



**LARISSA COCATO DA SILVA**

**MONITORAMENTO DO VIGOR DE CAFEEIROS  
SUBMETIDOS A ESTRATÉGIAS DE MANEJO PARA  
ATENUAR OS EFEITOS DA ESCASSEZ HÍDRICA**

**LAVRAS - MG**

**2019**

**LARISSA COCATO DA SILVA**

**MONITORAMENTO DO VIGOR DE CAFEEIROS SUBMETIDOS A  
ESTRATÉGIAS DE MANEJO PARA ATENUAR OS EFEITOS DA ESCASSEZ  
HÍDRICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Élberis Pereira Botrel  
Orientador

Prof. Dr. Rubens José Guimarães  
Coorientador

**LAVRAS - MG  
2019**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Silva, Larissa Cocato da.

Monitoramento do vigor de cafeeiros submetidos a estratégias  
de manejo para atenuar os efeitos da escassez hídrica / Larissa  
Cocato da Silva. - 2019.

82 p.

Orientador: Élberis Pereira Botrel.

Coorientador: Rubens José Guimarães.

Dissertação (Mestrado acadêmico) - Universidade Federal de  
Lavras, 2019.

Bibliografia.

1. *Coffea arabica* L. 2. NDVI. 3. Sensor portátil. I. Botrel,  
Élberis Pereira. II. Guimarães, Rubens José. III. Título.

**LARISSA COCATO DA SILVA**

**MONITORAMENTO DO VIGOR DE CAFEIROS SUBMETIDOS A  
ESTRATÉGIAS DE MANEJO PARA ATENUAR OS EFEITOS DA ESCASSEZ  
HÍDRICA**

**PLANT VIGOR MONITORING OF COFFEE SUBMITTED TO MANAGEMENT  
STRATEGIES TO REDUCE WATER STRESS EFFECTS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 02 de maio de 2019.

Dr. Rodrigo Luz da Cunha	EPAMIG
Prof. Dr. Marcelo de Carvalho Alves	UFLA
Prof. Dr. Rubens José Guimarães	UFLA

Prof. Dr. Élberis Pereira Botrel  
Orientador

**LAVRAS - MG  
2019**

*A Deus, autor da minha vida.  
Aos meus pais, luz de minha vida*

***DEDICO.***

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, primeiramente, por me guiar, iluminar e me dar tranquilidade para seguir adiante com os meus objetivos e não desanimar com as dificuldades.

Aos meus pais, Léia Cocato e Sebastião Afrânio, meu infinito agradecimento por sempre acreditarem em minha capacidade e me apoiarem em todos os momentos. Com certeza foram os maiores responsáveis pela pessoa em que me tornei e tenho me tornado a cada dia. Obrigada pelo amor incondicional.

À minha irmã, Thatiane Resende, por todo o amor e apoio nos momentos difíceis, por sempre se orgulhar de mim e confiar em meu trabalho.

Ao Bruno, que sempre esteve ao meu lado, fazendo-me crer que posso mais que imagino. Obrigada pelo seu companheirismo, compreensão, apoio, paciência e amor.

À Universidade Federal de Lavras, especialmente, ao programa de Pós-graduação em Agronomia/Fitotecnia, pelo suporte no ensino e pesquisa.

Aos professores Élberis Botrel e Rubens Guimarães, pela orientação, por todos os ensinamentos, apoio, conselhos e confiança durante toda a minha trajetória acadêmica.

À professora Dalysse Castanheira, por toda a disponibilidade, paciência, suporte e presteza. Ela que é uma grande incentivadora de pessoas.

A todos do Setor de Cafeicultura e NECAF. Em especial, Giovani Belutti e Ademilson Alecrim, que estiveram sempre comigo, por toda a ajuda, apoio, companheirismo e ótimo convívio.

À todos os amigos que estiveram comigo tanto nos momentos difíceis, quanto vibrando com minhas alegrias, em especial, à Thaís, Nadya, Paula e Flávio pelos excelentes momentos compartilhados.

Às agências de fomento à pesquisa. O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Às empresas Produquímica, Electroplastic, Grupo Mantiqueira e 3rLab pela parceria na realização do experimento.

E a todos que de alguma forma contribuíram para realização deste trabalho.

**MUITO OBRIGADA!**

## RESUMO

A escassez hídrica tem sido fonte de preocupações na cafeicultura. Nesse sentido, objetivou-se, com este trabalho, por meio de sensores portáteis, avaliar o vigor de cafeeiros submetidos a diferentes práticas de manejo para atenuar os efeitos da escassez hídrica. O experimento foi conduzido em campo, na Universidade Federal de Lavras - UFLA, em Lavras - MG, no período de novembro de 2017 a outubro de 2018. Os fatores em estudo foram dispostos em esquema fatorial 3x4, perfazendo um total de 12 tratamentos. Utilizou-se o delineamento experimental em blocos ao acaso com três repetições. Foram estudados três manejos do solo dispostos em faixas (filme de polietileno, braquiária e vegetação espontânea) e três condicionadores de solo (casca de café, gesso agrícola e composto orgânico) e sem condicionador de solo. Foram avaliados o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) obtido a partir do topo das plantas, crescimento da planta, umidade do solo, produtividade de grãos, características fisiológicas, teor de nutriente nas folhas e atributos químicos do solo. Para a análise dos dados, foi feita a série temporal média do NDVI. Realizada a análise de variância, as médias foram comparadas pelo teste Scott-Knott e, posteriormente, empregada a análise multivariada dos dados. Além disso, empregou-se a correlação de Pearson com o NDVI para as variáveis de crescimento, produtividade, teores foliares (N e Mg) e atributos do solo (Mg e MO). O NDVI, medido por meio do sensor portátil Greenseeker, pode ser usado, para prever o vigor das plantas, de forma não destrutiva rápida e precisa. O manejo com a braquiária é uma técnica que está associada ao maior vigor do cafeeiro tanto na época chuvosa, quanto na época de seca. Entre os condicionadores de solo, a casca de café e o composto orgânico apresentam bons resultados, ao atenuar os efeitos do estresse hídrico, principalmente, os ocorridos no período seco.

**Palavras-chave:** *Coffea arabica* L.. NDVI. Sensor portátil. Greenseeker. Estresse hídrico.

## ABSTRACT

Currently, one of the great problems faced in coffee crops is water stress. Thus, the aim of the present study was to evaluate with a hand sensor, the coffee vigor of trees cultivated under different water-stress reducing management techniques. The experiment was conducted in the field at the Federal University of Lavras - UFLA, Lavras-MG, from November 2017 to October 2018. The studied factors were arranged in a 3x4 factorial scheme, totaling 12 treatments. The experiment was arranged in a randomized complete block design with three replicates. Three soil managements displayed in strips (polyethylene plastic, brachiaria and natural vegetation) and three soil conditioners (coffee husk, agricultural gypsum and organic compound) were used in the study; a control treatment was also included. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), plant growth, soil moisture, production, physiological characteristics, leaf nutrient contents and soil chemical attributes were evaluated. NDVI average temporal series was used to analyze the data. Once the analysis of variance was performed, the means were compared by the Scott-Knot test, and later the multivariate analysis of the data was applied. Furthermore, Pearson correlation with NDVI for growth, productivity, leaf nutrient contents (N and Mg) and soil attributes (Mg and OM) variables were employed. NDVI measured with Greenseeker hand sensor can be used as a technology to predict plant vigor in a non-destructive, fast and precise manner. Brachiaria management is recommended as soil cover both in the rainy and in the dry period. Among the soil conditioners, coffee husk and organic compound showed good results on reducing the effects of water stress, mainly those observed in the dry period.

**Keywords:** *Coffea arabica* L.. NDVI. Portable sensor. Greenseeker. Water stress.



## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Representação gráfica das variáveis climatológicas registradas, mensalmente, referente ao intervalo de novembro 2017 a outubro de 2018. ....28
- Figura 2 - Manejos da cobertura do solo: filme de polietileno (A), braquiária (B) e vegetação espontânea (C). ....31
- Figura 3 - Área experimental.....32
- Figura 4 - Série temporal do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), referente ao período de novembro de 2017 a outubro de 2018. ....38
- Figura 5 - Representação gráfica do NDVI, no mês de dezembro, em cafeeiros cultivados sob três tipos de manejo de cobertura do solo (filme de polietileno, braquiária e vegetação espontânea), associados a três condicionadores de solo (casca de café, composto orgânico e gesso) e sem condicionador. ....40
- Figura 6 - Representação gráfica do NDVI para os meses: março (A), julho (B), agosto (C) e setembro (D), em cafeeiros cultivados sob três tipos de manejo de cobertura do solo, sendo eles: filme de polietileno, braquiária e vegetação espontânea.....41
- Figura 7 - Representação gráfica do NDVI para os meses de maio (A) e julho (B) em cafeeiros cultivados sob três condicionadores de solo (casca de café, composto orgânico e gesso) e sem condicionador.....42
- Figura 8 - Representação gráfica das variáveis de crescimento: altura de plantas, no mês de março (A), diâmetro de caule em março (B) e diâmetro de caule no mês de julho (C), em cafeeiros cultivados sob três tipos de manejo de cobertura do solo, sendo eles: filme de polietileno, braquiária e vegetação espontânea.....44
- Figura 9 - Representação gráfica de umidade do solo no mês de julho (final do período seco) em cafeeiros cultivados sob três condicionadores de solo (casca de café, composto orgânico e gesso) e sem condicionador. ....45
- Figura 10 - Dispersão gráfica dos cafeeiros cultivados com diferentes tratamentos obtidos da combinação de três tipos de manejo da cobertura do solo (filme de polietileno (F), braquiária (B) e vegetação espontânea (V)), associados a três condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO),

gesso (G)) e sem condicionador (S), em relação à primeira (Variável canônica 1) e à segunda (Variável canônica 2), com base nas características de crescimento (altura de plantas (ALT) e diâmetro de caule (DC)), produtividade (PROD) e umidade do solo (U) no mês de março (final do período das chuvas). .....46

Figura 11 - Dispersão gráfica dos cafeeiros cultivados com diferentes tratamentos obtidos da combinação de três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), filme de polietileno (F) e vegetação espontânea (V)), associados a três condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso (G)) e sem condicionador (S), em relação à primeira (Variável canônica 1) e à segunda (Variável canônica 2), com base nas características de crescimento (altura de plantas (ALT) e diâmetro de caule (DC)), produtividade (PROD) e umidade do solo (U) no mês de julho (final da estação seca).....47

Figura 12 - Representação gráfica de clorofila total, no mês de julho (final do período seco), em cafeeiros cultivados sob três condicionadores de solo (casca de café, composto orgânico e gesso) e sem condicionador. ....48

Figura 13 - Dispersão gráfica dos cafeeiros cultivados com diferentes tratamentos obtidos da combinação de três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), filme de polietileno (F) e vegetação espontânea (V)), associados a três condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso (G)) e sem condicionador (S), em relação à primeira (Variável canônica 1) e à segunda (Variável canônica 2)) com base nas características fisiológicas (Fotossíntese (A), condutância estomática (gs) transpiração (E), eficiência do uso da água (EUA), clorofila total (clo) e índice de vegetação (NDVI) no mês de março (final do período das chuvas). ....49

Figura 14 - Dispersão gráfica dos cafeeiros cultivados com diferentes tratamentos obtidos da combinação de três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), filme de polietileno (F) e vegetação espontânea (V)), associados a três condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso (G)) e sem condicionador (S), em relação à primeira (Variável canônica 1) e à segunda (Variável canônica 2)), com base nas características fisiológicas (Fotossíntese (A), condutância estomática (gs),

	transpiração (E), eficiência do uso da água (EUA), clorofila total (clo) e índice de vegetação (NDVI) no mês de julho (final da estação seca). ....	50
Figura 15 -	Representação gráfica dos atributos do solo: pH (A), potássio (B), cálcio (C), magnésio (D), matéria orgânica (E) e fósforo (F) do solo em cafeeiros cultivados sob três condicionadores de solo (casca de café, composto orgânico e gesso) e sem condicionador. ....	52
Figura 16 -	Dispersão gráfica dos cafeeiros cultivados com diferentes tratamentos obtidos da combinação de três tipos de manejo da cobertura do solo: braquiária (B), filme de polietileno (F) e vegetação espontânea (V), associados a três condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso (G)) e sem condicionador (S), em relação à primeira (Variável canônica 1) e à segunda (Variável canônica 2), com base no teor de nutrientes da folha: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg). ....	53
Figura 17 -	Dispersão gráfica dos cafeeiros cultivados com diferentes tratamentos obtidos da combinação de três tipos de manejo da cobertura do solo: braquiária (B), filme de polietileno (F) e vegetação espontânea (V)), associados a três condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso (G)) e sem condicionador (S), em relação à primeira (Variável canônica 1) e à segunda (Variável canônica 2)), com base nos atributos do solo: fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), matéria orgânica (MO), potencial hidrogeniônico (pH), saturação por bases (V), saturação por alumínio (m) e capacidade de troca de cátions (T). ....	54

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análise química nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm e a análise física do solo* da área experimental, antes da instalação do experimento. Lavras - MG, 2015.....	29
Tabela 2 - Descrição dos tratamentos. Lavras - MG, 2019. ....	30
Tabela 3 - Coeficiente de correlação de Pearson para as variáveis produtividade e altura de plantas e o NDVI. ....	42
Tabela 4 - Coeficiente de correlação de Pearson para os atributos químicos: teor de magnésio na folha e no solo, e matéria orgânica, e sua relação com o NDVI. ....	54

### APÊNDICE A

Tabela 1 - Resumo da análise de variância, para a variável Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), referente aos meses de novembro (nov), dezembro (dez), janeiro (jan), fevereiro (fev), março (mar) e abril (abr), em função do manejo de cobertura de solo (M) e condicionadores (C).....	78
Tabela 2 - Resumo da análise de variância, para a variável Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), referente aos meses de maio (maio), junho (jun), julho (jul), agosto (ago), setembro (set) e outubro (out), em função do manejo de cobertura de solo (M) e condicionadores (C).....	78
Tabela 3 - Resumo da análise de variância, para as variáveis altura de plantas (cm), diâmetro de caule (mm) e umidade do solo, em função do manejo de cobertura de solo (M) e condicionadores (C), no mês de março (final do período das chuvas). ....	78
Tabela 4 - Resumo da análise de variância, para as variáveis altura de plantas (cm), diâmetro de caule (mm) e umidade do solo, em função do manejo de cobertura de solo (M) e condicionadores (C), no mês de julho (final do período seco).....	79
Tabela 5 - Resumo da análise de variância, para a variável produtividade (sc/ha), em função do manejo de cobertura de solo (M) e condicionadores (C).....	79
Tabela 6 - Resumo da análise de variância, para as variáveis fisiológicas fotossíntese (A), condutância estomática (gs), transpiração (T), eficiência do uso da água (EUA), clorofila total (Clo) e potencial hídrico (PH), em função do manejo	

de cobertura de solo (M) e condicionadores (C), no mês de março (final do período das chuvas). .....	79
Tabela 7 - Resumo da análise de variância, para as variáveis fisiológicas fotossíntese (A), condutância estomática (gs), transpiração (T), eficiência do uso da água (EUA), clorofila total (Clo) e potencial hídrico (PH), em função do manejo de cobertura de solo (M) e condicionadores (C), no mês de julho (final do período seco).....	80
Tabela 8 - Resumo da análise de variância, para os atributos do solo: potencial hidrogeniônico (pH), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), saturação por alumínio (m), capacidade de troca de cátions potencial (T), matéria orgânica (MO) e fosforo (P), em função do manejo de cobertura de solo (M) e condicionadores (C). .....	80

## LISTA DE ABREVIATURAS

A	Taxa fotossintética líquida
Al	Teor de alumínio
ALT	Altura de plantas
B	Manejo com braquiária
Ca	Teor de cálcio
CC	Casca de café
Clo	Índice clorofila Total
CO	Composto orgânico
DC	Diâmetro de caule
E	Taxa transpiratória
EUA	Eficiência do uso da água
F	Filme de polietileno
G	Gesso agrícola
gs	Condutância estomática
K	Teor de potássio
m	Saturação por Alumínio
Mg	Teor de magnésio
MO	Teor de matéria orgânica
NDVI	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
P	Teor de fósforo
PH	Potencial hídrico foliar
pH	pH em água
PROD	Produtividade
REM	Radiação eletromagnética
S	Sem condicionador
U	Umidade do solo
V	Vegetação espontânea

## LISTA DE SIGLAS

CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
DAG	Departamento de Agricultura
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
UFLA	Universidade Federal de Lavras
NECAF	Núcleo de Estudos em Cafeicultura
INCT-CAFÉ	Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia do Café
CAPES	Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior
FAPEMIG	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO .....	18
2.1	Cafeicultura e clima.....	18
2.2	Manejo da cobertura do solo .....	19
2.2.1	Manejo da braquiária ( <i>Urochloa decumbens</i> (Stapf) R.D.Webster) .....	19
2.2.2	Filme de polietileno .....	20
2.3	Condicionadores de solo.....	21
2.3.1	Gesso agrícola.....	21
2.3.2	Composto orgânico .....	22
2.3.3	Casca de café .....	23
2.4	Índice de Vegetação .....	24
2.5	Sensor ativo Greenseeker .....	26
2.6	Sensoriamento remoto .....	27
3	MATERIAIS E MÉTODOS .....	28
3.1	Caracterização da área experimental .....	28
3.2	Delineamento experimental e tratamentos .....	29
3.3	Instalação e condução do experimento .....	32
3.4	Características avaliadas.....	33
3.4.1	NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) .....	33
3.4.2	Crescimento de plantas .....	33
3.4.3	Umidade do solo .....	34
3.4.4	Produtividade .....	34
3.4.5	Características fisiológicas .....	34
3.4.5.1	Fotossíntese, condutância estomática, taxa transpiratória e eficiência do uso da água .....	34
3.4.5.2	Clorofila total .....	35
3.4.5.3	Potencial hídrico foliar .....	35
3.4.6	Atributos químicos das folhas.....	35
3.4.7	Atributos químicos do solo.....	36
3.5	Análise estatística.....	36
4	RESULTADOS .....	38
4.1	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) .....	38
4.2	Crescimento, umidade do solo e produtividade .....	42
4.3	Fisiologia .....	47
4.4	Atributos químicos das folhas e do solo .....	50
5	DISCUSSÃO .....	55
6	CONCLUSÕES.....	65
	REFERÊNCIAS.....	66
	APÊNDICE A - Tabelas.....	78
	APÊNDICE B - Laudo da casca de café utilizada no experimento.....	81
	APÊNDICE C - Laudo do composto orgânico utilizado no experimento .....	82



## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor e exportador de café do mundo, com produção de 61,7 milhões de sacas de café beneficiado no ano de 2018 (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2019). No entanto o clima tem sido fonte de constantes preocupações, uma vez que, se confirmados os cenários preconizados pelo Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC (2014), com aumentos da temperatura, ocorrerão grandes modificações no zoneamento agroclimático. A elevação da temperatura pode acarretar aumento na demanda evapotranspirativa, provocando maior deficiência hídrica (ASSAD et al., 2004). Assim sendo, incrementos na temperatura, associados ao déficit hídrico, podem afetar o desenvolvimento do cafeeiro (EVANGELISTA; CARVALHO; SEDIYAMA, 2002). A deficiência hídrica acarreta efeitos tanto na fisiologia (CASTANHEIRA et al., 2019) como no crescimento das plantas (ARAÚJO et al., 2011). Nesse sentido, técnicas que visem atenuar o efeito da escassez de água tornam-se necessárias.

Nesse contexto, a utilização das coberturas de solo, com filme de polietileno ou braquiária, são técnicas que atuam na manutenção da umidade do solo (LI et al., 2013), por redução das perdas de água por evaporação (SANTOS et al., 2008). Manejos que visam à cobertura de solo proporcionam menores temperaturas do solo, funcionam como barreira para o crescimento de plantas daninhas (RESENDE et al., 2005) e, no caso específico da utilização da braquiária, pode atuar no fornecimento de nitrogênio, por meio da sua mineralização (PEDROSA et al., 2014).

Condicionadores de solo, como a casca de café e o composto orgânico, também, podem atuar na manutenção da umidade do solo, visto que a matéria orgânica está diretamente relacionada à umidade do solo (DALCHIAVON et al., 2014). O gesso agrícola favorece o desenvolvimento de raízes, com a melhoria do ambiente radicular no subsolo (RAMOS et al., 2013), contribuindo, assim, para o seu aprofundamento (SERAFIM et al., 2013). Sobretudo, todos esses condicionadores podem atuar no fornecimento de nutrientes (ARAÚJO et al., 2007; FERNANDES et al., 2013b; RAMOS et al., 2013).

Entretanto torna-se necessário compreender a resposta dos cafeeiros quanto a esses manejos, cujas respostas, muitas vezes, não são detectáveis pela visão humana (KIM et al., 2011). Diante disso, a utilização do sensoriamento remoto, a fim de detectar variações das plantas, torna-se essencial (WÓJTOWICZ; WÓJTOWICZ; PIEKARCZYK, 2016). Dados de reflectância do dossel podem ser usados, para calcular diversos índices de vegetação, que são bem correlacionados aos parâmetros agrônômicos (MA et al., 2001). Dentre eles, o Índice de

Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) se destaca, por ser um dos mais utilizados no sensoriamento remoto (DORIGO et al., 2007), o qual utiliza faixas de comprimento de onda do vermelho e infravermelho próximo (ROUSE et al., 1973). A resposta espectral do dossel quanto a esses comprimentos de onda é afetada pelos pigmentos fotossintetizantes (clorofila), apresentando intensa absorção na região do vermelho. Na região do infravermelho, a reflectância é influenciada diretamente pelas células do mesófilo esponjoso e indiretamente pelo conteúdo de água na folha (ALVES; SILVA, 2013; JENSEN, 2014).

Nesse sentido, Santos et al. (2014) mostraram a correlação entre índices de vegetação e a umidade do solo. Da mesma forma, em videiras, Reynolds et al. (2018) observaram relação entre NDVI e o teor de água no solo e o potencial hídrico na folha.

O emprego de sensores portáteis, a fim de medir o vigor da vegetação, constitui-se em uma forma não destrutiva e rápida. Para tal, o uso do sensor portátil Greenseeker pode ser recomendado. Não obstante, são escassos os trabalhos de sensoriamento remoto aplicados à cafeicultura, sobretudo, quando se considera o uso de sensores portáteis. Portanto objetivou-se, neste estudo, verificar a possibilidade de avaliação do vigor de cafeeiros submetidos a diferentes práticas de manejo, para atenuar os efeitos da escassez hídrica, por meio do índice de vegetação NDVI medido pelo sensor Greenseeker. Objetivou-se, também, com a utilização dessa tecnologia, identificar as melhores técnicas de manejo de cafeeiros, ou sua combinação, tanto na época chuvosa, quanto na época seca do ano.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Cafeicultura e clima

Com vasta área cultivada, o Brasil ocupa a posição de maior produtor e exportador de café, com produção de 61,7 milhões de sacas de café beneficiado no ano de 2018. Minas Gerais se destaca com 33,36 milhões de sacas, ou seja, com metade da produção total (CONAB, 2019). Das duas espécies cultivadas no Brasil, *Coffea canefora* e *Coffea arabica*, há o predomínio dessa última, em Minas Gerais, pelas condições climáticas presentes no Estado, as quais Sedyama et al. (2001) identificaram como sendo temperaturas médias anuais de 18 a 23,5° C, pequenas áreas com risco alto de geada e considerável área com estimativa de déficit hídrico anual inferior a 150 mm. Esse levantamento permitiu definir que 48,7% da área total do estado de Minas Gerais está apta ao cultivo da espécie *Coffea arabica*.

No entanto, apesar da grande representatividade do café arábica em Minas Gerais, o clima, nos últimos anos, tem sido fonte de preocupações, visto que, se comprovados os cenários atuais preconizados pelos modelos do IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), considerando o aumento na temperatura de 1°C, 3°C e 5,8°C, irão ocorrer grandes modificações no zoneamento agroclimático (IPCC, 2014). Nesse sentido, de acordo com Assad et al. (2004), o cultivo do café arábica, em Minas Gerais, poderá ser drasticamente reduzido, nos próximos 100 anos, assim como nos estados de São Paulo, Goiás, e Paraná, caso sejam mantidas as condições genéticas e fisiológicas das variedades atuais.

Tendo em vista que o déficit hídrico e a temperatura do ar são os elementos meteorológicos que mais influenciam a produtividade do cafeeiro arábica (MARTINS et al., 2015), destacam-se os riscos das alterações climáticas, visto que, em áreas com temperaturas elevadas, associadas à deficiência hídrica intensa podem ocorrer em desenvolvimento inadequado do café (EVANGELISTA; CARVALHO; SEDIYAMA, 2002). Se essas condições coincidirem, principalmente no início da florada, poderá provocar má formação e abortamento das flores (“estrelinhas”). Caso ocorram no período de expansão dos frutos, o estresse hídrico poderá prejudicar o seu crescimento (CAMARGO; CAMARGO, 2001), bem como sua formação, além de causar queda prematura.

Em condições de estresse hídrico e temperaturas elevadas, ocorre o fechamento estomático, assim, menos CO<sub>2</sub> se difunde nas folhas, resultando em limitações fotossintéticas no cafeeiro (DAMATTA, 2003). Dessa forma, o crescimento e a produtividade da lavoura são afetados (DAMATTA; RAMALHO, 2006). Peloso et al. (2017) relataram redução da taxa

fotossintética, em cafeeiro arábica cultivado sob déficit hídrico, sendo que essa redução esteve associada a decréscimos na condutância estomática. Além disso, foi observada pelos autores queda significativa na concentração de clorofila nas plantas submetidas ao estresse hídrico com 30 e 60% da água disponível no substrato, quando comparada com as plantas mantidas em condições de capacidade de campo.

A influência do déficit hídrico pode afetar também a espécie *Coffea canefora* Pierre (RODRIGUES et al., 2016), que é reconhecidamente mais tolerante à seca (FERRÃO et al., 2000), visto que, conforme Araújo et al. (2011), o desenvolvimento inicial, a altura de plantas, o diâmetro do caule e da copa, a matéria seca da parte aérea e o sistema radicular sofreram redução quando submetidos a déficit hídrico.

Em cafeeiro arábica, estudos relataram a redução do crescimento vegetativo de plantas com a diminuição da disponibilidade hídrica (PELOSO; TATAGIBA; AMARAL, 2017). Resultados semelhantes foram constatados por Fialho et al. (2010), que relataram perdas significativas, em plantas de *Coffea arabica*, nas diferentes fases do seu desenvolvimento inicial sob déficit hídrico por 30 dias.

Torna-se necessária, portanto a utilização de técnicas a fim de diminuir a influência de eventos meteorológicos extremos e enfrentar a variação climática na cafeicultura (CAMARGO, 2010). O emprego de coberturas de solo e de condicionadores podem ser estratégias recomendadas para esse fim.

## **2.2 Manejo da cobertura do solo**

### **2.2.1 Manejo da braquiária (*Urochloa decumbens* (Stapf) R.D.Webster)**

O sistema de manejo da braquiária, nas entrelinhas da lavoura de café, como planta de cobertura, pode trazer inúmeros benefícios (RAGASSI; PEDROSA; FAVARIN, 2013; SERAFIM et al., 2011). De acordo com Rocha et al. (2016), essa associação favoreceu os atributos físicos do solo, melhorando assim a estrutura e a capacidade de armazenar água (ROCHA et al., 2014). Também a qualidade química do solo é alterada, em razão da ciclagem de nutrientes proporcionada pela biomassa da braquiária, colaborando com o fornecimento de nitrogênio (PEDROSA et al., 2014). Ademais, plantas de cobertura atuam na supressão de plantas daninhas, representando uma barreira física para seu crescimento (PARTELLI et al., 2010).

Ressalta-se a importância de se manejar adequadamente a braquiária, a fim de não haver competição com o cafeeiro por água e nutrientes. Fialho et al. (2012) avaliaram o acúmulo de nutrientes, em plantas jovens de café, cultivadas em convivência com espécies de plantas daninhas (*Digitaria horizontalis*, *Brachiaria plantaginea*, *Brachiaria decumbens* e *Mucuna aterrima*). De acordo com o estudo, as concentrações de macro e micronutrientes foram influenciadas pela presença de plantas daninhas, com tendência a menores teores de nutrientes nas folhas de café à medida que aumentava a densidade de plantas daninhas. Por isso, segundo Souza et al. (2006), deve-se manter uma distância mínima da braquiária de 100 cm em cada lado da linha do cafeeiro.

Pesquisas com plantas de cobertura mostraram que a cobertura morta sobre o solo reduziu a temperatura no perfil do solo, em relação ao solo nu (GASPARIM et al., 2005). Resultados obtidos por Campos et al. (1999), também, relatam a diminuição da amplitude térmica do solo. A utilização da cobertura do solo, ainda, impede a ação direta das gotas de chuva e mantém a umidade, favorecendo assim o desenvolvimento do sistema radicular das plantas. Em lavouras cafeeiras, a utilização de cobertura morta no solo, também, apresenta vantagens para a recuperação ou a manutenção da fertilidade do solo durante a formação e produção do café (PAVAN et al., 1986).

### **2.2.2 Filme de polietileno**

A cobertura no solo com a utilização do filme de polietileno é uma prática amplamente utilizada na horticultura, em culturas como: morango, melão, melancia, tomate, alface, entre outras (LAMBERT et al., 2017; LOPES et al., 2011; NEGREIROS et al., 2005; REGHIN et al., 2002; SANTIN; VILLA; PAULUS, 2017). Esse manejo tem sido utilizado com o intuito de economizar água na irrigação quanto aos cultivos sem essa cobertura (SANTOS et al., 2008). Essa maior eficiência do uso da água com a utilização do filme plástico de polietileno possibilita a redução do volume de água aplicado, em cultivos irrigados (KLAR; JADOSKI, 2004), por menor evaporação da água do solo, proporcionado por esta cobertura (BOTREL et al., 1990). Além disso, essa cobertura do solo é eficiente no controle de plantas daninhas (REGHIN et al., 2002; SOUZA et al., 2016).

Resultados positivos, de igual modo, foram observados na cultura da uva, sendo que o uso da cobertura plástica proporcionou redução de 50%, no uso da água de irrigação, sem efeitos prejudiciais à fisiologia da planta (GIL et al., 2018). Em tomateiro, a cobertura do solo com plástico possibilitou o aumento da eficiência do uso da água e até o incremento na

produtividade da cultura (CAMPAGNOL et al., 2014). Na cultura do melão, o filme de polietileno proporcionou precocidade no crescimento das plantas (MONTEIRO et al., 2007), maiores produtividades (DANTAS; MEDEIROS; FREIRE, 2011) e qualidade dos frutos (CÂMARA et al., 2007).

Por outro lado, na cultura do morango, Santin, Villa e Paulus (2017) observaram redução no teor de clorofila, quando o filme de polietileno foi utilizado.

## **2.3 Condicionadores de solo**

De acordo com a INSTRUÇÃO NORMATIVA nº 35, de 4 de Julho de 2006, condicionadores de solo são produtos capazes de promover a melhoria das propriedades físicas, físico-químicas ou da atividade biológica do solo, podendo recuperar solos degradados ou desequilibrados nutricionalmente. Nesse sentido, o gesso agrícola, o composto orgânico e a casca de café se enquadram nessa classificação.

### **2.3.1 Gesso agrícola**

O gesso agrícola ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) é um subproduto da indústria de ácido fosfórico, amplamente utilizado na agricultura. Esse condicionador de solo proporciona o aprofundamento radicular, favorecendo assim a absorção de água e nutrientes nas camadas mais profundas, conferindo maior resistência em períodos de seca (VAN RAIJ, 2008).

Em virtude do aumento das concentrações de cálcio e enxofre no subsolo (RAMOS et al., 2013) e da neutralização do alumínio tóxico no solo (AMARAL et al., 2017), há maior crescimento radicular (SOUSA; LOBATO; REIN, 2005), assim como melhor distribuição relativa das raízes em profundidade (CAIRES; FELDHAUS; BLUM, 2001). De acordo com Pavan e Bingham (1982), sob o estresse de alumínio, as regiões apicais das raízes são inibidas, ocorre redução do tamanho e número de raízes e, além disso, com crescimento irregular e, conseqüentemente, menor volume de solo explorado.

Todavia o equilíbrio é necessário, visto que altas doses de gesso podem acarretar desbalanço nutricional em superfície, conforme relatado por Pauletti et al. (2014) pela lixiviação de magnésio no perfil do solo.

Estudos com gesso agrícola mostram o aumento da produtividade de grãos de milho e de soja até a dose  $2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  (ZANDONÁ et al., 2015). Da mesma forma, a adição de gesso acarreta acréscimos na produção de trigo (CAIRES et al., 2002). Pauletti et al. (2014)

asseguram que o gesso favoreceu a produtividade do milho, do trigo e da soja somente quando houve deficiência hídrica. Destaca-se, assim, a importância da utilização do gesso, a fim de contornar o estresse hídrico pelo maior aprofundamento radicular.

Na cultura do café, a aplicação de gesso agrícola foi eficiente, na melhoria do ambiente radicular no subsolo, favorecendo o desenvolvimento de raízes finas eficientes na absorção de água (CARDUCCI et al., 2014), além disso, proporcionou aumento da concentração de magnésio e cálcio na solução do solo (RAMOS et al., 2013). Conforme Marques, Faquin e Guimarães (1999), a aplicação de gesso acarretou em aumento nos teores de Ca e S na folha do cafeeiro. Resultados obtidos por Serafim et al. (2011) relatam que áreas com um sistema caracterizado pela aplicação de gesso associado ao cultivo da braquiária, na entrelinha e sulco de plantio profundo, têm apresentado resultados promissores, com potencial para reduzir limitações hídricas.

### **2.3.2 Composto orgânico**

O composto orgânico é um material proveniente de restos vegetais e/ou animais (OLIVEIRA; LIMA; CAJAZEIRA, 2004). Na agricultura e pecuária, são produzidas grandes quantidades desses resíduos, que, em muitos casos, são perdidos. Quando manipulados e utilizados adequadamente, podem suprir os sistemas agrícolas (TEIXEIRA, 2002), melhorando suas propriedades biológicas (BULLUCK et al., 2002), físicas (KHALEEL; REDDY; OVERCASH, 1981) e químicas (CLARK et al., 1998).

Bullock et al. (2002) afirmaram que o uso de composto orgânico pode melhorar a fertilidade do solo, resultando em incremento de matéria orgânica e atividade biológica desse meio. A decomposição do material orgânico também deve ser considerada importante fonte de nutrientes no solo (PAVINATO; ROSOLEM, 2008). De acordo com Araújo et al. (2007), o acréscimo das doses de composto aumenta os teores foliares de N, K e Mg. Outros benefícios no solo são observados com a utilização do composto orgânico, favorecendo a elevação do pH, a soma de bases, a capacidade de troca catiônica e a saturação por bases (SANTOS; BELLINGIERI; FREITAS; 2008). Dessa forma, a adubação com compostos orgânicos pode ser alternativa para melhorar a fertilidade do solo, no agroecossistema de café conilon (SILVA et al., 2014) e de café arábica.

Em cafeeiro arábica, o emprego de esterco de galinha pode ocasionar redução do uso de adubos minerais para os nutrientes N, P, K e S (FERNANDES et al., 2013b). Serrano, Silva e Formentini (2011) demonstram que a adubação com composto orgânico no plantio

pode ser alternativa para substituir ou reduzir as adubações nitrogenada e potássica recomendadas para a fase de pós-plantio do cafeeiro conilon.

Além da melhora das propriedades químicas do solo, a matéria orgânica também proporciona aumento da retenção de água no solo (GUPTA; DOWDY; LARSON, 1977). 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 matéria orgânica proporcionado por esse sistema. Nessa ótica, Chemura (2014) relata que o uso de composto orgânico melhora o desempenho de crescimento em cafeeiros jovens submetidos a baixos níveis de água.

### 2.3.3 Casca de café

A casca de café é um subproduto obtido, durante o beneficiamento do café (PANDEY et al., 2000) em coco, sendo composta, principalmente, pelo seu exocarpo, mesocarpo e endocarpo. A quantidade de resíduo gerado, nesse processo (com base em peso), ocorre na proporção de 1:1 em relação à produção (BRUM, 2007). Tendo em vista que a casca de café é um resíduo agroindustrial, gerado em larga escala, torna-se importante a utilização desse material no manejo das culturas.

A casca de café contém, em sua composição, 1,5 % N, 0,15 % P e 3,0 % K (MATIELLO et al., 2010). Nesse sentido, Fernandes et al. (2013b) concluem que com a utilização da palha de café é possível reduzir a adubação mineral dos nutrientes N, P e K em cafeeiros. A utilização de casca de café pode também aumentar a CTC (capacidade de troca de cátions) do solo (PAES et al., 1996).

Todavia é importante considerar o equilíbrio dos nutrientes oferecidos, em cada resíduo orgânico, visto que a casca de café é rica em potássio o qual tem relação com a cercosporiose (*Cercospora coffeicola*) em cafeeiros, ocorrendo favorecimento da doença em doses excessivas (POZZA et al., 2001).

Outros benefícios são observados com a utilização desse resíduo orgânico, como a conservação da umidade do solo, fator relevante, principalmente, nos períodos mais secos (BRASIL SOBRINHO; MELLO, 1960). Além disso, a casca de café em cobertura auxilia, no manejo de plantas daninhas (SANTOS et al., 2001), seja por barreira física ou efeito alelopático (MAY et al., 2011).

Resultados positivos foram observados em cafeeiro com a utilização de resíduos orgânicos, como a casca de café, que causou maior altura, diâmetro da copa e número de



ramos, quando tais medidas são comparadas àquelas obtidas com outros resíduos orgânicos, tais como, matéria seca de mucuna cinza, leucena, guandu, bagaço de laranja e torta de filtro de cana (FIDALSKI; CHAVES, 2010). Da mesma forma, na cultura da alface, a cobertura de solo com casca de café proporcionou melhor crescimento e desenvolvimento das plantas (ANDRADE JÚNIOR et al., 2005).

Não obstante são escassos os trabalhos referentes à utilização da casca de café na cobertura solo e seus efeitos na cultura do café. São necessários estudos a fim de verificar a resposta das plantas a esses manejos. Para tal, tecnologias que consigam monitorar o vigor das plantas são essenciais e, diante disso, o sensoriamento remoto se faz importante.

## **2.4 Índice de Vegetação**

As plantas apresentam resposta espectral distinta dos demais alvos (WÓJTOWICZ; WÓJTOWICZ; PIEKARCZYK, 2016), absorvendo grande parte da radiação incidente na região do vermelho e refletindo na faixa do infravermelho próximo (ALVES; SILVA, 2013). Na região do infravermelho próximo, a reflectância é determinada pela estrutura celular das folhas, sendo que essas características das folhas são afetadas pelo teor de água na folha e a disponibilidade de água no solo (GAUSMAN et al., 1969; THOMAS et al., 1971).

Na região do vermelho, geralmente, as plantas apresentam baixa refletância, uma vez que são influenciadas pelos pigmentos fotossintetizantes, predominantemente, as clorofilas que absorvem a radiação eletromagnética (REM) na região do vermelho (ALVES; SILVA, 2013). Assim, alterações na clorofila podem alterar essa absorção, implicando assim modificação na reflectância das folhas (DAUGHTRY et al., 2000).

A resposta espectral das plantas pode sofrer alterações decorrentes de fatores ambientais, incidência de doenças e deficiências nutricionais (SAMBORSKI; TREMBLAY; FALLON, 2009), porque tecidos doentes ou sob algum tipo de estresse absorvem mais o comprimento de onda infravermelho, enquanto o comprimento de onda vermelho é absorvido em maior quantidade nos tecidos saudáveis (ALVES; SILVA, 2013).

Nesse seguimento, dados de reflectância espectral podem ser utilizados, para calcular os diversos índices de vegetação, dentre eles, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (sigla em inglês NDVI) que é o índice de vegetação mais antigo e mais utilizado no Sensoriamento Remoto (DORIGO et al., 2007). Proposto por Rouse et al. (1973), esse índice é baseado na reflectância do dossel e tem sido útil ao monitoramento do vigor da

vegetação, constituindo-se uma combinação matemática da resposta espectral, nas faixas do comprimento de onda do vermelho e o infravermelho próximo, conforme a Equação 1:

$$\text{NDVI} = ((\text{NIR}-\text{R})) / ((\text{NIR} + \text{R})), \quad (1)$$

Em que:

NDVI = Índice de Vegetação por Diferença Normalizada.

NIR = faixa espectral de reflectância da superfície ao infravermelho próximo (770 nm).

R = faixa espectral de reflectância da superfície ao espectro eletromagnético da região do vermelho (660 nm).

O valor de NDVI varia numericamente entre -1 e +1 e será maior quanto maior for a diferença entre as reflectâncias no infravermelho e no vermelho.

Pelo fato de o NDVI realçar o comportamento espectral da vegetação, por meio dele é possível obter perfis temporais, que permitem o monitoramento da vegetação, durante estádios fenológicos e as mudanças no dossel, resultantes de práticas de manejo. Junges et al. (2017) observaram uma variabilidade temporal do NDVI, em videiras na região das Serras Gaúchas, ao longo do ciclo, de 0,33 a 0,85, a qual refletiu as alterações no acúmulo de biomassa e vigor vegetativo, decorrentes das principais etapas fenológicas e de práticas de manejo da cultura.

Também associado ao monitoramento, perfis temporais de NDVI podem ser utilizados com o intuito de acompanhar o vigor da vegetação quanto às condições climáticas. Paiva et al. (2016) ressaltaram que, em regiões do Bioma Amazônico, o NDVI (medido por meio de satélite) apresenta comportamento semelhante às curvas de temperatura e precipitação mensal, apresentando menores valores de NDVI, após a estação seca e maiores após a estação chuvosa. Da mesma forma, Volpato et al. (2013) demonstraram correlação negativa entre NDVI e déficit hídrico, na cultura do café, pois o teor de água no solo, assim como o potencial hídrico foliar, estão relacionados ao vigor da vegetação e, conseqüentemente, refletem nos valores de NDVI (LIU et al., 2012; REYNOLDS et al., 2018; SANTOS et al., 2014).

Em virtude do comportamento espectral ser influenciado pelo conteúdo de clorofila (SERRANO; FILELLA; PEÑUELAS, 2000), evidencia-se a relação dos nutrientes nitrogênio e magnésio na constituição desse pigmento (FARHAT et al., 2016; REIS et al., 2006). Nesse

sentido, Santos, Rosalen e Faria (2017) relataram a correlação positiva do teor de N foliar com o índice de vegetação NDVI, na cultura da braquiária (*Urochloa brizantha*). De forma similar, os autores Pias et al. (2017) mostraram relação positiva entre o teor de clorofila e NDVI, na cultura do feijão. Nessas condições, o aumento do teor de nitrogênio, com consequente reflexo na quantidade de clorofila, acarreta em maior absorção na região do vermelho (DAUGHTRY et al., 2000) e natural aumento nos valores médios de NDVI (SOUZA et al., 2009). A reflectância das plantas foi utilizada, também, no manejo do nitrogênio, para diversas culturas, como trigo, cevada, cana-de-açúcar e algodão (MOLIN et al., 2010; POVH et al., 2008; VIAN et al., 2018a; ZHOU; YIN, 2018).

Ressalta-se a relação do NDVI com a produtividade das culturas, sendo que, na cultura do amendoim, Zerbato et al. (2016) verificaram fortes correlações do NDVI, obtido por sensor terrestre, com a produtividade da cultura. Ao mesmo tempo, na cultura do milho, em todos os estágios avaliados, foi observada correlação significativa entre NDVI e produtividade de grãos de milho, ocorrendo melhoria nas predições, à medida que se avança nos estádios fenológicos da planta (VIAN et al., 2018b). Dessa forma, observou-se que o NDVI pode ser usado como uma tecnologia adicional para agricultores avaliarem o potencial produtivo das culturas, de forma não destrutiva (BREDEMEIER et al., 2013), visto que o NDVI está intimamente ligado à biomassa das culturas (COELHO; ROSALEN; FARIA; 2018).

## 2.5 Sensor ativo Greenseeker

Nos últimos anos, foram desenvolvidos sensores remotos de custo mais acessível, com a possibilidade de seu emprego pelo produtor rural. Dentre eles, destaca-se o Greenseeker™ (NTech Industries, Inc., EUA), que é um sensor óptico portátil, usado para medir o índice de vegetação. Projetado por pesquisadores da Universidade de Oklahoma (EUA), é uma ferramenta que mede o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), de forma não destrutiva e rápida. A leitura do aparelho varia de 0 a 0,99 e quanto maior a leitura, mais saudável e com maior biomassa está a lavoura, enquanto o zero representa ausência de vegetação.

Em relação aos satélites, o sensor Greenseeker possui a vantagem de eliminar interferências ambientais, como nuvens que podem influenciar os índices de vegetação, baseado em satélites, apresentando assim melhores resoluções (WÓJTOWICZ;

WÓJTOWICZ; PIEKARCZYK, 2016), uma vez que o sensor portátil é mantido próximo às culturas. Como desvantagem, destaca-se a necessidade das leituras serem feitas em campo.

## **2.6 Sensoriamento remoto**

O sensoriamento remoto é um método, por meio do qual se obtêm informações sobre um determinado alvo, a partir dos dados coletados por um equipamento (ou sensor), sem que ele tenha contato direto com o alvo (WÓJTOWICZ; WÓJTOWICZ; PIEKARCZYK, 2016). Essa tecnologia pode ser uma opção adicional para monitorar o vigor das plantas quanto às condições climáticas, sob diferentes manejos (JUNGES et al., 2017; SANTOS et al., 2014; VOLPATO et al., 2013). Salienta-se que sensores óticos são capazes de fornecer suporte à detecção de estresse de plantas não detectáveis pela visão humana, pelo registro de detalhes espectrais de ondas que estão além da faixa visível (KIM et al., 2011).

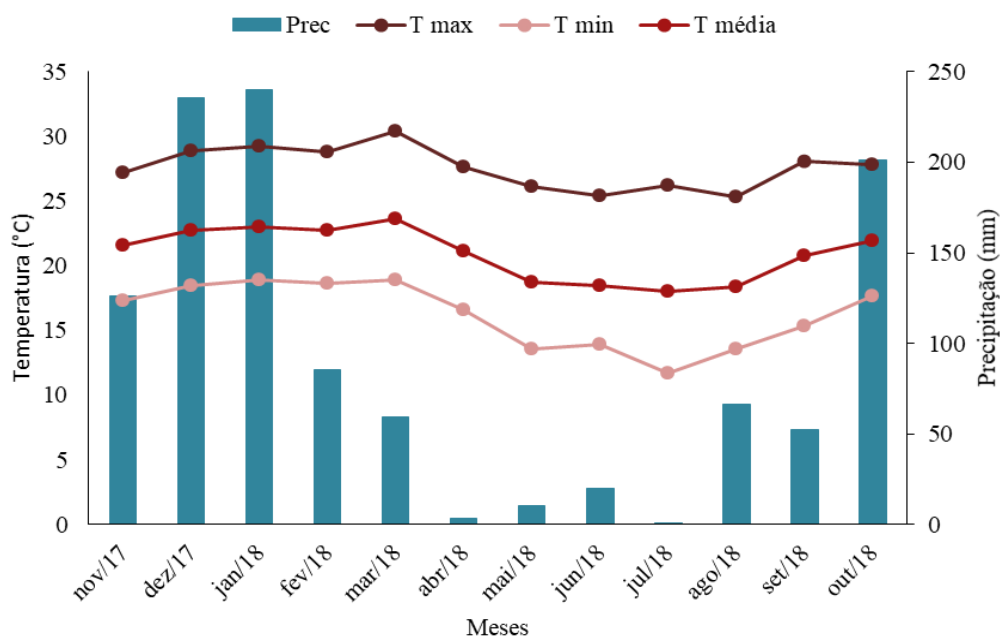
### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido em campo, em área experimental do Setor de Cafeicultura do Departamento de Agricultura - DAG, na Universidade Federal de Lavras - UFLA, no município de Lavras-MG. As coordenadas geográficas da área são latitude 21°13'36.47" Sul e longitude 44°57'40.35 Oeste, com altitude média de 975 metros. O clima regional é classificado como Cwa, com duas estações distintas: seca no período de abril a setembro e chuvosa, no período de outubro a março, segundo a classificação de Köppen.

As ocorrências mensais de temperatura (mínima, média e máxima) e precipitação pluviométrica foram fornecidas pela Estação Meteorológica do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras (UFLA) e são apresentadas na Figura 1.

Figura 1 - Representação gráfica das variáveis climatológicas registradas, mensalmente, referente ao intervalo de novembro 2017 a outubro de 2018.



Fonte: Da autora (2019).

O solo da área experimental, cujos atributos são mostrados na Tabela 1, é classificado pela Embrapa (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2013), como Latossolo Vermelho Amarelo distrófico de textura argilosa.

Tabela 1 - Análise química nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm e a análise física do solo\* da área experimental, antes da instalação do experimento. Lavras - MG, 2015.

Prof. (cm)	pH (H <sub>2</sub> O)	P (mg dm <sup>-3</sup> )	K	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	(H+Al) (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	SB	(t)	(T)
0-20	5.0	4.5	104	1.5	0.5	0.2	3.5	2.3	2.5	5.7
20-40	4.6	1.4	48	0.5	0.2	0.5	4.4	0.8	1.3	5.1
	V (%)	m	M.O. (dag kg <sup>-1</sup> )	P-Rem (mg L <sup>-1</sup> )	Zn	Fe	Mn (mg dm <sup>-3</sup> )	Cu	B	S
0-20	39.6	8.1	2.1	27.1	2.9	102.7	22.9	4.1	0.3	35.9
20-40	15.9	37.8	1.3	16.5	0.7	93.5	10.6	3.2	0.5	60.7
Classificação do solo	Argila			Silte (dag kg <sup>-1</sup> )			Areia			
Textura Argilosa	44			9			47			

Fonte: Da autora (2019).

\*Laudo emitido pelo Laboratório de Análise Química e Física de Solo do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras.

Nota: SB = soma de bases trocáveis; (t) = capacidade de troca catiônica efetiva; (T) = capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V = índice de saturação de bases; m = índice de saturação por alumínio.

### 3.2 Delineamento experimental e tratamentos

Os fatores foram dispostos em esquema fatorial 3x4 alocados em faixas. O delineamento utilizado foi o de blocos ao acaso, com três repetições. As parcelas foram constituídas pelos três manejos de solo (filme de polietileno, braquiária e vegetação espontânea) os quais foram dispostos em faixas. Posteriormente, distribuíram-se aleatoriamente os três condicionadores de solo (casca de café, composto orgânico, gesso) acrescidos do tratamento testemunha (sem condicionador) nas referidas faixas (TABELA 2).

Cada unidade experimental foi composta por seis plantas, no entanto apenas as quatro plantas centrais foram consideradas úteis. Além disso, entre as linhas dos tratamentos utilizou-se uma linha de bordadura a fim de evitar interferência.

Tabela 2 - Descrição dos tratamentos. Lavras - MG, 2019.

Tratamento	Manejo da cobertura do solo	Condicionador de solo
T1		Casca de café
T2		Gesso agrícola
T3	Filme de polietileno	Composto orgânico
T4		Sem condicionador
T5		Casca de café
T6		Gesso agrícola
T7	Braquiária	Composto orgânico
T8		Sem condicionador
T9		Casca de café
T10		Gesso agrícola
T11	Vegetação espontânea	Composto orgânico
T12		Sem condicionador

Fonte: Da autora (2019).

Para o manejo do solo com o uso do filme de polietileno (FIGURA 2A), foi utilizado um material de dupla face, apresentando as cores preta e branca, com 1,60 m de largura. O filme de polietileno foi instalado na linha de plantio com a face branca voltada para cima, logo após o plantio do café. Seguiram-se as recomendações do fabricante, visto que a face branca reflete os raios solares, reduzindo o calor excessivo do solo. Em seguida à instalação do filme de polietileno, foi realizada a amontoa de solo, a fim de fixar as laterais do material. Para a adubação e aplicação dos condicionadores, levantaram-se as laterais do filme de polietileno, que, logo depois, foram fixadas novamente com a amontoa de solo.

O manejo com a braquiária (FIGURA 2B) foi realizado, com base no consórcio café e braquiária, seguindo as recomendações de Souza et al. (2006), com a utilização da espécie *Urochloa decumbens* cultivada na entrelinha do cafeeiro. Manteve-se livre uma distância mínima de 1 m de cada lado da linha do cafeeiro, a fim de evitar a interferência da braquiária sobre as plantas de café. Após a demarcação dos sulcos de plantio, realizou-se o semeio a lanço de 10 kg.ha<sup>-1</sup> de sementes de *Urochloa decumbens*. Considerou-se uma faixa de 1,6 m no centro da entrelinha do cafeeiro. A ceifa da braquiária foi realizada com roçadora mecânica, sempre antes de seu florescimento. Após o corte, a biomassa da braquiária foi colocada na linha de plantio, ocupando 1,0 m de distância de cada lado da linha de plantio.

No manejo com a vegetação espontânea (FIGURA 2C), manteve-se uma faixa de 1,0 m de cada lado da linha livre de plantas daninhas, ou seja, solo exposto na linha de plantio,

por meio de capinas e herbicidas. Na entrelinha, as plantas daninhas foram manejadas com a utilização de roçadoras mecânicas.

Figura 2 - Manejos da cobertura do solo: filme de polietileno (A), braquiária (B) e vegetação espontânea (C).



Fonte: Da autora (2019).

Os condicionadores de solo (casca de café, composto orgânico, gesso) foram aplicados, na projeção da copa do cafeeiro, após o plantio (GUIMARÃES et al., 1999). A casca de café e o composto orgânico foram aplicados na dose de 10 L por planta, distribuídos nas parcelas ao final de cada ano. A casca de café usada foi proveniente do processo de beneficiamento do café em coco, com análise química apresentada no Apêndice B. O composto orgânico utilizado foi um produto comercial, contendo resíduos de fazendas e indústrias alimentícias, com análise química apresentada no Apêndice C. No primeiro ano, o gesso agrícola (18% Ca e 15% S) foi aplicado, de acordo com a dose calculada, baseada na textura do solo, seguindo os resultados da análise de solo de 20 a 40 cm de profundidade, sendo requeridos  $300 \text{ g.m}^{-2}$ . Nos anos posteriores, utilizou-se a mesma quantidade de gesso.



### 3.3 Instalação e condução do experimento

Figura 3 - Área experimental.



Fonte: Da autora (2019).

O plantio do café foi realizado, em 21 de janeiro de 2016, com mudas de café da cultivar “Mundo Novo 379-19”, com espaçamento 3,6 metros nas entrelinhas de plantio e 0,75 entre as plantas na linha de plantio.

Foi utilizada uma dose de calcário de  $1,9 \text{ t ha}^{-1}$  em área total, com o objetivo de elevar a saturação por bases para 70%. O calcário utilizado tinha 35% de CaO e 14% de MgO, com PRNT de 90%. De forma complementar, aplicaram-se  $150 \text{ g.m}^{-1}$  de calcário no sulco de plantio. Posteriormente, realizou-se a aplicação de 350 g de superfosfato simples por metro linear de sulco.

A correção do solo, a adubação fosfatada e as adubações pós-plantio foram realizadas, de acordo com os resultados da análise de solo, seguindo as recomendações estabelecidas na 5ª aproximação da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais

(GUIMARÃES et al., 1999). Para o cálculo da adubação de produção, levou-se em conta os teores dos nutrientes no solo e a produtividade esperada por parcela, considerando a metodologia de Fahl et al. (2005). O adubo utilizado foi de liberação controlada (30-00-10), seguindo-se as recomendações do fabricante. Quando necessária a suplementação com potássio, foi feita com cloreto de potássio.

O controle de pragas e doenças foi feito, por meio de monitoramento regular da lavoura, conforme o calendário agrícola da cultura, para verificar a necessidade de controle, seguindo as recomendações de Matiello et al. (2010). As pulverizações foliares seguiram as especificações de Guimarães et al. (1999). O controle de plantas daninhas, na entrelinha do cafeeiro, foi feito com a roçadora mecânica em todas as parcelas experimentais. Na linha de plantio, o controle de plantas daninhas foi de acordo com os manejos específicos de cada tratamento.

O presente estudo teve início, em novembro de 2017, ou seja, quando a lavoura tinha 22 meses de idade e terminou em outubro de 2018.

### **3.4 Características avaliadas**

#### **3.4.1 NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada)**

As avaliações de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI) foi realizada, quinzenalmente, no período de um ano (novembro de 2017 a outubro de 2018). Utilizou-se o sensor manual GreenSeeker (Trimble, USA), que foi posicionado a 0,80 m acima do topo das plantas (POVH et al., 2008; REZNICK, 2017), sendo realizadas três leituras do equipamento por parcela.

#### **3.4.2 Crescimento de plantas**

As avaliações de crescimento foram realizadas duas vezes por ano. A primeira no mês de março (final do período das chuvas) e a segunda no mês de julho (final da estação seca). Foram analisadas as características:

- a) Altura de plantas (AP): medida do colo da planta até a gema apical do ramo ortotrópico, por meio de régua graduada (cm);
- b) Diâmetro do caule: medida na região do colo das plantas, por meio de um paquímetro eletrônico digital (mm).

### 3.4.3 Umidade do solo

As avaliações de umidade do solo (US) foram realizadas duas vezes por ano. A primeira no mês de março (final do período das chuvas) e a segunda no mês de julho (final da estação seca). Determinou-se a umidade do solo pelo método padrão, por meio da coleta de uma amostra deformada, na camada de 0 a 20 cm, em cada unidade experimental, com auxílio de um trado de rosca. Mensurou-se a massa úmida, em balança de precisão e mantiveram-se as amostras em estufa a 105°C por 24 horas, para a determinação do peso seco. Em seguida, calculou-se a umidade gravimétrica do solo, em porcentagem, pela razão da diferença do peso úmido e seco pelo peso seco (EMBRAPA, 1997).

### 3.4.4 Produtividade

A avaliação da produtividade do café foi feita no mês de maio, por meio da colheita manual dos frutos, pela derriça no pano, nas parcelas úteis (quatro plantas). Após a colheita, foi feita a secagem dos frutos, no terreiro cimentado até atingir a umidade 11,5% e, a seguir, o café foi beneficiado. Com base no peso obtido, para cada tratamento, foi extrapolado pelo número de plantas presentes em um hectare, considerando o espaçamento de 3,6 m entre linhas e 0,75m entre plantas, o que equivale a uma população de 3.703 plantas. Após determinada a produtividade por hectare, dividiu-se esse valor por 60, para expressar os valores em sacas por hectare.

### 3.4.5 Características fisiológicas

As avaliações fisiológicas foram realizadas duas vezes por ano. A primeira no mês de março (final do período das chuvas) e a segunda no mês de julho (final da estação seca).

#### 3.4.5.1 Fotossíntese, condutância estomática, taxa transpiratória e eficiência do uso da água

Para a avaliação de trocas gasosas, utilizou-se medidor portátil de análise de gás na região do infravermelho (IRGA LICOR - 6400XT). Avaliaram-se a taxa fotossintética líquida ( $A - \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), a condutância estomática ( $g_s - \text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) e a taxa transpiratória ( $E - \text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). Para calcular a eficiência do uso da água (EUA -  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$

H<sub>2</sub>O), fez-se a razão entre a taxa fotossintética e a taxa transpiratória. As avaliações foram realizadas entre às 8h e 10 horas da manhã, sob luz artificial (1000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), utilizando folhas completamente expandidas, localizadas no terceiro nó a partir do ápice do ramo plagiotrópico.

#### **3.4.5.2 Clorofila total**

O índice de clorofila total (Clo) foi obtido por meio do aparelho digital ClorofiLOG (modelo CFL 1030). O aparelho fornece os índices proporcionais à absorvância das clorofilas. As leituras foram realizadas nas mesmas folhas utilizadas para as avaliações de trocas gasosas.

#### **3.4.5.3 Potencial hídrico foliar**

O potencial hídrico foliar (PH - MPa) foi determinado, no período “antemanhã” (antes de amanhecer, de 3h30 - 4h da manhã), utilizando câmara de pressão (modelo 1000, PMS Instrument Company). As folhas coletadas, completamente expandidas e isentas de pragas e doenças, foram avaliadas na câmara aplicando-se pressão até que ocorresse a exsudação pelo corte feito no pecíolo da folha.

#### **3.4.6 Atributos químicos das folhas**

No mês de março de 2018, realizou-se a amostragem de folhas completamente expandidas, localizadas no terceiro ou quarto nós, a partir dos ápices dos ramos plagiotrópicos. Foram coletadas folhas em cada parcela, em seguida, agruparam-se as folhas coletadas, em todos os blocos, com base nos respectivos tratamentos. Logo após, as folhas foram acondicionadas em sacos de papel e encaminhadas para o laboratório de Análise Foliar da Universidade Federal de Lavras- UFLA/MG, que utiliza a metodologia de Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). Foram determinados os nutrientes: nitrogênio (N - g/kg - Abertura sulfúrica - determinado por microdestilação Kjeldahl), fósforo (P - g/kg - extração nitroperclórica - determinação colorimétrica com reativo de molibdato-metavanadato), potássio (K - g/kg - extração nitroperclórica - determinação fotométrica), cálcio (Ca - g/kg - extração nitroperclórica - determinação por espectrometria de absorção atômica) e magnésio (Mg - g/kg - extração nitroperclórica - determinação por espectrometria de absorção atômica).

### 3.4.7 Atributos químicos do solo

Em outubro de 2018, realizou-se a amostragem de fertilidade do solo (camada 0 a 20 cm), com trado de rosca, na projeção da copa do cafeeiro. Para cada unidade experimental, obteve-se uma amostra composta de, aproximadamente, 300 g, adquirida a partir de duas amostras simples. Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e encaminhadas para a análise no Laboratório da Universidade Federal de Lavras- UFLA/MG, que utiliza a metodologia do Manual de Métodos de Análise de Solo da Embrapa (2017). Foram determinados os atributos químicos do solo: pH cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2$  1 mol L<sup>-1</sup>), teor de fósforo (P - mg dm<sup>-3</sup> - extrator Mehlich<sup>-1</sup>), teor de potássio (K - mg dm<sup>-3</sup> - extrator Mehlich<sup>-1</sup>), teor de cálcio (Ca - cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> - extrator KCl 1 mol L<sup>-1</sup>), teor de magnésio (Mg - cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> - extrator KCl 1 mol L<sup>-1</sup>), teor de alumínio (Al - cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> - extrator KCl 1 mol L<sup>-1</sup>), capacidade de troca de cátions efetiva do solo (CTC pH 7 - cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), saturação por bases (V - %), saturação por alumínio (m - %) e matéria orgânica (MO).

### 3.5 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos às pressuposições da ANOVA, verificando a normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk.

Foi realizada a análise de variância com a significância das fontes de variação verificada pelo teste F a 5% de probabilidade. Para o estudo das médias, quando verificada a significância, realizou-se a comparação por meio do teste Scott-Knott. Esses procedimentos estatísticos foram realizados por meio do software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2017).

Com o uso do software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2017), foi realizada a análise multivariada dos dados. Realizou-se a análise de variáveis canônicas, para avaliar a similaridade dos tratamentos, por intermédio de dispersão gráfica em cada período estudado. Foi então realizada a análise de variância multivariada (MANOVA) e, em seguida, utilizou-se a função `candiscList` da biblioteca `candisc` (FRIENDLY; FOX, 2017). Para os dados sem repetição, no caso da análise foliar, foi empregada a análise de componentes principais.

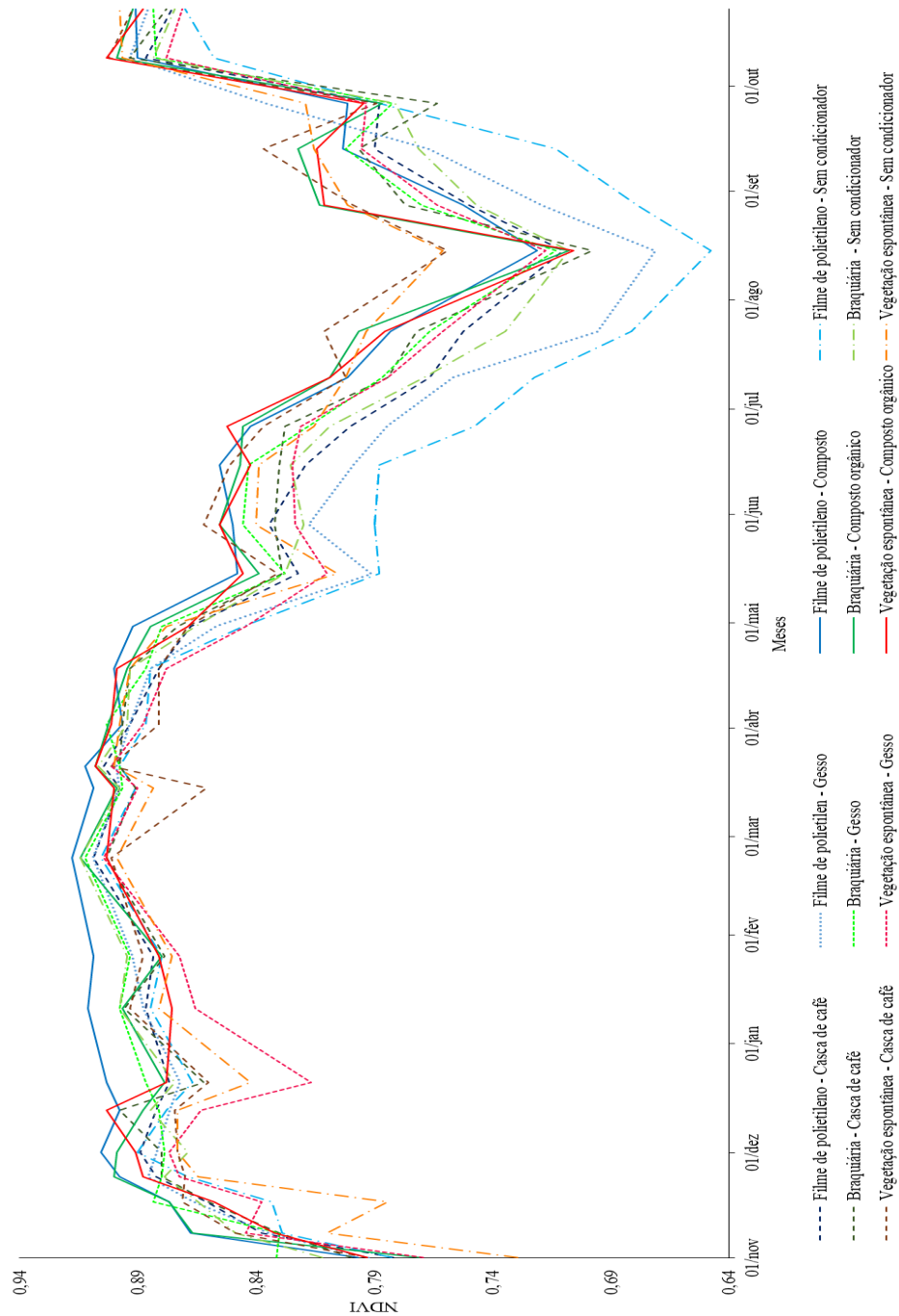
Também foi realizada a correlação de Pearson a fim de verificar as associações entre as variáveis analisadas. Essas análises foram realizadas no programa R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2017).

Além disso, a partir das séries quinzenais, utilizando-se a média dos valores obtidos de NDVI, foi feita a Análise de Séries Temporais.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

Figura 4 - Série temporal do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), referente ao período de novembro de 2017 a outubro de 2018.



Fonte: Da autora (2019).

O perfil temporal do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada acompanhou as variações climáticas, ao longo do ano, sendo observado aumento nos índices, a partir do mês de setembro, com maiores valores de NDVI, nos meses de dezembro a março, período no qual ocorreram maiores precipitações (FIGURA 1). O índice de vegetação (NDVI) variou de 0,65 a 0,92 ao longo do período observado (FIGURA 4).

A partir do mês de abril, independente do manejo com cobertura de solo ou condicionador utilizado, houve uma queda no NDVI, relacionada às baixas precipitações e menores temperaturas ocorridas nesse período até o mês de agosto. Nesse último mês referido, os manejos com filme de polietileno associados ao gesso e sem condicionador, principalmente, houve maior queda no NDVI, quando comparado aos outros manejos. Nos manejos com a vegetação espontânea, associados à casca de café e sem condicionador de solo, apresentaram-se maiores índices em agosto. Depois, no mês de setembro, observou-se, novamente, um aumento nos índices de vegetação em função do retorno das precipitações e do aumento das temperaturas observadas.

No mês de outubro, os manejos voltaram a apresentar maiores valores de NDVI, não sendo verificadas grandes diferenças entre as coberturas de solo, condicionadores e suas associações. Esse fato está relacionado à precipitação (201,3 mm) ocorrida nesse mês.

Foi constatada significância ( $p < 0,05$ ) no índice de vegetação, para a interação manejo da cobertura e condicionador de solo, no mês de dezembro (TABELA 1, APÊNDICE A). De forma isolada, o manejo da cobertura foi significativo ( $p < 0,05$ ), nos meses de março (TABELA 1, APÊNDICE A), julho, agosto e setembro (TABELA 2, APÊNDICE A). Já para o fator condicionadores, houve efeito significativo ( $p < 0,05$ ), para o NDVI, nos meses de maio e julho. Nos meses de novembro, janeiro, fevereiro, abril, junho e outubro, não foram observadas significância para os manejos estudados (TABELAS 1 e 2, APÊNDICE A).

Para o mês de dezembro, o maior NDVI foi observado nas plantas em que houve associação do filme plástico com o composto orgânico (0,90), em comparação às plantas da associação vegetação espontânea e gesso (0,82), que apresentaram menor índice de vegetação (FIGURA 5).

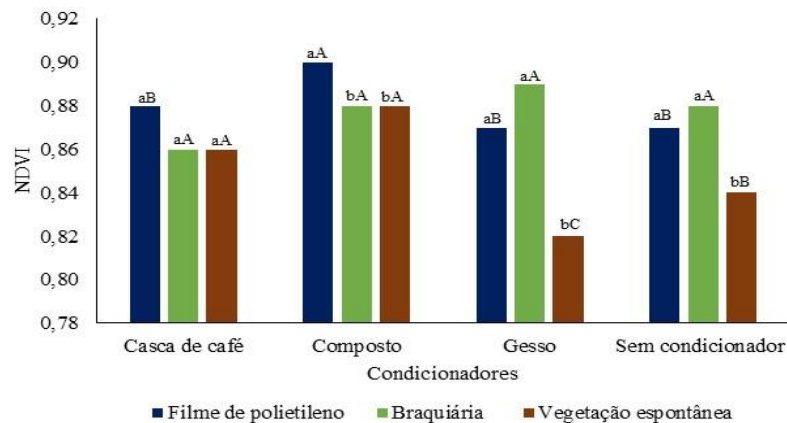
Para o condicionador gesso e sem condicionador, a associação com os manejos de coberturas do solo filme de polietileno ou braquiária proporcionou melhores índices de vegetação (0,87, 0,87, 0,89, 0,88, respectivamente), em comparação com a vegetação espontânea (0,82 com gesso e 0,84 sem condicionador). De forma similar, para o manejo com espontânea, a utilização dos condicionadores orgânicos em cobertura, sejam eles casca ou composto, acarretaram em melhores NDVI (0,86 e 0,88, respectivamente), quando comparado



à sua associação com gesso ou sem condicionador (0,82 e 0,84, respectivamente) (FIGURA 5).

A utilização do manejo do solo com a braquiária não apresentou diferença entre os condicionadores estudados (0,86, 0,88, 0,89 e 0,88). Da mesma forma, quando utilizada a casca de café, não foram observadas diferenças entre os manejos da cobertura de solo (FIGURA 5).

Figura 5 - Representação gráfica do NDVI, no mês de dezembro, em cafeeiros cultivados sob três tipos de manejo de cobertura do solo (filme de polietileno, braquiária e vegetação espontânea), associados a três condicionadores de solo (casca de café, composto orgânico e gesso) e sem condicionador.



Legenda: Barras seguidas de mesma letra minúscula dentro de cada condicionador de solo e maiúscula dentro de cada cobertura de solo não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Scott-Knott.

Fonte: Da autora (2019).

Para o mês de março, foram observados maiores valores NDVI nos cafeeiros manejados com cobertura de solo, sejam eles o filme de polietileno (0,90) ou braquiária (0,90), sem diferença significativa entre si, quando comparados à vegetação espontânea (sem cobertura de solo na linha do cafeeiro) (0,88) (FIGURA 6A).

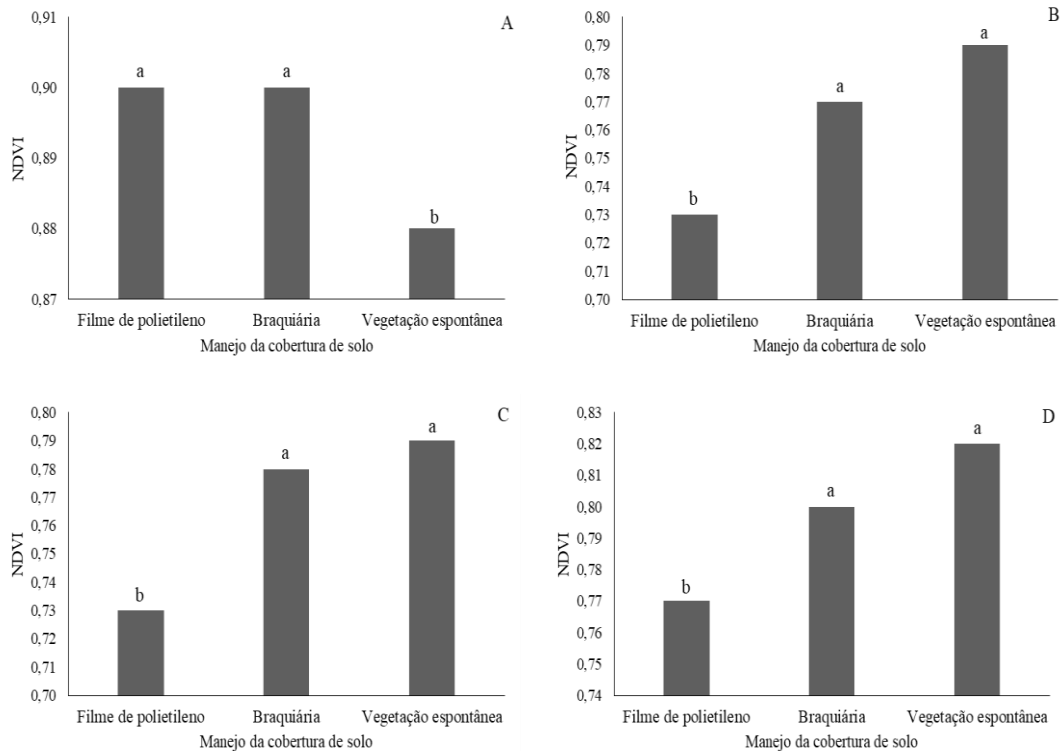
Para o mês de julho, foram observados maiores valores NDVI, nos cafeeiros manejados com cobertura de solo por braquiária (0,77) e nas plantas manejadas com a vegetação espontânea (0,79) (FIGURA 6B), sem diferença significativa entre si. Já o menor valor de NDVI foi encontrado nas plantas que receberam o filme de polietileno como cobertura do solo (0,73).

Para o mês de agosto, foram observados maiores valores NDVI, nos cafeeiros manejados com cobertura de solo por braquiária (0,78) e no manejo com a vegetação espontânea (0,79), sem diferença significativa entre si. Resultado semelhante ao encontrado,

no mês anterior (julho), com o menor valor de NDVI encontrado para as plantas do tratamento com cobertura de filme de polietileno (0,73) (FIGURA 6C).

Para o mês de setembro, foram observados maiores valores NDVI, nos cafeeiros manejados com cobertura de solo por braquiária (0,80) e nas plantas manejadas com a vegetação espontânea (0,82), sem diferença significativa entre si. Resultado semelhante ao encontrado, nos meses de julho e agosto, com o menor valor de NDVI encontrado para as plantas do tratamento com cobertura de filme de polietileno (0,77) (FIGURA 6D).

Figura 6 - Representação gráfica do NDVI para os meses: março (A), julho (B), agosto (C) e setembro (D), em cafeeiros cultivados sob três tipos de manejo de cobertura do solo, sendo eles: filme de polietileno, braquiária e vegetação espontânea.



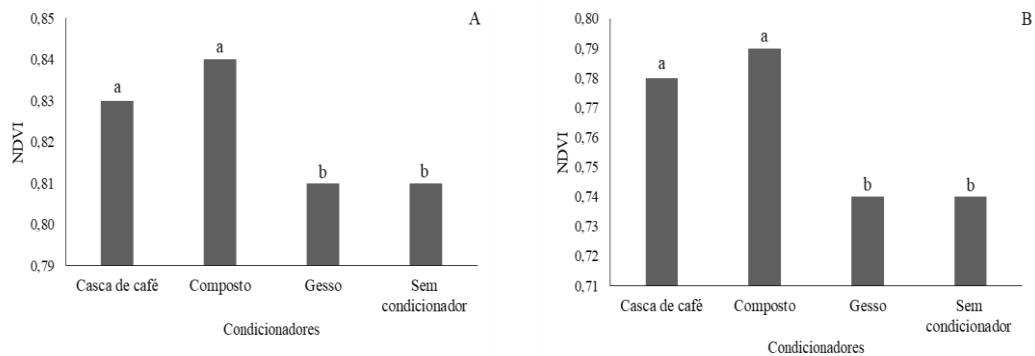
Legenda: Barras seguidas de mesma letra não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Scott-Knott.

Fonte: Da autora (2019).

Para o mês de maio, foram observados maiores valores NDVI nos cafeeiros, que receberam casca de café (0,83) e composto orgânico (0,84) sem diferença significativa entre si. Já os cafeeiros que receberam os condicionadores gesso (0,81) e os que não receberam condicionador (0,81) apresentaram os menores valores, também, sem diferença significativa entre si (FIGURA 7A).

Para o mês de julho, foram observados maiores valores NDVI nos cafeeiros, que receberam casca de café (0,78) e composto orgânico (0,79), sem diferença significativa entre si. A exemplo das avaliações feitas no mês de maio, os menores valores de NDVI foram encontrados nas plantas dos tratamentos com os condicionadores gesso (0,74) e a ausência de condicionador (0,74), sem diferença significativa entre si. (FIGURA 7B).

Figura 7 - Representação gráfica do NDVI para os meses de maio (A) e julho (B) em cafeeiros cultivados sob três condicionadores de solo (casca de café, composto orgânico e gesso) e sem condicionador.



Legenda: Barras seguidas de mesma letra não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Scott-Knott.

Fonte: Da autora (2019).

## 4.2 Crescimento, umidade do solo e produtividade

Observou-se correlação significativa ( $p < 0,05$ ) positiva entre o NDVI, no período de novembro a abril, período anterior à colheita e à produtividade ( $r = 0,40$ ) da cultura. Da mesma forma, no período de novembro a março, houve correlação significativa com a altura de plantas ( $r = 0,71$ ) (TABELA 3), o que indica relação entre o NDVI e as características de crescimento e produção, ou seja, o NDVI é uma opção para avaliação de crescimento e produtividade de cafeeiros. No entanto, para a variável diâmetro de caule ( $r = 0,45$ ), não foram observadas correlações significativas para o mesmo período referido.

Tabela 3 - Coeficiente de correlação de Pearson para as variáveis produtividade e altura de plantas e o NDVI.

Variável	Produtividade (sc/ha)	Altura (cm)
	r	r
NDVI	0,40*	0,71*

Fonte: Da autora (2019).

\* Significativo a 5% de probabilidade.

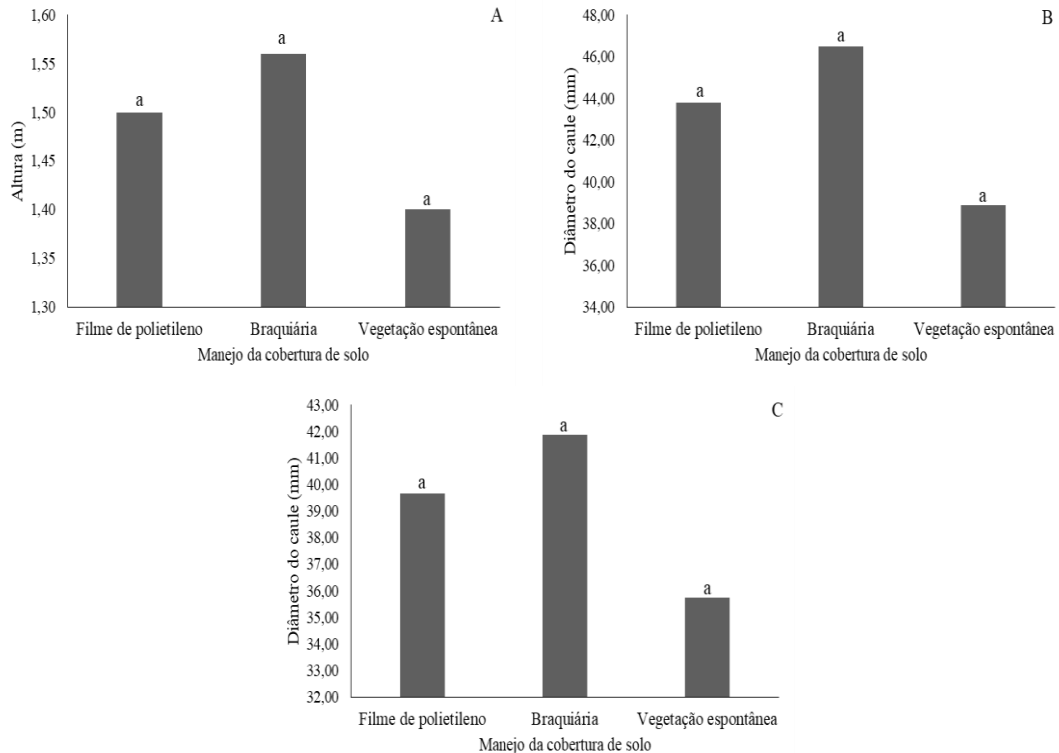
Para a produtividade das culturas, não foram observadas significâncias para o manejo da cobertura do solo e para condicionadores (TABELA 5, APÊNDICE A). Para as características altura, no período das chuvas e diâmetro de caule, tanto na época seca quanto no período das chuvas, foi observada significância ( $p < 0,05$ ) para o fator manejo da cobertura do solo. Foi constatada significância, para a umidade do solo, no período seco, para os condicionadores de solo. Já para altura de plantas, no período seco, assim como umidade no período das chuvas, não foram observadas significâncias (TABELAS 3 e 4, APÊNDICE A).

Nota-se pela Figura 8A que não houve diferença entre a altura das plantas cultivadas com cobertura de solo (filme de polietileno (1,50m) e braquiária (1,56m)) e aquelas cultivadas com a vegetação espontânea (1,40m).

No caso da característica diâmetro do caule, no período de maior precipitação pluviométrica (março), não houve diferença entre as plantas com ou sem cobertura de solo (43,8, 46,48 e 38,87 mm) (FIGURA 8B).

A exemplo do ocorrido, no período de maior precipitação pluviométrica, também, no período de poucas chuvas, não se encontrou diferença significativa na avaliação dos diâmetros de caule dos cafeeiros, cultivados com (39,67 e 41,87 mm) ou sem cobertura de solo (35,73 mm) (FIGURA 8C).

Figura 8 - Representação gráfica das variáveis de crescimento: altura de plantas, no mês de março (A), diâmetro de caule em março (B) e diâmetro de caule no mês de julho (C), em cafeeiros cultivados sob três tipos de manejo de cobertura do solo, sendo eles: filme de polietileno, braquiária e vegetação espontânea.

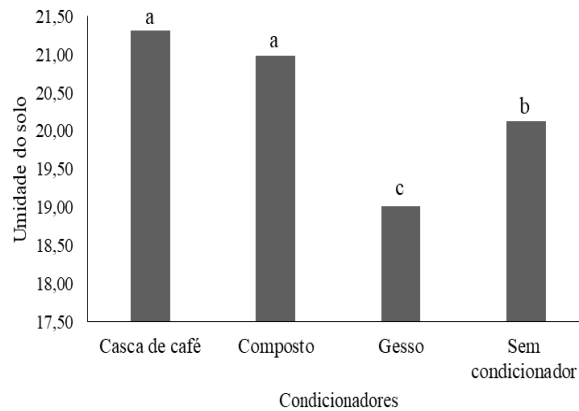


Legenda: Barras seguidas de mesma letra não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Scott-Knott.

Fonte: Da autora (2019).

Embora tenha sido observada significância pelo teste F, para as variáveis diâmetro de caule, nas duas épocas e altura no período das chuvas, o teste de médias não detectou diferenças entre os condicionadores estudados. No entanto, para a umidade do solo, no período seco, os condicionadores orgânicos (casca de café e composto orgânico) apresentaram maiores umidades (21,31 e 20,98, respectivamente), quando comparados à ausência de condicionador (20,13) e gesso (19,01), este último apresentando umidade menor que todos os outros condicionadores (FIGURA 9).

Figura 9 - Representação gráfica de umidade do solo no mês de julho (final do período seco) em cafeeiros cultivados sob três condicionadores de solo (casca de café, composto orgânico e gesso) e sem condicionador.

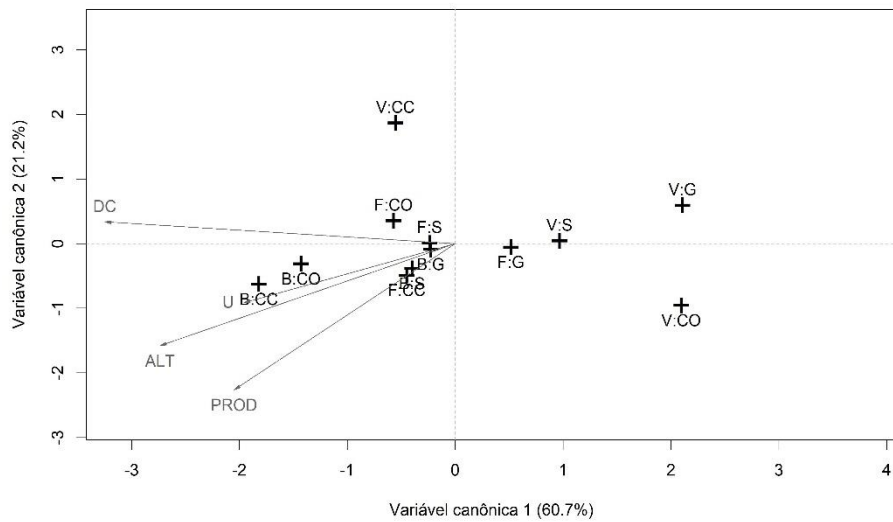


Legenda: Barras seguidas de mesma letra não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Scott-Knott.

Fonte: Da autora (2019).

Para o período das chuvas, as variáveis altura, produtividade e umidade contribuíram para o agrupamento do manejo com a vegetação espontânea, sendo esses tratamentos discriminados com maior distância das referidas variáveis. Contrariamente a esse manejo, a utilização das coberturas de solo braquiária e filme plástico, excetuando-se a associação deste último com gesso, foram agrupados mais próximos às referidas variáveis. Sobretudo, o manejo com a braquiária associada a materiais orgânicos (casca de café ou composto) foram dispostos com maior proximidade à umidade do solo. As variáveis canônicas 1 e 2 explicam 81,9% das variações (FIGURA 10).

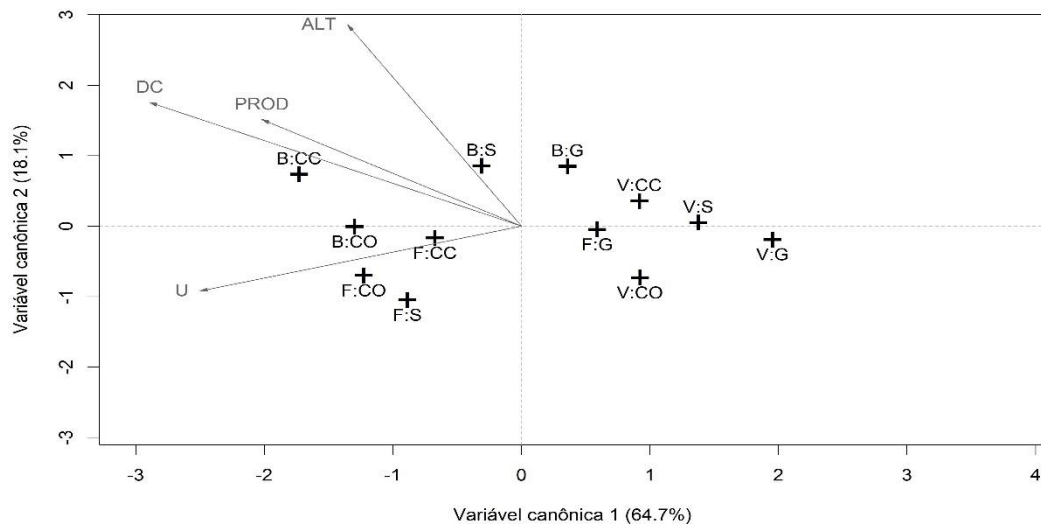
Figura 10 - Dispersão gráfica dos cafeeiros cultivados com diferentes tratamentos obtidos da combinação de três tipos de manejo da cobertura do solo (filme de polietileno (F), braquiária (B) e vegetação espontânea (V)), associados a três condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso (G)) e sem condicionador (S), em relação à primeira (Variável canônica 1) e à segunda (Variável canônica 2), com base nas características de crescimento (altura de plantas (ALT) e diâmetro de caule (DC)), produtividade (PROD) e umidade do solo (U) no mês de março (final do período das chuvas).



Fonte: Da autora (2019).

No período das secas, como também observado no período das chuvas, os manejos com a vegetação espontânea discriminaram-se mais distantes da umidade do solo. Da mesma forma, os manejos, como filme plástico e a braquiária, com exceção de suas associações com o condicionador gesso, foram agrupados próximos a essa variável, assim como discriminadas perto das variáveis altura, diâmetro de caule e produtividade. Nessa perspectiva, o condicionador gesso não foi benéfico ao cafeeiro, sendo discriminado oposto a essas características. As variáveis canônicas 1 e 2 explicam 82,8% das variações (FIGURA 11).

Figura 11 - Dispersão gráfica dos cafeeiros cultivados com diferentes tratamentos obtidos da combinação de três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), filme de polietileno (F) e vegetação espontânea (V)), associados a três condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso (G)) e sem condicionador (S), em relação à primeira (Variável canônica 1) e à segunda (Variável canônica 2), com base nas características de crescimento (altura de plantas (ALT) e diâmetro de caule (DC)), produtividade (PROD) e umidade do solo (U) no mês de julho (final da estação seca).



Fonte: Da autora (2019).

De modo geral, manejos com cobertura de solo proporcionaram maiores umidades em contrapartida àqueles com a vegetação espontânea.

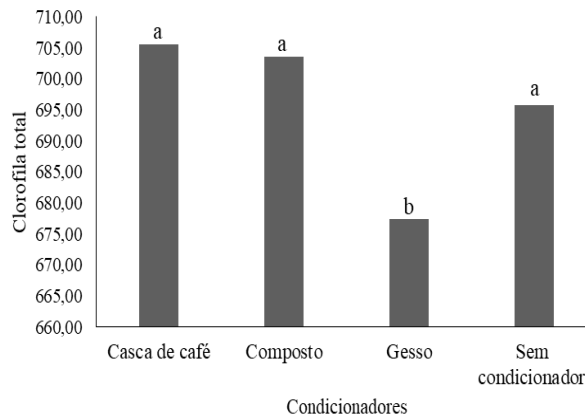
### 4.3 Fisiologia

A clorofila total, no mês de março (período das chuvas), foi significativa para o fator condicionador de solo ( $p < 0,05$ ). Para as demais características fisiológicas em ambas as épocas de estudo, não foram observadas significâncias pelo teste F (TABELAS 6 e 7, APÊNDICE A).

Foram observados maiores teores de clorofila total nas folhas, no período das chuvas, para os condicionadores casca de café (705,55), composto orgânico (703,61) e sem condicionador (695,83), em contraste com o gesso agrícola (677,4) (FIGURA 12).



Figura 12 - Representação gráfica de clorofila total, no mês de julho (final do período seco), em cafeeiros cultivados sob três condicionadores de solo (casca de café, composto orgânico e gesso) e sem condicionador.

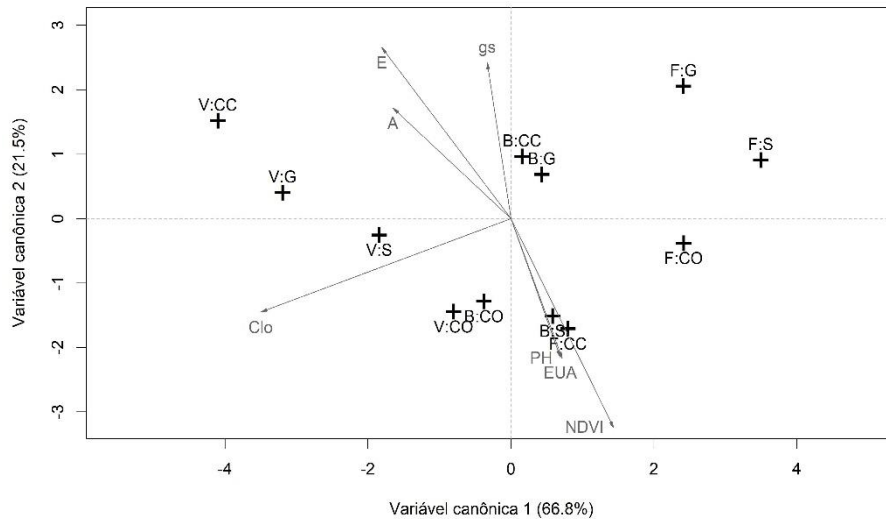


Legenda: Barras seguidas de mesma letra não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Scott-Knott.

Fonte: Da autora (2019).

Para as variáveis fisiológicas, no fim do período das chuvas, a função discriminante 1 é caracterizada pela clorofila, enquanto a função 2 é caracterizada, principalmente, pelo NDVI, condutância estomática e transpiração. O manejo com a vegetação espontânea, para esse referido período, foi discriminado mais próximo às variáveis clorofila, transpiração e fotossíntese. O solo com a vegetação espontânea, com exceção de sua associação com composto orgânico, apresentou maior distância do potencial hídrico e da eficiência do uso da água. Contrariamente à clorofila, foi observado um grupamento para os manejos com filme plástico e braquiária. As variáveis canônicas 1 e 2 explicam 88,3% das variações (FIGURA 13).

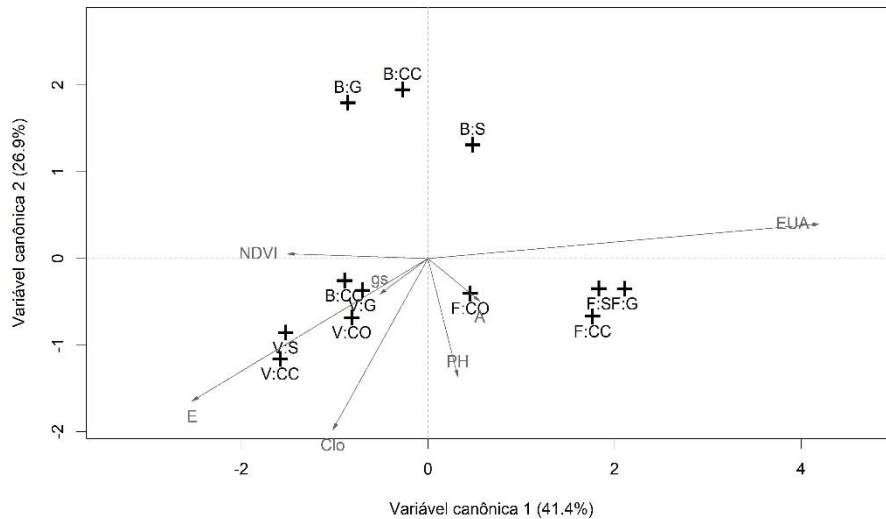
Figura 13 - Dispersão gráfica dos cafeeiros cultivados com diferentes tratamentos obtidos da combinação de três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), filme de polietileno (F) e vegetação espontânea (V)), associados a três condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso (G)) e sem condicionador (S), em relação à primeira (Variável canônica 1) e à segunda (Variável canônica 2)) com base nas características fisiológicas (Fotossíntese (A), condutância estomática (gs) transpiração (E), eficiência do uso da água (EUA), clorofila total (clo) e índice de vegetação (NDVI) no mês de março (final do período das chuvas).



Fonte: Da autora (2019).

No período seco, a função discriminante 1 é caracterizada pela eficiência do uso da água e transpiração, sendo discriminados os manejos com plástico de polietileno mais próximos à eficiência do uso da água, e os manejos com a vegetação espontânea (solo exposto na linha do cafeeiro) opostos à essa variável. Os manejos com a vegetação espontânea foram agrupados próximos à transpiração, condutância estomática e clorofila total, assim como observado no período das águas e contrários aos manejos com polímero e braquiária, com exceção da associação braquiária e composto orgânico. Os manejos com a braquiária foram agrupados distantes da condutância estomática, potencial hídrico e fotossíntese. As variáveis canônicas 1 e 2 explicam 68,3% das variações (FIGURA 14).

Figura 14 - Dispersão gráfica dos cafeeiros cultivados com diferentes tratamentos obtidos da combinação de três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), filme de polietileno (F) e vegetação espontânea (V)), associados a três condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso (G)) e sem condicionador (S), em relação à primeira (Variável canônica 1) e à segunda (Variável canônica 2)), com base nas características fisiológicas (Fotossíntese (A), condutância estomática (gs), transpiração (E), eficiência do uso da água (EUA), clorofila total (clo) e índice de vegetação (NDVI) no mês de julho (final da estação seca).



Fonte: Da autora (2019).

Nesse período, o NDVI foi contrário aos manejos com filme plástico, discriminando a braquiária e o manejo com a vegetação espontânea mais próximos a essa variável, diferentemente do que foi observado no período das águas.

#### 4.4 Atributos químicos das folhas e do solo

Para os atributos do solo pH, K, Ca, Mg, MO e P, foram verificadas diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre os condicionadores de solo. No entanto, para os demais atributos, Al, m e T, não foram observadas diferenças (TABELA 8, APÊNDICE A).

O condicionador que proporcionou maior valor de pH no solo foi o composto orgânico (6,34), que superou os demais, que, por sua vez, não diferiram entre si (5,54, 4,76 e 5,0) (FIGURA 15A).

Já o condicionador que proporcionou maior teor de potássio no solo foi a casca de café ( $443,06 \text{ mg/dm}^3$ ), o que já se esperava em decorrência do teor desse nutriente em sua constituição. Os demais condicionadores não diferiram entre si ( $247,59$ ,  $247,52$  e  $319,9 \text{ mg/dm}^3$ ) (FIGURA 15B).

Ao avaliar o teor de cálcio no solo, observaram-se maiores teores no solo das parcelas que receberam composto orgânico ( $3,98 \text{ cmolc/dm}^3$ ) e gesso ( $3,47 \text{ cmolc/dm}^3$ ), sem diferença significativa entre si. Já os menores teores de cálcio foram constatados no solo das parcelas que receberam casca de café ( $2,41 \text{ cmolc/dm}^3$ ) e daquelas sem condicionador de solo ( $1,96 \text{ cmolc/dm}^3$ ) (FIGURA 15C).

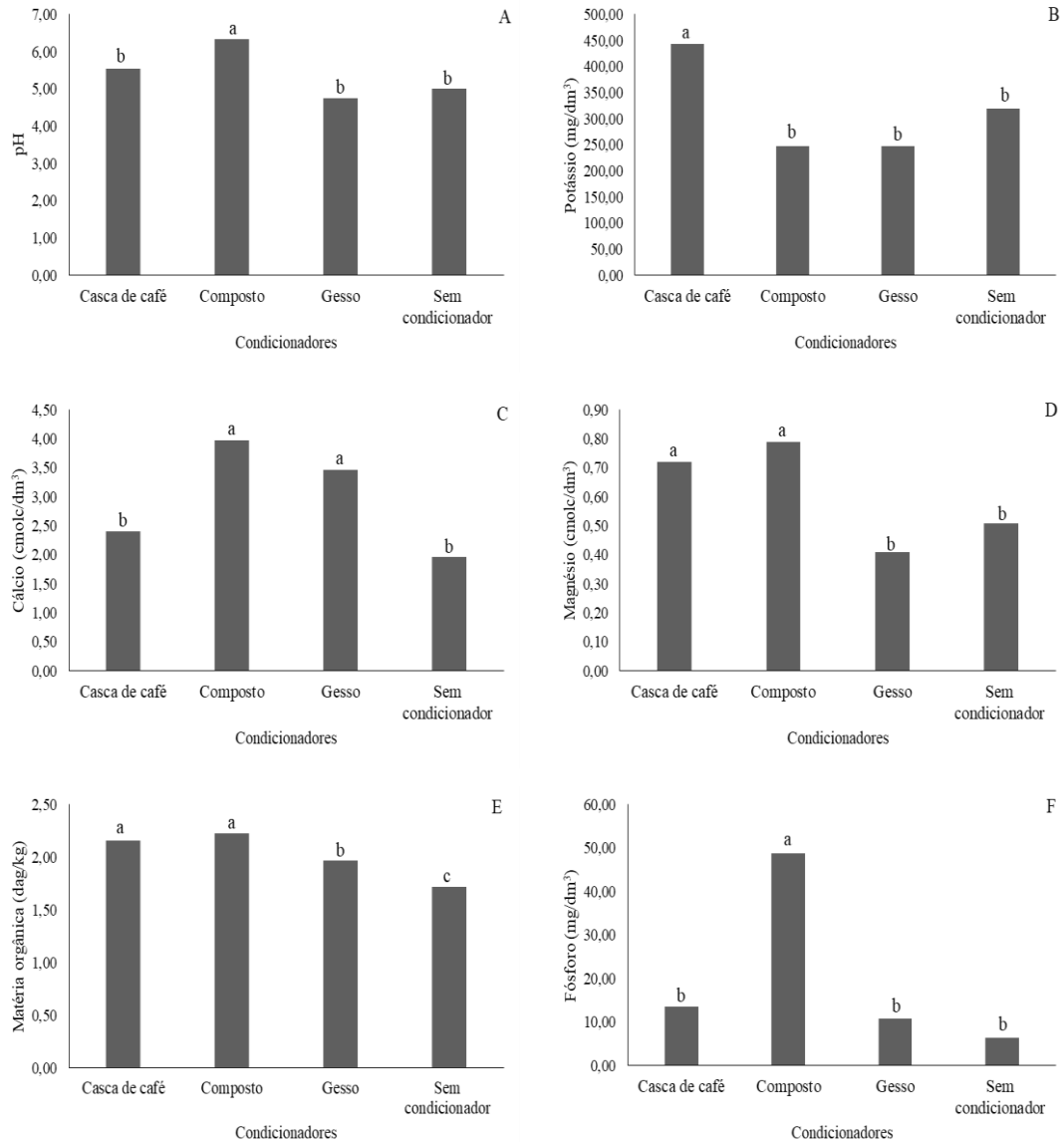
Quando se avaliou o teor de magnésio no solo, encontraram-se maiores valores nos solos das parcelas que receberam condicionadores orgânicos ( $0,72$  e  $0,79 \text{ cmolc/dm}^3$ ), sem diferença significativa entre si. Os menores valores, também sem diferença significativa entre si, foram encontrados nos solos das parcelas com gesso ( $0,41 \text{ cmolc/dm}^3$ ) e das que não receberam condicionador de solo ( $0,51 \text{ cmolc/dm}^3$ ) (FIGURA 15D).

Como era de se esperar, os maiores teores de matéria orgânica foram encontrados nos solos que receberam condicionadores orgânicos (casca de café ( $2,16 \text{ dag/kg}$ ) e composto orgânico ( $2,23 \text{ dag/kg}$ ), sem diferença significativa entre si. Em consequência, os menores teores de matéria orgânica foram encontrados nos solos das parcelas que receberam somente o gesso ( $1,97 \text{ dag/kg}$ ) ou que não receberam condicionador ( $1,72 \text{ dag/kg}$ ) (FIGURA 15E).

Quando se avaliou o teor de fósforo, o solo das parcelas que receberam composto orgânico se destacou com o maior valor atingindo o valor de  $48,75 \text{ mg/dm}^3$ . Já os solos dos demais tratamentos apresentaram valores bem mais baixos de  $13,45$ ,  $10,71$ ,  $6,30 \text{ mg/dm}^3$ , nos tratamentos com casca de café, gesso e ausência de condicionador, respectivamente (FIGURA 15F).

Assim, o condicionador composto orgânico apresentou maior pH e fósforo no solo. Esse condicionador, juntamente com a casca de café, apresentou maior teor de magnésio e de matéria orgânica. Para o último atributo referido, o tratamento sem condicionador apresentou o menor valor observado dentre os condicionadores estudados. O cálcio foi observado, em maiores quantidades, nos manejos com gesso e composto. E, para o potássio no solo, apenas a casca de café apresentou os maiores teores desse nutriente, em comparação aos outros condicionadores (FIGURAS 15 A, B, C, D, E, F).

Figura 15 - Representação gráfica dos atributos do solo: pH (A), potássio (B), cálcio (C), magnésio (D), matéria orgânica (E) e fósforo (F) do solo em cafeeiros cultivados sob três condicionadores de solo (casca de café, composto orgânico e gesso) e sem condicionador.

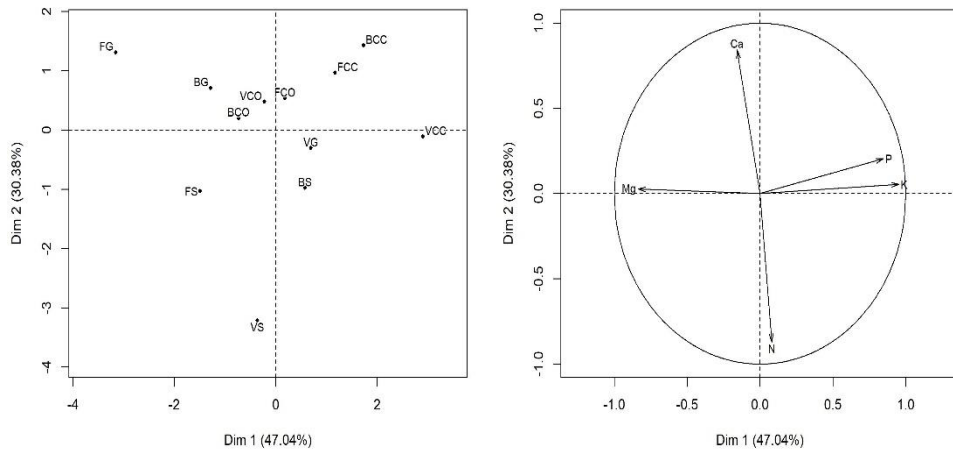


Legenda: Barras seguidas de mesma letra não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Scott-Knott.

Fonte: Da autora (2019).

Os manejos sem condicionador foram discriminados contrários ao cálcio e com maior proximidade ao nitrogênio foliar. Para os manejos com casca de café, formou-se um grupo próximo aos nutrientes fósforo e potássio. Já para os tratamentos com composto orgânico, agruparam-se próximos ao cálcio e ao magnésio e opostos ao nitrogênio foliar. O gesso associado ao filme plástico e à braquiária agrupou-se próximo ao cálcio (FIGURA 16).

Figura 16 - Dispersão gráfica dos cafeeiros cultivados com diferentes tratamentos obtidos da combinação de três tipos de manejo da cobertura do solo: braquiária (B), filme de polietileno (F) e vegetação espontânea (V), associados a três condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso (G)) e sem condicionador (S), em relação à primeira (Variável canônica 1) e à segunda (Variável canônica 2), com base no teor de nutrientes da folha: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg).



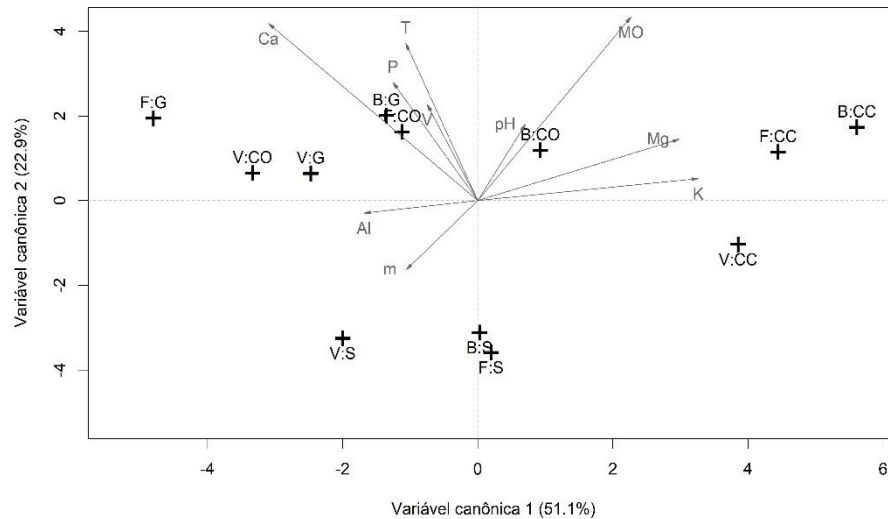
Fonte: Da autora (2019).

Em relação aos atributos do solo, os manejos sem condicionadores foram discriminados próximos aos atributos, teor de alumínio no solo (Al) e saturação por alumínio (m) e opostos à capacidade de troca de cátions (T), cálcio, matéria orgânica do solo, fósforo, magnésio e pH.

De forma contrária, os manejos com condicionadores orgânicos (casca de café e composto) foram agrupados opostos aos atributos Al e m e próximos à MO, com exceção da associação vegetação espontânea com composto.

Os manejos com composto orgânico foram agrupados próximos à CTC potencial, fósforo, saturação por bases e cálcio. O gesso também foi discriminado próximo ao último nutriente referido. A casca de café discriminou-se próxima ao potássio e ao magnésio no solo e oposta ao cálcio. As variáveis canônicas 1 e 2 explicam 74,0% das variações (FIGURA 17).

Figura 17 - Dispersão gráfica dos cafeeiros cultivados com diferentes tratamentos obtidos da combinação de três tipos de manejo da cobertura do solo: braquiária (B), filme de polietileno (F) e vegetação espontânea (V)), associados a três condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso (G)) e sem condicionador (S), em relação à primeira (Variável canônica 1) e à segunda (Variável canônica 2)), com base nos atributos do solo: fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), matéria orgânica (MO), potencial hidrogeniônico (pH), saturação por bases (V), saturação por alumínio (m) e capacidade de troca de cátions (T).



Fonte: Da autora (2019).

Para as análises de folha, não foram observadas correlações significativas entre o nutriente nitrogênio e o NDVI. Contudo o teor de magnésio na folha (0,57), magnésio no solo (0,38) e a matéria orgânica (0,41) no solo apresentaram correlação significativa ( $p < 0,05$ ) positiva com NDVI (TABELA 4).

Tabela 4 - Coeficiente de correlação de Pearson para os atributos químicos: teor de magnésio na folha e no solo, e matéria orgânica, e sua relação com o NDVI.

Variável	Teor de magnésio na folha	Teor de magnésio no solo	MO no solo
		r	R
NDVI	0,57*	0,38*	0,41*

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

## 5 DISCUSSÃO

O perfil médio de NDVI, quanto aos manejos utilizados, indicou resposta das plantas no que diz respeito às variações climáticas. Nesse seguimento, foram observados maiores índices de vegetação dos cafeeiros nos meses, em que se observaram maiores precipitações, acompanhados de temperaturas mínimas mais elevadas, que, neste estudo, compreenderam os meses de novembro a março. Esse comportamento espectral da cultura está intimamente ligado à umidade do solo, porque o vigor da vegetação é influenciado, dentre outros fatores, pela umidade do solo, conforme relatado por Santos et al. (2014). Reynolds et al. (2018), também, observaram a relação do NDVI com o teor de água no solo, assim como o potencial hídrico foliar.

Plantas com boa disponibilidade hídrica possuem melhores condições para seu desenvolvimento, porque, de acordo com Peloso, Tatagiba e Amaral (2017), sob condições de menor disponibilidade hídrica, o crescimento de cafeeiros foi reduzido, sendo observadas menores alturas de plantas e áreas foliares à medida que se diminui a disponibilidade hídrica. Nesse seguimento, o NDVI está relacionado ao índice de área foliar da cultura, conforme relatado por Povh et al. (2008).

Após o período das chuvas, caracterizado por boa disponibilidade hídrica aos cafeeiros, a redução do NDVI, nos meses de abril a agosto, ocorre em decorrência da redução da reflectância no infravermelho, caracterizado por plantas estressadas osmoticamente (GAUSMAN et al., 1969), além disso, essa redução pode estar relacionada à do volume (queda) de folhas ocasionada pela menor precipitação nesse período. Da mesma forma, os autores Volpato et al. (2013) demonstraram correlação negativa entre as medições de NDVI e déficit hídrico, na cultura do café, assim como observada a redução dos valores de NDVI em função do déficit hídrico na cultura da soja (MOTTA; FONTANA; WEBER, 2003). Evidencia-se, assim, a influência do conteúdo de água no vigor das plantas.

Sendo assim, no referido período seco, foram observadas temperaturas mínimas abaixo de 15°C, afetando, dessa forma, o crescimento e o desenvolvimento do cafeeiro, que apresenta seu crescimento lento em virtude das baixas temperaturas. Amaral, Rena e Amaral (2006) observaram diminuição no crescimento vegetativo de cafeeiros correlacionadas com temperaturas mínimas observadas e, possivelmente, os declínios no crescimento observados foram associados às temperaturas baixas, ocorridas esporadicamente, ainda que a média das temperaturas, no período correspondente, fosse adequada ao crescimento. O crescimento reduzido de cafeeiros, nos meses mais frios, foi relatado também por Silva et al. (2004), em



virtude de seus efeitos na fotossíntese das plantas (BARROS et al., 1997), assim como baixas temperaturas mínimas associadas à deficiência hídrica (FERREIRA et al., 2013).

De acordo com Souza (2015), o déficit hídrico afetou o potencial hídrico foliar, a fotossíntese líquida, a condutância estomática, eficiência do uso da água e a taxa de transporte de elétrons e, nesse sentido, após esse período seco, caracterizado por baixa disponibilidade hídrica, o retorno das condições favoráveis à fisiologia e ao crescimento do cafeeiro acarretou em aumentos no NDVI do dossel, sendo observadas alterações visíveis nos meses de setembro e outubro de 2018.

De modo geral, a partir da interação entre coberturas e condicionadores observadas no mês de dezembro, mês que apresentou boa precipitação, foi possível inferir que melhores índices de vegetação são observados, quando se tem presente alguma cobertura de solo, principalmente, se pelo menos uma delas for orgânica.

A associação do filme de polietileno com o composto orgânico apresentou os maiores índices de vegetação dos cafeeiros em dezembro, possivelmente, pelo fato da reaplicação dos condicionadores ter ocorrido nesse mês, em que as condições de umidade, proporcionada pelo filme plástico (GIL et al., 2018), associado ao composto orgânico (ARAÚJO et al., 2004), podem ter propiciado uma decomposição mais acelerada da matéria orgânica nesse manejo, no referido mês. Além disso, a presença da matriz orgânica atua no condicionamento do solo, com melhoria das propriedades biológicas, físicas e químicas (COSTA; SILVA; RIBEIRO, 2013). No presente estudo, o composto orgânico contribuiu para o aumento do pH do solo e fornecimento de fósforo. Nesse cenário, além do fornecimento de nutrientes pela matriz orgânica, o aumento do pH acarretou em aumento da disponibilidade de nutrientes no solo (FREITAS et al., 2016; ROS et al., 2017).

Quando se utilizou a casca de café, não houve diferença entre os cafeeiros dos diferentes manejos do solo utilizados no mês de dezembro. Isso pode ter ocorrido pela barreira física proporcionada por esse condicionador, formando uma camada mais espessa, protegendo o solo. Ademais, a casca de café proporciona aumento nos teores de matéria orgânica, atributo importante na manutenção da umidade do solo. De acordo com Dalchiavon et al. (2014), o teor de MO e a umidade do solo se correlacionam de forma direta. Adicionalmente, a casca de café forneceu nutrientes, como magnésio e, principalmente o potássio, em virtude desse condicionador ser rico nesse nutriente (APENDICE B). O fornecimento de potássio, por meio desse condicionador, também, foi observado por Fernandes et al. (2013a), que observaram maiores produtividades, em cafeeiros tratados com casca de café, sendo atribuídas a esse

resultado as melhorias físicas, físico-químicas, químicas e biológicas, bem como a disponibilidade constante dos nutrientes contidos na matéria orgânica.

Ainda, no mês de dezembro, manejos com a vegetação espontânea apresentaram melhores vigos dos cafeeiros, se presentes a casca de café ou o composto orgânico. Além da manutenção da umidade, mesmo em períodos com boa disponibilidade hídrica, pode-se atribuir esse melhor vigor ao fornecimento de nutrientes pela decomposição do material orgânico no solo (PAVINATO; ROSOLEM, 2008).

O maior vigor observado nas plantas que receberam os referidos condicionadores ocorreu, pois o NDVI é correlacionado à umidade do solo (REYNOLDS et al., 2018) e, além disso, em razão da matéria orgânica proporcionar melhoria às propriedades do solo, sua presença acarreta em melhores condições para o desenvolvimento das plantas. Nesse sentido, o NDVI é influenciado pela biomassa das culturas (SEMBIRING et al., 2000).

Quando se refere às plantas tratadas com o condicionador gesso e, também, sem condicionador de solo, no mês de dezembro, elas apresentam menores vigos, quando associados principalmente com o manejo da vegetação espontânea, evidenciando ser necessária alguma cobertura de solo, para proporcionar melhores condições de seu desenvolvimento, uma vez que, nesse manejo, a faixa ao lado das plantas de café é mantida livre de plantas daninhas e de cobertura vegetal.

O condicionador gesso prejudicou o vigor do cafeeiro, medido por meio do índice de vegetação NDVI. Os menores índices observados nos cafeeiros, no mês de dezembro, com a associação desse condicionador com o manejo da vegetação espontânea, assim como os menores valores observados, para os cafeeiros com o condicionador gesso, nos meses de maio e julho, estão relacionados aos menores teores de clorofila total observados, nas plantas com esse condicionador, em comparação às plantas com composto, casca de café e até mesmo sem condicionador de solo.

O conteúdo de clorofila está associado ao teor de magnésio (FARHAT et al., 2016) e, assim, para o gesso foram encontrados baixos teores desse nutriente no solo, possivelmente, em consequência da lixiviação de  $Mg^{2+}$  promovida pela aplicação excessiva de gesso, visto que ele foi utilizado como condicionador de solo, por isso, sua aplicação foi realizada anualmente na linha de plantio. Da mesma forma, Serafim et al. (2012) observaram que o uso excessivo de gesso pode promover expressiva lixiviação dos nutrientes  $K^+$  e  $Mg^{2+}$  ao longo do perfil do solo. Em consequência dos menores teores de magnésio e menores conteúdos de clorofila, ocorreu menor absorção no vermelho visível (SAMBORSKI; TREMBLAY; FALLON, 2009), resultando em menores índices de vegetação.

A correlação existente entre o nutriente magnésio e o NDVI (0,659) foi observada pelos autores Altunbas et al. (2018) na cultura da alface. Neste estudo, foi verificada correlação do NDVI com o teor de magnésio foliar (0,57\*) e com o teor de Mg no solo (0,38\*). Para os meses de maio e julho, as parcelas tratadas com os condicionadores orgânicos, sejam eles casca de café ou composto, apresentaram maiores teores de magnésio no solo, assim como maiores índices de NDVI, quando comparados às plantas com gesso e à da testemunha, ressaltando essa relação.

O nitrogênio é um nutriente que possui relação com a resposta espectral das plantas, pela sua constituição na clorofila em cafeeiros (REIS et al., 2006). A clorofila apresenta intensa absorção na região do vermelho (LAMB et al., 2002). Santos, Rosalen e Faria (2017) observaram uma correlação positiva entre NDVI e teor de N foliar em braquiária (*Urochloa brizantha*). Entretanto, neste trabalho, não foram observadas relações significativas entre o NDVI e o N foliar no mês de março. Possivelmente, esse fato pode estar associado à translocação do nitrogênio para os frutos e, dessa forma, apresentando menores teores de N foliar no referido mês, nos manejos vigorosos e com alta carga de frutos.

Apesar de não constatada relação do NDVI com o N foliar, o teor de matéria orgânica no solo foi significativo, quanto ao NDVI (0,41\*) do dossel, estando este último intimamente ligado à dinâmica nitrogênio no solo (PULROLNIK et al., 2009).

Outro aspecto importante, para os meses de seca (maio e julho), foi a maior umidade do solo observada nos cafeeiros dos manejos com a utilização dos condicionadores casca de café e o composto, mostrando-se superiores às plantas do tratamento sem condicionador as quais são maiores que as dos manejos com gesso agrícola. Essa maior umidade do solo está associada ao maior teor de MO (DALCHIAVON et al., 2014) no solo, sendo observada nas plantas dos manejos com a utilização de condicionadores orgânicos. Ressalta-se sua importância, principalmente, quando em condições de restrição hídrica (CASTANHEIRA et al., 2019), visto que os referidos meses foram caracterizados por baixas precipitações, sobretudo, no mês de julho, em que foram observadas as menores “temperaturas mínimas” (11,74° C) e “médias” (17,99° C) e menor precipitação (0,2 mm) no período estudado. Assim, esses manejos que visam à utilização de matéria orgânica são considerados estratégias de adaptação às variações climáticas. De acordo com Chemura (2014), a matéria orgânica do solo desempenha papel importante na manutenção da umidade do solo.

O composto orgânico apresentou benefícios ao solo, proporcionando aumento do pH do solo e fornecimento de nutrientes, como fósforo e cálcio, os quais causam maior desenvolvimento radicular das plantas (CARMO et al., 2014; PRADO; NATALE, 2004).

Esses referidos nutrientes desempenham importante papel, também, no crescimento dos cafeeiros, quando submetidos a maiores teores de P (SOUZA et al., 2014), assim como maiores teores de cálcio favoreceram o desenvolvimento do sistema radicular e parte aérea, na cultura do feijão, conforme relatado por Silva et al. (2011). Nesse sentido, com maior sistema radicular e conseqüente maior volume de solo explorado, tem acarretado em maior absorção de água e nutrientes, contribuindo, assim, para reduzir o déficit hídrico (SERAFIM et al., 2013). Contudo os cafeeiros dos manejos com gesso, apesar dos maiores teores de cálcio observados, não proporcionaram maior vigor pelo desequilíbrio proporcionado pela possível lixiviação de Mg e baixos teores dos demais nutrientes no solo.

Para as plantas que receberam a casca de café, os resultados, sobretudo, no período seco (meses de maio e julho), corroboram com Castanheira et al. (2019), visto que esse condicionador pode ser usado para mitigar efeitos da deficiência de água. Ainda, segundo esses autores, a utilização desse condicionador de solo em cafeeiros, proporcionou maior altura de plantas e número de folhas, em condição de restrição hídrica, a 40% da capacidade de campo.

Por outro lado, os cafeeiros dos manejos sem condicionador de solo foram discriminados próximos ao elemento Al e saturação por alumínio na dispersão gráfica dos resultados. Esses atributos reduzem o crescimento radicular das plantas, uma vez que esse elemento afeta o alongamento e a divisão celular e, em tais condições, as plantas não conseguem obter água e nutrientes do subsolo, em virtude do seu enraizamento superficial, tornando-as mais suscetíveis à seca (MIGUEL et al., 2010). De acordo com Konrad et al. (2005), em cafeeiros, a presença de alumínio ocasionou quedas significativas na fotossíntese, em razão da queda na condutância estomática, nas atividades bioquímicas e fotoquímicas, associadas ao efeito tóxico do alumínio. Ressalta-se que a menor disponibilidade desses elementos tóxicos, nas plantas dos manejos com material orgânico, pode ser atribuída à complexação desses elementos com ligantes orgânicos, reduzindo assim sua atividade (NOLLA et al., 2015).

Dessa forma, nos meses de maio e julho, foram observados menores valores de NDVI, nos manejos com o gesso e sem condicionador de solo, quando comparados aos manejos com materiais orgânicos (casca de café e composto orgânico).

Em relação ao manejo da cobertura do solo, no período chuvoso, os manejos com a vegetação espontânea foram discriminados com maior distância, nos gráficos de dispersão da umidade do solo, em relação àqueles com cobertura, situação também observada por Martorano et al. (2009). Esse fato está associado à diminuição da perda de água por

evaporação nos solos cobertos (COSTA; MELO; FERREIRA, 2007). Nesse aspecto, manejos que visam à cobertura dos solos em cafeeiros foram benéficos, apresentando maiores índices de vegetação aos manejos com o filme plástico e à braquiária, por relação entre a umidade do solo e o vigor das plantas (SANTOS et al., 2014).

A utilização de cobertura do solo já é referida por diversos autores, evidenciando a sua capacidade de armazenamento de água (DANTAS et al., 2013; ROCHA et al., 2016), sendo esse fator imprescindível para um bom desenvolvimento das plantas, principalmente, em períodos de déficit hídrico. De acordo com Klar e Jadoski (2002), na cultura do Pimentão, em situações de deficiência hídrica severa, a presença de cobertura de polietileno diminuiu a intensidade das reduções de disponibilidade de água no solo, causando efeito positivo sobre o desenvolvimento do dossel das plantas. Também foi relatado por Dantas et al. (2013), a manutenção da umidade do solo, em manejos com filme de polietileno, na cultura do melão, permitindo assim uma maior absorção de água e nutrientes pelas plantas, em comparação às cultivadas no solo descoberto. Da mesma forma, conforme relatado por Rocha et al. (2014) em café, a associação com a braquiária acarretou em benefícios na capacidade de armazenamento de água no solo.

Nos manejos com a vegetação espontânea, a condição de menor disponibilidade de água acarretou efeitos na fisiologia das plantas, quando comparadas àquelas que possuem coberturas. Araújo et al. (2011) demonstraram que plantas com baixos níveis de umidade no solo têm a absorção de água e a transpiração das plantas afetadas. Resultados semelhantes foram observados neste trabalho, visto que, em cafeeiros com a vegetação espontânea (sem cobertura na linha), mesmo no fim do período das chuvas, a baixa umidade do solo proporcionou aumento da taxa transpiratória e, em decorrência, redução da eficiência do uso da água. Com exceção da associação do manejo com vegetação espontânea com composto orgânico, os outros tratamentos com solo descoberto apresentaram menor potencial hídrico foliar, no período das águas, portanto o menor conteúdo de água na folha refletiu a menor umidade existente no solo (CASTANHEIRA et al., 2019). De forma similar, em vinhedos, os baixos índices de NDVI estavam associados ao baixo conteúdo de água no solo e baixo potencial hídrico na folha (REYNOLDS et al., 2018). Em consequência a essas condições fisiológicas, os solos com a vegetação espontânea tiveram suas plantas com crescimento afetado, no período de maior precipitação, em comparação aos manejos com cobertura.

No período seco, em contraste com a época das chuvas, os cafeeiros cultivados com o filme plástico apresentaram menores índices de vegetação, quando comparados às plantas dos manejos com a braquiária e com a vegetação espontânea. É possível que esse fato esteja

associado a dois fatores: primeiramente, os cafeeiros dos tratamentos com o filme de polietileno estarem distantes do conteúdo de clorofila total, no gráfico de dispersão, no final período seco do ano e, além disso, à menor biomassa do dossel. Também foram relatados pelos autores Santin, Villa e Paulus (2017) menores teores de clorofila, nas plantas manejadas com a utilização da cobertura plástica de cor prata em morangos. Esse menor conteúdo de clorofila encontrado nas plantas deste manejo pode estar associado à maior reflexão da luz solar, em virtude da coloração branca do material, que, sob alta irradiação, pode acarretar em foto-oxidação, processo irreversível que envolve pigmentos receptores de luz, que, por sua vez, ao absorverem muita luz, permanecem excitados produzindo radicais livres, acarretando em sua destruição (TAIZ; ZEIGER, 2013). Mudanças na concentração de clorofila resultam em diferentes respostas da reflectância das plantas (DAUGHTRY et al., 2000), com consequentemente menor absorção na região do vermelho (SAMBORSKI; TREMBLAY; FALLON, 2009).

Além disso, os menores índices encontrados, nas plantas manejadas com o filme plástico no período da seca, também, podem ser atribuídos à intensa desfolha observada nesse manejo no período após a colheita. Embora a produtividade não tenha apresentado diferença significativa, foi observado, no presente estudo, um intenso depauperamento nesse manejo em consequência da colheita, resultando em menores valores do índice de vegetação. Resultados semelhantes foram relatados por Coelho, Rosalen e Faria (2018), ao considerarem a relação da biomassa do dossel com o NDVI.

Também referente ao período seco, a partir do mês de maio, após a colheita, foi observada, na série temporal, uma discrepância no perfil do NDVI, nas plantas manejadas com filme de polietileno associado à aplicação de gesso e, também, naquelas plantas sem condicionador, sendo, em agosto, observados os menores índices de vegetação nos cafeeiros desses manejos. Salienta-se que, em razão de motivos citados anteriormente, para os menores valores das plantas do manejo com filme plástico nesse período, quanto à sua associação sem condicionador orgânico, o dossel dessas plantas desses manejos foi mais prejudicado, nesse período, apresentando menor vigor.

Apesar dos menores índices de vegetação observados, neste período, para as plantas do tratamento com filme plástico, no mês de outubro, o NDVI das plantas se igualam novamente, independentemente do tipo de manejo da cobertura do solo. Destaca-se a importância de verificar a influência desse menor vigor observado, no período de julho a setembro de 2018, à colheita da safra seguinte.

As plantas do manejo com a vegetação espontânea, apesar de serem discriminadas distantes da umidade do solo, no período das secas, apresentaram maior NDVI nesse período, possivelmente, associado aos maiores teores de clorofila, quando comparadas às plantas dos manejos com cobertura de solo. Também esse fato pode estar associado à menor desfolha ocorrida nesse manejo, no período posterior à colheita, com maior biomassa do dossel, refletindo assim em maiores índices de vegetação (POVH et al., 2008).

Contudo, apesar do maior valor de NDVI encontrado nas plantas desse manejo, no período das secas, por maior biomassa e concentração de clorofila, superior às plantas dos demais manejos, a menor umidade do solo, presente nas parcelas com vegetação espontânea (sem cobertura na linha), afetou a fisiologia das plantas, pelas condições ambientais nessa época. Esse período foi caracterizado por baixas precipitações e, ainda assim, os cafeeiros desse manejo foram agrupados próximos à condutância estomática, acarretando em aumento na taxa transpiratória, proporcionando maiores perdas de água (TAIZ; ZEIGER, 2013). Além disso, a maior taxa transpiratória acarretou, em redução na eficiência do uso da água, sendo observada também essa baixa eficiência no período das águas. Peloso et al. (2017) observaram redução da taxa fotossintética de cafeeiro arábica cultivado sob déficit hídrico. Também foi observada queda acentuada na eficiência do uso da água em laranjeiras sob condições de deficiência hídrica (MEDINA; MACHADO; GOMES, 1999).

O desenvolvimento das plantas, ainda, foi afetado, em função da menor umidade do solo e suas alterações metabólicas, sendo observada, nesses manejos, menor altura de plantas, por estarem distantes das referidas variáveis, no gráfico de dispersão, tanto no período das chuvas quanto no período seco. Araújo et al. (2011) relataram a influência negativa proporcionada pelo déficit hídrico em cafeeiros Conilon, em desenvolvimento inicial, acarretando em redução do diâmetro de caule, altura de plantas e da matéria seca da parte aérea e sistema radicular.

Nesse cenário, destaca-se a cobertura do solo com a braquiária, visto que esse manejo proporcionou maiores índices de vegetação tanto na época das águas, quanto na época das secas, sendo observada a manutenção da umidade do solo, com exceção de sua associação com gesso na época seca. Resultados benéficos com esse consórcio também foram observados por Rocha et al. (2014), ao constatarem que o manejo com a braquiária, nas entrelinhas do cafeeiro como planta de cobertura, promoveu, na camada de 0-20 cm, alterações nos atributos físico-hídricos do solo, resultando no aumento na água prontamente disponível do solo. Esses autores concluíram que esse aumento pode ser atribuído à conversão de macroporos em microporos, pela ação agregante do sistema radicular da braquiária.

No período da seca, as plantas submetidas a esse manejo com braquiária foram agrupadas distantes da condutância estomática, transpiração e fotossíntese. A menor condutância estomática reduz a entrada de CO<sub>2</sub> para sítios de carboxilação da Rubisco e conservam H<sub>2</sub>O, o qual é um importante mecanismo de defesa contra maiores perdas de água e, conseqüentemente, da desidratação (TAIZ; ZEIGER, 2013). Salienta-se que o mês de julho foi caracterizado pela menor umidade do ar observada no período de estudo, com praticamente ausência de chuvas. De forma similar, em condições de deficiência hídrica, Tatagiba, Pezzopane e Reis (2015) observaram em eucalipto redução da condutância estomática e conseqüente queda na fotossíntese e transpiração, quando em condições de deficiência hídrica. Cafeeiros sob déficit hídrico apresentaram redução da fotossíntese, que esteve associada a decréscimos na condutância estomática (PELOSO et al., 2017).

Com o uso da braquiária, os tratamentos foram agrupados próximos às variáveis de crescimento, apresentando maior altura e diâmetro de caule. Apesar de as plantas manejadas com o filme de polietileno também estarem agrupadas próximas às variáveis de crescimento, quando comparadas ao das plantas manejadas com a vegetação espontânea, as plantas do tratamento com o filme de polietileno apresentaram considerável queda do NDVI, após a colheita, em virtude do seu depauperamento que ocorreu, possivelmente, pelo fato de as características próprias dos dois manejos, que o filme plástico propiciou proteção superficial do solo na linha de plantio, enquanto o manejo com a braquiária, além da barreira estabelecida superficialmente, na linha pela sua biomassa, ela também teve ação na subsuperfície, no aporte de matéria orgânica e fornecimento de nutrientes. Esses benefícios adicionais da braquiária também acarretaram em um menor depauperamento das plantas.

Portanto a utilização da braquiária se mostra como uma excelente estratégia de manejo, a fim de atenuar os efeitos dos períodos de estresse hídrico em conseqüência da manutenção da umidade do solo e seus benefícios, acarretando assim em cafeeiros com dosséis mais vigorosos.

Evidencia-se, portanto a relação do NDVI com a produtividade das culturas, conforme relatado por diversos autores, nas culturas de amendoim, milho, trigo (BREDEMEIER et al., 2013; VIAN et al., 2018b; ZERBATO et al., 2016) e, também, na cultura do café (ROSA et al., 2010). Neste estudo, a média de NDVI acumulada, no período de novembro de 2017 a abril de 2018, período que antecede a colheita, mostrou-se significativo, em relação à produtividade da cultura do café, apresentando correlação positiva ( $r=40^*$ ) desse período com a produtividade, em virtude de o NDVI captar o enfolhamento das plantas. Dessa forma, plantas mais enfolhadas apresentam maior área fotossintética e, possivelmente, produzirão



mais. Da mesma maneira, também foi observada correlação positiva entre o NDVI e altura de plantas ( $r=0,71^*$ ). De acordo com Jiang et al. (2003), o crescimento das culturas pode ser monitorado pelo NDVI, assim como o rendimento da colheita pode ser previsto com a ajuda desse aparelho. Nesse segmento, dosséis mais vigorosos tentem a apresentar maior potencial de produtividade das culturas.

## 6 CONCLUSÕES

O índice de vegetação NDVI obtido, por meio do sensor Greenseeker, é uma medida de fácil execução, rápida e não destrutiva para verificar o vigor de cafeeiros quanto a estratégias de manejo.

Por captar o enfolhamento das plantas, o NDVI está correlacionado com a produtividade do café e com a altura de plantas.

O manejo com a braquiária na entrelinha, independentemente do condicionador de solo, é uma técnica que está associada ao maior vigor do cafeeiro tanto na época chuvosa quanto na época seca.

O manejo de cafeeiros com condicionadores de solo orgânicos (casca de café e composto) são eficientes, para atenuar estresses hídricos, promovendo a manutenção da umidade do solo no período seco, além de fornecer nutrientes para a cultura do café.

## REFERÊNCIAS

- ALTUNBAS, S. et al. Relationship between spectral reflectance and plant nutrient element-chlorophyll content in lettuce (*Lactuca sativa L.*) growing. **Fresenius Environmental Bulletin**, Basel, v. 27, n. 5A, p. 3624-3632, May 2018.
- ALVES, M. de C.; SILVA, F. M. da. Ferramentas de cafeicultura de precisão. In: SILVA, F. M. da; ALVES, M. de C. **Cafeicultura de precisão**. Lavras: Ed. UFLA, 2013. p. 39-80.
- AMARAL, J. A. T. do; RENA, A. B.; AMARAL, J. F. T. do. Crescimento vegetativo sazonal do cafeeiro e sua relação com fotoperíodo, frutificação, resistência estomática e fotossíntese. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 3, p. 377-384, mar. 2006.
- AMARAL, L. A. et al. Efeito de doses de gesso agrícola na cultura do milho e alterações químicas no solo. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 10, n. 35, p. 31-41, abr. 2017.
- ANDRADE JÚNIOR, V. C. de et al. Emprego de tipos de cobertura de canteiro no cultivo da alface. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 4, p. 899-903, out./dez. 2005.
- ARAÚJO, G. L. et al. Influência do déficit hídrico no desenvolvimento inicial de duas cultivares de café Conilon. **Irriga**, Botucatu, v. 16, n. 2, p. 115-124, abr./jun. 2011.
- ARAÚJO, J. B. S. et al. Composto orgânico e biofertilizante na nutrição do cafeeiro em formação no sistema orgânico: teores foliares. **Coffee Science**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 20-28, jan./jun. 2007.
- ARAÚJO, M. A. et al. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 337-345, mar./abr. 2004.
- ASSAD, E. D. et al. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1057-1064, nov. 2004.
- BARROS, R. S. et al. Decline of vegetative growth in *Coffea arabica L.* in relation to leaf temperature, water potential and stomatal conductance. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 54, n. 1, p. 65-72, Aug. 1997.
- BOTREL, N. et al. Plantio de abacaxizeiro com cobertura de polietileno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 10, p. 1483-1488, out. 1990.
- BRASIL SOBRINHO, M. de O. C. do; MELLO, F. de A. F. de. Influência da cobertura morta sobre a umidade de um solo cultivado com cafeeiro. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, Piracicaba, v. 17, p. 239-246, 1960.
- BREDEMEIER, C. et al. Estimativa do potencial produtivo em trigo utilizando sensor óptico ativo para adubação nitrogenada em taxa variável. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 7, p. 1147-1154, jun. 2013.

BRUM, S. S. **Caracterização e modificação química de resíduos sólidos do beneficiamento do café para produção de novos materiais**. 2007. 138 p. Dissertação (Mestrado em Agrobioquímica) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

BULLUCK, L. R. et al. Organic and synthetic fertility amendments influence soil microbial, physical and chemical properties on organic and conventional farms. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 19, n. 2, p. 147-160, Feb. 2002.

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

CAIRES, E. F.; FELDHAUS, I. C.; BLUM, J. Crescimento radicular e nutrição da cevada em função da calagem e aplicação de gesso. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 3, p. 213-223, 2001.

CÂMARA, M. J. T. et al. Produção e qualidade de melão amarelo influenciado por coberturas do solo e lâminas de irrigação no período chuvoso. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 1, p. 58-63, jan./fev. 2007.

CAMARGO, A. P. de; CAMARGO, M. B. P. de. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 1, p. 65-68, 2001.

CAMARGO, M. B. P. de. The impact of climatic variability and climate change on arabic coffee crop in Brazil. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 1, p. 239-247, 2010.

CAMPAGNOL, R. et al. Impactos do nível de irrigação e da cobertura do solo na cultura do tomateiro. **Irriga**, Botucatu, v. 19, n. 3, p. 345-357, jul./set. 2014.

CAMPOS, B. C. et al. Dinâmica da agregação induzida pelo uso de plantas de inverno para cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 383-391, abr./jun. 1999.

CARDUCCI, C. E. et al. Gypsum effects on the spatial distribution of coffee roots and the pores system in oxidic Brazilian Latosol. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 145, p. 171-180, Jan. 2014.

CARMO, D. L. do et al. Crescimento de mudas de cafeeiro recém-plantadas: efeito de fontes e doses de fósforo. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 2, p. 196-206, abr./jun. 2014.

CASTANHEIRA, D. T. et al. Técnicas agronômicas para mitigação dos efeitos da restrição hídrica em cafeeiros. **Coffee Science**, Lavras, v. 14, n. 1, p. 104-115, jan./mar. 2019.

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**, Amsterdam, v. 3, n. 2, p. 59, June 2014.

CLARK, M. S. et al. Changes in soil chemical properties resulting from organic and low-input farming practices. **Agronomy Journal**, Madison, v. 90, n. 5, p. 662-671, Sept. 1998.

COELHO, A. P.; ROSALEN, D. L.; FARIA, R. T. de. Vegetation indices in the prediction of biomass and grain yield of white oat under irrigation levels. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 48, n. 2, p. 109-117, abr./jun. 2018.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Observatório agrícola. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Café**, Brasília, v. 5, n. 1, p. 1-62, jan. 2019.

COSTA, D. M. A. da; MELO, H. N. de S.; FERREIRA, S. R. Eficiência da cobertura morta na retenção de umidade no solo. **Holos**, Natal, n. 3, p. 59-69, maio 2007.

COSTA, E. M. da; SILVA, H. F.; RIBEIRO, P. R. de A. Matéria orgânica do solo e o seu papel na manutenção e produtividade dos sistemas agrícolas. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n. 17, p. 1842-1860, 2013.

DALCHIAVON, F. C. et al. Inter-relações da produtividade de cana soca com a resistência à penetração, umidade e matéria orgânica do solo. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, n.2, p. 255-264, mar./abr. 2014.

DAMATTA, F. M. Drought as a multidimensional stress affecting photosynthesis in tropical tree crops. In: HEMANTARANJAN, A (Ed.). **Advances in plant physiology**. Jodhpur: Scientific Publishers, 2003. v. 5, p. 227-265.

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**, Londrina, v. 18, n. 1, p. 55-81, jan./mar. 2006.

DANTAS, D. da C.; MEDEIROS, J. F.; FREIRE, A. G. Produção e qualidade do meloeiro cultivado com filmes plásticos em respostas à lâmina de irrigação. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 42, n. 3, p. 652-661, jul./set. 2011.

DANTAS, M. S. et al. Rendimento e qualidade de melancia cultivada sob proteção de agrotêxtil combinado com mulching plástico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 8, p. 824-829, ago. 2013.

DAUGHTRY, C. S. T. et al. Estimating corn leaf chlorophyll concentration from leaf and canopy reflectance. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 74, n. 2, p. 229-239, Nov. 2000.

DORIGO, W. A. et al. A review on reflective remote sensing and data assimilation techniques for enhanced agroecosystem modeling. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, Enschede, v. 9, n. 2, p. 165-193, May 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2017. 575 p.

\_\_\_\_\_. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212 p.

\_\_\_\_\_. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353 p.

EVANGELISTA, A. W. P.; CARVALHO, L. G. de; SEDIYAMA, G. C. Zoneamento climático o climático associado ao potencial produtivo da cultura do café no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 3, p. 445-452, set./dez. 2002.

FAHL, J. I. et al. Desenvolvimento e aplicação de metodologia para estimativa da produtividade do cafeeiro, utilizando as características fenológicas determinantes do crescimento e produção. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 31., 2005, Guarapari. **Anais...** Guarapari: MAPA/PROCAFÉ, 2005. p. 339-341.

FARHAT, N. et al. Effects of magnesium deficiency on photosynthesis and carbohydrate partitioning. **Acta Physiologiae Plantarum**, Warszawa, v. 38, n. 6, p. 145, June 2016.

FERNANDES, A. L. T. de et al. Adubação orgânica do cafeeiro, com uso do esterco de galinha, em substituição à adubação mineral. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 4, p. 486-499, out./dez. 2013a.

\_\_\_\_\_. Redução da adubação mineral do cafeeiro arábica com a utilização de palha de café. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 3, p. 324-336, jul./set. 2013b.

FERRÃO, R. G. et al. EMCAPA 8141- Robustão capixaba, variedade clonal de café conilon tolerante à seca, desenvolvida para o estado do Espírito Santo. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 47, n. 273, p. 555-559, 2000.

FERREIRA, E. P. de B. et al. Vegetative growth of *Coffea arabica* L. as affected by irrigation and climatic conditions of the Cerrado of Goiás State. **Semina: ciências agrárias**, Londrina, v. 34, n. 6, p. 3235-3244, 2013. Suplemento 1.

FIALHO, C. M. T. et al. Teor foliar de nutrientes em plantas daninhas e de café cultivadas em competição. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 65-73, jan./mar. 2012.

FIALHO, G. S. et al. Comportamento de plantas de café arábica submetidas a déficit hídrico durante o desenvolvimento inicial. **Idesia**, Arica, v. 28, n. 3, p. 35-39, Dic. 2010.

FIDALSKI, J.; CHAVES, J. C. D. Response of Iapar-59 coffee (*Coffea arabica* L.) to surface application of organic residues in a Typic Haplorthox. **Coffee Science**, Lavras, v. 5, n. 1, p. 75-86, jan./abr. 2010.

FREITAS, G. A. de et al. Resíduo orgânico bovino enriquecido com fontes de cálcio como corretivo da acidez do solo. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 8, n. 3, p. 1-11, set./dez. 2015.

FRIENDLY, M.; FOX, J. **Candisc**: visualizing generalized canonical discriminant and canonical correlation analysis. R package version 0.8-0. [S.l.: s.n.], 2017. Disponível em: <<https://CRAN.R-project.org/package=candisc>>. Acesso em: 15 mar. 2019.

GASPARIM, E. et al. Temperatura no perfil do solo utilizando duas densidades de cobertura e solo nu. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, Maringá, v. 27, n. 1, p. 107-115, jan./mar. 2005.

GAUSMAN, H. W. et al. Reflectance and internal structure of cotton leaves, *Gossypium hirsutum* L. **Agronomy Journal**, Madison, v. 61, n. 3, p. 374-376, May 1969.

GIL, P. M. et al. Partial root-zone drying irrigation, shading, or mulching effects on water savings, productivity and quality of 'Syrah' grapevines. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 240, p. 478-483, Oct. 2018.

GOVAERTS, B.; VERHULST, N. **The normalized difference vegetation index (NDVI) Greenseeker (TM) handheld sensor: toward the integrated evaluation of crop management part A: concepts and case studies**. Mexico: CIMMYT, 2010. 12 p.

GUIMARÃES, G. P. et al. Soil aggregation and organic carbon of Oxisols under coffee in agroforestry systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 1, p. 278-287, jan./fev. 2014.

GUIMARÃES, P. T. G. et al. Cafeeiro. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVARES, V. H. (Ed). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: Ed. UFV, 1999. p. 289-302.

GUPTA, S. C.; DOWDY, R. H.; LARSON, W. E. Hydraulic and thermal properties of a sandy soil as influenced by incorporation of sewage sludge 1. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 41, n. 3, p. 601-605, Jan. 1977.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate change 2014: impacts, adaptation and vulnerability**. Geneva: IPCC, 2014. 44 p.

JENSEN, J. R. Remote sensing of vegetation. In: JENSEN, J. R. **Remote sensing of the environment: an earth resource perspective**. Pearson Higher Education, 2014. cap. 11, 336 p.

JIANG, D. et al. Study on the interaction between NDVI profile and the growing status of crops. **Chinese Geographical Science**, Beijing, v. 13, n. 1, p. 62-65, Mar. 2003.

JUNGES, A. H. et al. Normalized difference vegetation index obtained by ground-based remote sensing to characterize vine cycle in Rio Grande do Sul, Brazil. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 41, n. 5, p. 543-553, set./out. 2017.

KHALEEL, R.; REDDY, K. R.; OVERCASH, M. R. Changes in soil physical properties due to organic waste applications: a review. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 10, n. 2, p. 133-141, Apr. 1981.

KIM, Y. et al. Hyperspectral image analysis for water stress detection of apple trees. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 77, n. 2, p. 155-160, July 2011.

KLAR, A. E.; JADOSKI, S. O. Efeitos da irrigação e da cobertura do solo por polietileno preto sobre as características morfológicas do pimentão. **Irriga**, Botucatu, v. 7, n. 3, p. p. 154-167, set./dez. 2002.

\_\_\_\_\_. Irrigation and mulching management for sweet pepper crop in protected environment. **Irriga**, Botucatu, v. 9, n. 3, p. 217-224, set./dez. 2004.

KONRAD, M. L. F. et al. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em seis cultivares de cafeeiro sob estresse de alumínio. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 3, p. 339-347, 2005.

LAMB, D. W. et al. Estimating leaf nitrogen concentration in ryegrass (*Lolium* spp.) pasture using the chlorophyll red-edge: theoretical modeling and experimental observations. **International Journal of Remote Sensing**, Basingstoke, v. 23, n. 18, p. 3619-3648, Sept. 2002.

LAMBERT, R. A. et al. Mulching é uma opção para o aumento de produtividade da melancia. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 4, n. 1, p. 53-57, jan./mar. 2017.

LI, R. et al. Effects on soil temperature, moisture, and maize yield of cultivation with ridge and furrow mulching in the rainfed area of the Loess Plateau, China. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 116, p. 101-109, Jan. 2013.

LIU, S. et al. Spectral responses to plant available soil moisture in a Californian grassland. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, Enschede, v. 19, p. 31-44, Oct. 2012.

LOPES, W. de A. R. et al. Análise do crescimento de tomate ‘SM-16’ cultivado sob diferentes coberturas de solo. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 4, p. 554-561, out./dez. 2011.

MA, B. L. et al. Early prediction of soybean yield from canopy reflectance measurements. **Agronomy Journal**, Madison, v. 93, n. 6, p. 1227-1234, Nov. 2001.

MALAVOLTA, E., VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafós, 1997. 319 p.

MARQUES, E. S., FAQUIN, V.; GUIMARÃES, P. T. G. Teores foliares de nutrientes no cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em resposta a calcário e gesso. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 23, n. 1, p. 140-151, jan./mar. 1999.

MARTINS, E. et al. Influência das condições climáticas na produtividade e qualidade do cafeeiro produzido na região do Sul de Minas Gerai. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 4, p. 499-506, out./dez. 2015.

MARTORANO, L. G. et al. Indicadores da condição hídrica do solo com soja em plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 4, p. 397-405, jul./ago. 2009.

MATIELLO, J. B. et al. **Cultura de café no Brasil: manual de recomendações**. Rio de Janeiro: SARC/Procafé, 2010. 548 p.

MAY, D. et al. Efeito de extratos de casca de café (*Coffea arabica* L.) na germinação e crescimento de pepino (*Cucumis sativus* L.). **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 9, n. 2, p. 180-186, abr./jun. 2011.

MEDINA, C. L.; MACHADO, E. C.; GOMES, M. de M. de A. Condutância estomática, transpiração e fotossíntese em laranjeira ‘Valência’ sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 11, n. 1, p. 29-34, jan. 1999.



MIGUEL, P. S. B. et al. Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento das plantas: mecanismos de tolerância, sintomas, efeitos fisiológicos, bioquímicos e controles genéticos. **Ces Revista**, Juiz de Fora, v. 24, n. 1, p. 13-29, 2010.

MOLIN, J. P. et al. Capacidade de um sensor ótico em quantificar a resposta da cana-de-açúcar a doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 12, p. 1345-1349, 2010.

MONTEIRO, R. O. C. et al. Aspectos produtivos e de qualidade do melão sob gotejo subterrâneo e “mulching” plástico. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 29, n. 4, p. 453-457, 2007.

MOTTA, J. L. G.; FONTANA, D. C.; WEBER, E. Evolução temporal do NDVI/NOAA em áreas cobertas por pixels com proporções variáveis de soja. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 353-369, 2003.

NEGREIROS, M. Z. de et al. Rendimento e qualidade do melão sob lâminas de irrigação e cobertura do solo com filmes de polietileno de diferentes cores. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 3, p. 773-779, jul./set. 2005.

NOLLA, A. et al. Disponibilidade de nutrientes e fitotoxidez de alumínio: influência da complexação por ligantes na solução do solo. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v. 4, nesp., p. 1-16, 2015.

OLIVEIRA, F. N. S.; LIMA, H. J. M.; CAJAZEIRA, J. P. **Uso da compostagem em sistemas agrícolas orgânicos**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2004. 20 p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Documentos, 89).

PAES, J. M. V. et al. Decomposição da palha de café em três tipos de solo e sua influência sobre a CTC e o pH. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 43, n. 249, p. 674-683, 1996.

PAIVA, C. M. et al. Análise dos efeitos do déficit hídrico na resposta temporal do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) no Estado do Amazonas. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 38, n. 2, p. 1064-1076, 2016.

PANDEY, A. et al. Biotechnological potential of coffee pulp and coffee husk for bioprocesses. **Biochemical Engineering Journal**, Amsterdam, v. 6, n. 2, p. 153-162, Oct. 2000.

PARTELLI, F. L. et al. Aspectos fitossociológicos e manejo de plantas espontâneas utilizando espécies de cobertura em cafeeiro Conilon orgânico. **Semina: ciências agrárias**, Londrina, v. 31, n. 3, p. 605-618, jul./set. 2010.

PAULETTI, V. et al. Efeitos em longo prazo da aplicação de gesso e calcário no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 2, p. 495-505, mar./abr. 2014.

- PAVAN, M. A. et al. Manejo da cobertura do solo para formação e produção de uma lavoura cafeeira. I. Influência na fertilidade do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 2, p. 187-192, fev. 1986.
- PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T. Toxidez de alumínio em cafeeiros cultivados em solução nutritiva. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 17, n. 9, p. 1293-1302, set. 1982.
- PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo: decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 911-920, maio/jun. 2008.
- PEDROSA, A. W. et al. Resíduo de Brachiaria fertilizada com nitrogênio na adubação do cafeeiro. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 3, p. 366-373, jul./set. 2014.
- PELOSO, A. F. de et al. Limitações fotossintéticas em folhas de cafeeiro arábica promovidas pelo déficit hídrico. **Coffee Science**, Lavras, v. 12, n. 3, p. 389-399, jul./set. 2017.
- 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**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 139-147, 2017.
- PIAS, O. H. de C. et al. Nitrogênio no solo e no tecido foliar do feijoeiro em função da adubação nitrogenada. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 6, n. 4, p. 13-27, 2017.
- POVH, F. P. et al. Comportamento do NDVI obtido por sensor ótico ativo em cereais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 8, p. 1075-1083, ago. 2008.
- POZZA, A. A. A. et al. Influência da nutrição mineral na intensidade da mancha-de-olho-pardo em mudas de cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 1, p. 53-60, jan. 2001.
- PRADO, R. de M.; NATALE, W. Calagem na nutrição de cálcio e no desenvolvimento do sistema radicular da goiabeira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 10, p. 1007-1012, out. 2004.
- PULROLNIK, K. et al. Estoques de carbono e nitrogênio em frações lábeis e estáveis da matéria orgânica de solos sob eucalipto, pastagem e cerrado no Vale do Jequitinhonha-MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 5, p. 1125-1136, set./out. 2009.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2017. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 10 ago. 2017.
- RAGASSI, C. F.; PEDROSA, A. W.; FAVARIN, J. L. Aspectos positivos e riscos no consórcio cafeeiro e braquiária. **Visão Agrícola**, Piracicaba, n. 12, p. 29-32, jan./jul. 2013.
- RAMOS, B. Z. et al. 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**, Viçosa, v. 37, n. 4, p. 1018-1026, jul./ago. 2013.

REGHIN, M. Y. et al. Produção de alface utilizando cobertura do solo e proteção das plantas. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 3, n. 1/2, p. 69-77, 2002.

REIS, A. R. dos et al. Diagnóstico da exigência do cafeeiro em nitrogênio pela utilização do medidor portátil de clorofila. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 1, p. 163-171, 2006.

RESENDE, F. V. et al. Uso de cobertura morta vegetal no controle da umidade e temperatura do solo, na incidência de plantas invasoras e na produção da cenoura em cultivo de verão. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 1, p. 100-105, jan./fev. 2005.

REYNOLDS, A. G. et al. Mapping Cabernet Franc vineyards by unmanned aerial vehicles (UAVs) for variability in vegetation indices, water status, and virus titer. In: E3S WEB OF CONFERENCES, 50.; CONGRESSO INTERNACIONAL TERROIR, 12., 2018, Zaragoza. **Proceedings...** Zaragoza: [s.n.], 2018.

REZNICK, J. P. K. **Produtividade, qualidade industrial e nutricional na cultura do trigo**. 2017. 64 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2017.

ROCHA, O. C. et al. Chemical and hydrophysical attributes of an Oxisol under coffee intercropped with brachiaria in the Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1476-1483, set. 2016.

\_\_\_\_\_. Qualidade físico-hídrica de um latossolo sob irrigação e braquiária em lavoura de café no cerrado. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 4, p. 516-526, out./dez. 2014.

RODRIGUES, R. R. et al. Crescimento inicial do cafeeiro conilon sob déficit hídrico no solo. **Coffee Science**, Lavras, v. 11, n. 1, p. 33-38, jan./mar. 2016.

ROS, C. O. da et al. Disponibilidade de nutrientes e acidez do solo após aplicações sucessivas de água residuária de suinocultura. **Revista Brasileira de Tecnologia Agropecuária**, Frederico Westphalen, v. 1, n. 1, p. 35-44, jul. 2017.

ROSA, V. G. C. de et al. Estimativa da produtividade de café com base em um modelo agrometeorológico-espectral. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 12, p. 1478-1488, dez. 2010.

ROUSE, J.W. et al. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM, 3., Washington, D.C., 1973. **Proceedings...** Washington, D.C.: NASA, 1973. v. 1, p. 309-317.

SAMBORSKI, S. M.; TREMBLAY, N.; FALLON, E. Strategies to make use of plant sensors-based diagnostic information for nitrogen recommendations. **Agronomy Journal**, Madison, v. 101, n. 4, p. 800-816, July 2009.

SANTIN, A.; VILLA, F.; PAULUS, D. Chlorophyll content in plants and fruit yield of strawberry plants grown on mulching. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lajes, v. 16, n. 3, p. 262-268, 2017.

- SANTOS, C. C. dos; BELLINGIERI, P. A.; FREITAS, J. C. de. Efeito da aplicação de compostos orgânicos de cama de frango nas propriedades químicas de um Latossolo Vermelho Escuro cultivado com sogro granífero [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. **Científica**, Jaboticabal, v. 32, n. 2, p. 134-140, 2008.
- SANTOS, G. O.; ROSALEN, D. L.; FARIA, R. T. de. Use of active optical sensor in the characteristics analysis of the fertigated brachiaria with treated sewage. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 37, n. 6, p. 1213-1221, nov./dez. 2017.
- SANTOS, I. S. et al. Economia de água na irrigação do coqueiro em função de áreas de maior concentração do sistema radicular e cobertura do solo. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 3, n. 3, p. 105-113, 2008.
- SANTOS, J. C. F. et al. Influência alelopática das coberturas mortas de casca de café (*Coffea arabica* L.) e casca de arroz (*Oryza sativa* L.) sobre o controle do caruru-de-mancha (*Amaranthus viridis* L.) em lavoura de café. **Ciencia e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 5, p. 1105-1118, set./out. 2001.
- SANTOS, W. J. R. et al. Soil moisture in the root zone and its relation to plant vigor assessed by remote sensing at management scale. **Geoderma**, Amsterdam, v. 221/222, p. 91-95, June 2014.
- SEDIYAMA, G. C. et al. Zoneamento agroclimático do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) para o Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p. 501-509, 2001.
- SEMBIRING, H. et al. Effect of growth stage and variety on spectral radiance in winter wheat. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 23, n. 1, p. 141-149, Nov. 2000.
- SERAFIM, M. E. et al. Alterações físico-químicas e movimentação de íons em Latossolo gibbsítico sob doses de gesso. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 1, p. 75-81, 2012.
- \_\_\_\_\_. Disponibilidade hídrica e distinção de ambientes para cultivo de cafeeiros. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 4, p. 362-370, abr. 2013.
- \_\_\_\_\_. Sistema conservacionista e de manejo intensivo do solo no cultivo de cafeeiros na região do Alto São Francisco, MG: estudo de caso. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 6, p. 964-977, nov./dez. 2011.
- SERRANO, L. A. L.; SILVA, V. M. da; FORMENTINI, E. A. Uso de compostos orgânicos no plantio do cafeeiro conilon. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n. 1, p. 100-107, jan./fev. 2011.
- SERRANO, L.; FILELLA, I.; PEÑUELAS, J. Remote sensing of biomass and yield of winter wheat under different nitrogen supplies. **Crop Science**, Madison, v. 40, n. 3, p. 723-731, May 2000.
- SILVA, E. A. et al. Seasonal changes in vegetative growth and photosynthesis of Arabica coffee trees. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 89, n. 2/3, p. 349-357, Oct. 2004.

SILVA, S. D. A., MORAES, W. B., & SOUZA, G. S. D. Doses de cálcio no crescimento do feijoeiro cultivado em solução nutritiva, na presença de alumínio. **Idesia**, Arica, v. 29, n. 3, p. 53-58, Dic. 2011.

SILVA, V. M. da et al. Atributos químicos do solo em sistemas de adubação orgânica de conilon. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 4, p. 469-477, out./dez. 2014.

SOUZA, D. M. G. de; LOBATO, E.; REIN, T. A. **Uso do gesso agrícola nos solos do cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2005. 19 p. (Embrapa Cerrados. Circular Técnica, 32).

SOUZA, A. de L. et al. Desenvolvimento inicial de duas variedades de alface em função de dois tipos de substratos e cobertura do solo. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, Tupã, v. 10, n. 3, p. 316-326, 2016.

SOUZA, A. J. J. et al. Doses de fósforo no desenvolvimento inicial de cafeeiros em solos com diferentes texturas. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 2, p. 284-288, abr./jun. 2014.

SOUZA, B. P. de. **Aspectos fisiológicos e moleculares da absorção e metabolismo do nitrogênio e do déficit hídrico em café arábica**. 2015. 78 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.

SOUZA, E. G. et al. Índices de vegetação no milho em função da hora do dia e da taxa de nitrogênio aplicada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, p. 865-872, 2009. Suplemento.

SOUZA, L. S. et al. Efeitos das faixas de controle do capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*) no desenvolvimento inicial e na produtividade do cafeeiro (*Coffea arabica*). **Planta Daninha**, Viçosa, v. 24, n. 4, p. 715-720, out./dez. 2006.

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

TATAGIBA, S. D.; PEZZOPANE, J. E. M.; REIS, E. F. Fotossíntese em *Eucalyptus* sob diferentes condições edafoclimáticas. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 23, n. 4, p. 336-345, ago. 2015.

TEIXEIRA, R. F. F. Compostagem. In: HAMMES, V. S. (Org.). **Educação ambiental para o desenvolvimento sustentável**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. v. 5, p. 120-123.

THOMAS, J. R. et al. Estimating leaf water content by reflectance measurements. **Agronomy Journal**, Madison, v. 63, n. 6, p. 845-847, Nov. 1971.

VAN RAIJ, B. **Gesso na agricultura**. Campinas: IAC, 2008. 233 p.

VIAN, A. L. et al. Limites críticos de NDVI para estimativa do potencial produtivo do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 17, n. 1, p. 91-100, 2018b.

\_\_\_\_\_. Nitrogen management in wheat based on the normalized difference vegetation index (NDVI). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 48, n. 9, p. 1-9, 2018a.

VOLPATO, M. M. L. et al. Imagens do sensor modis para monitoramento agrometeorológico de áreas cafeeiras. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 2, p. 176-182, abr./jun. 2013.

WÓJTOWICZ, M.; WÓJTOWICZ, A.; PIEKARCZYK, J. Application of remote sensing methods in agriculture. **Communications in Biometry and Crop Science**, Warsaw, v. 11, n. 1, p. 31-50, 2016.

ZANDONÁ, R. R. et al. Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito do déficit hídrico em milho e soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 45, n. 2, p. 128-137, abr./jun. 2015.

ZERBATO, C. et al. Agronomic characteristics associated with the normalized difference vegetation index (NDVI) in the peanut crop. **Australian Journal of Crop Science**, Lismore, v. 10, n. 5, p. 758-764, May 2016.

ZHOU, G.; YIN, X. Assessing nitrogen nutritional status, biomass and yield of cotton with ndvi, spad and petiole sap nitrate concentration. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 54, n. 4, p. 531-548, Aug. 2018.

## APÊNDICE A - TABELAS

Tabela 1 - Resumo da análise de variância, para a variável Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), referente aos meses de novembro (nov), dezembro (dez), janeiro (jan), fevereiro (fev), março (mar) e abril (abr), em função do manejo de cobertura de solo (M) e condicionadores (C).

FV	GL	Quadrados médios					
		nov	dez	jan	fev	mar	abr
M	2	0.0029	0.0032 *	0.0004	0.0004	0.0008 *	0.0003
Bloco	2	0.0053	0.0023	0.0016	0.0007	0.0005	0.0049
Erro a	4	0.0016	0.0001	0.0001	0.0002	0.0000	0.0006
C	3	0.0036	0.0014 *	0.0001	0.0001	0.0006	0.0008
Erro b	6	0.0024	0.0002	0.0004	0.0001	0.0002	0.0002
M x C	6	0.0012	0.0009 *	0.0004	0.0001	0.0003	0.0006
Erro c	12	0.0013	0.0002	0.0006	0.0002	0.0001	0.0006

\* Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

Tabela 2 - Resumo da análise de variância, para a variável Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), referente aos meses de maio (maio), junho (jun), julho (jul), agosto (ago), setembro (set) e outubro (out), em função do manejo de cobertura de solo (M) e condicionadores (C).

FV	GL	Quadrados médios					
		maio	jun	jul	ago	set	out
M	2	0.0010	0.0020	0.0113 *	0.0152 *	0.0064 *	0.0001
Bloco	2	0.0140	0.0099	0.0233	0.0088	0.0097	0.0010
Erro a	4	0.0022	0.0007	0.0011	0.0016	0.0003	0.0003
C	3	0.0026 *	0.0018	0.0061 *	0.0044	0.0039	0.0002
Erro b	6	0.0003	0.0005	0.0013	0.0021	0.0010	0.0001
M x C	6	0.0004	0.0008	0.0021	0.0012	0.0015	0.0003
Erro c	12	0.0005	0.0008	0.0024	0.0005	0.0014	0.0001

\* Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

Tabela 3 - Resumo da análise de variância, para as variáveis altura de plantas (cm), diâmetro de caule (mm) e umidade do solo, em função do manejo de cobertura de solo (M) e condicionadores (C), no mês de março (final do período das chuvas).

FV	GL	Quadrados médios		
		Altura	Diâmetro	Umidade
M	2	0.0838*	178.9181*	21.8597
Bloco	2	0.1216	127.4968	2.0795
Erro a	4	0.0077	19.3127	10.4875
C	3	0.0088	95.6507	36.5026
Erro b	6	0.0115	23.4606	11.0562
M x C	6	0.0029	29.6180	7,2731
Erro c	12	0.0110	25.8110	9.8289

\* Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

Tabela 4 - Resumo da análise de variância, para as variáveis altura de plantas (cm), diâmetro de caule (mm) e umidade do solo, em função do manejo de cobertura de solo (M) e condicionadores (C), no mês de julho (final do período seco).

FV	GL	Quadrados médios		
		Altura	Diâmetro	Umidade
M	2	0.0322	115.8809*	9.8154
Bloco	2	0.1655	131.3906	4.6456
Erro a	4	0.0104	14.9187	3.7725
C	3	0.0132	25.7423	9.5063*
Erro b	6	0.0081	8.9475	0.8664
M x C	6	0.0035	4.6772	1.4061
Erro c	12	0.0133	12.0312	2.7130

\* Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

Tabela 5 - Resumo da análise de variância, para a variável produtividade (sc/ha), em função do manejo de cobertura de solo (M) e condicionadores (C).

FV	GL	Quadrados médios
		Produtividade
M	2	1368.9233
Bloco	2	1127.8908
Erro a	4	622.7504
C	3	253.9417
Erro b	6	122.1889
M x C	6	181.4348
Erro c	12	389.3307

\* Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade

Tabela 6 - Resumo da análise de variância, para as variáveis fisiológicas fotossíntese (A), condutância estomática (gs), transpiração (T), eficiência do uso da água (EUA), clorofila total (Clo) e potencial hídrico (PH), em função do manejo de cobertura de solo (M) e condicionadores (C), no mês de março (final do período das chuvas).

FV	GL	Quadrados médios					
		A	gs	E	EUA	Clo	PH
M	2	9.5963	0.0012	1.5256	2.5343	12968.88	0.0408
Bloco	2	0.7299	0.0005	0.9701	3.8845	7105.76	0.0233
Erro a	4	4.8973	0.0011	0.8425	5.3024	1899.05	0.0867
C	3	5.3709	0.0005	0.3056	0.1767	1484.97*	0.0351
Erro b	6	3.2692	0.0011	0.5874	1.7040	281.25	0.0381
M x C	6	1.9218	0.0006	0.4847	1.3779	2587.46	0.0490
Erro c	12	3.5888	0.0009	0.4141	1.0221	1071.90	0,0570

\* Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.



Tabela 7 - Resumo da análise de variância, para as variáveis fisiológicas fotossíntese (A), condutância estomática (gs), transpiração (T), eficiência do uso da água (EUA), clorofila total (Clo) e potencial hídrico (PH), em função do manejo de cobertura de solo (M) e condicionadores (C), no mês de julho (final do período seco).

FV	GL	Quadrados médios					
		A	gs	E	EUA	Clo	PH
M	2	4.0745	0.0007	1.6735	15.1885	5425.78	0.1977
Bloco	2	10.6511	0.0010	0.3014	22.1097	954.09	0.5827
Erro a	4	4.8519	0.0017	1.2147	5.9684	3071.23	0.1320
C	3	1.5043	0.0007	0.3372	0.3168	1780.01	0.1800
Erro b	6	0.3730	0.0003	0.1288	0.8668	2544.09	0.2177
M x C	6	0.3185	0.0002	0.1050	0.4214	1688.25	0.0977
Erro c	12	0.9277	0.0004	0.1277	0.2940	685.82	0.1770

\* Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

Tabela 8 - Resumo da análise de variância, para os atributos do solo: potencial hidrogeniônico (pH), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), saturação por alumínio (m), capacidade de troca de cátions potencial (T), matéria orgânica (MO) e fosforo (P), em função do manejo de cobertura de solo (M) e condicionadores (C).

FV	G L	Quadrados médios								
		pH	K	Ca	Mg	Al	m	T	MO	P
M	2	0.35	145719.98	4.79	0.06	0.01	12.91	13.93	0.37	20.99
Bloco	2	0.19	74496.99	2.83	0.04	0.01	25.49	5.91	0.14	156.03
Erro a	4	0.87	73640.69	1.79	0.02	0.03	20.33	10.00	0.14	476.88
C	3	4.46*	76566.27*	7.80*	0.27	0.07	67.26	7.51	0.47*	3431.06*
Erro b	6	0.41	13344.92	0.97	0.04	0.02	20.99	2.99	0.04	75.77
M x C	6	0.19	14717.37	3.66	0.02	0.00	12.06	6.45	0.16	67.33
Erro c	12	0.24	11705.19	1.50	0.02	0.01	8.20	3.90	0.12	312.75

\* Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.



## APÊNDICE C - LAUDO DO COMPOSTO ORGÂNICO UTILIZADO NO EXPERIMENTO



# RELATÓRIO DE ENSAIOS

RELATÓRIO DE ENSAIO No: 20026483-90

REVISÃO: 1.0

Cliente: MANTIQUEIRA AGRONEGOCIOS LTDA  
Endereço: ROD. FERNAO DIAS, BR381, KM 767  
Município: CAMPANHA

Solicitante: MANTIQUEIRA AGRONEGOCIOS LTDA  
Telefone: 34-3211-5100  
Email: hugooliveira@granjamantiqueira.com.br

EP: MG 90405-8

### DADOS DA AMOSTRA

Material amostrado: Fertilizantes

Código da amostra: 20174590

Identificação da amostra: 05 G11 2017 CONDICIONADOR DE SOLOS

Data de entrada no laboratório: 26/10/2017

Data de emissão do relatório: 14/11/2017

### INFORMAÇÕES DA AMOSTRAGEM

Data da coleta: 08/09/2017

Quantidade: 2013 Ton

ID:

Registro:

Descrição: MANTIQUEIRA CONDICIONADOR DE SOLO  
Produc.:08/09/17

Nota: A descrição da amostra coletada é de inteira responsabilidade do cliente.

Ofício: /45

### RESULTADO DOS ENSAIOS

Parâmetros	Resultados	Unidade	L.Q.	VR	Método	Data ensaio	
N Total	1,80	%	0,01	---	X	IN SDA 3 Cap III, E.1.1	14/11/2017
P2O5 Total	3,00	%	0,01	---	X	IN SDA 3 Cap I, C.2.2	14/11/2017
K2O Agua	2,87	%	0,01	---	X	IN SDA 3 Cap III, E.6.2.2	14/11/2017
Ca Total	9,31	%	0,01	---	X	IN SDA 3 Cap III, E.7.2.2	06/11/2017
Mg Total	0,5	%	0,01	---	X	IN SDA 3 Cap III, E.7.2.2	06/11/2017
S Total	0,1	%	0,01	---	X	IN SDA 3 Cap III, E.8	06/11/2017
B Total	0,001	%	0,001	---	X	IN SDA 3 Cap III, E.9	06/11/2017
Cu Total	0,01	%	0,01	---	X	IN SDA 3 Cap III, E.10.2.	06/11/2017
Mn Total	0,04	%	0,01	---	X	IN SDA 3 Cap III, E.10.2.	06/11/2017
Zn Total	0,03	%	0,01	---	X	IN SDA 3 Cap III, E.10.2.	06/11/2017
Umidade Atual	17,2	%	0,1	---	X	IN SDA 17 Cap 2	06/11/2017
C Organica Total	26,4	%	0,1	---	X	IN SDA 3 Cap IV, D.16	06/11/2017
Cap Troca Cations	460,0	mmol/Kg	1	---	X	IN SDA 3 Cap III, E.15	14/11/2017
Cap Retenção Agua	138,0	% m/m	0,1	---	0,0-100	IN SDA 17 Cap 4.1	06/11/2017
Acido Fuvico	5,12	%	0,1	---	X	IN SDA 3 Cap III, E.14	06/11/2017
Acidos Humicos	4,02	%	0,1	---	X	IN SDA 3 Cap III, E.14	06/11/2017
As	N/D	mg/Kg	0,05	max	20,00	U.S.EPA: 7061-A	06/11/2017
Cd	<0,05	mg/Kg	0,05	max	3,00	U.S.EPA: 3050-B	06/11/2017
Hg	N/D	mg/Kg	0,05	max	1,00	U.S.EPA: 7471-A	06/11/2017
Ni	N/D	mg/Kg	0,05	max	70,00	U.S.EPA: 3050-B	06/11/2017
Pb	1,20	mg/Kg	0,05	max	150,00	U.S.EPA: 3050-B	06/11/2017
Se	N/D	mg/Kg	0,05	max	80,00	U.S.EPA: 7741-A	06/11/2017
Coliformes Termotolerantes	N/D	NMP/g de	P/A	max	Ausente	U.S.EPA: part 503	06/11/2017
Ovos Viaveis de Helmintos	N/D	Ovos/g de	1	max	1,00	U.S.EPA: part 503	06/11/2017
Salmonella	N/D	NNP/10 g	1	max	Ausente	U.S.EPA: part 503	06/11/2017
Cromo Hexa Valente	N/D	mg/kg	0,1	max	2,00	U.S.EPA: 7196-A	14/11/2017
Vidros, plasticos, metais > 2	N/D	% na MS	0,1	max	2,00	P 2031	06/11/2017
Pedras > 5 mm	N/D	% na MS	0,1	max	2,00	P 2031	06/11/2017