

EBERTON DE CARVALHO

População de plantas de soja em sistema consorciado com o cafeeiro e seus efeitos nos parâmetros agronômicos e índices de vegetação

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Informações Geoespaciais da Universidade Federal de Uberlândia, *Campus* Monte Carmelo, como parte das exigências para obtenção do título de “Mestre”.

Área de concentração: Informações geoespaciais e tecnologias aplicadas à produção agrícola

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Gleice Aparecida de Assis

Coorientadores: Dr. Douglas José Marques
Dr. Edson Aparecido dos Santos
Dr. George Deroco Martins

Monte Carmelo – MG

2024

EBERTON DE CARVALHO

População de plantas de soja em sistema consorciado com o cafeeiro e seus efeitos nos parâmetros agronômicos e nos índices de vegetação

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Informações Geospaciais da Universidade Federal de Uberlândia, *Campus* Monte Carmelo, como parte das exigências para obtenção do título de “Mestre”.

Área de concentração: Informações geospaciais e tecnologias aplicadas à produção agrícola

Monte Carmelo, 22 de janeiro de 2024.

Banca Examinadora:

Prof^a Dr^a Gleice Aparecida Assis (UFU)

Prof. Dr. Rodrigo Bezerra de Araújo Gallis (UFU)

Prof. Dr. Anderson William Dominghetti (IFES)

Monte Carmelo – MG

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

C33p
2024

Carvalho, Eberton de, 1984-

População de plantas de soja em sistema consorciado com o cafeeiro e seus efeitos nos parâmetros agrônômicos e nos índices de vegetação [recurso eletrônico] / Eberton de Carvalho. - 2024.

Orientadora: Gleice Aparecida Assis.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Informações Geoespaciais.

Modo de acesso: Internet.

Disponível em:

<http://doi.org/10.14393/ufu.di.2023.8128>

Inclui bibliografia.

1. Agricultura. I. Assis, Gleice Aparecida, 1986-, (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Informações Geoespaciais. III. Título.

CDU:631

André Carlos Francisco - Bibliotecário CRB-6/3408



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Informações Geoespaciais



Rodovia LMG 746, Km 01, s/nº, Bloco 1AMC, Sala 1A202, Monte Carmelo-MG, CEP 38.500-000

Telefone: (34) 3810-1033 - ppgaig@iciag.ufu.br

ATA

Programa de Pós-Graduação em:	Agricultura e Informações Geoespaciais				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico				
Data:	22/01/2024	Hora de início:	07h30min	Hora de encerramento:	09h30min
Matrícula do Discente:	32122AIG004				
Nome do Discente:	Eberton de Carvalho				
Título do Trabalho:	População de plantas de soja em sistema consorciado com o cafeeiro e seus efeitos nos parâmetros agrônômicos e índices de vegetação				
Área de concentração:	Informações geoespaciais e tecnologias aplicadas à produção agrícola				
Linha de pesquisa:	Sistemas integrados de produção vegetal				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	Tecnologias aplicadas à cafeicultura				

Reuniu-se na sala virtual (<https://us05web.zoom.us/j/8646599457?pwd=R1ZFMGM2Z0xQdTJhT2tyVUI5c3h3Zz09>) a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Agricultura e Informações Geoespaciais, assim composta: Profa. Dra. Gleice Aparecida de Assis (Presidente - Universidade Federal de Uberlândia, Campus de Monte Carmelo), Prof. Dr. Rodrigo Bezerra de Araújo Gallis (Universidade Federal de Uberlândia, Campus Uberlândia) e Prof. Dr. Anderson William Dominghetti (Instituto Federal do Espírito Santo). Iniciando os trabalhos a presidente da mesa, Dra. Gleice Aparecida de Assis, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato, agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir a senhora presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos examinadores, que passaram a arguir o candidato. Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o candidato:

Aprovado

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida eachada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Gleice Aparecida de Assis, Professor(a) do Magistério Superior**, em 22/01/2024, às 09:53, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º,

§ 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Anderson William Dominghetti, Usuário Externo**, em 22/01/2024, às 16:23, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rodrigo Bezerra de Araujo Gallis, Professor(a) do Magistério Superior**, em 23/01/2024, às 09:26, conforme horário oficial de Brasília, com fundamentono art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de](#)

[outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5120454** eo código CRC **81465F83**.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus e a Nossa Senhora do Carmo por me proporcionarem saúde, proteção e força ao longo dessa jornada.

Aos meus pais José Maria (*in memoriam*) e Maria Aparecida, meu eterno obrigado pela vida.

Aos meus padrinhos e pais de alma, Abrão Naves (*in memoriam*) e Maria da Piedade pela condução no sentido da fé, dedicação e perseverança.

A minha companheira de vida Patrícia Davi, pelo carinho, pela paciência e pelo companheirismo, agradeço.

Ao meu filho Enzo, pelo amor que se manifesta através de gestos de carinho.

A minha orientadora Dra. Gleice Aparecida de Assis pela paciência, empenho e pelo incentivo em me orientar no planejamento e na condução dos experimentos, a sua presença e a sua liderança foram imprescindíveis para a realização dessa relevante pesquisa, muito obrigado por acreditar neste trabalho.

Aos professores Dr. George Deroco Martins, Dr. Douglas José Marques e Dr. Edson Aparecido dos Santos pelo auxílio na condução dos experimentos, no processamento de imagens, nas sugestões e na execução das análises.

Aos membros do grupo NECACER por todo auxílio na implantação, na coleta de dados e na colheita do experimento, com carinho, minha gratidão.

Ao técnico Renan Zampirolli por toda disponibilidade e pelo auxílio para a captação de imagens aéreas do experimento.

Ao técnico Gustavo Moreira pelo auxílio no laboratório com equipamentos e coleta de informações.

A todos que contribuíram direta e indiretamente na condução dessa pesquisa e fizeram parte da minha evolução acadêmica e pessoal. Com satisfação, o meu muito obrigado e fiquem todos em paz e com Deus, gratidão!

RESUMO

CARVALHO, Eberton. **População de plantas de soja em sistema consorciado com o cafeeiro e seus efeitos nos parâmetros agronômicos e índices de vegetação.** Orientadora: Gleice Aparecida de Assis. 2024. 28 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura e Informações Geoespaciais) – Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, 2024.

A cafeicultura no cerrado mineiro é uma atividade praticada por produtores com diferentes níveis tecnológicos (baixo, médio e alto nível tecnológico), é uma atividade com alto valor de uso da terra, que pode causar prejuízos econômicos se o uso do solo não for planejado. O cultivo consorciado tem contribuído com a atividade cafeeira, trazendo alternativa de renda aos produtores, principalmente na fase de formação da lavoura. Nesse contexto, a pesquisa foi realizada com o objetivo de avaliar diferentes populações de plantas de soja em sistema consorciado com o cafeeiro nos parâmetros agronômicos e nos índices de vegetação das culturas. O experimento foi realizado na Universidade Federal de Uberlândia, localizada em Monte Carmelo, Minas Gerais. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com cinco tratamentos, sendo eles: controle (ausência da soja), 80.000 plantas ha⁻¹, 160.000 plantas ha⁻¹, 240.000 plantas ha⁻¹ e 320.000 plantas ha⁻¹. Os resultados da pesquisa mostraram que a soja cultivada na entrelinha não afetou a produtividade do cafeeiro. A população de 185.826 plantas ha⁻¹ de soja proporcionou maior produtividade da cultura, sendo observados decréscimos na produtividade a partir dessa densidade populacional em função do acamamento das plantas. Não houve alterações nos parâmetros biométricos do cafeeiro, com exceção de altura das plantas, evidenciado pelos elevados valores dos índices de vegetação NDVI (índice de vegetação por diferença normalizada) e GNDVI (índice de vegetação por diferença normalizada com uso da banda verde).

Palavras-chave: *Coffea arabica* L.; *Glycine max* L.; consórcio; índices espectrais.

ABSTRACT

CARVALHO, Eberton. **Intercropped soybean plant population in a coffee plantation and its effects on agronomic parameters and vegetation indices**. 2024. 28 p. Dissertation (Master in Agriculture and Geospatial Information), Federal University of Uberlândia, Monte Carmelo, 2024.

Coffee is produced at different technology levels (low, medium, and high) in the Cerrado region of Minas Gerais, Brazil. This activity has high land use value, which can result in economic losses without proper land use planning. Intercropping has improved coffee production by providing an alternative income source to producers, especially in the crop formation phase. In this context, the research was carried out with the objective of evaluating different populations of soybean plants in an intercropped system with coffee in terms of agronomic parameters and crop vegetation indices. The experiment was conducted at the Federal University of Uberlândia, in Monte Carmelo, Minas Gerais, Brazil. It had an experimental randomized block design with five treatments: the control (no soybeans); 80,000 plants ha⁻¹; 160,000 plants ha⁻¹; 240,000 plants ha⁻¹; and 320,000 plants ha⁻¹. The results showed that the presence of soybean plants between rows had no effect on coffee productivity. The population of 185,826 soybean plants ha⁻¹ provided greater crop productivity, with decreases in productivity observed from this population density due to plant lodging. There were no changes in the biometric parameters of the coffee tree, with the exception of plant height, evidenced by the high values of vegetation indices NDVI (Normalized Difference Vegetation) and GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index).

Keywords: *Coffea arabica* L.; *Glycine max* L.; intercropping; spectral indices.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	MATERIAL E MÉTODOS	3
2.1	Área experimental	3
2.2	Implantação e manejo do cafeeiro	4
2.3	Semeadura e adubação da soja	5
2.4	Delineamento experimental e tratamentos	5
2.5	Avaliações dos parâmetros vegetativos e índice de clorofila do cafeeiro e da soja	6
2.6	Avaliações dos parâmetros produtivos do cafeeiro e da soja	7
2.7	Mapeamento da distribuição espacial dos parâmetros agronômicos do cafeeiro e da soja	8
2.8	Análises estatísticas	8
3	RESULTADOS	9
3.1	Parâmetros de crescimento e produtividade do cafeeiro	9
3.2	Parâmetros de crescimento e produtividade da soja	10
3.3	Mapas de distribuição espacial de parâmetros agronômicos	12
3.4	Distribuição espacial do vigor vegetal	14
4	DISCUSSÃO	14
5	CONCLUSÕES	17
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18

1 INTRODUÇÃO

O café é uma das principais culturas agrícolas em países da América do Sul, da África e da Ásia. Aproximadamente 125 milhões de pessoas estão diretamente envolvidas na atividade e destaque é dado ao Brasil, maior produtor e exportador mundial (NCA, 2017). A cafeicultura é caracterizada por envolver elevado número de propriedades e de trabalhadores (Volsi *et al.*, 2019). Adicionalmente, o grão de café é caracterizado como uma *commodity* agrícola e, por isso, os custos operacionais e o valor da produção são muito sensíveis a diversos fatores (Krishnan, 2017).

A principal região produtora de café no Brasil é o cerrado central. Especialmente devido à mecanização, as mudas são plantadas em campo, em linhas espaçadas entre 3,5 e 3,8 m, na maioria das propriedades. Considerando que o cafeeiro é um arbusto tropical (Adepoju, 2017), observa-se um crescimento muito lento e uma baixa cobertura do solo, especialmente nos dois primeiros anos de estabelecimento da cultura (DaMatta *et al.*, 2007). Dessa forma, a maior parte da área fica subutilizada, o que pode significar maiores perdas de água, de fertilizantes, maior ocorrência de plantas daninhas e de perdas de solo por erosão (Silva *et al.*, 2016; Bruno *et al.*, 2020; Rodrigues *et al.*, 2022).

A subutilização das áreas de café nos primeiros anos de cultivo abre possibilidade para o cultivo de culturas consorciadas. Os cafeeiros podem ser consorciados com culturas que agreguem valor à atividade. Quando se cultiva outras plantas na entrelinha dos plantios de café, os principais objetivos são: diversificação de renda, otimização no uso de equipamentos e de insumos, proteção do solo e da água, ciclagem de nutrientes, controle biológico de doenças e pragas e controle de plantas daninhas (Bravin *et al.*, 2020; Oliveira *et al.*, 2020).

O cultivo de forrageiras e culturas agrícolas em consórcio com café melhoram a fertilidade, além de proporcionar renda extra pela diversificação das culturas (Bravin *et al.*, 2020). A diversificação de renda é essencial para o produtor de café, especialmente devido à baixa liquidez financeira do cafeeiro. Entre a semeadura até o retorno do capital investido (*payback*) são necessários até oito anos (Volsi *et al.*, 2019; Chaddad; Boland, 2009).

A viabilidade econômica do consórcio entre plantas é dependente de muitos fatores, especialmente do valor de mercado da cultura adicional. Nesse sentido, nas áreas de cerrado com topografia adequada, a soja pode ser uma ótima alternativa para o cultivo intercalar, em

virtude do valor e da liquidez de mercado (Meade *et al.*, 2016; Telles *et al.*, 2020). A soja é a principal *commodity* do Brasil e o principal cultivo no cerrado (Pellegrina, 2022). Adicionalmente a soja está relacionada à fixação de nitrogênio atmosférico no solo, possui ciclo aproximado de 110 dias, promove cobertura do solo, possui sistema radicular pivotante, dentre outras características positivas a um possível consórcio intercalar (Rowntree *et al.*, 2013; Pagano e Miransari, 2016).

A população de plantas no consórcio é algo importante a ser definido no momento da semeadura da soja. Alta densidade populacional pode proporcionar plantas com hastes principais mais finas, de maior suscetibilidade ao acamamento (Ferreira *et al.*, 2018) e menor número de ramificações primárias, devido a maior competição intraespecífica das plantas, ocasionando menor produção de grãos por planta (Silva *et al.*, 2021).

Em maiores densidades de plantio, a competição entre plantas de soja, principalmente por luz, promove menor disponibilidade de fotoassimilados para o crescimento vegetativo das plantas na forma de ramificações (Carmo *et al.*, 2018).

Como o cafeeiro apresenta crescimento lento e é muito sensível à interferência de outras plantas, o consórcio pode significar prejuízos quando ocorre competição entre as plantas. A interferência pode proporcionar a morte das plantas de café. Nesse sentido, é fundamental manter o espaçamento e a população adequados de plantas na entrelinha. O cafeeiro jovem espaçado em 3,0 m e consorciado com feijão a 1,0 m de espaçamento entre as culturas proporcionou incremento de renda ao produtor, porém as plantas competiram e houve diminuição de produtividade (Carvalho *et al.*, 2008).

As respostas dos cafeeiros à interferência de outras plantas são variáveis, já que as plantas podem apresentar diminuição de área foliar, baixa taxa de crescimento, menor produtividade, menor volume da copa e mudanças nos padrões de cores devido à falta de água ou de nutrientes (Ronchi *et al.*, 2003; Ronchi *et al.*, 2006; Borges *et al.*, 2019). Destaca-se, pois, que ferramentas de sensoriamento remoto e geoprocessamento são importantes e precisos mecanismos para avaliações qualitativas e quantitativas em lavouras agrícolas. Índices espectrais, mapeamento, avaliações remotas, dentre outros têm sido implementados em estudos vegetais com avaliações espaciais e temporais com sucesso (Amaral *et al.*, 2022).

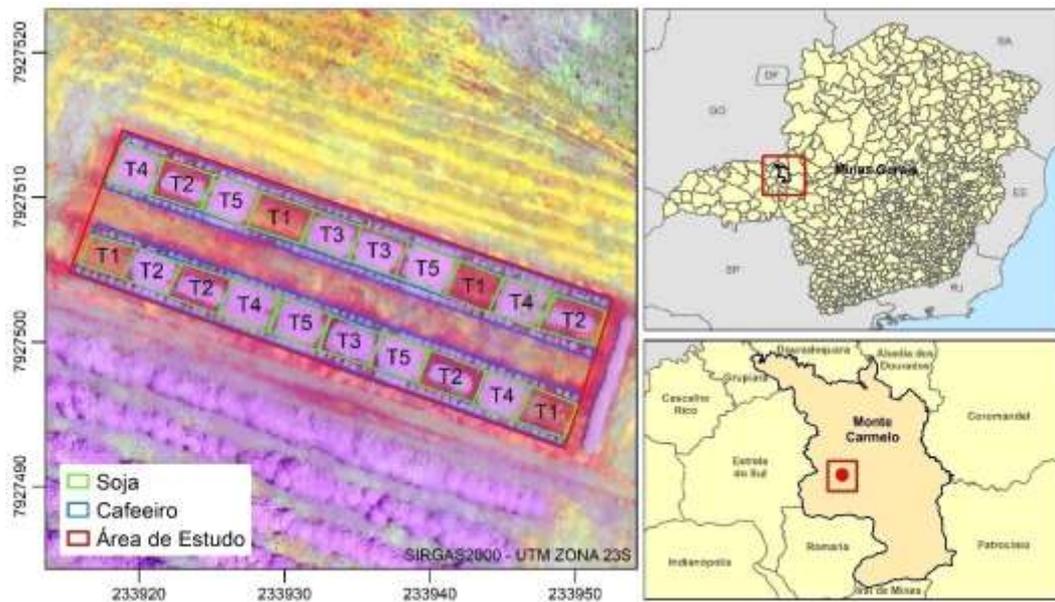
Diante do exposto, objetivou-se avaliar diferentes populações de plantas de soja em sistema consorciado com o cafeeiro nos parâmetros agrônômicos e nos índices de vegetação das culturas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área experimental

O experimento foi realizado na área experimental da Universidade Federal de Uberlândia, localizada em Monte Carmelo, Minas Gerais. As coordenadas geográficas da área experimental são 18° 43' 36" S e 47° 31' 23" W, situada a 898 m de altitude (Figura 1).

Figura 1 - Croqui da área experimental e definição das culturas e área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A caracterização química do solo foi realizada em agosto de 2021, antes da diferenciação dos tratamentos e em setembro de 2022, após o consórcio (Tabela 1). O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho textura argilosa.

Tabela 1 - Análise química e física de fertilidade do solo antes da semeadura (1) e análise química do solo após o consórcio cafeeiro e soja (2)

Análise química			
Elementos	Unidade	(1)	(2)
pH (H ₂ O)	-	6,50	5,40
pH (CaCl ₂)	-	5,70	-
P meh.	mg dm ⁻³	6,80	19,66
K ⁺	mg dm ⁻³	135,5	180,95
S-SO ₄ ²⁻	mg dm ⁻³	10,31	4,90
K ⁺	cmol _c dm ⁻³	0,35	0,46
Ca ²⁺	cmol _c dm ⁻³	2,52	3,63
Mg ²⁺	cmol _c dm ⁻³	0,76	1,23
Al ³⁺	cmol _c dm ⁻³	0,00	0,03
H + Al	cmol _c dm ⁻³	1,60	3,31
SB	cmol _c dm ⁻³	3,63	5,32
T	cmol _c dm ⁻³	5,23	8,63
t	cmol _c dm ⁻³	3,63	5,35
V	%	69,30	61,64
m	%	0,00	0,56
MO	dag kg ⁻¹	4,94	3,70
CO	dag kg ⁻¹	2,87	-
B	mg dm ⁻³	0,37	0,71
Cu	mg dm ⁻³	2,40	3,70
Fe	mg dm ⁻³	22,00	26,92
Mn	mg dm ⁻³	3,30	16,36
Zn	mg dm ⁻³	2,30	10,96
Análise física (1)			
Areia	g kg ⁻¹	29,57	
Silte	g kg ⁻¹	22,67	
Argila	g kg ⁻¹	47,76	

P, K = Mehlich-1; S-SO₄²⁻ = Fosfato de cálcio monobásico; Ca, Mg, Al = Cloreto de potássio; H+Al = [Solução Tampão SMP pH 7,5]; B = [BaCl₂. 2H₂O 0,125% à quente]; Cu, Fe, Mn, Zn = DTPA.

2.2 Implantação e manejo do cafeeiro

O plantio do cafeeiro foi efetuado em março de 2021, no espaçamento de 3,5 m entre linhas e 0,6 m entre plantas, utilizando-se a cultivar IPR 100. A adubação de plantio foi composta por 50 g de P₂O₅ por cova utilizando como fonte o superfosfato simples (18% de P₂O₅). Trinta dias após o pegamento das mudas, foi realizada adubação de cobertura com 20 g de K₂O por planta, dividida em três aplicações ao ano e 5 g de N por planta, sendo essa dose repetida nos três meses subsequentes com a utilização do formulado 22-00-22 (N – P₂O₅ – K₂O).

O cafeeiro foi irrigado por sistema de gotejamento, com espaçamento entre os gotejadores de 0,6 m e vazão de 2,1 L h⁻¹.

Para adubação do cafeeiro, no primeiro ano após o plantio, foi realizada a adubação de 142,86 kg de N ha⁻¹, 20 kg de P₂O₅ ha⁻¹ e 47,62 kg de K₂O ha⁻¹, utilizando-se como fontes ureia (45% de N), superfosfato simples (18% de P₂O₅) e cloreto de potássio (60% de K₂O), respectivamente.

2.3 Semeadura e adubação da soja

A semeadura da soja na entrelinha do cafeeiro foi realizada em novembro de 2021, utilizando-se a cultivar LG 60162IPRO (maturação relativa 6.5), no espaçamento de 0,4 m entre linhas e 14 sementes por metro linear, sem utilização de irrigação.

Com base na análise de solo (Tabela 1) e considerando produtividade esperada de 50 a 60 sacas ha⁻¹ de soja, a dose padrão de adubação foi de 120 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de P₂O₅ e 40 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de K₂O (Guimarães *et al.*, 1999), não sendo necessária a aplicação de N mineral devido a inoculação via sulco de plantio (840 mL ha⁻¹ ano⁻¹) da bactéria *Bradyrhizobium japonicum*. As fontes utilizadas de fertilizantes minerais foram, respectivamente, o superfosfato simples 00-18-00 (N – P₂O₅ – K₂O) e o Cloreto de Potássio 00-00-60 (N – P₂O₅ – K₂O), utilizados no sulco de plantio em novembro de 2021.

2.4 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com quatro blocos e cinco tratamentos, sendo eles: controle (ausência da soja), 80.000 plantas ha⁻¹, 160.000 plantas ha⁻¹, 240.000 plantas ha⁻¹ e 320.000 plantas ha⁻¹ de soja cultivadas na entrelinha do cafeeiro (Tabela 2 e Figura 2). Cada parcela foi composta por 5 plantas de cafeeiro, contendo 3 m de comprimento e 3,5 m de largura. As avaliações foram realizadas nas 3 plantas centrais, compreendendo uma área útil de 6,3 m² (1,8 m de comprimento e 3,5 m de largura). As avaliações dos parâmetros fitotécnicos da soja foram realizadas em todas as linhas de soja pertencentes a cada tratamento.

Tabela 2 - População de plantas de soja por hectare, número de fileiras de soja na entrelinha do cafeeiro e distância (m) da fileira de soja no ramo ortotrópico do cafeeiro em cada tratamento

Tratamentos	Plantas por ha ¹	Número de fileiras de soja	Distância do cafeeiro (m)
T1	ausência de soja	0	-
T2	80.000	2	1,55
T3	160.000	4	1,15
T4	240.000	6	0,75
T5	320.000	8	0,35

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 2 - Imagem aérea (A) e detalhe das parcelas do experimento (B).



A



B

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

2.5 Avaliações dos parâmetros vegetativos e índice de clorofila do cafeeiro e da soja

As avaliações de crescimento foram realizadas mensalmente em ambas as culturas, a partir de dezembro de 2021 até fevereiro de 2022, totalizando três avaliações. Os parâmetros de crescimento do cafeeiro avaliados foram diâmetro de copa, altura de planta, diâmetro de caule e número de internódios por ramo plagiotrópico, além do índice de clorofila aos 60 e 90 dias após a diferenciação dos tratamentos.

Na soja, as características avaliadas foram altura da planta aos 30, 60 e 90 dias após a emergência (DAE) e índice de clorofila das plantas aos 60 e 90 DAE.

Para a determinação do índice de clorofila, foi utilizado o medidor eletrônico de clorofila at LEAF. Três plantas de soja foram marcadas na linha central de cada parcela, sendo a leitura realizada no terço médio de cada planta. A média obtida dos índices de clorofila das três plantas foi aplicada como valor da parcela.

No cafeeiro, foi realizada a leitura do terceiro ou do quarto par de folhas do ramo plagiotrópico localizado no terço médio do cafeeiro do lado superior das linhas de plantio em cada planta da parcela útil, sendo posteriormente obtida a média das três plantas para representar a parcela experimental. Todas as coletas foram efetivadas no período da manhã iniciando às 08:00 horas para ter homogeneidade na amostragem dos dados.

2.6 Avaliações dos parâmetros produtivos do cafeeiro e da soja

Em março de 2022 e fevereiro de 2023 foi a colheita da soja. A produtividade foi obtida por meio da coleta, da trilha mecânica e da obtenção da massa dos grãos de todas as plantas da área útil de cada parcela, sendo os dados transformados em kg ha^{-1} . Em cada unidade experimental, realizou-se a coleta de uma amostra de 1.000 grãos para determinação da massa. A produtividade foi expressa em sacas ha^{-1} , com umidade dos grãos corrigida para 13% (base úmida), assim como para massa de 1.000 grãos em gramas.

A colheita do café foi efetuada em agosto de 2023, mediante derriça no pano dos frutos pertencentes às três plantas úteis da parcela. Essa colheita só poderia ser iniciada quando o percentual de frutos verdes da área experimental fosse inferior a 20%. Após a determinação do volume produzido pela parcela, foi retirada uma amostra de 10 L cuja secagem foi cumprida em terreiro de concreto. Após atingir a umidade de 11%, foram determinados a massa e o volume do café em coco. Posteriormente, as amostras foram beneficiadas e novamente determinadas a massa, o volume e a umidade do café. Com base na relação do volume da amostra de 10 L do café colhido no pano e da massa da amostra beneficiada, determinou-se a produção por parcela, para posteriormente ser extrapolada para produtividade em sacas ha^{-1} . A partir desses dados, foi determinado o rendimento (L de “café da roça” para compor uma saca de 60 kg de café beneficiado) (Gallet *et al.*, 2022).

2.7 Mapeamento da distribuição espacial dos parâmetros agrônômicos do cafeeiro e da soja

Para o mapeamento da distribuição espacial dos parâmetros medidos na soja e no cafeeiro foram construídos mapas de distribuição espacial a partir da interpolação por krigagem ordinária, utilizando o software do plugin SmartMap.

Com o objetivo de relacionar o crescimento vegetativo dos cafeeiros em cada tratamento com as imagens multiespectrais, foram empregados os índices de vegetação NDVI (índice de vegetação por diferença normalizada) e GNDVI (índice de vegetação por diferença normalizada com uso da banda verde).

O índice de vegetação por diferença normalizada é um indicativo da vegetação fotossinteticamente ativa, sendo utilizado para monitoramento da biomassa vegetal (Caetano *et al.*, 2022). Já o GNDVI é uma variação do NDVI, sendo usado para avaliar as variações de biomassa verde na escala do dossel (Silva Júnior *et al.*, 2021).

Para o pré-processamento das amostras foram dispostos pontos de apoio representados pelas extremidades do experimento. Para aquisição dessas imagens foi utilizada uma câmera de alta resolução Mapir (imagens em NDVI) acoplada a uma ARP DJI Phantom 4 que coleta imagens das bandas RGB, sendo respectivamente verde (550 nm), vermelho (660 nm), e infravermelho próximo (850 nm), as quais voaram a 50 metros acima do solo e com um GSD (Ground Sample Distance) de 1,1 cm, obtiveram captura de imagens de adequada resolução espacial (Rezende *et al.*, 2023). O voo aconteceu no estádio R1 (7 de dezembro de 2021), em função das plantas nesse estádio de desenvolvimento serem mais sensíveis às respostas espectrais (Abreu Júnior *et al.*, 2023).

2.8 Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância com aplicação do teste F, a 5% de probabilidade, após o atendimento das pressuposições de normalidade dos resíduos pelo teste de Jarque-Bera e homocedasticidade pelo teste de Levene. Para altura de plantas de soja, de produtividade da soja e de massa de mil grãos, quando detectadas diferenças significativas entre os tratamentos, as médias referentes ao fator população de plantas de soja foram ajustadas a modelos de regressão. Já, para as demais características de crescimento e de índice de clorofila da soja e do cafeeiro foi utilizado o esquema de parcela subdividida no tempo, as médias dos tratamentos comparadas pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade com o software SPEED Stat (Carvalho *et al.*, 2020).

3 RESULTADOS

3.1 Parâmetros de crescimento e produtividade do cafeeiro

As análises estatísticas dos parâmetros de crescimento do cafeeiro apontaram baixa variabilidade entre os tratamentos. Em relação à altura de plantas, verificou-se efeito significativo dos tratamentos ao nível de 5% de probabilidade (p -valor = 0,04), o qual foi ajustado a um modelo de regressão. Outrossim, as características diâmetro de caule e de copa, número de internódios e o índice de clorofila dos cafeeiros não foram verificadas diferenças significativas em função da população de plantas de soja cultivadas na entrelinha do cafeeiro (Tabela 3).

Tabela 3. Média de diâmetro de caule (cm), diâmetro de copa (cm), número de internódios no ramo plagiotrópico e índice de clorofila de cafeeiros em função da população de plantas de soja cultivadas na entrelinha de *Coffea arabica* L

População de plantas de soja (mil plantas ha ⁻¹)	Diâmetro de caule (cm)	Diâmetro de copa (cm)	Número de internódios	Índice de clorofila
0	1,20 a	43,43 a	7,28 a	66,53 a
80	1,21 a	45,70 a	7,60 a	67,80 a
160	1,29 a	46,76 a	8,14 a	70,37 a
240	1,19 a	46,74 a	7,29 a	65,32 a
320	1,19 a	45,17 a	7,68 a	65,91 a
F*	0,72	1,30	0,39	2,52
CV1**(%)	17,25	10,61	29,53	6,51
CV2**(%)	30,92	12,99	10,78	9,66

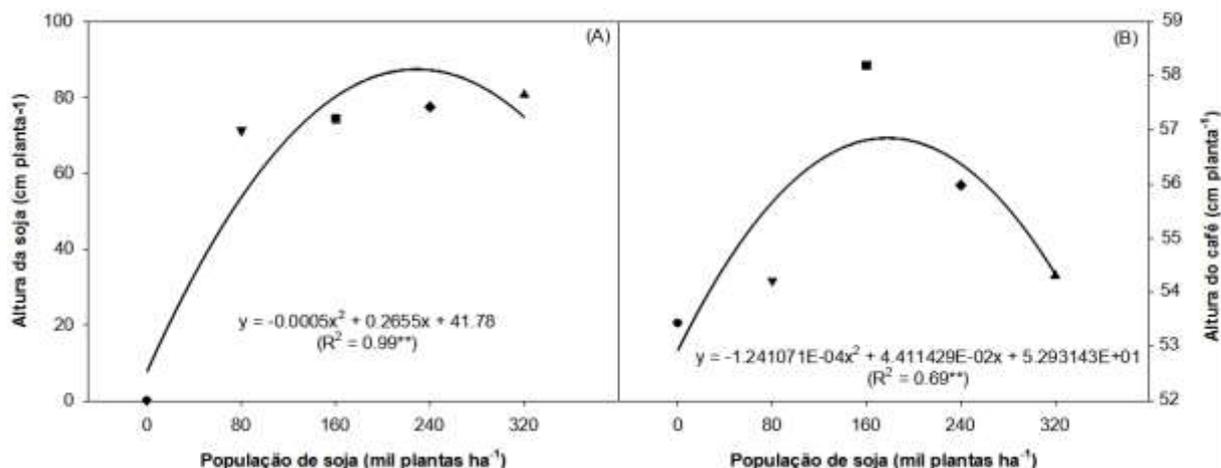
*Valor da estatística de F de Snedecor. **Coeficiente de variação (%). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não se diferem pelo Teste F ao nível de 5% de significância.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Os cafeeiros apresentaram, em média, 1,22 cm de diâmetro de caule, 45,56 cm de diâmetro de copa e 7,6 internódios por ramo produtivo, com índice de clorofila de 67,18. Dessa maneira, o incremento na população de plantas de soja, na entrelinha do cafeeiro, não prejudicou o crescimento vegetativo das plantas para esses parâmetros (Tabela 3).

Já para altura de plantas, verificou-se ajuste do modelo polinomial quadrático ($R^2 = 69,51\%$), em que os cafeeiros atingiram altura máxima de 56,85 cm com uma população de 177.727 plantas ha⁻¹ de soja na entrelinha (Figura 3B).

Figura 3 - Altura da soja (A) e cafeeiro (B) em função da população de plantas em sistema consorciado com o cafeeiro (média de dois anos nas safras 21/22 e 22/23).



Com relação aos parâmetros produtivos do cafeeiro, não foram detectadas diferenças significativas entre os tratamentos para a produtividade da primeira safra da lavoura cafeeira (p-valor = 0,95) e o rendimento de café (p-valor = 0,87). Os cafeeiros apresentaram, em média, produtividade de 30,57 sacas ha⁻¹ e rendimento de 345,95 L de café colhido na planta para compor uma saca de 60 Kg de café beneficiado, devido ao elevado percentual de frutos secos (53,8%) no momento da colheita (Tabela 4).

Tabela 4 - Média de produtividade (sacas ha⁻¹) e rendimento (L de café colhido na planta para obtenção de uma saca de 60 Kg beneficiado) de cafeeiros em função da população de plantas de soja cultivadas na entrelinha de *Coffea arabica* L

População de plantas de soja (mil plantas ha ⁻¹)	Produtividade (sacas ha ⁻¹)	Rendimento (L)
0	30,04 a	350,94 a
80	26,68 a	325,99 a
160	32,54 a	377,06 a
240	33,87 a	334,76 a
320	29,72 a	341,00 a
F*	0,17	0,30
CV**(%)	42,18	20,51

*Valor da estatística de F de Snedecor. **Coeficiente de variação (%). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não se diferem pelo Teste F ao nível de 5% de significância.

3. 2 Parâmetros de crescimento e produtividade da soja

Quanto aos efeitos do consórcio nos parâmetros biométricos da soja, verificou-se alta significância (p-valor < 0,01) da população de plantas de soja para altura das plantas, com ajuste

do modelo quadrático (Figura 3A). As plantas atingiram altura máxima de 77,02 cm na densidade de 265.500 plantas ha⁻¹, havendo um decréscimo a partir dessa população, possivelmente em função do acamamento das plantas.

Quanto ao índice de clorofila (IC), verificou-se que não houve influência da população de plantas de soja nesse parâmetro, até mesmo nas parcelas em que a distância da soja e do cafeeiro foi de 0,35 m no momento da semeadura. As médias obtidas de IC foram de 44,01 e 33,02 unidades, respectivamente para 60 e 90 DAE (Tabela 5).

Tabela 5 - Médias de índice de clorofila de plantas de soja em função da população de plantas de soja consorciadas na entrelinha de *Coffea arabica* L aos 60 e 90 dias após a emergência

População de plantas de soja (mil plantas ha ⁻¹)	Índice de clorofila aos 60 DAE	Índice de clorofila aos 90 DAE
0	42,7 aA	35,1 aB
80	43,8 aA	34,3 aB
160	44,8 aA	31,3 aB
240	45,0 aA	31,4 aB
F*		4,87
CV1**(%)		6,23
CV2**(%)		5,02

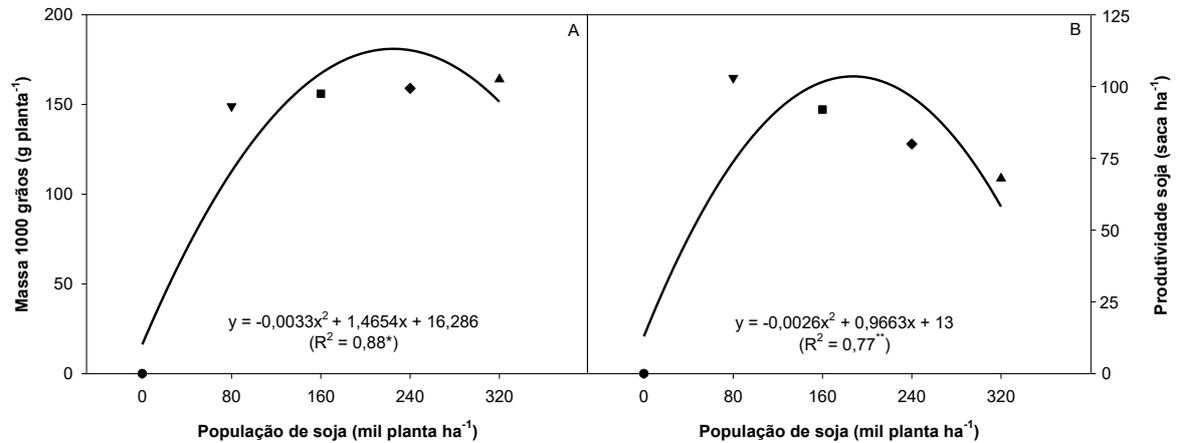
*Valor da estatística de F de Snedecor. **Coeficiente de variação (%). Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não se diferem pelo Teste F ao nível de 5% de significância.

Ademais, os parâmetros produtivos da soja, verifica-se que a massa de 1.000 grãos e a produtividade média nas safras 2021/22 e 2022/23 foram influenciados pela população de plantas de soja consorciada com o cafeeiro (p-valor < 0,05).

A massa média de 1.000 grãos atingiu seu ápice (178,96 g) com a população de 222.000 plantas ha⁻¹ (Figura 4A).

Além disso, em relação à produtividade média de grãos, verificou-se ajuste do modelo polinomial quadrático ($R^2 = 77,0\%$), apresentando rendimento máximo de 102,78 sacas ha⁻¹ na população de 185.826 plantas ha⁻¹ (Figura 4B), havendo um decréscimo a partir desse ponto, possivelmente, em função da maior competição com o cafeeiro e com acamamento da soja.

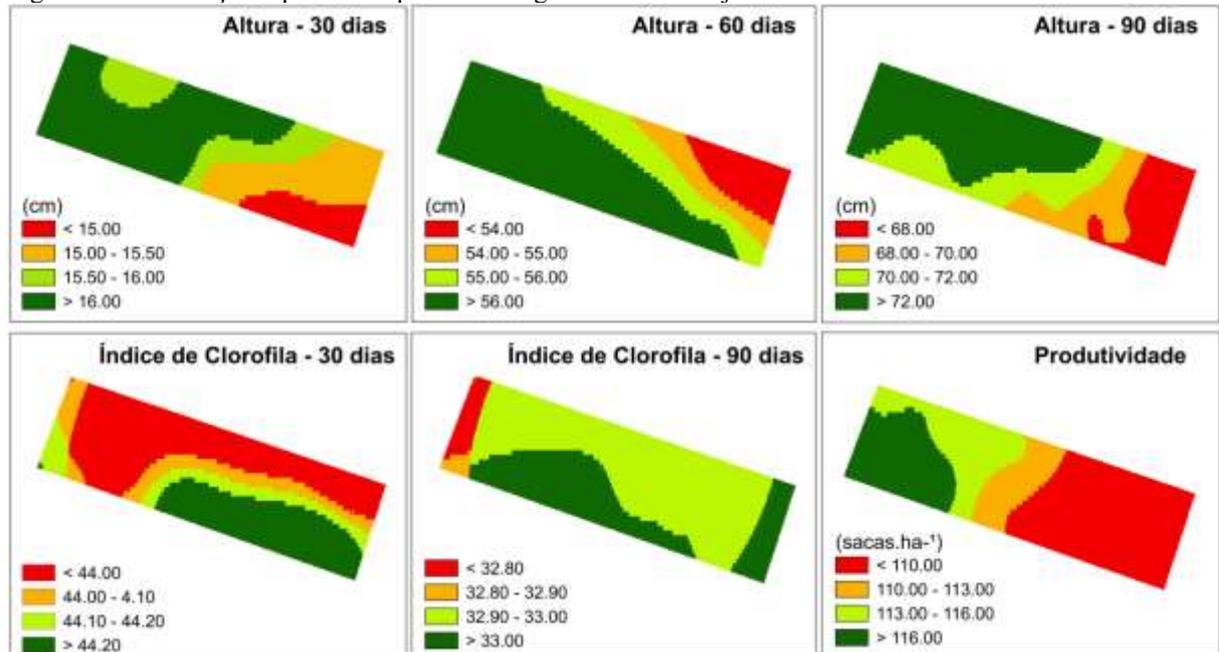
Figura 4 - Massa de 1.000 grãos (A) e produtividade da soja (B) em função da população de plantas em sistema consorciado com o cafeeiro (média de dois anos nas safras 21/22 e 22/23).



3.3 Mapas de distribuição espacial de parâmetros agrônômicos

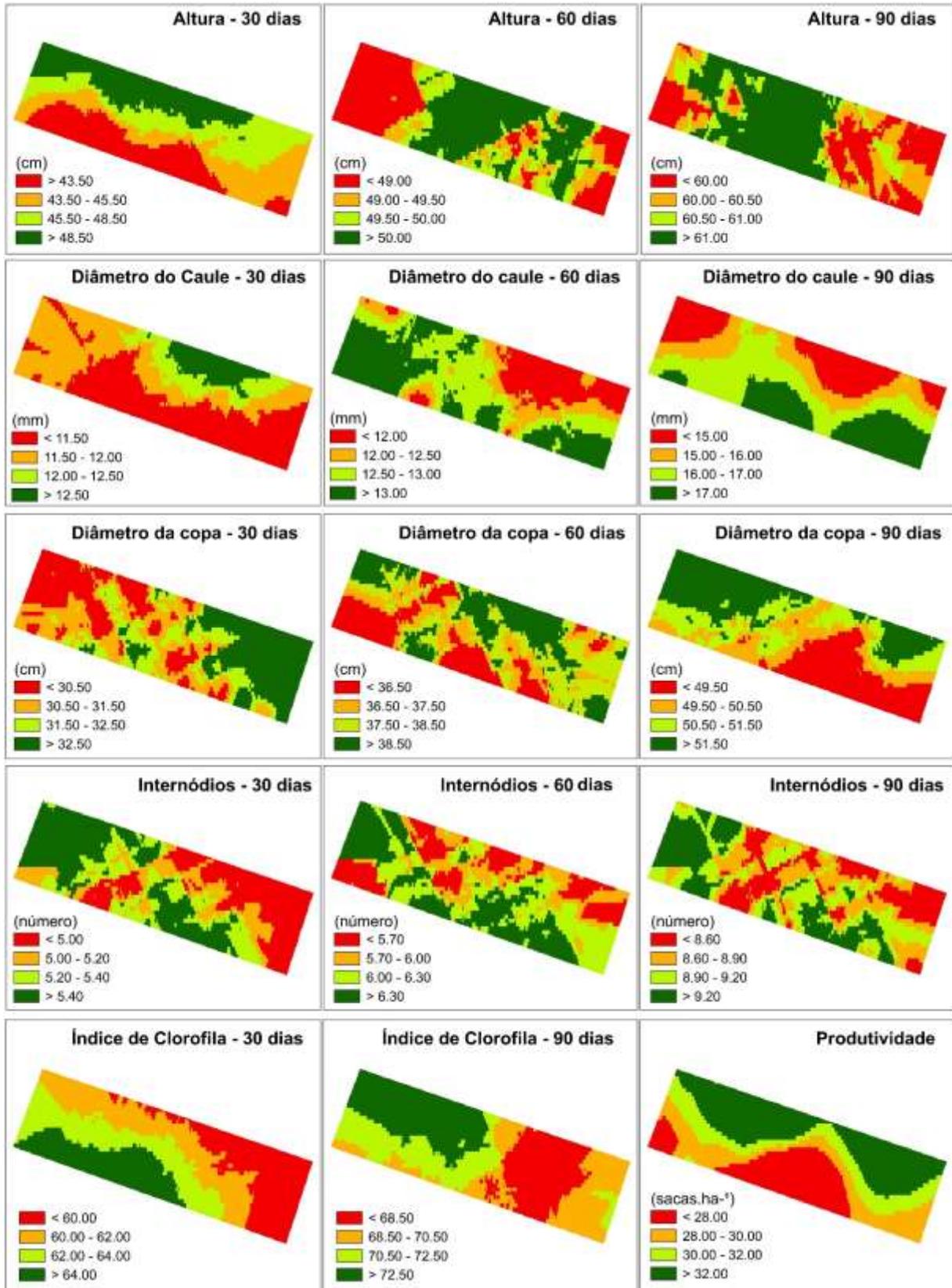
Nas figuras 5 e 6 são apresentadas as distribuições espaciais dos parâmetros agrônômicos medidos na cultura da soja (altura, clorofila e produtividade) e do cafeeiro (altura, diâmetro de caule, diâmetro de copa, número de internódios, índice de clorofila e produtividade), respectivamente.

Figura 5 - Distribuição espacial dos parâmetros agrônômicos da soja em consórcio com o cafeeiro.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 6 - Distribuição espacial dos parâmetros agronômicos do cafeeiro em sistema consorciado.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

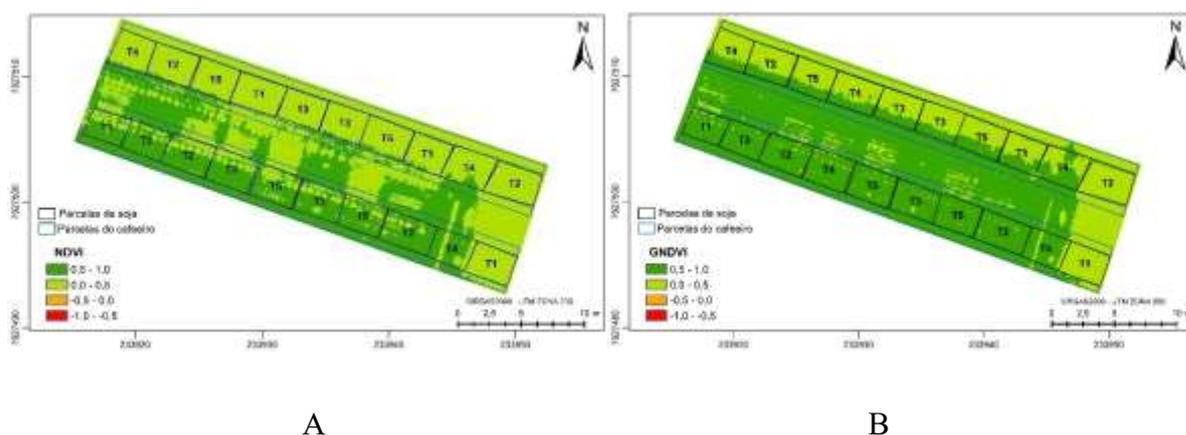
Em relação ao parâmetro altura de plantas de soja, observa-se que, ao longo do desenvolvimento da cultura, as áreas na porção esquerda do talhão obtiveram maiores valores e conseqüentemente uma maior produtividade. Já a clorofila apresentou maiores valores na porção inferior do talhão (Figura 5).

Além do mais, a cultura do cafeeiro, com exceção da produtividade, a qual foi maior na porção superior do talhão para todos os parâmetros medidos, houve uma alta variabilidade de valores baixos e altos, mas não caracterizaram áreas de concentração (Figura 6).

3.4 Distribuição espacial do vigor vegetal

Ao observar as figuras 7 A e B, verifica-se que a parte inferior da área de estudo apresenta valores de índices GNDVI e NDVI superiores a 0,5, ou seja, há a presença de alto vigor vegetativo. Em contrapartida, na parte superior, os valores dos índices são superiores a 0,5 para a cultura do cafeeiro, enquanto para a soja, são inferiores a 0,5. Portanto, observa-se que a população de plantas de soja intercaladas com a cultura do cafeeiro influenciam apenas a soja, ou seja, o consórcio não afetou de forma negativa o vigor vegetativo das plantas de café.

Figura 7 - Índice NDVI (A) e GNDVI (B) no estágio R1 no consórcio soja cafeeiro em cada parcela experimental.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

4 DISCUSSÃO

O aumento da população de soja na entrelinha do cafeeiro não afetou o seu índice de clorofila. Resultados opostos foram detectados por Rowntree *et al.* (2013), os quais verificaram

reduções nas concentrações de nitrogênio em folhas de cafeeiros em convivência com gramíneas.

A competição exercida pela soja na cultura do cafeeiro, a partir do uso de quatro linhas de cultivo, se deve principalmente ao fato do *C. arabica* L. estar na fase de formação, sendo extremamente sensível à limitação de luz, de água e de nutrientes. Nos tratamentos com 240 e 320 mil plantas ha⁻¹ houve uma tendência de aumento da competição com a cultura perene, a qual apresenta um crescimento mais lento comparado à soja.

O consórcio do cafeeiro com culturas anuais como o milho e como o feijoeiro tem se destacado na fase de implantação da lavoura cafeeira, principalmente em função da diversificação de produtos agrícolas na área e pela relação custo/benefício (Silva *et al.*, 2016). Entretanto, dependendo da espécie e do hábito de crescimento das culturas que serão consorciadas com o cafeeiro, poderá ocorrer competição.

Um dos possíveis fatores que pode ter contribuído para a não significância dos tratamentos nos parâmetros produtivos do cafeeiro, até mesmo com a utilização de 320 mil plantas de soja na entrelinha, se refere aos benefícios promovidos pela utilização de uma Fabaceae no consórcio, devido à fixação de nitrogênio (Souza *et al.*, 2017) e de proteção do solo, diminuindo a incidência de plantas daninhas (Parajara *et al.*, 2020) e aumentando a umidade do solo, principalmente próximo à projeção da copa do cafeeiro. Apesar da altura das plantas ter sido prejudicada com a utilização de mais de quatro linhas de soja, essa variável não influenciou a produtividade e o rendimento. Além disso, por se tratar de uma cultura perene e com bienalidade de produção, o uso do consórcio e a influência da quantidade de linhas de soja cultivadas na entrelinha do cafeeiro podem ser manifestadas a longo prazo.

Em experimento conduzido com cultivares de soja com diferentes populações na entrelinha do cafeeiro, Rezende *et al.* (2000) verificaram que a presença da soja intercalar reduziu a produtividade de café em coco com o aumento da quantidade de linhas, quando se utilizou as cultivares Paranaíba e IAC-8, não foram detectadas diferenças sobre a produtividade do cafeeiro com a cultivar Doko, considerada de ciclo tardio.

Com a utilização de espécies arbóreas consorciadas com o cafeeiro, há relatos de aumento médio de produtividade de 34 sacas ha⁻¹ de café em consórcio com mogno-africano (*Khaya ivorensis*), independentemente do espaçamento entre as espécies, bem como da qualidade sensorial superior (Freitas *et al.*, 2020). O acréscimo na produtividade depende da interação entre as espécies consorciadas, sendo verificado um aumento na eficiência do uso da terra em cinco vezes com a consorciação de cafeeiro arábica e noqueira-macadâmia irrigados,

em relação às médias das culturas em monocultivo em condição de sequeiro (Perdoná *et al.*, 2015).

Além dos potenciais benefícios relacionados ao aumento de produtividade, o uso de culturas de cobertura em lavoura cafeeira promove maior diversificação vegetal e consequentemente aumenta a quantidade de inimigos naturais das pragas-chave de *C. arabica*. (Rosado *et al.*, 2021).

Para a cultura da soja, observa-se, em todos os tratamentos, maior IC aos 60 DAE em relação aos 90 DAE, em função da transição do estágio R5 (início do enchimento de grãos) para R6 (grão verde ou vagem cheia) na soja (Tabela 3). Esses resultados corroboram os obtidos por Yokoyama *et al.* (2018), os quais verificaram redução acentuada do índice SPAD em todas as densidades de plantas a partir de R5.4, em função do aumento na velocidade de maturação foliar, na fase final do ciclo da soja, fenecendo as folhas remanescentes, resultante da redistribuição de nutrientes e de fotoassimilados para os grãos (Borrás *et al.*, 2004).

Na população com 320 mil plantas de soja na entrelinha do cafeeiro, a soja foi prejudicada pelo intenso sombreamento produzido por *C. arabica*. Dessa forma, o uso de apenas entre 80 e 160 mil plantas, apesar da menor população inicial, apresentou rendimentos superiores em relação aos demais tratamentos em função da menor competição exercida pelo cafeeiro e pela maior porcentagem de sobrevivência de plantas, corroborando os resultados obtidos por (Rezende *et al.*, 2000).

Em sistema de produção de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L), mesma família da soja intercalado com cafeeiro adensado recém-plantado, incrementou o rendimento de grãos do feijão, porém, reduziu o incremento do diâmetro de caule do cafeeiro, havendo tendência de aumento de mortalidade de plantas a partir da utilização de 240 mil plantas (Carvalho *et al.*, 2007). Os resultados divergentes quanto à produtividade da soja obtidos na presente pesquisa, podem ser justificados em função do consórcio ter sido estabelecido na área de oito meses, já que, após o plantio do cafeeiro, a competição com a soja, em função do sombreamento estabelecido pela cultura perene, reduziu o rendimento de grãos com o aumento da população de plantas de soja.

A distribuição espacial dos parâmetros agrônômicos medidos demonstra que não há correlação entre os tratamentos e as observações realizadas no cafeeiro, o que corrobora a população de plantas de soja e não influencia no desenvolvimento das plantas de café na produtividade.

Em relação ao monitoramento por imagens, especificamente para a soja, os altos valores de índices na parte inferior da área podem estar associados a um estágio de senescência menos avançado do que os tratamentos localizados no bloco superior, ou também possivelmente pela maior umidade do solo nas parcelas localizadas nas áreas mais baixas do terreno, proporcionando maior vigor vegetal (Figura 6). Já, os altos valores para a cultura do cafeeiro, ao longo de toda a área, podem estar associados à condição de que a soja proporcionou uma grande vantagem em relação à fixação biológica de nitrogênio, contribuindo de maneira expressiva ao vigor das plantas (Du *et al.*, 2017; Cardoso *et al.*, 2019). Ainda, vale ressaltar que a pouca variabilidade dos valores dos índices para a cultura do café, também indicam que o cultivo da soja não resultou em alterações morfofisiológicas na planta do cafeeiro.

5 CONCLUSÕES

O cultivo consorciado de soja e cafeeiro não influencia os parâmetros vegetativos e produtivos do café, o qual é evidenciado pelos elevados valores dos índices de vegetação NDVI e GNDVI, com exceção da altura de plantas de cafeeiro.

Portanto, o aumento da quantidade de linhas de soja cultivada na entrelinha da cultura principal, reduz a produtividade da soja devido ao acamamento das plantas em condições de alta densidade populacional. Por isso, a recomendação final da população de soja, em consórcio com o cafeeiro, é de 185.826 plantas ha¹. Com isso, obtém-se a máxima produtividade média da soja nessa densidade populacional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU JÚNIOR, C. A. M. *et al.* Defining the ideal phenological stage for estimating corn yield using multispectral images. **Agronomy**, [S.l.] v. 13, n. 9, p. 1-18, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy13092390>.
- ADEPOJU, A. F. Coffee: botany, distribution, diversity, chemical composition and its management. **IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science (IOSR-JAVS)**, v. 10, n. 7, p. 57-62, 2017. DOI: 10.9790/2380-1007035762.
- AMARAL, L. R.; FIGUEIREDO, G. K. D. A. Geoprocessing applied to crop management. **Digital Agriculture**, p. 59–80, 2022. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61859-8](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61859-8).
- BORGES, L. G. M. *et al.* Response of arabica coffee cultivars to competition from beggarticks. **Planta Daninha**, v. 37, e019213814, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582019370100143>.
- BORRÁS, L.; SLAFER, G. A.; OTEGUI, M. E. Seed dry weight response to source–sink manipulations in wheat, maize and soybean: a quantitative reappraisal. **Field Crops Research** v. 86, p. 131-146, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2003.08.002>.
- BRAVIN, N. P. *et al.* Crescimento inicial do cafeeiro robusta submetido a consórcios culturais nas entrelinhas. **Revista Agrarian**, v. 13, n. 48, p.169-177, Dourados, 2020. DOI: <https://doi.org/10.30612/agrarian.v13i48.8337>.
- BRUNO, I. P. *et al.* Coffee production in the Brazilian savannah: considerations about nitrogen nutrition. **Brazilian Journal of Agriculture**, v. 95, n. 2, p. 156, 2020. DOI: 10.37856/bja.v95i2.4243.
- CAETANO, R. *et al.* Uso de índices espectrais na caracterização da cobertura vegetal em região de caatinga do semiárido baiano. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 8, n. 2 p. 28–43, 2022. DOI: <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2022v8n2ID26864>.
- CARDOSO, I. S. *et al.* Variedades e formas de adubação no cultivo de soja e milho em consórcio para produção de silagem. **Ciência Agrícola**, Rio Largo, v. 17, n. 2, p. 17-26, 2019. DOI: <https://doi.org/10.28998/rca.v17i2.7432>.
- CARMO, E.L. *et al.* Adensamento de plantas e épocas de cultivo de soja em condições de cerrado. **Colloquium Agrariae**, v. 14, n. 2, p. 01-12, 2018. DOI: 10.5747/ca.2018.v14.n2.a201.
- CARVALHO, A. J. *et al.* Desempenho técnico-econômico de sistemas de consórcio do feijoeiro-comum com cafeeiro (*Coffea arabica* L.) adensado recém-plantado. **Coffee Science**, v. 3, n. 2, p. 133-142, 2008.

CARVALHO, A. J.; ANDRADE, M. J. B.; GUIMARÃES, R. J. Sistemas de produção de feijão intercalado com cafeeiro adensado recém-plantado. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 1, p. 133-139, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542007000100020>.

CARVALHO, A. M. X. *et al.* SPEED Stat: a free, intuitive, and minimalist spreadsheet program for statistical analyses of experiments. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 20, n. 3, p. 1-6, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1984-70332020v20n3s46>.

CHADDAD, F.R.; BOLAND, M. Strategy-structure alignment in the world coffee industry: The case of cooxupe. **Review of Agricultural Economics**, v. 31, n. 3, p. 653–665, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1467-9353.2009.01459.x>

DAMATTA, F. *et al.* Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 19, n. 4, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1677-04202007000400014>.

DU, J. B. *et al.* Maize soybean strip intercropping: achieved a balance between high productivity and sustainability. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 17, n. 4, p. 747-754, 2018. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61789-1](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61789-1).

FERREIRA, A. S. *et al.* Plant spatial arrangement affects grain production from branches and stem of soybean cultivars. **Bragantia**, v. 77, n. 4, p-567-576, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.2017285>.

FREITAS, A. F. *et al.* Productivity and beverage sensory quality of arabica coffee intercropped with timber species. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 55, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2020.v55.02240>.

2

GALLET, D. DA S. *et al.* Vegetative, productive, and nutritional parameters of coffee plants as a function of management systems in Minas Gerais. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 12, 2022. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i12.34741>.

GUIMARÃES, P. T. G. *et al.* **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999.

KRISHNAN, S. Sustainable Coffee Production. **Oxford Research Encyclopedias**, v. 17, p. 1–34, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389414.013.224>.

MEADE, B. *et al.* Corn and soybean production costs and export competitiveness in Argentina, Brazil, and the United States. **USDA Economic Information Bulletin**, v. 154, 2016.

NATIONAL COFFEE ASSOCIATION [NCA]. **Coffee Around the World**, New York. 2017. Disponível em: <https://www.ncausa.org/about-coffee/coffee-around-the-world>. Acesso em: 10 out. 2023.

OLIVEIRA, M. C. S. *et al.* Evaluation of the productivity and plant health of pruned coffee intercropped with annual crops. Evaluation of the productivity and plant health of pruned coffee intercropped with annual crops. **Revista Agrogeoambiental**, v. 12, n. 2, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v12n220201369>.

PAGANO, M. C.; MIRANSARI, M. The importance of soybean production worldwide. **Abiotic and Biotic Stresses in Soybean Production**. p. 1-26, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801536-0.00001-3>.

PARAJARA, M. C. *et al.* Avaliação de espécie leguminosa em consórcio com café no controle de plantas invasoras. **Cadernos de Agroecologia**, São Cristóvão, Sergipe, v. 15, n. 2, 2020.

PELLEGRINA, H. S. Trade, productivity, and the spatial organization of agriculture: Evidence from Brazil. **Journal of Development Economics**, v. 156, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2021.102816>.

PERDONÁ, M. J.; SORATTO, R. P.; ESPERANCINI, M. S. T. Desempenho produtivo e econômico do consórcio de cafeeiro arábica e noqueira-macadâmia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 1, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015000100002>.

REZENDE, C. I. P. *et al.* Multispectral images for discrimination of sources and doses of fertilizer in coffee plants. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 70, n. 3, p. 54-63, mai/jun, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/0034-737X202370030006>.

REZENDE, P. M. *et al.* Consórcio soja-café I. Comportamento de cultivares e do número de linhas de soja [*Glycinemax* (L). Merrill] sobre o cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em sistema de consórcio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, n.1, p 38, 2000.

RODRIGUES, R. J. A. *et al.* Phytosociology of weeds on Cerrado Mineiro coffee growing farms. **Advances in Weed Science**, v. 40, 2022. DOI: <https://doi.org/10.51694/AdvWeedSci/2022;40:00013>

RONCHI, C. P. *et al.* Acúmulo de nutrientes pelo cafeeiro sob interferência de plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 21, n. 2, p. 219-227, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582003000200007>.

RONCHI, C.P.; SILVA, A. A. Effects of weed species competition on the growth of young coffee plants. **Planta Daninha**, v. 24, n. 3, p. 415-423, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582006000300001>.

ROSADO, M. C. *et al.* Cover crop intercropping increases biological control in coffee crops. **Biological control**, v. 160, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104675>.

ROWNTREE, S. C. *et al.* Genetic Gain × Management Interactions in Soybean: I. Planting Date. **Crop Science**, v. 53, 2013. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci2012.03.0157>.

SILVA, A. G. D. *et al.* Influência do espaçamento entrelinhas e da população de plantas a uma cultivar de soja de hábito de crescimento indeterminado. **Nucleus**, v. 18, n. 1, 2021. DOI: 10.3738/1982.2278.3857.

SILVA, E. A. *et al.* Root spatial distribution in coffee plants of different ages under conservation management system. **African Journal of agricultural research**, v. 11, n. 49, p. 4970-4978, 2016. DOI:10.5897/AJAR2016.11356.

SILVA JÚNIOR, U. J. *et al.* Sensibilidade Espectral dos Índices de Vegetação: GNDVI, NDVI e EVI na Mata Ciliar do Reservatório de Serrinha II – PE, Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 73, n. 1, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.14393/rbcv73n1-55252>.

SILVA, V. A. *et al.* Opção de cultivo intercalar de cafeeiro irrigado com milho e feijão no semiárido mineiro. **Coffee Science**, v. 11, n. 3, p. 404-416, 2016.

SOUSA, F. F. *et al.* Adubação verde de feijoeiro em consórcio com cafeeiro na agricultura familiar de Araponga, Minas Gerais. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 12, n. 4, 2017. DOI: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/4939>.

TELLES, T. S. *et al.* Economic value of biological nitrogen fixation in soybean crops in Brazil. **Environmental Technology & Innovation**, v. 31, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103158>.

VOLSI, B. *et al.* The dynamics of coffee production in Brazil. **PLoS ONE**, v. 14, n. 7, e0219742, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219742>.

YOKOYAMA, A. H. *et al.* Índice de área foliar e SPAD durante o ciclo da soja em função da densidade de plantas e sua relação com a produtividade de grãos. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 17, n. 4, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5965/223811711732018531>.