, 3,0-5,0 e 1,5-2,0 g kg⁻¹, respectivamente (Quaggio *et al.* 2021). Em 2018, apenas o teor de Mg estava abaixo do nível adequado. Em 2019, tanto os teores foliares de Mg quanto de S estavam baixos. Em 2020, houve uma redução na concentração foliar de Ca, enquanto os teores de Mg e S estavam dentro ou próximos dos níveis adequados. No entanto, em 2021, o teor de Ca voltou a ficar dentro do adequado, enquanto os teores de Mg e S ficaram baixos. Nos anos de 2022 e 2023, o teor de Ca manteve-se baixo, enquanto o teor de Mg estava adequado e o teor de S estava elevado.

Já os teores foliares adequados de B, Cu, Fe, Mn e Zn para cafeeiro são de 60-100, 10-20, 50-200, 50-200 e 20-40 mg kg⁻¹, respectivamente (Quaggio *et al.* 2021). Em 2018, os teores foliares de todos esses micronutrientes estavam dentro da faixa adequada. No entanto, em 2019, os teores de B, Cu e Zn estavam abaixo dos níveis ideais. No ano de 2020, apenas o teor foliar de Cu estava adequado, enquanto os teores de Zn, Fe, Mn e B estavam abaixo dos níveis recomendados. Nos anos de 2021, 2022 e 2023, os teores foliares de B, Cu e Zn continuaram abaixo dos valores considerados adequados, enquanto não foram observadas deficiências significativas de Fe e Mn durante esses anos.

Fagundes *et al.* (2016), ao analisarem cafeeiros sob diferentes doses de gesso (0; 4,3; 8,6; 12,9; 17,1; 21,4 e 25,7 Mg ha⁻¹) aplicadas após o plantio em Boa Esperança, MG, não verificaram diferenças significativas nos teores de Ca e K nas folhas do cafeeiro. Contudo, para Mg, o maior teor foi encontrado na ausência da aplicação de gesso. Segundo Marques, Faquin e Guimarães (1999), a aplicação de gesso resultou em aumento nos teores de Ca e S na folha do cafeeiro. Já Araújo *et al.* (2007) avaliaram a adubação de plantio com composto orgânico (110, 330, 550, 770 e 990 g por vaso) e a aplicação foliar de "supermagro" (0%, 3%, 6%, 12% e 24%, aplicado mensalmente) no desenvolvimento do cafeeiro cultivar Topázio MG-1190 e, evidenciaram que com o aumento das doses de composto, houve aumento dos teores foliares de N, K e Mg.

Parecido *et al.* (2021) avaliando a aplicação de calcário e gesso, isoladamente ou combinados, em cafeeiros arábica, concluiu que os maiores teores de Ca foram encontrados com a aplicação de calcário associado ao gesso e os maiores teores de S com a aplicação de gesso. Os teores de N, P, K e Mg permaneceram adequados, e os teores de micronutrientes (Mn, Fe e Cu) variaram conforme os tratamentos, mas sempre dentro das faixas adequadas para o cafeeiro. Isso demonstra que a aplicação de gesso e calcário são benéficas para a nutrição das plantas de café.

4.3.4 Produtividade de grãos beneficiados

As produtividades de grãos beneficiados de café arábica, ao longo dos anos agrícolas de 2018, 2020, 2021, 2022 e média das safras, foram influenciadas pela interação dos fatores, e nos anos agrícolas de 2019 e 2023 apresentaram efeitos isolados de cada fator (Tabela 21). No desdobramento da interação dos fatores, em 2018, foi observada maior produtividade com a associação entre a dose elevada de gesso e o sistema de manejo SC-CB (Tabela 22). A produtividade da safra de 2019 foi significativamente menor na ausência da aplicação de gesso ($491,1 \text{ kg ha}^{-1}$), em comparação com a dose elevada ($1274,6 \text{ kg ha}^{-1}$), e os manejos SC-CB e CC-CB proporcionaram as maiores produtividades, $1121,4$ e $1047,9 \text{ kg ha}^{-1}$ respectivamente, com relação aos fatores isolados (Tabela 21).

No desdobramento da interação dos fatores, o fornecimento de gesso na dose elevada, associado ao manejo SC-CB, proporcionou a maior produtividade ($3411,4 \text{ kg ha}^{-1}$) do cafeeiro, na safra de 2020 (Tabela 22). Já na safra de 2021, notou-se que a dose recomendada associada ao manejo SC-CB e a dose elevada associada aos manejos SC-CB e CC-CB apresentaram as maiores produtividades, $1643,9$, $1541,2$ e $1875,8 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente (Tabela 22). Na safra de 2022, a interação dos fatores proporcionou produtividades similares; no entanto, na dose elevada de gesso associada ao manejo SC-CB houve maior produtividade, expressando o maior valor ($2.965,3 \text{ kg ha}^{-1}$) (Tabela 22). A produtividade da safra de 2023 foi significativamente maior com a aplicação da dose elevada ($3.224,7 \text{ kg ha}^{-1}$) em comparação a ausência da aplicação de gesso e na dose recomendada, $2416,7$

e 2639,7 kg ha⁻¹ respectivamente, e os manejos CC-SB, SC-CB e CC-CB proporcionaram maiores produtividade com relação ao SC-SB (Tabela 21).

A análise da média das seis safras (2018 a 2023) revelaram diferenças significativas na produtividade de grãos beneficiados devido à interação entre os fatores (Tabela 21). A aplicação da dose elevada de gesso no início do experimento, associada ao manejo SC-CB, proporcionou a maior produtividade média, atingindo 2280,3 kg ha⁻¹, destacando-se por promover um aumento significativo na produtividade em comparação com outros sistemas de manejos e doses de gesso (Tabela 22).

Tabela 21 - Produtividade de grãos beneficiados do café arábica, em função da aplicação de gesso agrícola, composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas, nos anos agrícolas de 2018, 2019, 2020, 2021, 2022 e 2023, além da média do período avaliado

Tratamento	Safras						Média
	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
	Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹)						
Gesso (G)							
Sem aplicação	468,0	491,1c	1145,6	652,7	1482,6	2416,7b	1109,4
Dose recomend.	587,9	961,5b	1365,3	1130,4	1748,0	2639,7b	1405,5
Dose elevada	498,9	1274,6a	2218,1	1287,5	1863,7	3224,7a	1727,9
Manejo (M) ¹							
SC-SB	417,1	674,7b	1331,3	826,7	1593,5	2393,6b	1206,1
CC-SB	510,8	793,2b	1259,8	850,4	1593,2	2874,9a	1313,7
SC-CB	704,3	1121,4a	2055,2	1307,9	2159,8	3045,4a	1732,3
CC-CB	440,8	1047,9a	1659,1	1109,0	1445,9	2727,6a	1404,9
Fonte de variação	(P > F)						
G	0,021	<0,001	<0,001	<0,001	0,071	<0,001	<0,001
M	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,004	0,003	<0,001
G × M	<0,001	0,134	0,006	<0,001	0,010	0,090	0,007
CV(%)	19,4	22,9	25,5	24,5	23,0	12,2	10,0

¹SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas. Médias seguidas por letras distintas, na coluna e dentro de cada fator, diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Tabela 22 - Desdobramento da interação entre gesso × manejo para a produtividade das safras de 2018, 2020, 2021, 2022 e a média das safras do período avaliado

Gesso	Sistema de Manejo			
	SC-SB ¹	CC-SB	SC-CB	CC-CB
Safr 2018 (kg ha ⁻¹)				
Sem aplicação	239,3bB	530,3aA	609,7bA	492,5aA
Dose recomendada	581,3aA	677,8aA	530,9bA	561,4aA
Dose elevada	430,8aB	324,3bB	972,2aA	268,4bB
Safr 2020 (kg ha ⁻¹)				
Sem aplicação	1105,7bA	1111,5aA	1205,6bA	1159,6bA
Dose recomendada	1028,9bA	1342,0aA	1548,5bA	1541,7aA
Dose elevada	1859,2aAB	1325,9aB	3411,4aA	2276,1aB
Safr 2021 (kg ha ⁻¹)				
Sem aplicação	678,2aA	648,3aA	738,6bA	545,6bA
Dose recomendada	938,1aB	1033,8aB	1643,9aA	905,6bB
Dose elevada	863,8aB	869,1aB	1541,2aA	1875,8aA
Safr 2022 (kg ha ⁻¹)				
Sem aplicação	1490,1aA	1241,3aA	1754,7bA	1444,3aA
Dose recomendada	1640,0aA	1780,2aA	1759,3bA	1812,6aA
Dose elevada	1650,4aAB	1758,0aB	2965,3aA	1080,9aB
Média das safras (kg ha ⁻¹)				
Sem aplicação	1017,9bA	1055,5bA	1228,4cA	1135,0cA
Dose recomendada	1128,1bC	1417,6aB	1688,2bA	1387,9bB
Dose elevada	1472,4aB	1468,1aB	2280,3aA	1690,9aB

¹SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas. Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Marques *et al.* (2016), ao avaliarem o efeito de diferentes doses e formas de aplicação de gesso agrícola na produtividade do cafeeiro Catucaí, observaram que a dose de 52.000 kg ha⁻¹, aplicado tanto na linha quanto em área total, proporcionou em um incremento de 22,9% na média de duas safras. Esse aumento pode ser atribuído a várias melhorias nas condições do solo e da planta. O gesso, por ser uma fonte de Ca²⁺ e SO₄²⁻ pode fornecer esses nutrientes essenciais para a planta, e ainda, promover melhorias na estrutura do solo, aumentando a porosidade. Isso resulta em uma melhor infiltração e retenção de água, essencial para o desenvolvimento radicular, principalmente em profundidade. A maior exploração do perfil do solo permite que as raízes acessem nutrientes e água em camadas mais profundas, tornando as plantas mais resistentes a períodos de seca.

Já Rodrigues *et al.* (2015), em estudo similar, analisaram o efeito de diferentes doses de gesso (0, 13, 26, 39 e 52 t ha⁻¹) aplicadas na linha de plantio ou em área total no cafeeiro Catucaí, concluíram que as doses elevadas de gesso proporcionam aumentos significativos na produtividade da primeira colheita, com incrementos crescentes até a dose de 52.000 kg ha⁻¹. A aplicação de gesso pode ter melhorado a disponibilidade de Ca²⁺ e SO₄²⁻ no solo, além de promover a lixiviação de Mg²⁺ e K⁺ para camadas mais profundas. Esses nutrientes são essenciais para várias funções fisiológicas das plantas, como a fotossíntese e o crescimento celular, o que pode ter contribuído para o aumento da produtividade.

Por outro lado, Fagundes *et al.* (2014), analisando cafeeiros sob diferentes doses de gesso (0; 4,3; 8,6; 12,9; 17,1; 21,4 e 25,7 t ha⁻¹) aplicando o gesso pós plantio, na linha em 50 cm de cada lado da planta, não observaram diferenças significativas na produtividade ao longo de seis safras (2009 a 2014), no entanto, a maior produtividade média foi de 39,7 sacas ha⁻¹, alcançada com a aplicação de 21.400 kg ha⁻¹. Essa ausência de resposta significativa pode estar relacionada a fatores específicos do solo e das condições climáticas durante o período de estudo. No entanto, a maior produtividade média (39,7 sacas ha⁻¹) foi alcançada com a aplicação de 21.400 kg ha⁻¹ de gesso, sugerindo que, em situações específicas, o gesso pode contribuir para a manutenção da fertilidade do solo, principalmente em áreas com ocorrência de déficit hídrico e baixa fertilidade no perfil do solo. Podendo ainda práticas de manejo, auxiliar no incremento em produtividade, especialmente em sistemas onde a MOS e a ciclagem de nutrientes desempenham um papel crucial na sustentabilidade da produção.

Na média das seis safras avaliadas (2018 a 2023), a aplicação da dose elevada de gesso, combinada com o manejo SC-CB, proporcionou a maior produtividade média, atingindo 38 sacos ha⁻¹ ano⁻¹, frente aos 28 sacos ha⁻¹ ano⁻¹, para a dose recomendada combinada com o manejo SC-CB (Tabela 22). Portanto, ao longo das seis safras houve um incremento de 10 sacos ha⁻¹ ano⁻¹ com a aplicação da dose elevada de gesso combinada com o manejo SC-CB.

Os resultados do presente estudo, estão alinhados com os dados apresentados por Carducci *et al.* (2023), em sua análise temporal, onde a produtividade média do sistema conservacionista (aplicação de elevadas doses de gesso associada ao cultivo de braquiária decumbens), após a fase consolidada de seis anos, foi de 39 sacas ha⁻¹ ano⁻¹, enquanto o sistema convencional variou entre

24,6 e 29,4 sacas ha⁻¹ ano⁻¹ (CONAB, 2019; CONAB, 2023; Silva *et al.*, 2019). O aumento da produtividade observado com o manejo conservacionista, em especial com o uso de gesso, reflete uma tendência geral no Brasil, com relação as recomendações deste insumo. Diversos trabalhos vêm demonstrando que a aplicação de doses superiores aos dos manuais e boletins técnicos, estão tendo respostas positivas e incrementando as produtividades, em culturas distintas (Caires; Guimarães, 2018; Silva *et al.*, 2019; Parecido *et al.*, 2021; Bossolani *et al.*, 2021; Carducci *et al.* 2023).

Segundo Malavolta (1992), as diferenças na produtividade das plantas podem ser ocasionadas pelo tipo de solo, e pelas condições climáticas e de condução da lavoura. Com base nos resultados do presente estudo, verifica-se que a combinação de práticas de manejo conservacionistas, como a aplicação de gesso em doses elevadas e o uso de plantas de cobertura (manejo SC-CB), pode potencializar significativamente a produtividade, superando a média nacional de 29 sacas ha⁻¹ ano⁻¹ em 2023 (CONAB, 2023). Estes resultados corroboram os de outros autores, que observaram incrementos a produtividade do café com a aplicação do gesso de forma isolada (Marques *et al.*, 2016; Rodrigues *et al.*, 2015), ou associada com o cultivo de braquiária nas entrelinhas (Silva *et al.*, 2019; Carducci *et al.* 2023).

A elevação dos teores Ca²⁺, a neutralização do Al³⁺ tóxico e o aumento da disponibilidade de S-SO₄⁻² nas camadas mais profundas do solo são fatores que promovem um maior desenvolvimento do sistema radicular, como observado por Carducci *et al.*, 2015. Este crescimento radicular, por sua vez, permite que as plantas explorem um maior volume de solo, resultando em uma absorção mais eficiente de água e nutrientes (Raij, 2008). Assim, a utilização de gesso agrícola, especialmente em dose elevada, combinada com o manejo SC-CB, surge como uma estratégia para maximizar a produtividade em condições de sequeiro, onde a disponibilidade de nutrientes e água são desafios críticos.

4.3.5 Teor de macro e micronutrientes nos frutos de café arábica em coco

Para os teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) nos frutos de café arábica em coco, notou-se diferenças significativas para a interação dos fatores e

dos mesmos isolados, tanto na safra de 2018 quanto na safra de 2019, exceto para S, que não apresentou diferença significativa na safra de 2019 (Tabela 23).

No ano de 2018, o sistema de manejo CC-SB e CC-CB resultaram nos maiores teores de N nos frutos de café em coco, atingindo 19,7 e 20,1 g kg⁻¹, respectivamente (Tabela 23). No desdobramento da interação entre os fatores, o menor teor de N nos frutos de café em coco foi notado na ausência da aplicação de gesso associado ao manejo CC-CB; nas demais interações, os teores foram semelhantes, na safra de 2019 (Tabela 24). Quanto ao teor de P nos frutos, em 2018, notou-se que a interação entre as doses de gesso e o sistema de manejo proporcionaram teores similares de P, exceto para a dose recomendada associada ao manejo SC-CB, que apresentou o menor teor de P (2,59 g kg⁻¹) (Tabela 23). Já em 2019, notou-se que a dose elevada de gesso proporcionou um menor teor de P nos frutos (1,18 g kg⁻¹). Nas safras de 2018 e 2019, houve interação entre os fatores avaliados em relação aos teores de K nos frutos em coco, o fornecimento da dose recomendada de gesso associado ao manejo SC-CB proporcionou o menor teor de K nos frutos quando comparado aos demais manejos, em 2018; em 2019, a aplicação da dose elevada de gesso associada ao manejo SC-SB também proporcionou o menor teor de K nos frutos de café em coco (Tabela 24).

A interação dos fatores impactou significativamente no teor de Ca nos frutos de café em coco, nos anos de 2018 e 2019 (Tabela 23). No desdobramento da interação, observa-se que a dose elevada de gesso associada com os sistemas de manejos SC-SB e CC-CB proporcionaram os maiores teores de Ca, alcançando 3,73 e 3,87 g kg⁻¹ (Tabela 24). Já em 2019, com o desdobramento da interação, observou-se que na aplicação da dose elevada de gesso associada com o manejo SC-CB, apresentou o maior teor de Ca nos frutos em coco (Tabela 24). O teor de Mg nos frutos também foi afetado pela interação, em 2018, notando-se que o menor teor de Mg (0,48 g kg⁻¹) foi evidenciado com a aplicação da dose recomendada associada ao manejo SC-SB. Já em 2019, a ausência da aplicação de gesso proporcionou o maior teor de Mg nos frutos (Tabela 23).

Quanto aos teores de micronutrientes nos frutos de café em coco, no ano de 2018, a interação dos fatores afetou os teores de Cu, Zn, Fe e Mn, enquanto para B, não houve efeito significativo para nenhum fator avaliado (Tabela 25). No desdobramento da interação para o teor de Cu, em 2018, a aplicação da dose elevada associada aos manejos SC-CB e CC-CB proporcionou menores teores

(Tabela 26). Em 2019, os teores de Cu e Zn foram influenciados de forma isolada; para Fe, houve interação entre os fatores; já para Mn e B, não houve efeito significativo para nenhum fator avaliado (Tabela 25). Em 2019, o menor teor de Cu nos frutos foi observado na ausência da aplicação de gesso. Observou-se na interação dos fatores, os menores teores de Zn nos frutos na ausência da aplicação de gesso associada aos sistemas de manejos SC-SB e CC-SB, em 2018 (Tabela 26). Já em 2019, a aplicação da dose recomendada e da dose elevada de gesso proporcionaram maiores teores de Zn, enquanto o sistema de manejo CC-SB apresentou o menor teor (Tabela 25). No desdobramento da interação para o teor de Fe nos frutos, em 2018, notou-se que a aplicação da dose elevada associada ao manejo CC-CB proporcionou o maior teor de Fe, mas no ano de 2019, a dose elevada associada ao sistema de manejo SC-SB proporcionou o menor teor (Tabela 26). Quanto ao teor de Mn nos frutos de coco, em 2018, notou-se na interação que a dose elevada de gesso independente do manejo associado proporcionou os maiores teores (Tabela 26).

Tabela 23 - Teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) nos frutos de café arábica em coco, função da aplicação de gesso agrícola, composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas, nos anos agrícolas de 2018 e 2019

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
g kg ⁻¹						
2018						
Gesso (G)						
Sem aplicação	18,9a	2,87	22,5	1,05	0,45	1,51b
Dose recomendada	18,9a	2,81	21,7	2,16	1,05	1,78ab
Dose elevada	18,8a	2,76	23,0	3,49	1,11	1,63a
Manejo (M) ¹						
SC-SB	18,1b	2,82	21,2	1,84	0,72	1,60a
CC-SB	19,7a	2,83	21,6	2,03	0,90	1,60a
SC-CB	17,6b	2,77	21,8	2,14	0,93	1,68a
CC-CB	20,1a	2,84	25,0	2,92	0,92	1,68a
Fonte de variação	(P > F)					
G	0,983	0,102	0,186	<0,001	<0,001	0,023
M	0,004	0,742	<0,001	<0,001	0,018	0,766
G × M	0,767	0,018	0,033	<0,001	<0,001	0,070
CV(%)	7,8	4,6	7,7	14,5	16,5	13,5
2019						
Gesso (G)						
Sem aplicação	19,0	1,50a	20,9	7,70	2,23a	0,72a
Dose recomendada	19,1	1,40a	22,4	8,37	1,94b	1,07a
Dose elevada	18,8	1,18b	22,2	8,96	1,40c	1,16a
Manejo (M) ¹						
SC-SB	19,4	1,26a	20,0	8,06	1,74a	1,45a
CC-SB	18,3	1,42a	21,0	8,01	1,92a	0,80a
SC-CB	19,5	1,34a	23,7	8,93	1,80a	0,91a
CC-CB	18,2	1,42a	22,7	8,37	1,96a	0,78a
Fonte de variação	(P > F)					
G	0,940	<0,001	0,053	<0,001	<0,001	0,501
M	0,252	0,126	<0,001	0,001	0,123	0,428
G × M	0,026	0,404	0,002	0,045	0,440	0,442
CV(%)	8,1	11,4	7,2	5,6	11,0	7,3

¹SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas. Médias seguidas por letras distintas, na coluna e dentro de cada fator, diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Tabela 24 - Desdobramento da interação de gesso × manejo para os teores de P, K, Ca e Mg no ano de 2018 e os teores de N, K e Ca no ano de 2019, nos frutos de café em coco respectivamente

Gesso	Sistema de Manejo			
	SC-SB ¹	CC-SB	SC-CB	CC-CB
Teor de P nos frutos (g kg ⁻¹) – 2018				
Sem aplicação	2,75aA	2,97aA	2,93aA	2,84aA
Dose recomendada	2,92aA	2,88aA	2,59bB	2,86aA
Dose elevada	2,78aA	2,63bA	2,80abA	2,81aA
Teor de K nos frutos (g kg ⁻¹) – 2018				
Sem aplicação	21,0aB	20,9aB	22,6aAB	25,5abA
Dose recomendada	22,6aA	21,9aAB	19,0bB	23,1bA
Dose elevada	20,0aC	22,6aBC	23,0aB	26,4aA
Teor de Ca nos frutos (g kg ⁻¹) – 2018				
Sem aplicação	0,41cC	1,24cAB	0,98cB	1,59cA
Dose recomendada	1,38bC	1,88bBC	2,07bB	3,31bA
Dose elevada	3,73aA	2,97aB	3,38aAB	3,87aA
Teor de Mg nos frutos (g kg ⁻¹) – 2018				
Sem aplicação	0,50bA	0,50bA	0,47bA	0,33bA
Dose recomendada	0,48bB	1,22aA	1,25aA	1,25aA
Dose elevada	1,19aA	0,99aA	1,07aA	1,18aA
Teor de N nos frutos (g kg ⁻¹) – 2019				
Sem aplicação	19,7aA	20,2aA	20,3aA	15,7bB
Dose recomendada	18,9aA	18,5aA	19,0aA	19,9aA
Dose elevada	19,7aA	17,7aA	19,2aA	18,8aA
Teor de K nos frutos (g kg ⁻¹) – 2019				
Sem aplicação	20,6abAB	18,9bB	22,2bA	21,8aA
Dose recomendada	21,2aB	23,8aA	23,2abAB	21,5aAB
Dose elevada	18,1bB	20,4bB	25,6aA	24,7aA
Teor de Ca nos frutos (g kg ⁻¹) – 2019				
Sem aplicação	7,51bA	7,49bA	7,90bA	7,90bA
Dose recomendada	8,10abA	8,03abA	8,64bA	8,71aA
Dose elevada	8,57aB	8,51aB	10,2aA	8,50abB

¹SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas. Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Tabela 25 - Teores de micronutrientes (Cu, Zn, Fe, Mn e B) nos frutos de café arábica em coco, função da aplicação de gesso agrícola, composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas, nos anos agrícolas de 2018 e 2019

Tratamento	Cu	Zn	Fe	Mn	B
	mg kg ⁻¹				
	2018				
Gesso (G)					
Sem aplicação	10,0	10,3	179,8	26,7	19,5a
Dose recomendada	12,6	11,9	147,9	27,7	15,7a
Dose elevada	9,54	11,1	144,0	37,7	16,7a
Manejo (M) ¹					
SC-SB	11,0	10,0	161,4	31,0	17,7a
CC-SB	9,70	10,3	147,3	25,7	16,7a
SC-CB	11,3	12,8	156,7	32,8	15,7a
CC-CB	10,7	11,7	163,5	33,2	19,2a
Fonte de variação	(P > F)				
G	<0,001	0,034	<0,001	<0,001	0,060
M	0,013	0,007	0,286	0,001	0,285
G × M	<0,001	0,016	<0,001	0,002	0,102
CV(%)	9,4	13,0	11,8	12,1	22,2
	2019				
Gesso (G)					
Sem aplicação	12,0b	10,7b	240,3	56,4a	28,6a
Dose recomendada	14,8ab	15,0a	214,5	64,6a	27,2a
Dose elevada	16,8a	12,4b	219,6	61,3a	28,8a
Manejo (M) ¹					
SC-SB	12,8a	13,5ab	242,9	60,1a	27,6a
CC-SB	16,2a	10,4c	265,6	59,2a	28,8a
SC-CB	14,6a	15,0a	209,9	63,9a	28,2a
CC-CB	14,6a	11,9bc	180,8	59,9a	28,1a
Fonte de variação	(P > F)				
G	0,016	<0,005	0,511	0,099	0,098
M	0,032	0,002	0,023	0,670	0,607
G × M	0,480	0,317	0,006	0,732	0,060
CV(%)	25,8	18,0	25,3	14,5	6,7

¹SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas. Médias seguidas por letras distintas, na coluna e dentro de cada fator, diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Tabela 26 - Desdobramento da interação de gesso × manejo para os teores de Cu, Zn, Fe e Mn no ano de 2018 e o teor Fe no ano de 2019, nos frutos de café em coco respectivamente

Gesso	Sistema de Manejo			
	SC-SB ¹	CC-SB	SC-CB	CC-CB
Teor de Cu nos frutos (mg kg ⁻¹) – 2018				
Sem aplicação	8,32bB	7,94bB	12,4aA	11,2bA
Dose recomendada	12,8aA	10,5aB	13,6aA	13,4aA
Dose elevada	12,0aA	10,5aA	7,94bB	7,56cB
Teor de Zn nos frutos (mg kg ⁻¹) – 2018				
Sem aplicação	7,84bC	9,58aBC	12,1bA	11,6aAB
Dose recomendada	10,7aB	10,4aB	14,8aA	11,9aB
Dose elevada	11,6aA	11,0aA	10,1bA	11,6aA
Teor de Fe nos frutos (mg kg ⁻¹) – 2018				
Sem aplicação	206,9aA	172,3aBC	187,3aAB	152,6bC
Dose recomendada	160,1bA	159,2aA	134,8bA	137,6bA
Dose elevada	117,0aAB	110,5bB	147,9bB	200,4aA
Teor de Mn nos frutos (mg kg ⁻¹) – 2018				
Sem aplicação	31,5bA	24,6bB	24,6bB	25,9cAB
Dose recomendada	23,6cB	18,4bB	35,2aA	33,6bA
Dose elevada	37,9aA	34,1aA	38,5aA	40,1aA
Teor de Fe nos frutos (mg kg ⁻¹) – 2019				
Sem aplicação	333,8aA	309,2aA	167,7aB	150,5aB
Dose recomendada	230,7bA	198,8bA	256,8aA	171,8aA
Dose elevada	164,4bB	288,8abA	205,3aAB	220,0aAB

¹SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas. Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Na safra de 2020, os teores de P e Ca nos frutos de café em coco foram influenciados pela interação dos fatores, e os teores de Mg e S apenas pelo fator gesso, já para N e K não houve efeito (Tabela 27). Já na safra de 2021, o teor de N, Mg e S foram afetados apenas pelo fator gesso, enquanto os teores de P, K e Ca foram afetados pela interação dos fatores (Tabela 27). O maior teor de N nos frutos de café foi evidenciado na aplicação da dose elevada, e o menor teor na ausência da aplicação de gesso, em 2021. No desdobramento da interação para os teores de P nos frutos de café, nas safras de 2020 e 2021, observa-se valores similares da associação das doses de gesso e dos sistemas de manejo (Tabela 28). Notou-se também similaridade nos teores de K nos frutos de café em coco, com a interação entre os fatores, em 2021 (Tabela 28). Para os teores de Ca nos frutos de café, a interação entre os fatores proporcionou na dose elevada de gesso independente do

sistema de manejo associado os maiores teores de Ca, em 2020 e 2021 (Tabela 28). Já para Mg, a ausência da aplicação e a dose recomendada de gesso proporcionaram os maiores teores no fruto, enquanto a dose elevada apresentava os menos teores, por outro lado, a dose elevada de gesso proporcionou maior teor de S no fruto, em 2020 (Tabela 27). Enquanto em 2021, somente na ausência da aplicação de gesso houve aumento no teor de Mg, e a dose elevada de gesso proporcionou em aumento no teor de S nos frutos de café em coco (Tabela 27).

Para os teores de micronutrientes avaliados na safra de 2020, apenas Mn e B apresentaram diferença significativa, os demais (Cu, Zn e Fe) não diferiram (Tabela 29). Para Mn, o sistema de manejo SC-SB apresentou o maior teor no fruto, enquanto para B, a ausência da aplicação e a dose elevada apresentaram os maiores teores nos frutos (Tabela 29). Já em 2021, a dose elevada aumentou o teor de Cu, e o sistema de manejo SC-SB apresentou maior teor, para os fatores isolados (Tabela 29). Para Fe, o maior teor foi notado na ausência da aplicação de gesso, e a aplicação da dose recomendada e da dose elevada de gesso proporcionaram aumento no teor de Mn nos frutos, na safra de 2021 (Tabela 29).

Tabela 27 - Teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) nos frutos de café arábica em coco, função da aplicação de gesso agrícola, composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas, nos anos agrícolas de 2020 e 2021

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
g kg ⁻¹						
2020						
Gesso (G)						
Sem aplicação	17,6a	0,87	23,4a	2,90	1,15a	0,89ab
Dose recomendada	17,2a	0,74	23,9a	3,10	1,07a	0,74b
Dose elevada	17,5a	0,67	24,0a	3,78	0,85b	1,03a
Manejo (M) ¹						
SC-SB	17,1a	0,75	23,2a	3,26	1,01a	0,87a
CC-SB	17,9a	0,75	23,0a	3,32	1,02a	0,83a
SC-CB	17,1a	0,79	24,1a	3,27	1,03a	0,86a
CC-CB	17,7a	0,75	24,7a	3,19	1,02a	0,98a
Fonte de variação	(P > F)					
G	0,644	<0,001	0,460	<0,001	<0,001	0,019
M	0,295	0,535	0,058	0,932	0,974	0,560
G × M	0,418	0,002	0,983	0,014	0,106	0,184
CV(%)	6,1	10,3	5,7	13,6	9,8	25,4
2021						
Gesso (G)						
Sem aplicação	15,8c	1,49	25,7	6,93	0,91a	0,94ab
Dose recomendada	16,9b	1,23	25,3	9,20	0,79b	0,83b
Dose elevada	18,3a	1,17	27,1	10,9	0,80b	1,06a
Manejo (M) ¹						
SC-SB	16,7a	1,27	24,5	8,50	0,83a	0,97a
CC-SB	16,8a	1,36	24,8	8,84	0,84a	1,00a
SC-CB	17,0a	1,23	27,2	9,04	0,78a	0,91a
CC-CB	17,5a	1,33	27,8	9,75	0,87a	0,91a
Fonte de variação	(P > F)					
G	<0,001	<0,001	0,010	<0,001	<0,001	0,010
M	0,420	0,269	<0,001	<0,001	0,103	0,576
G × M	0,072	0,020	0,019	0,002	0,142	0,161
CV(%)	6,5	11,5	5,1	3,8	8,4	17,3

¹SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas. Médias seguidas por letras distintas, na coluna e dentro de cada fator, diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Tabela 28 - Desdobramento da interação de gesso × manejo para os teores de P e Ca no ano de 2020 e os teores de P, K e Ca no ano de 2021, nos frutos de café em coco respectivamente

Gesso	Sistema de Manejo			
	SC-SB ¹	CC-SB	SC-CB	CC-CB
Teor de P nos frutos (g kg ⁻¹) – 2020				
Sem aplicação	0,80aA	0,92aA	0,85aA	0,90aA
Dose recomendada	0,81aA	0,77bA	0,81aA	0,59cB
Dose elevada	0,64bAB	0,55cB	0,73aA	0,76bA
Teor de Ca nos frutos (g kg ⁻¹) – 2020				
Sem aplicação	3,22aA	2,24bB	3,27abA	2,88aAB
Dose recomendada	3,12aAB	3,56aA	2,64bB	3,07aAB
Dose elevada	3,46aA	4,18aA	3,89aA	3,60aA
Teor de P nos frutos (g kg ⁻¹) – 2021				
Sem aplicação	1,58aA	1,61aA	1,28aB	1,48aAB
Dose recomendada	1,22bA	1,39aA	1,16aA	1,15bA
Dose elevada	1,02bB	1,08bB	1,25aAB	1,36abA
Teor de K nos frutos (g kg ⁻¹) – 2021				
Sem aplicação	22,8bB	24,0aB	27,3abA	28,8aA
Dose recomendada	24,6abA	25,6aA	25,1bA	26,1bA
Dose elevada	26,0aB	24,9aB	29,0aA	28,4aA
Teor de Ca nos frutos (g kg ⁻¹) – 2021				
Sem aplicação	5,95cC	6,55cB	7,43cA	7,78cA
Dose recomendada	8,56bC	9,26bB	8,87bBC	10,11bA
Dose elevada	10,9aAB	10,7aB	10,8aAB	11,3aA

¹SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas. Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Tabela 29 - Teores de micronutrientes (Cu, Zn, Fe, Mn e B) nos frutos de café arábica em coco, função da aplicação de gesso agrícola, composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas, nos anos agrícolas de 2020 e 2021

Tratamento	Cu	Zn	Fe	Mn	B
mg kg ⁻¹					
2020					
Gesso (G)					
Sem aplicação	15,1a	4,55a	230,5a	31,4a	29,5a
Dose recomendada	15,5a	4,39a	167,9a	29,1a	26,5b
Dose elevada	17,0a	4,22a	215,8a	26,8a	29,5a
Manejo (M) ¹					
SC-SB	16,4a	4,03a	208,1a	32,6a	27,4a
CC-SB	15,0a	4,61a	167,2a	24,6c	29,3a
SC-CB	16,9a	4,42a	231,5a	31,6ab	28,9a
CC-CB	15,2a	4,48a	212,2a	27,6bc	28,4a
Fonte de variação	(P > F)				
G	0,061	0,829	0,061	0,083	0,007
M	0,146	0,794	0,212	0,007	0,427
G × M	0,083	0,266	0,074	0,062	0,089
CV(%)	12,3	29,3	31,0	16,5	8,5
2021					
Gesso (G)					
Sem aplicação	11,1b	11,7a	503,0a	41,5b	27,7a
Dose recomendada	11,5b	10,6a	362,2b	46,1a	27,9a
Dose elevada	13,1a	10,0a	290,6c	49,5a	28,1a
Manejo (M) ¹					
SC-SB	13,8a	10,7a	389,7a	45,5a	27,8a
CC-SB	10,6b	11,3a	418,8a	42,5a	28,4a
SC-CB	11,9b	10,2a	360,8a	48,3a	27,6a
CC-CB	11,3b	10,9a	371,8a	46,6a	27,8a
Fonte de variação	(P > F)				
G	0,030	0,168	<0,001	0,001	0,925
M	0,004	0,779	0,468	0,075	0,942
G × M	0,297	0,927	0,293	0,113	0,343
CV(%)	14,5	19,7	21,0	9,9	10,1

¹SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas. Médias seguidas por letras distintas, na coluna e dentro de cada fator, diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Na safra de 2022, notou-se que o maior teor de N nos frutos de café em coco, ocorreu com a aplicação da dose elevada de gesso, já na safra de 2023, não houve diferenças significativas entre os fatores estudados (Tabela 23). O teor de P foi influenciado pela interação dos fatores e no desdobramento, observa-se que os teores de P nos frutos variaram entre 1,14 a 1,84 g kg⁻¹, apresentando similaridade independentemente da interação, em 2022 (Tabela 30 e 31). Já em 2023, o maior teor de P no fruto foi evidenciado na ausência da aplicação de gesso (Tabela 30).

Para K, o maior teor no fruto foi notado com a aplicação da dose elevada, e quanto ao sistema de manejo, o manejo CC-CB proporcionou o maior teor de K no fruto, em 2022, o mesmo sistema de manejo proporcionou o maior teor em 2023 (Tabela 30).

O teor de Ca foi influenciado pela interação dos fatores em ambos os anos (2022 e 2023), e no desdobramento da interação, observou-se que teor de Ca nos frutos foram bem similares, em 2022, variando entre 9,86 a 11,3 g kg⁻¹, enquanto em 2023, a ausência da aplicação de gesso independentemente do sistema de manejo associado apresentou os menores teores de Ca nos frutos (Tabela 30 e 31). O teor de Mg não foi influenciado pelos fatores na safra 2022, já na safra 2023, a dose recomendada apresentou o menor teor (Tabela 30). Na safra de 2022 e 2023, foi observado os maiores teores com a aplicação da dose elevada de gesso, e apenas na safra 2022 o sistema de manejo SC-CB apresentava o maior teor, com relação aos fatores isolados (Tabela 30).

O teor de Cu foi influenciado pela interação dos fatores na safra de 2022 e pelo fator gesso isolado em 2023, com o maior valor na ausência da aplicação de gesso (Tabela 32). No desdobramento da interação, nota-se que na ausência da aplicação de gesso associada ao manejo CC-SB, resultou no menor teor de Cu no fruto, e a dose elevada associada ao manejo CC-CB resultou no maior teor de Cu (Tabela 31). Os teores de Zn, Mn em ambas as safras não foram afetados pelos fatores estudados (Tabela 32). O teor de Fe foi influenciado pelos fatores isolados em 2022 e pela interação dos fatores em 2023 (Tabela 32). Em 2022, os maiores teores de Fe foram observados na ausência da aplicação de gesso e no sistema de manejo CC-SB, já no desdobramento da interação na safra de 2023, observa-se o maior teor na aplicação da dose elevada gesso associado ao sistema de manejo CC-CB (Tabela 31 e 32). O teor de B não foi afetado pelos fatores estudados em 2022, já em 2023 houve influência da interação dos fatores (Tabela 32). No desdobramento da interação, observa-se que o teor de B nos frutos variou entre 17,4 a 19,7 mg kg⁻¹, apresentando similaridade independentemente do tratamento aplicado (Tabela 31).

Tabela 30 - Teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) nos frutos de café arábica em coco, função da aplicação de gesso agrícola, composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas, nos anos agrícolas de 2022 e 2023

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
g kg ⁻¹						
2022						
Gesso (G)						
Sem aplicação	16,5b	1,57	28,9b	10,8	1,03a	1,21b
Dose recomendada	16,1b	1,57	29,2b	10,0	1,03a	1,10b
Dose elevada	18,3a	1,44	31,3a	10,8	0,98a	1,42a
Manejo (M) ¹						
SC-SB	16,8a	1,57	28,2c	10,8	1,01a	1,16b
CC-SB	16,8a	1,64	29,3bc	10,6	1,01a	1,24b
SC-CB	16,4a	1,42	30,1ab	10,5	1,04a	1,40a
CC-CB	17,9a	1,49	31,6a	10,1	1,01a	1,17b
Fonte de variação	(P > F)					
G	0,008	0,045	0,008	<0,001	0,473	<0,001
M	0,269	0,017	0,006	0,029	0,891	0,008
G × M	0,450	0,005	0,704	0,006	0,987	0,061
CV(%)	9,6	9,0	6,1	4,2	10,8	11,8
2023						
Gesso (G)						
Sem aplicação	15,5a	1,39a	24,7a	5,22	1,30a	1,66b
Dose recomendada	15,7a	0,99c	25,5a	8,90	1,11b	1,57c
Dose elevada	16,2a	1,15b	26,0a	11,3	1,26a	1,79a
Manejo (M) ¹						
SC-SB	15,9a	1,15a	23,7c	7,53	1,34a	1,67a
CC-SB	16,4a	1,12a	25,3b	8,10	1,22a	1,66a
SC-CB	15,5a	1,18a	25,7b	8,72	1,19a	1,68a
CC-CB	15,4a	1,26a	27,1a	9,66	1,15a	1,69a
Fonte de variação	(P > F)					
G	0,309	<0,001	0,090	<0,001	0,014	<0,001
M	0,359	0,454	<0,001	<0,001	0,080	0,927
G × M	0,966	0,086	0,255	<0,001	0,288	0,064
CV(%)	8,0	16,4	5,3	3,3	12,6	5,1

¹SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas. Médias seguidas por letras distintas, na coluna e dentro de cada fator, diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Tabela 31 - Desdobramento da interação de gesso × manejo para os teores de P, Ca e Cu no ano de 2022 e os teores de Ca, Fe e B no ano de 2023, nos frutos de café em coco respectivamente

Gesso	Sistema de Manejo			
	SC-SB ¹	CC-SB	SC-CB	CC-CB
Teor de P nos frutos (g kg ⁻¹) – 2022				
Sem aplicação	1,52aAB	1,67aA	1,35aB	1,75aA
Dose recomendada	1,58aB	1,84aA	1,47aB	1,14bB
Dose elevada	1,61aA	1,41bAB	1,45aAB	1,31bB
Teor de Ca nos frutos (g kg ⁻¹) – 2022				
Sem aplicação	11,9aA	11,0aB	10,5aBC	9,96aC
Dose recomendada	9,86cA	9,93bA	10,4aA	9,96aA
Dose elevada	10,7bA	11,13aA	10,7aA	10,6aA
Teor de Cu nos frutos (mg kg ⁻¹) – 2022				
Sem aplicação	15,4bA	12,7bB	15,8aA	14,6bAB
Dose recomendada	16,9abA	16,5aAB	15,4aAB	14,2bB
Dose elevada	18,5aAB	17,3aB	16,5aB	20,0aA
Teor de Ca nos frutos (g kg ⁻¹) – 2023				
Sem aplicação	3,71cD	4,60cC	5,61cB	6,94cA
Dose recomendada	7,77bD	8,42bC	9,14bB	10,2bA
Dose elevada	11,1aB	11,2aB	11,4aAB	11,7aA
Teor de Fe nos frutos (mg kg ⁻¹) – 2023				
Sem aplicação	181,8aB	225,1aA	116,1aC	148,5bBC
Dose recomendada	141,3bB	137,7bB	145,8aAB	180,9bA
Dose elevada	193,5aA	226,9aA	137,7aB	225,1aA
Teor de B nos frutos (mg kg ⁻¹) – 2023				
Sem aplicação	19,5aA	18,6aAB	17,6aB	18,9abAB
Dose recomendada	17,5bB	17,4aB	17,7aB	19,7aA
Dose elevada	19,3aA	18,8aA	18,0aA	17,8bA

¹SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas. Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Tabela 32 - Teores de micronutrientes (Cu, Zn, Fe, Mn e B) nos frutos de café arábica em coco, função da aplicação de gesso agrícola, composto orgânico e cultivo de braquiária nas entrelinhas, nos anos agrícolas de 2022 e 2023

Tratamento	Cu	Zn	Fe	Mn	B
mg kg ⁻¹					
2022					
Gesso (G)					
Sem aplicação	14,6	12,6a	535,7a	13,1a	26,9a
Dose recomendada	15,8	12,4a	471,2ab	13,5a	26,8a
Dose elevada	18,1	12,4a	357,2b	14,7a	27,0a
Manejo (M) ¹					
SC-SB	16,9	11,9a	421,5b	14,9a	27,1a
CC-SB	15,5	12,3a	621,5a	12,8a	28,5a
SC-CB	15,9	14,5a	361,9b	13,3a	25,1a
CC-CB	16,3	11,1a	413,7b	14,1a	27,0a
Fonte de variação	(P > F)				
G	<0,001	0,980	0,033	0,726	0,990
M	0,263	0,068	0,010	0,822	0,203
G × M	0,028	0,088	0,120	0,473	0,506
CV(%)	9,3	21,2	34,5	36,8	11,9
2023					
Gesso (G)					
Sem aplicação	22,8a	8,36a	167,9	23,0a	18,4
Dose recomendada	17,2b	7,77a	151,4	18,3a	18,1
Dose elevada	17,1b	7,36a	195,8	22,3a	18,4
Manejo (M) ¹					
SC-SB	20,3a	7,66a	172,2	20,8a	18,7
CC-SB	18,1a	8,57a	196,5	19,9a	18,3
SC-CB	16,7a	7,35a	133,2	23,6a	17,8
CC-CB	21,0a	7,74a	184,8	20,5a	18,5
Fonte de variação	(P > F)				
G	<0,001	0,228	<0,001	0,202	0,582
M	0,067	0,311	<0,001	0,659	0,214
G × M	0,461	0,548	<0,001	0,648	0,034
CV(%)	18,6	17,7	12,1	31,7	5,2

¹SC-SB: ausência de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-SB: presença de aplicação de composto orgânico e ausência do cultivo de braquiária nas entrelinhas; SC-CB: ausência de aplicação de composto orgânico e presença do cultivo de braquiária nas entrelinhas; CC-CB: presença de aplicação de composto orgânico e do cultivo de braquiária nas entrelinhas. Médias seguidas por letras distintas, na coluna e dentro de cada fator, diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Neste estudo, observou-se uma redução nos teores de N nos frutos de café em coco em comparação aos teores foliares, o que pode ser atribuído ao rápido aumento no acúmulo de MS nos frutos. No caso do P, ele é reconhecido como um nutriente de alta mobilidade na planta (Marschner, 1995) e, dentre os principais fatores que podem influenciar a concentração de P nas folhas do cafeeiro, destaca-se a intensidade do dreno causado pelos frutos. Uma maior carga de frutos pode ocasionar uma mobilização mais significativa de P para esses órgãos, resultando em

consequentemente em menores teores foliares desse elemento. Verificou-se que os teores de P sofreram uma mobilização das folhas para os frutos, resultando em maiores concentrações de P nos frutos de café em coco. O K foi um nutriente que apresentou os maiores teores pelos frutos de café arábica, comparado com os teores de N e P, confirmando sua função crucial na formação de amido, essencialmente através da ativação da sintase do amido, um processo fundamental na produção do café (Bragança *et al.*, 2008). Esse nutriente desempenha um papel crucial na ativação de enzimas essenciais envolvidas na síntese de açúcares solúveis (Marenco; Lopes, 2005). A semelhança entre os teores foliares e frutíferos de K reforça a eficiência desse nutriente em ser redistribuído na planta para atender às demandas dos frutos, especialmente durante as fases críticas de enchimento e amadurecimento.

O aumento nos teores de Ca nos frutos em coco do cafeeiro pode ser atribuído ao aumento desse nutriente no solo, promovido pela aplicação do gesso. Para garantir uma absorção contínua, é fundamental que os teores de Ca no solo sejam adequados, uma vez que o Ca é considerado um nutriente imóvel na planta (Faquin, 2005). Notou-se que os menores teores de Ca nos frutos em coco foram observados no tratamento com ausência de gesso. A aplicação de gesso também elevou os teores de S nos frutos de café, evidenciando que o gesso é uma excelente fonte desse nutriente (Caires *et al.*, 1998). O aumento nos teores de $S-SO_4^{2-}$ no solo em detrimento da aplicação de gesso, possibilitou uma maior absorção de S pelas plantas, refletindo na translocação deste elemento para os frutos.

Além disso, a aplicação das doses de gesso associada ao sistema de manejo gerou comportamentos distintos em relação aos teores de micronutrientes nos frutos em coco do café arábica. Essa variação pode estar associada ao crescimento vegetativo ou reprodutivo da planta. Quando a lavoura de café está em um ano de alta produção, a maior parte dos nutrientes absorvidos é direcionada à frutificação, enquanto uma parte menor é utilizada na formação de novos ramos e folhas (Guimarães; Reis, 2010).

4.4 CONCLUSÕES

O cultivo de braquiária nas entrelinhas do cafeeiro proporcionou maiores acúmulos de massa seca de resíduos, bem como maior ciclagem de nutrientes.

A aplicação de gesso agrícola promoveu os maiores teores de Ca e S na folha diagnose do cafeeiro, com um acréscimo expressivo quando foi aplicada a dose elevada, porém, essa dose reduziu os teores de Mg nas folhas de café.

A aplicação da dose elevada de gesso agrícola proporcionou a maior produtividade de grãos beneficiados nas seis safras avaliadas e na média delas, e a associação com o sistema de manejo com o cultivo de braquiária nas entrelinhas aumentou o incremento em produtividade de grãos.

Apesar de ter aumentado o teor de alguns nutrientes nas folhas, a aplicação de composto orgânico não interferiu no crescimento e produtividade da cultura do café arábica.

REFERÊNCIAS

AMARAL, L. A.; ASCARI, J. P.; DUARTE, W. M.; MENDES, I. R. N.; SANTOS, E. S.; JULIO, O. L. L. Efeito de doses de gesso agrícola na cultura do milho e alterações químicas no solo. **Agrarian**, v. 10, n. 35, p. 31-41, 2017.

ARAÚJO, J. B. S.; CARVALHO, G. J.; GUIMARÃES, R. J.; CARVALHO, J. G. Composto orgânico e biofertilizante na nutrição do cafeeiro em formação no sistema orgânico: teores foliares. **Coffee Science**, v. 2, p. 20-8, 2007.

BAPTISTELLA, J. L. C. **Ciclagem de fósforo pela braquiária consorciada com o cafeeiro**. 2020. 82 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2020.

BAPTISTELLA, J. L. C.; DE ANDRADE, S. A. L.; FAVARIN, J. L.; MAZZAFERA, P. Urochloa in tropical agroecosystems. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 4, a. 119, 2020.

BARROS, U. V.; ZAMBOLIM, L.; LEITE, J. B.; MARTINS, M. G.; VILELA, A. L.; LOPES, U. V.; PAIVA, V. C. Doses e modos de aplicação da palha de café e esterco de gado associado ao adubo químico na formação e produção do cafeeiro na Zona da Mata. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS**, 27., 2001, Uberaba. Anais... Rio de Janeiro: MAPA-PROCAFÉ, 2001. p. 48-50.

BORGHI, E.; CRUSCIOL, C. A. C. Produtividade de milho, espaçamento e modalidade de consorciação com *Brachiaria brizantha* em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 163-171, 2007.

BOSSOLANI, J. W.; CRUSCIOL, C. A. C.; GARCIA, A.; MORETTI, L. G.; PORTUGAL, J. R.; RODRIGUES, V. A.; FONSECA, M. C.; CALONEGO, J. C.; CAIRES, E. F.; AMADO, T. J. C.; REIS, A. R. D. Long-term lime and phosphogypsum amended-soils alleviates the field drought effects on carbon and antioxidative metabolism of maize by improving soil fertility and root growth. **Frontiers in Plant Science**, v.12, p. 1437, 2021.

BRAGANÇA, S. M.; MARTINEZ, H. E. P.; LEITE, H. G.; SANTOS, L. P.; SEDIYAMA, C. S.; ALVAREZ V, V. H.; LANI, J. A. Accumulation of Macronutrients for the Conilon Coffee Tree. **Journal of Plant Nutrition**, v. 31, p. 103-120, 2008.

CAIRES, E. F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 275-286, 2003.

CAIRES, E. F.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA, E. F.; FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 27-34, 1998.

CAIRES, E.F.; GUIMARÃES, A.M. A novel phosphogypsum application recommendation method under continuous no-till management in Brazil. **Agronomy Journal**, v. 110, p.1987-1995, 2018.

CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S.; ROSOLEM, C. A. Lixiviação de potássio da palha de plantas de cobertura em diferentes estádios de senescência após a dessecação química. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 99-108, 2005.

CANTARELLA, H.; CORRÊA, L. D. A.; PRIMAVESI, O.; PRIMAVESI, A. C. Fertilidade do solo em sistemas intensivos de manejo de pastagens. In: **Anais do Simpósio sobre Manejo de Pastagens**. Piracicaba: FEALQ, 2002. p. 99-131.

CANTARELLA, H.; MONTEZANO, Z. F. Nitrogênio e enxofre. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (Eds.). **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: nutrientes**. Piracicaba: IPNI-Brasil, 2010. p. 5-46.

CARDUCCI, C. E.; ANIS, C. F.; DE SOUZA, D. P.; COSTA, J. C.; RUVIARO, C. F. Análise do ciclo de vida e balanço de carbono em sistemas de produção cafeeira do cerrado mineiro, Brasil. **RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar**, v.4, p. e4124690-e4124690, 2023.

CARDUCCI, C. E.; OLIVEIRA, G. C.; CURI, N.; HECK, R. J.; ROSSONI, D. F.; DE CARVALHO, T. S.; COSTA, A. L. Gypsum effects on the spatial distribution of coffee roots and the pores system in oxidic Brazilian Latosol. **Soil and Tillage Research**, v. 145, p. 171-180, 2015.

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

CASTANHEIRA, D. T.; GUIMARÃES, R. J.; DE FIGUEIREDO CARVALHO, M. A.; RESENDE, T. T.; DA SILVA CARVALHO, R. C.; DE OLIVEIRA ALECRIM, A.; VOLTOLINI, G. B. **Estratégias para o manejo do café com foco na otimização do uso da água**. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, X, 2019

CIIAGRO. Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas. **Boletins Agroclimáticos do Estado de São Paulo**. Instituto Agrônomo de Campinas – IAC. Disponível em < <http://www.ciiagro.org.br/diario/cperiodo> > Acesso em março de 2024.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Boletim da Safra de Café**: Estimativas da Produção e Colheita. SAFRA 2019, n.1 - Primeiro levantamento. Acessado em: < <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe/boletim-da-safra-de-cafe/item/10650-1-levantamento-de-cafe-safra-2019> >.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Boletim da Safra de Café**: Estimativas da Produção e Colheita. Safra 2023. 3º levantamento. Acessado em: < <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe/boletim-da-safra-de-cafe> >.

CORREIA, J. B. **Associação calcário/gesso na melhoria das condições químicas do solo para cafeeiros (*Coffea arabica* L.) em crescimento**. 1992. 104 f.

Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1992.

CRUSCIOL, C. A. C.; MATEUS, G. P.; PARIZ, C. M.; BORGHI, É.; COSTA, C.; SILVEIRA, J. P. F. D. Nutrição e produtividade de híbridos de sorgo granífero de ciclos contrastantes consorciados com capim-marandu. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 1234-1240, 2011.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives**. 2. ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2005. 400 p.

ERNANI, P. R.; BAYER, C.; ALMEIDA, J. A. D.; CASSOL, P. C. Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 393-401, 2007.

FAGUNDES, A. V.; GARCIA, A. W. R.; MATIELLO, J. B.; RAMOS, S. V. Altas doses de gesso (irrigação branca) na formação e produção do cafeeiro. **Nativa – Revista de Ciências Sociais do Norte de Mato Grosso**, v. 12, n. 2, 2023.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 186 p.

FAVARIN, J. L.; SOUZA, L. T.; MOSCARDINI, D. B.; BAPTISTELLA, J. L. C. Caminhos para aumentar a produtividade do café arábica. **Informações Agrônomicas**, v. 164, p. 13-18, 2018.

FERNANDES, A. L. T.; SANTINATO, F.; FERREIRA, R. T.; SANTINATO, R. Adubação orgânica do cafeeiro, com uso do esterco de galinha, em substituição à adubação mineral. **Coffee Science**, v. 8, p. 486-499, 2013a.

FERRAZ, R. M. **Efeitos a longo prazo da aplicação de altas doses de gesso nas características químicas em perfil de latossolo cultivado com café**. 2017. 50 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.

FERREIRA, D. F. Sisvar: Acomputer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, p. 1039-1042, 2011.

FONSECA, F.; ALMEIDA, A. P. F. de; CLEMENTE, R. A.; JULIO, A. C. de; SOUZA, L. C. D. de; SMAK, W. de O.; PAULINO, W. M.; KIST, L. T.; LOCHETTI, L. V.; CORREA, K. M. S.; LAUXEN, I. C.; COSTA, H. A. da; PEREIRA, G. M.; BARBOSA, P. L. Ganho de matéria seca e verde em duas variedades de capim sob diferentes doses de gesso agrícola. **Nativa – Revista de Ciências Sociais do Norte de Mato Grosso**, v. 12, p. 73-88, 2023.

GARCIA, R. A.; CRUSCIOL, C. A. C.; CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A. Potassium cycling in a corn-brachiaria cropping system. **European Journal of Agronomy**, v. 28, p. 579-585, 2008.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; VENDRUSCOLO, E. R. O.; CUBILLA, M.; NICOLOSO, R. S.; FRIES, M. R. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e

potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 325-334, 2003.

GUIMARÃES, P.T.G.; REIS, T.H.P. Nutrição e adubação do cafeeiro. In: REIS, P. R.; CUNHA, R. L. **Café Arábica: do plantio à colheita**. Lavras: EPAMIG SM, 2010. p. 343-414.

LOMBARDI NETO, F.; DRUGOWICH, M. I. (coords). **Manual técnico de manejo e conservação de solo e água**. V. III CATI. Campinas: CATI, 1994. P.121-156. Manual Técnico, 40.

MALAVOLTA, E. et al. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997.

MALAVOLTA, E. **O gesso agrícola no ambiente e na nutrição da planta: perguntas e respostas**. Jaboticabal, SP: IMBRAFOS, 1992.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal: Fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2005. 451 p.

MARQUES, E. S.; FAQUIN, V.; GUIMARÃES, P. T. G. **Leaf nutrient levels in coffee (Coffea arabica L.) in response to lime and gypsum**. 1999.

MARQUES, H.; FERREIRA, C. S.; ALMEIDA, G. R. R.; DA CUNHA, L. T. Efeito da aplicação de diferentes doses de gesso agrícola em lavouras cafeeiras cultivadas no Município de Paraguaçu-MG. **Revista da UI_IPSantarém**, v. 4, p. 1-14, 2016.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd ed. London: Academic Press, 1995. 887 p.

MARTINELLI, R.; LICERRE, R.; RUFINO JR, L. R.; CAMATARI, Y.; AZEVEDO, F. A. Roçagem ecológica com *Urochloa spp.*: opção de manejo integrado de plantas daninhas que promove a agricultura de conservação em citros. **Innovations Agronomiques**, v. 64, p. 19-29, 2018.

MARTINEZ, H. E. P.; AUGUSTO, H. S.; CRUZ, C. D.; PEDROSA, A. W.; SAMPAIO, N. F. Crescimento vegetativo de cultivares de café (*Coffea arabica* L.) e sua correlação com a produção em espaçamentos adensados. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 29, p. 481-489, 2007.

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; ALMEIDA, S. R.; GARCIA, A. W. R. **Cultura de Café no Brasil: manual de recomendações**. São Paulo: Fundação Procafé, 2016.

MIELNICZUK, J.; YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. Manejo conservacionista da adubação potássica. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2005. p. 165-178

PARECIDO, R. J.; SORATTO, R. P.; PERDONÁ, M. J.; GUIDORIZZI, F. V. C.; GOMES, G. G.; PAULA, R. A.; GITARI, H. I. Limestone increased coffee yield and

profitability more than phosphogypsum or their combination. **Agronomy Journal**, v. 113, p. 3586-3599, 2021.

PARIZ, C. M.; ANDREOTTI, M.; BUZETTI, S.; BERGAMASCHINE, F. A.; ULIAN, N. A.; FURLAN, L. C.; MEIRELLES, P. R. L.; CAVASANO, F. A. Straw decomposition of nitrogen-fertilized grasses intercropped with irrigated maize in an integrated crop livestock system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 2029-2037, 2011.

PEDROSA, A. W.; FAVARIN, J. L.; VASCONCELOS, A. D.; CARVALHO, B. V.; OLIVEIRA, F. B.; NEVES, G. B. Brachiaria residues fertilized with nitrogen in coffee fertilization. **Coffee Science**, v. 9, p. 366-373, 2014.

PORTES, T. D. A.; CARVALHO, S. I. C. D.; OLIVEIRA, I. P. D.; KLUTHCOUSKI, J. Análise do crescimento de uma cultivar de braquiária em cultivo solteiro e consorciado com cereais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, p. 1349-1358, 2000.

QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; FURLANI, A. M. C. Respostas da soja à aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 28, p. 375-383, 1993.

QUAGGIO, J.A.; THOMAZIELLO, R.A.; RAIJ, B. van; CANTARELLA, H. Café. In: CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; MATTOS Jr., D.; BOARETTO, R.M.; RAIJ, B. van **Boletim 100: Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2021. p. 165-176.

RAGASSI, C. F.; PEDROSA, A. W.; FAVARIN, J. L. Aspectos positivos e riscos no consórcio cafeeiro e braquiária. **Visão Agrícola**, v. 8, p. 29-32, 2013.

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 284p.

RAIJ, B. van. **Gesso na agricultura**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. 233 p.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1997. p. 97-101. (Boletim Técnico, 100).

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo & Fundação IAC, 1996. 285 p.

RAMOS, B. Z.; TOLEDO, J. P. V. F.; LIMA, J. M.; SERAFIM, M. E.; BASTOS, A. R. R.; GUIMARÃES, P. T. G.; COSCIONE, A. R. Doses de gesso em cafeeiro: influência nos teores de cálcio magnésio potássio e pH na solução de um Latossolo Vermelho Distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1018-1026, 2013.

RODRIGUES, J. C.; CARMO, D. L. D.; NANNETTI, D. C.; MARQUES, H.; PEREIRA, R. A. Relação Ca/Mg no solo e produtividade do cafeeiro arábica (*Coffea arabica* L.)

cultivado em diferentes regimes hídricos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 97-104, 2012.

RONCHI, C. P.; SILVA, A. A. Weed control in young coffee plantations through post emergence herbicide application onto total area. **Planta Daninha**, v. 22, p. 607-615, 2004.

ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S. Lixiviação de potássio da palha de espécies de cobertura de solo de acordo com a quantidade de chuva aplicada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 355-362, 2003.

SAKIYAMA, N.; MARTINEZ, H.; TOMAZ, M.; BORÉM, A. **Café Arábica: do plantio à colheita**. 22. ed. Viçosa: UFV, 2015.

SANTINATO, R.; SANTINATO, V. C.; FERNANDES, D. R.; FERNANDES, A. L. T.; GARCIA, A. W. R. Adubação orgânica na formação e produção do cafeeiro cultivado em solo de cerrado LE argiloso, com doses crescentes de palha de café associadas à adubação química, reduzida conforme os nutrientes NPKS contidos na palha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 36., 2010, Guarapari. **Anais...** Varginha: MAPAPROCAFÉ, 2010. p. 264-266.

SANTOS, D. F.; MOREIRA, F. M.; RODRIGUES, R. A.; GONÇALVES, R. M. **Proteína bruta e macronutrientes nas folhas e caules das braquiárias brizantha e decumbens aos 60 dias pós emergência**. In: VI Congresso Internacional das Ciências Agrárias (COINTER) 2021b.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J.B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Revisada e atualizada. Brasília: Embrapa, 2013.

SERAFIM, M. E.; OLIVEIRA, G. C.; LIMA, J. M.; SILVA, B. M.; ZEVIANI, W. M.; LIMA, V. M. Disponibilidade hídrica e distinção de ambientes para cultivo de cafeeiros. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 362-370, 2013.

SILVA, B. M.; OLIVEIRA, G.C.; SERAFIM, M.E.; SILVA, É. A.; GUIMARÃES, P. T. G.; MELO, L. B. B.; NORTON, L. D.; CURI, N. Soil moisture associated with least limiting water range, leaf water potential, initial growth and yield of coffee as affected by soil management system. **Soil and Tillage Research**, v. 189, p. 36-43, 2019

SILVA, L. C. da. **Monitoramento do vigor de cafeeiros submetidos a estratégias de manejo para atenuar os efeitos da escassez hídrica**. 2019. 82 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2019.

SILVA, N. M.; PIRES, F. R.; SILVA, E. C. Efeitos do calcário e do gesso nas características químicas do solo e na cultura do algodão. **Bragantia**, v. 56, p. 389-401, 1997.

SOUZA, L. S.; LOSASSO, P. H. L.; OSHIIWA, M.; GARCIA, R. R.; GOES FILHO, L. A. Efeitos das faixas de controle do capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*) no

desenvolvimento inicial e na produtividade do cafeeiro (*Coffea arabica*). **Planta Daninha**, v. 24, p. 715-720, 2006.

TIECHER, T. **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil: práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água**. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 2016. 186 p.

VOLF, M. R.; GUIMARÃES, T. M.; SCUDELETTI, D.; CRUZ, I. V.; ROSOLEM, C. A. Potassium dynamics in ruzigrass rhizosphere. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, p. e0170370, 2018.

VOLTOLINI, G. B.; DA SILVA, L. C.; DE OLIVEIRA ALECRIM, A.; CASTANHEIRA, D. T.; RESENDE, L. S.; REZENDE, T. T.; GUIMARÃES, R. J. Soil chemical attributes in coffee growing with different agronomic techniques. **Coffee Science**, v. 15, p. e151689, 2020.

VOLTOLINI, G. B.; GUIMARÃES, R. J.; DE OLIVEIRA ALECRIM, A.; NETTO, P. M.; PAULINO, R. N. L.; DE CARVALHO CUNHA, B.; BRITO, H. R. **Plantas de cafeeiro submetidas a deriva simulada do herbicida glyphosate**. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, X, 2019

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

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de gesso agrícola, compostos orgânicos e o cultivo de braquiária nas entrelinhas do cafeeiro arábica revelou-se como uma estratégia eficiente para melhorar tanto a qualidade química quanto a física do solo. Essas práticas, além de favorecerem a produtividade das plantas, também aumentam sua capacidade de resistir a períodos de restrição hídrica. Para o cultivo de café em solos de textura média e arenosa, onde a retenção de nutrientes e a estrutura do solo são problemas importantes, esses manejos integrados oferecem diversos benefícios.

A aplicação de gesso agrícola, especialmente em quantidades elevadas ($40.000 \text{ kg ha}^{-1}$), trouxe melhorias significativas na fertilidade química do solo. Houve um aumento nos níveis de Ca^{2+} e SO_4^{2-} no perfil do solo, enquanto a quantidade de Al^{3+} e a saturação por Al diminuíram. Porém, houve redução dos teores de Mg^{2+} e K^+ aos 17 e 29 meses após a aplicação dos tratamentos. Além disso, o gesso ajudou a aumentar os teores de P disponível, até os 29 meses após a aplicação dos tratamentos. Esses efeitos positivos continuaram visíveis por até 65 meses após a aplicação, sugerindo um benefício prolongado.

O uso de compostos orgânicos e o cultivo de braquiária nas entrelinhas também demonstraram benefícios importantes. Tais práticas melhoraram as características do solo, principalmente quando combinadas com as doses recomendadas ou elevadas de gesso. O cultivo de braquiária elevou a produção de massa seca e contribuiu para a incorporação de C no sistema. O uso de compostos orgânicos, por sua vez, incrementou os níveis de C no perfil do solo, promovendo melhor estruturação e agregação, especialmente nas camadas superficiais. Já a aplicação de doses elevada de gesso melhorou a agregação nas camadas mais profundas.

Essas práticas de manejo também influenciaram as relações hídricas entre o solo e as plantas, especialmente durante períodos de seca. A aplicação de dose elevada de gesso contribuiu para a manutenção do conteúdo de água no solo, permitindo que os processos fisiológicos da planta continuassem funcionando. Essa prática também reduziu o potencial hídrico foliar, ajudando a manter o teor relativo de água na folha e o índice SPAD, ambos importantes indicadores de saúde das plantas. Em contraste, o uso de compostos orgânicos e o cultivo de braquiária nas entrelinhas tiveram menos impacto sobre esses aspectos hídricos.

No que se refere à nutrição e à produtividade das plantas, o uso de gesso aumentou significativamente os níveis de Ca e S nas folhas do cafeeiro. No entanto, a aplicação da dose elevada resultou em uma diminuição do teor de Mg nas folhas. A produtividade de grãos beneficiados foi maior nas seis safras avaliadas quando se utilizou a dose elevada de gesso, especialmente quando combinada com o cultivo de braquiária nas entrelinhas, demonstrando uma sinergia positiva entre essas práticas de manejo. Por outro lado, embora o uso de composto orgânico tenha elevado o teor de alguns nutrientes nas folhas, ele não apresentou efeito significativo no crescimento ou na produtividade do cafeeiro arábica.

Portanto, a associação entre a aplicação de dose elevada gesso agrícola, com o manejo da aplicação de composto orgânico e, especialmente, com o cultivo de braquiária nas entrelinhas, mostram-se uma abordagem promissora para maximizar a produtividade do cafeeiro arábica em solos de textura média e arenosa, melhorando as condições químicas, físicas e hídricas do solo, além de otimizar a nutrição e o crescimento das plantas.

REFERÊNCIAS

- APARECIDO, L. E. O.; ROLIM, G. S.; SOUZA, P. S. Sensitivity of newly transplanted coffee plants to climatic conditions at altitudes of Minas Gerais, Brazil. **Australian Journal of Crop Science**, v. 9, p. 160-167, 2015.
- ASSAD, E. D.; PINTO, H. S. **Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil**. São Paulo: Embrapa, 2008. 84 p.
- ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; ZULLO, J.; ÁVILA, A. M. H. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 1057-1064, nov. 2004.
- BAPTISTELLA, J. L. C.; DE ANDRADE, S. A. L.; FAVARIN, J. L.; MAZZAFERA, P. Urochloa in tropical agroecosystems. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 4, a. 119, 2020.
- BIZARI, D. R.; MATSURA, E. E.; ROQUE, M. W.; SOUZA, A. L. D. Consumo de água e produção de grãos do feijoeiro irrigado em sistemas plantio direto e convencional. **Ciência Rural**, v. 39, p. 2073-2079, out. 2009.
- BORGES, T. K. DE S.; MONTENEGRO, A. A. DE A.; SANTOS, T. E. M. DOS; SILVA, D. D. DA; JUNIOR, V. DE P. E S. Influência de práticas conservacionistas na umidade do solo e no cultivo do milho (*Zea mays* L.) em semiárido nordestino. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1862-1873, 2014.
- CAIRES, E. F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 275-286, 2003.
- CAMARGO, Â. P. D.; CAMARGO, M. B. P. D. Definition and outline for the phenological phases of arabic coffee under brazilian tropical conditions. **Bragantia**, v. 60, p. 65-68, 2001.
- CAMPOS, B. C.; LEITE, L. F. C.; MADARI, B. E.; SILVA, A. J. N.; MACHADO, P. L. O. A. Dinâmica da agregação induzida pelo uso de plantas de inverno para cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 383-391, 1999.
- CARDUCCI, C. E.; OLIVEIRA, G. C.; CURI, N.; HECK, R. J.; ROSSONI, D. F.; DE CARVALHO, T. S.; COSTA, A. L. Gypsum effects on the spatial distribution of coffee roots and the pores system in oxidic Brazilian Latosol. **Soil and Tillage Research**, v. 145, p. 171-180, 2015.
- CARMEIS FILHO, A. C. A.; CRUSCIOL, C. A. C.; CASTILHOS, A. M. Liming demand and plant growth improvements for an Oxisol under long-term no-till cropping. **Journal of Agricultural Science**, v. 155, p. 1093-1112, 2017.
- CARVALHO, H. P. Balanço hídrico climatológico, armazenamento efetivo da água no solo e transpiração na cultura de café. **Bioscience Journal**, v. 27, p. 221-229, 2011.

COSTA, C. H. M.; CARMEIS FILHO, A. C. A.; CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; GUIMARÃES, T. M. Intensive annual crop production and root development in a tropical acid soil under long-term no-till and soil-amendment management. **Crop and Pasture Science**, v. 69, p. 488-505, 2018.

CRUSCIOL, C. A. C.; MARQUES, R. R.; CARMEIS FILHO, A. C. A.; SORATTO, R. P.; COSTA, C. H. M.; FERRARI NETO, J.; CASTRO, G. S. A.; PARIZ, C. M.; CASTILHOS, A. M.; FRANZLUEBBERS, A. J. Lime and gypsum combination improves crop and forage yields and estimated meat production and revenue in a variable charge tropical soil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 115, p. 347-372, 2019.

DAMATTA, F. M.; RAMALHO, J. D. C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 18, p. 55-81, 2006.

D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; GUILHERME, L. R. G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 179-186, 2004.

DAVIS, A. P.; GOVAERTS, R.; BRIDSON, D. M.; STOFFELEN, P. The impact of climate change on indigenous arabica coffee (*Coffea arabica*): predicting future trends and identifying priorities. **PLoS One**, v. 7, p. e47981, 2012.

DIAS, L. E. **Uso de gesso como insumo agrícola**. Seropédica: Embrapa-CNPBS, 1992. 7 p. (Comunicado Técnico, 7).

FAGUNDES, A. V.; GARCIA, A. W. R.; MATIELLO, J. B.; RAMOS, S. V. **Altas doses de gesso (irrigação branca) na formação e produção do cafeeiro**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 42., 2016, Serra Negra – SP. Anais... 42º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 2016.

FERNANDES, A. L. T.; SANTINATO, F.; FERREIRA, R. T.; SANTINATO, R. Adubação orgânica do cafeeiro, com uso do esterco de galinha, em substituição à adubação mineral. **Coffee Science**, v. 8, p. 486-499, 2013a.

FERNANDES, A. L. T.; SANTINATO, F.; FERREIRA, R. T.; SANTINATO, R. Redução da adubação mineral do cafeeiro arábica com a utilização de palha de café. **Coffee Science**, v. 8, p. 324-336, 2013b.

FERRAZ, R. M. **Efeitos a longo prazo da aplicação de altas doses de gesso nas características químicas em perfil de latossolo cultivado com café**. 2017. 50 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 513-524, 1999.

FLAVIO NETO, J.; SEVERIANO, E. C.; COSTA, K. A. P.; JUNNYOR, W. S. G.; GONCALVES, W. G.; ANDRADE, R. Biological soil loosening by grasses from genus

Brachiaria in crop-livestock integration. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 37, p. 375-383, 2015.

FRANCO JÚNIOR, K. S.; FLORENTINO, L. A.; DIAS, M. de S.; FRANCO, T. C. Influence of the use coverage plants and the bioactivator in the physical-biological characteristics of soil cultivated with coffee. **Coffee Science**, v. 14, p. 123–126, 2019.

FREITAS, G. A.; SOUSA, C. R.; CAPONE, A.; AFFERRI, F. S.; MELO, A. V.; SILVA, R. R. Adubação orgânica no sulco de plantio e sua influência no desenvolvimento do sorgo. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 3, p. 61-67, 2012.

GASPARIM, E.; RICIERI, R. P.; DE LIMA SILVA, S.; DALLACORT, R.; GNOATTO, E. Temperatura no perfil do solo utilizando duas densidades de cobertura e solo nu. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 27, p. 107-114, 2005.

GUARÇONI, A. Fatores de sucesso no manejo nutricional do cafeeiro. **Informações Agronômicas**, v. 114, p. 1-12, 2013.

GUIMARÃES, P. T. G.; DIAS, K. G. L.; OLIVEIRA, C. H. C. Uso de Braquiária nas entrelinhas do cafeeiro. EPAMIG. **Circular Técnica**, n. 276, 2018.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1985.

KONDO, M. K.; ANDRADE, R. S.; GONTIJO NETO, M. M.; SILVA, A. A.; BORGES, E. N. Efeito de coberturas vegetais sobre os atributos físicos do solo e características agronômicas do sorgo granífero. **Bioscience Journal**, v. 28, p. 33-40, 2012.

LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 175-187, 2004.

MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação do cafeeiro: colheitas econômicas máximas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1993.

MARCHI, E. C. S. **Influência da adubação orgânica e de doses de material húmico sobre a produção de alface americana e teores de carbono no solo**. 2006. 46 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

MARTINELLI, R.; LICERRE, R.; RUFINO JR, L. R.; CAMATARI, Y.; AZEVEDO, F. A. Roçagem ecológica com *Urochloa spp.*: opção de manejo integrado de plantas daninhas que promove a agricultura de conservação em citros. **Innovations Agronomiques**, v. 64, p. 19-29, 2018.

MARTINS, E.; FERNANDES, A. L. T.; OLIVEIRA, M. C. Influência das condições climáticas na produtividade e qualidade do cafeeiro produzido na região do Sul de Minas Gerais. **Coffee Science**, v. 10, p. 499-506, out./dez. 2015.

MASCHIETTO, E. H. G. **Gesso agrícola na produção de milho e soja em solo de alta fertilidade e baixa acidez em subsuperfície em plantio direto**. 2009. 56 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2009.

MATIELLO, E. M.; PEREIRA, M. G.; ZONTA, E.; MAURI, J.; MATIELLO, J. D.; MEIRELES, P. G.; SILVA, I. R. Produção de matéria seca, crescimento radicular e absorção de cálcio, fósforo e alumínio por *Coffea canephora* e *Coffea arabica* sob influência da atividade do alumínio em solução. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 425-434, 2008.

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; ALMEIDA, S. R.; GARCIA, A. W. R. **Cultura de Café no Brasil: manual de recomendações**. São Paulo: Fundação Procafé, 2016.

MATTA, F. M. da; RAMALHO, J. D. C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 18, p. 55-81, 2006.

MATTA, F. M. da; RENA, A. B. Relações hídricas no cafeeiro. [S.l.: s.n.], 2002.

MAZURANA, M.; LEVIEN, R.; MULLER, J.; CONTE, O. Sistemas de preparo do solo: alterações na estrutura do solo e rendimento das culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1197-1206, 2011.

MERLOTI, L. F.; BOSSOLANI, J. W.; MENDES, L. W.; ROCHA, G. S.; RODRIGUES, M.; ASSELTA, F. O.; CRUSCIOL, A. A. C.; TSAI, S. M. Investigating the effects of *Brachiaria* (Syn. *Urochloa*) varieties on soil properties and microbiome. **Plant and Soil**, p. 1-18, 2023.

OLIVEIRA, F. M. C.; BORGES, L. E. P.; MELO, E. B.; BARROS, M. L. S. C. Características mineralógicas e cristalográficas da gipsita do Araripe. **HOLOS**, v. 5, p. 71-82, 2012.

OLIVEIRA, F. N. S.; LIMA, H. J. M.; CAJAZEIRA, J. P. **Uso da compostagem em sistemas agrícolas orgânicos**. Embrapa Agroindústria Tropical: Folhetos. 2004.

OLIVEIRA, G. C. DE; DIAS JUNIOR, M. S.; RESCK, D. V. S.; CURTI, N. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 327-336, 2004.

PACIULLO, D. S. C.; GOMIDE, C. A. de M. As contribuições de *Brachiaria* e *Panicum* para a pecuária leiteira. In: VILELA, D. **Pecuária de leite no Brasil: cenários e avanços tecnológicos**. 2016. p. 167-186.

PARECIDO, R. J.; SORATTO, R. P.; PERDONÁ, M. J.; GUIDORIZZI, F. V. C.; GOMES, G. G.; PAULA, R. A.; GITARI, H. I. Limestone increased coffee yield and profitability more than phosphogypsum or their combination. **Agronomy Journal**, v. 113, p. 3586-3599, 2021.

PAVAN, M. A.; CHAVES, J. C. D.; ANDRADE, L. S.; ANDRADE, S. A. Manejo da cobertura do solo para formação e produção de uma lavoura cafeeira. I. Influência

na fertilidade do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 21, p. 187-192, fev. 1986.

PAVINATO, P. C.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 32, p. 911-920, 2008.

PEDROSA, A. W.; FAVARIN, J. L.; VASCONCELOS, A. D.; CARVALHO, B. V.; OLIVEIRA, F. B.; NEVES, G. B. Brachiaria residues fertilized with nitrogen in coffee fertilization. **Coffee Science**, v. 9, p. 366-373, 2014.

PIZETTA, S. C.; LOPES, R. P.; PEREIRA, C. F.; MANTOVANI, E. C.; FRANÇA, G. E. Análise do crescimento do cafeeiro arábica, em relação à fração de água transpirável do solo. **Coffee Science**, v. 1, p. 46-54, 2016.

RAGASSI, C. F.; PEDROSA, A. W.; FAVARIN, J. L. Aspectos positivos e riscos no consórcio cafeeiro e braquiária. **Visão Agrícola**, v. 8, p. 29-32, 2013.

RAIJ, B. van. **Gesso na agricultura**. Campinas: Instituto Agronômico, 2008.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1997. p. 97-101. (Boletim Técnico, 100).

RAMOS, B. Z.; TOLEDO, J. P. V. F.; LIMA, J. M.; SERAFIM, M. E.; BASTOS, A. R. R.; GUIMARÃES, P. T. G.; COSCIONE, A. R. Doses de gesso em cafeeiro: influência nos teores de cálcio, magnésio, potássio e pH na solução de um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1018-1026, 2013.

RESENDE, L. S.; BOTREL, E. P.; POZZA, E. A.; ROTELI, K. de C.; ANDRADE, O. C. de S.; PEREIRA, R. C. M. Effect of soil moisture, organic matter and fertilizer application on brown eye spot disease in coffee plantations. **European Journal of Plant Pathology**, v. 163, p. 351-367, 2022.

REZENDE, F. A. **Aproveitamento da casca de café e borra da purificação de gorduras e óleos residuários em compostagem**. 2010. 74 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

ROCHA, O. C.; GUERRA, A. F.; RAMOS, M. L. G.; DA SILVA OLIVEIRA, A.; BARTHOLO, G. F. Qualidade físico-hídrica de um latossolo sob irrigação e braquiária em lavoura de café no cerrado. **Coffee Science**, v. 9, p. 516-526, 2014.

RODRIGUES, J. C.; CARMO, D. L. D.; NANNETTI, D. C.; MARQUES, H.; PEREIRA, R. A. Relação Ca/Mg no solo e produtividade do cafeeiro em função de elevadas doses de gesso agrícola. In: **SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL**, 09., 2015, Curitiba. Resumos Expandidos... Curitiba: SBIcafé, 2015.

SAKIYAMA, N.; MARTINEZ, H.; TOMAZ, M.; BORÉM, A. **Café Arábica: do plantio à colheita**. 22. ed. Viçosa: UFV, 2015.

SANTOS ARAÚJO, J. B. S.; CARVALHO, G. J.; GUIMARÃES, R. J.; CARVALHO, J. G. Composto orgânico e biofertilizante na nutrição do cafeeiro em formação no sistema orgânico: teores foliares. **Coffee Science**, v. 2, p. 20-28, 2007.

SANTOS, C. C.; BELLINGIERI, P. A.; FREITAS, J. C. Efeito da aplicação de compostos orgânicos de cama de frango nas propriedades químicas de um Latossolo Vermelho Escuro cultivado com sopro granífero [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. **Científica**, v. 32, p. 134-140, 2008.

SEDIYAMA, G. C.; REZENDE, J. C.; ALFENAS, F. P.; MARTINS, S. C. Zoneamento agroclimático do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) para o Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, p. 501-509, 2001.

SERAFIM, M. E.; OLIVEIRA, G. C.; LIMA, J. M.; SILVA, B. M.; ZEVIANI, W. M.; LIMA, V. M. Disponibilidade hídrica e distinção de ambientes para cultivo de cafeeiros. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 362-370, 2013.

SERRANO, L. A. L.; SILVA, V. M. da; FORMENTINI, E. A. Uso de compostos orgânicos no plantio do cafeeiro conilon. **Revista Ceres**, v. 58, p. 100-107, 2011.

SILVA, E. A.; SANTOS, H. C.; PEREIRA, A. S.; ROSA, S. L.; FRAGA JUNIOR, E. F. Increasing doses of agricultural gypsum, aggregate stability and organic carbon in Cerrado Latosol under Coffee crop. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 56, p. 25-32, 2013.

SIMON-GRUITA, A.; POJOGA, M. D.; CONSTANTIN, N.; DUTA-CORNESCU, G. Genetic engineering in coffee. In: GRUMEZESCU, A. M.; HOLBAN, A. M. (Ed.). **Caffeinated and cocoa based beverages**. Sawston, United Kingdom: Woodhead Publishing, 2019. p. 447-488.

SIQUEIRA, R. H. D. S.; FERREIRA, M. M.; ALCÂNTARA, E. N. D.; CARVALHO, R. C. D. S. Agregação de um latossolo vermelho-amarelo submetido a métodos de controle de plantas invasoras na cultura do café. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1128-1134, 2014a.

SIQUEIRA, R. H. D. S.; FERREIRA, M. M.; ALCÂNTARA, E. N. D.; SILVA, B. M.; SILVA, R. C. Water retention and s index of an oxisol subjected to weed control methods in a coffee crop. **Ciência Agrotecnologia**, v. 38, p. 471-479, 2014b.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Dolomite and phosphogypsum surface application effects on annual crops nutrition and yield. **Agronomy Journal**, v. 100, p. 261-270, 2008.

SOUZA, A. P. D.; PEREIRA, J. B. A.; SILVA, L. D. B.; GUERRA, J. G. M.; CARVALHO, D. F. D. Evapotranspiração, coeficientes de cultivo e eficiência do uso da água da cultura do pimentão em diferentes sistemas de cultivo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, p. 15-22, 2011.

SOUZA, L. S.; LOSASSO, P. H. L.; OSHIWA, M.; GARCIA, R. R.; GOES FILHO, L. A. Efeitos das faixas de controle do capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*) no

desenvolvimento inicial e na produtividade do cafeeiro (*Coffea arabica*). **Planta Daninha**, v. 24, p. 715-720, 2006.

TEIXEIRA, D. H. L.; GONÇALVE, F. M. A.; NUNES, J. A. R.; SOUZA SOBRINHO, F.; BENITES, F. R. G.; DIAS, K. O. D. G. Visual selection of *Urochloa ruziziensis* genotypes for green biomass yield. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 42, p. e42444, 2020.

TÉOFILO, R. F.; CARVALHO, S. J. P.; MARTINS, D. E.; SANTOS, R. R. Avaliação do efeito da cobertura do solo e da conservação de água em cafeeiros em regiões semiáridas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 337-345, 2012.

TIECHER, T. **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil: práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água**. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 2016. 186 p.

TIRITAN, C. S.; BÜLL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. C.; CARMEIS FILHO, A. C. A.; FERNANDES, D. M.; NASCENTE, A. S. Tillage system and lime application in a tropical region: Soil chemical fertility and corn yield in succession to degraded pastures. **Soil and Tillage Research**, v. 155, p. 437-447, 2016.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. da; LIBARDI, P. L. Soil physical quality of a Brazilian Oxisol under two tillage systems using the least limiting water range approach. **Soil and Tillage Research**, v. 52, p. 223-232, 1999.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 213-223, 2011.

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

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

ANEXO

Anexo A - Tratos fitossanitários realizados na cultura do café, em todos os anos agrícolas, de forma alternada e em toda a área experimental, em Manduri-SP

Alvo	Classe	Ingrediente ativo	Dose (g i.a ha ⁻¹)*
<i>Phoma spp.</i>	Fungicida	tebuconazol	200,0
		azoxistrobina	50,0
		trifloxistrobina + tebuconazol	300,0
		boscalida	75,0
		azoxistrobina + difenoconazol	114,0
<i>Hemileia vastatrix</i> e <i>Cercospora coffeicola</i>	Fungicida	fluxapiroxade + piraclostrobina	250,0
		piraclostrobina + epoxiconazol	274,5
		azoxistrobina + ciproconazol	210,0
		trifloxistrobina + ciproconazol	161,0
		piraclostrobina	175,0
		hidróxido de cobre	2000,0
		oxicloreto de cobre	2500,0
<i>Brevipalpus phoenicis</i> e <i>Oligonychus ilicis</i>	Acaricida	abamectina	7,2
<i>Leucoptera coffeella</i>	Inseticida	profenofós + lufenurom	440,0
		metoxifenoazida + espinetoram	108,0
		clorantraniliprole	31,5
		tiametoxam	500,0
		imidacloprido	700,0
<i>Hypothenemus hampei</i>	Inseticida	clorpirifos	720,0
		acetamiprido + bifentrina	100,0
		clorantraniliprole + abamectina	63,0
		cyantraniliprole	150,0

*g i. a ha⁻¹: gramas do ingrediente ativo por hectare.