



**USO DE SENSORES ATIVOS E PASSIVOS NA
ESTIMATIVA DE TEORES DE NITROGÊNIO
E DO DESENVOLVIMENTO FITOTÉCNICO
E PRODUTIVO DO CAFEIRO**

CRISLAINE ALVES LADEIA

2020

CRISLAINE ALVES LADEIA

**USO DE SENSORES ATIVOS E PASSIVOS NA ESTIMATIVA DE
TEORES DE NITROGÊNIO E DO DESENVOLVIMENTO
FITOTÉCNICO E PRODUTIVO DO CAFEIEIRO**

Dissertação apresentada à
Universidade Estadual do Sudoeste
da Bahia, *Campus* de Vitória da
Conquista, como parte das
exigências do Programa de Pós-
Graduação em Agronomia, área de
concentração em Fitotecnia, para
obtenção do título de “Mestre”.

Orientador:
DSc. Odair Lacerda Lemos

VITÓRIA DA CONQUISTA

BAHIA - BRASIL

2020

L152u

Ladeia, Crislaine Alves.

Uso de sensores ativos e passivos na estimativa de teores de nitrogênio e do desenvolvimento fitotécnico e produtivo do cafeeiro. / Crislaine Alves Ladeia, 2020.

66f.

Orientador (a): D. Sc. Odair Lacerda Lemos.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de concentração em Fitotecnia. Vitória da Conquista, 2020.

Inclui referência F. 59 – 66.

1. Lavoura cafeeira. 2. Nitrogênio foliar. 3. Geoestatística. 4. Sensoriamento remoto. 5. Krigagem. I. Lemos, Odair Lacerda. II. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. T.

CDD: 633.73

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA – UESB

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

Área de Concentração em Fitotecnia

Campus de Vitória da Conquista - BA

DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO

Título: “SENSORES ATIVOS E PASSIVOS NA ESTIMATIVA DE TEORES NUTRICIONAIS E DO DESENVOLVIMENTO FITOTÉCNICO E PRODUTIVOS DO CAFEIEIRO”.

Autor: **Crislaine Alves Ladeia**

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM FITOTECNIA, pela Banca Examinadora:


Prof. Odair Lacerda Lemos, D.Sc., UESB


Prof. Ramon Correia Vasconcelos, D.Sc., UESB


Profª. Joseane Oliveira da Silva, D.Sc., IFBA- Vitória da Conquista

Data de realização: 28 de fevereiro de 2020

Estrada do Bem Querer, Km 4 – Caixa Postal 95 – Telefone: (77) 3425-9383 – Fax: (77) 3424-1059 –

Vitória da Conquista – BA – CEP: 45031-900

*A Deus;
aos meus pais, Maura e Manoel; aos meus irmãos, Viviane, Ailton,
Tatiane; e aos meus sobrinhos, Emanuelly, Felipe, Lívia, José
Vitor (in memoriam).*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela proteção, coragem e sabedoria concedidas durante essa jornada.

Aos meus queridos e amados pais, Maura e Manoel, por todo carinho e amor incondicional e por serem minha motivação e exemplo de caráter.

Aos meus irmãos 'Vi', 'Ito' e 'Taty', que em toda e qualquer situação estiveram ao meu lado, dando-me forças pra continuar.

Aos meus sobrinhos 'Manu', 'Fê', 'Livinha' e 'Vitinho' (*in memoriam*), que são luzes em minha vida, e alegraram meus dias durante essa caminhada.

Aos meus bisavós José Moreira (*in memoriam*) e Minervina, que foram meus exemplos de vida, de amor e companheirismo, que sempre me ofereceram aconchego e carinho nos momentos mais difíceis.

A toda a minha família e amigos, pelo apoio e incentivo de sempre.

A Ernelson, pelo carinho, incentivo, companheirismo e por sempre acreditar em mim.

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia e, em especial, ao Programa de Pós-graduação em Agronomia, pela oportunidade de capacitação profissional.

Ao Professor Dr. Odair Lacerda Lemos, pela orientação, apoio e confiança durante minha formação e realização deste trabalho e, sobretudo, pela amizade.

Aos membros da banca examinadora, pela avaliação e sugestões para a melhoria da dissertação.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pelos conhecimentos compartilhados.

Aos colegas (família) do Laboratório de Geotecnologias: Diogo, Daniel, José Renato, Ingrid e Maíra, pelo apoio, companheirismo e auxílio durante a realização das análises, e ainda pelo grande vínculo de amizade que se criou.

Aos colegas e amigos do curso, pelo companheirismo e convivência.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo.

Enfim, a todos que colaboraram, direta ou indiretamente, para a realização deste sonho. Eu, realmente, não teria conseguido sem vocês. Muito obrigada!

“Quem caminha sozinho pode até chegar mais rápido, mas aquele que vai acompanhado, com certeza, vai mais longe. ”

(Clarice Lispector)

RESUMO

LADEIA, C. A. **Uso de sensores ativos e passivos na estimativa de teores de nitrogênio e do desenvolvimento fitotécnico e produtivo do cafeeiro.** Vitória da Conquista - BA: UESB, 2020, 66 p. (Dissertação – Mestrado em Agronomia, Área de Concentração em Fitotecnia).

Nas lavouras cafeeiras, os teores de nitrogênio não são homogêneos, existe quase sempre variabilidade e, em grande parte, essa variabilidade tem uma relação espacial, assim como os parâmetros fitotécnicos e a produtividade não ocorrem de forma aleatória. Com isso, o objetivo deste trabalho foi calibrar a utilização de métodos não destrutivos de avaliação de nitrogênio e estimar atributos fitotécnicos e produtivos para a cultura do café. O estudo foi realizado em uma área cultivada com *Coffea arabica* L. 'Catuaí Vermelho IAC 144', localizada no município de Encruzilhada – BA, pertencente à região do Centro Sul Baiano. Foi gerada uma malha amostral regular de 33 x 33 metros sobre a área de estudo. Os atributos estudados foram: Índices de vegetação, teores de nitrogênio, parâmetros fitotécnicos e produtividade. Para as análises de índices, foram utilizados sensores passivos e ativos; para análises de teores de nitrogênio, foram feitas análises laboratoriais; e para avaliação da produtividade, foram coletados manualmente sobre panos os dados da produtividade de cinco plantas em torno dos pontos amostrais. Os parâmetros fitotécnicos analisados na planta foram diâmetro do caule e comprimento dos ramos plagiotrópicos. Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva, utilizando-se o software SPSS. Para caracterização do padrão da variabilidade espacial, foi empregada a análise geoestatística, com a construção de semivariogramas, baseados no cálculo da semivariância. Os modelos foram ajustados por meio do aplicativo ArqGis 10.3. A estimativa de valores para os locais onde a variável não foi medida, deu-se através do uso da krigagem. Os mapas de krigagem foram confeccionados utilizando-se o programa ArqGis 10.3. Constatou-se que os teores foliares de nitrogênio (N) obtiveram correlação alta com todos os índices avaliados, sendo da ordem de 0,62, 0,42, 0,49, 0,53 para índice de vegetação por diferença normalizada, índice de folha verde, índice de vegetação por diferença normalizada – verde e índice resistente à atmosfera na região do visível, respectivamente. As análises não destrutivas, realizadas por meio de sensores ativos e passivos, demonstraram uma ferramenta satisfatória para a estimativa de nitrogênio foliar em plantas de café para a avaliação de primavera. O índice de clorofila Falker obteve uma correlação alta com os teores extraídos de clorofila de plantas de café, na avaliação de inverno, demonstrando sua eficiência em estimar o conteúdo de clorofila em café. O comprimento de ramos obteve uma correlação positiva com o índice resistente à atmosfera na região do visível medido no cafeeiro na segunda avaliação, e com os índices índice de folha verde e índice de vegetação por diferença normalizada – verde nas duas avaliações. A produção obtida para o ciclo anterior às avaliações não obteve altas correlações com as avaliações não destrutivas realizadas posteriormente. Conclui-se que há inúmeras possibilidades na utilização de sensores para

estimativas de parâmetros nutricionais, fitotécnicos e de produção para a cultura do café. Há, porém, a necessidade de aprofundamento dos estudos para uma concretização das metodologias a serem aplicadas na cultura, levando-se em consideração suas particularidades.

Palavras-chave: Geoestatística, sensoriamento remoto, nitrogênio foliar, krigagem.

* **Orientador:** Odair Lacerda Lemos, D.Sc., UESB.

ABSTRACT

LADEIA, C. A. **Use of active and passive sensors to estimate nitrogen levels and the phytotechnical and productive development of coffee.** Vitória da Conquista - BA: UESB, 2020. 66p. (Dissertation - Master in Agronomy, Phytotechnics Concentration Area).

In coffee crops, nitrogen levels are not homogeneous, there is almost always variability and, to a large extent, this variability has a spatial relationship, just as the phytotechnical parameters and productivity do not occur randomly. With this, the objective of this work was to calibrate the use of non-destructive nitrogen assessment methods and to estimate phytotechnical and productive attributes for coffee culture. The study was carried out in an area cultivated with *Coffea arabica* L. 'Catuaí Vermelho IAC 144', located in the municipality of Encruzilhada - BA, belonging to the Centro Sul Baiano region. A regular 33 x 33 meter sample grid was generated over the study area. The studied attributes were: Vegetation indices, nitrogen levels, phytotechnical parameters and productivity. For the analysis of indices, passive and active sensors were used; for analyzes of nitrogen contents, laboratory analyzes were performed; and to evaluate the productivity, the productivity data of five plants around the sampling points were manually collected on cloths. The phytotechnical parameters analyzed in the plant were stem diameter and length of plagiotropic branches. The data were submitted to descriptive statistical analysis using the SPSS software. To characterize the spatial variability pattern, geostatistical analysis was used, with the construction of semivariograms, based on the calculation of the semivariation. The models were adjusted using the ArqGis 10.3 application. The estimation of values for the places where the variable was not measured, was done through the use of kriging. The kriging maps were made using the ArqGis 10.3 program. It was found that the nitrogen (N) leaf contents obtained a high correlation with all the evaluated indices, being in the order of 0.62, 0.42, 0.49, 0.53 for the vegetation index by normalized difference, index of green leaf, vegetation index by normalized difference - green and atmosphere-resistant index in the visible region, respectively. The non-destructive analyzes, carried out by means of active and passive sensors, demonstrated a satisfactory tool for the estimation of leaf nitrogen in coffee plants for the spring evaluation. The Falker chlorophyll index obtained a high correlation with the levels extracted from chlorophyll from coffee plants, in the winter evaluation, demonstrating its efficiency in estimating the chlorophyll content in coffee. The length of branches obtained a positive correlation with the atmosphere-resistant index in the visible region measured in the coffee tree in the second evaluation, and with the green leaf index and vegetation index by normalized difference - green in the two evaluations. The production obtained for the cycle prior to the evaluations did not obtain high correlations with the non-destructive evaluations carried out afterwards. It is concluded that there are countless possibilities in the use of sensors to estimate nutritional, phytotechnical and production parameters for coffee cultivation. However, there is a need for further studies to achieve the methodologies to be applied in culture, taking

into account their particularities.

Keywords: Geostatistics, remote sensing, leaf nitrogen, kriging.

* **Adviser:** Odair Lacerda Lemos, D.Sc., UESB.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** – Esquema da malha amostral de 33 x 33 metros em área de *Coffea arabica* L. ‘Catuaí Vermelho IAC 144’. Vitória da Conquista – BA, 2020.....31
- Figura 2** - Esquema do ponto amostral (vermelho) e subamostras (verdes).30
- Figura 3** - Escala diagramática para enfolhamento em cafeeiro (BOLDINI, 2001).....34
- Figura 4** – Detalhe de imagem da aérea de plantas de *Coffea arabica* L. ‘Catuaí Vermelho IAC 144’ avaliada a) avaliação de inverno b) avaliação de primavera, Vitória da Conquista – BA, 2020.....41
- Figura 5** – Gráficos de distribuição normal para os atributos de: a) Nitrogênio foliar (N) primeira avaliação, b) Nitrogênio foliar (N) segunda avaliação, de plantas de *Coffea arabica* L. ‘Catuaí Vermelho IAC 144’. Vitória da Conquista – BA, 2020.....41
- Figura 6** – Gráficos de distribuição normal para os atributos de a) clorofila DMSO (CLDMSO) primeira avaliação, b) clorofila DMSO (CLDMSO) segunda avaliação, c) Índice de Clorofila Falker (ICF) primeira avaliação e d) Índice de Clorofila Falker (ICF) segunda avaliação de plantas de *Coffea arabica* L. ‘Catuaí Vermelho IAC 144’. Vitória da Conquista – BA, 2020.....42
- Figura 7** – Gráficos de distribuição normal para os atributos de: a) Nota enfolhamento (NENF) primeira avaliação, b) Nota enfolhamento (NENF) segunda avaliação, c) Diâmetro do Caule (DMC) (mm) primeira avaliação e d) Diâmetro do Caule (DMC) (mm) segunda avaliação, e) Comprimento do ramo (CPR) (m) primeira avaliação e f) Comprimento do ramo (CPR)(m) segunda avaliação de plantas de *Coffea arabica* L. ‘Catuaí Vermelho IAC 144’. Vitória da Conquista – BA, 2020.....43
- Figura 8** – Gráficos de distribuição normal para os atributos de: a) Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) primeira avaliação, b) Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) segunda avaliação, c) Índice de Folha Verde (GLI) primeira avaliação e d) Índice de Folha Verde (GLI) segunda avaliação, e) Índice de Vegetação por Diferença Normalizada-verde (GRVI) primeira avaliação e f) Índice de Vegetação por Diferença Normalizada- verde (GRVI) segunda avaliação, e) Índice Resistente à Atmosfera na Região Visível (VARI) primeira avaliação e f) Índice Resistente à Atmosfera na Região Visível (VARI) segunda avaliação de plantas de *Coffea arabica* L. ‘Catuaí Vermelho IAC 144’. Vitória da Conquista – BA,

2020.....44

Figura 9 – Gráficos de distribuição normal para os atributos de: a) Produtividade (PROD) de plantas de *Coffea arabica* L. ‘Catuaí Vermelho IAC 144’. Vitória da Conquista – BA, 2020.....45

Figura 10 – Semivariograma dos atributos de: a) Nitrogênio foliar (N) primeira avaliação, b) Nitrogênio foliar (N) segunda avaliação, c) Produtividade (PROD) de plantas de *Coffea arabica* L. ‘Catuaí Vermelho IAC 144’. Vitória da Conquista – BA, 2020.....47

Figura 11 – Mapas de distribuição espacial de: a) Nitrogênio foliar (N) primeira avaliação, b) Nitrogênio foliar (N) segunda avaliação de plantas de *Coffea arabica* L. ‘Catuaí Vermelho IAC 144’. Vitória da Conquista – BA, 2020.....47

Figura 12 – Semivariograma para os atributos de: a) clorofila DMSO (CLDMSO) primeira avaliação, b) clorofila DMSO (CLDMSO) segunda avaliação, c) Índice de Clorofila Falker (ICF) primeira avaliação e d) Índice de Clorofila Falker (ICF) segunda avaliação de plantas de *Coffea arabica* L. ‘Catuaí Vermelho IAC 144’. Vitória da Conquista – BA, 2020.....48

Figura 13 – Mapas de distribuição espacial de: a) clorofila DMSO (CLDMSO) primeira avaliação, b) clorofila DMSO (CLDMSO) segunda avaliação, c) Índice de Clorofila Falker (ICF) primeira avaliação de plantas de *Coffea arabica* L. ‘Catuaí Vermelho IAC 144’. Vitória da Conquista – BA, 2020.....49

Figura 14 – Semivariograma para os atributos de: a) Nota enfolhamento (NENF) primeira avaliação, b) Nota enfolhamento (NENF) segunda avaliação, c) Diâmetro do Caule (DMC) (mm) primeira avaliação e d) Diâmetro do Caule (DMC) (mm) segunda avaliação, e) Comprimento do ramo (CPR) (m) primeira avaliação e f) Comprimento do ramo (CPR)(m) segunda avaliação de plantas de *Coffea arabica* L. ‘Catuaí Vermelho IAC 144’. Vitória da Conquista – BA, 2020.....50

Figura 15 – Mapas de distribuição espacial de: a) Nota enfolhamento (NENF) primeira avaliação, b) Nota enfolhamento (NENF) segunda avaliação, c) Comprimento do ramo (CPR) (m) primeira avaliação e d) Comprimento do ramo (CPR) (m) segunda avaliação, e) Diâmetro do Caule (DMC) (mm) segunda avaliação de plantas de *Coffea arabica* L. ‘Catuaí Vermelho IAC 144’. Vitória da Conquista – BA, 2020.....51

Figura 16 – Semivariograma dos atributos de: a) Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) primeira avaliação, b) Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) segunda avaliação, c) Índice de Folha Verde (GLI) primeira avaliação e d) Índice de Folha Verde (GLI) segunda avaliação, e) Índice de Vegetação por Diferença Normalizada- verde (GRVI) primeira avaliação e f) Índice de Vegetação por Diferença Normalizada- verde (GRVI) segunda avaliação, e) Índice Resistente à Atmosfera na Região Visível (VARI) primeira avaliação e f) Índice Resistente à Atmosfera na Região Visível (VARI) segunda avaliação de plantas de *Coffea arabica* L. ‘Catuaí Vermelho IAC 144’. Vitória da Conquista – BA, 2020.....52

Figura 17 – Mapas de distribuição espacial de: a) Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) primeira avaliação, b) Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) segunda avaliação, c) Índice de Folha Verde (GLI) primeira avaliação e d) Índice de Folha Verde (GLI) segunda avaliação, e) Índice de Vegetação por Diferença Normalizada- verde (GRVI) primeira avaliação e f) Índice de Vegetação por Diferença Normalizada- verde (GRVI) segunda avaliação, e) Índice Resistente à Atmosfera na Região Visível (VARI) primeira avaliação e f) Índice Resistente à Atmosfera na Região Visível (VARI) segunda avaliação de plantas de *Coffea arabica* L. ‘Catuaí Vermelho IAC 144’. Vitória da Conquista – BA, 2020.....53

Figura 18 – Semivariograma dos atributos de: a) Dados de produtividade de plantas de *Coffea arabica* L. ‘Catuaí Vermelho IAC 144’. Vitória da Conquista – BA, 2020.....54

Figura 19 – Mapas de distribuição espacial de: a) Dados de produção de plantas de *Coffea arabica* L. ‘Catuaí Vermelho IAC 144’. Vitória da Conquista – BA, 2020.....54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados meteorológicos registrados na estação meteorológica automática da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, durante o período experimental (INMET).....30

Tabela 2 – Estatística descritiva para os atributos de Nitrogênio Foliar (N), clorofila DMSO (CLDMSO), Índice de Clorofila Falker (ICF), Nota enfolhamento (NENF), Diâmetro do Caule (DMC) (mm), Comprimento do ramo (CPR) (m), Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Folha Verde (GLI), Índice de Vegetação por Diferença Normalizada- verde (GRVI), Índice Resistente à Atmosfera na Região Visível (VARI) de plantas de *Coffea arabica* L. ‘Catuaí Vermelho IAC 144’. Vitória da Conquista – BA, 2020.....40

Tabela 3 – Parâmetros estimados para o semivariograma experimental dos atributos de Nitrogênio Foliar (N), clorofila DMSO (CLDMSO), Índice de Clorofila Falker (ICF), Nota enfolhamento (NENF), Diâmetro do Caule (DMC)(mm), Comprimento do ramo (CPR)(m), Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Folha Verde (GLI), Índice de Vegetação por Diferença Normalizada- verde (GRVI), Índice Resistente à Atmosfera na Região Visível (VARI) de plantas de *Coffea arabica* L. ‘Catuaí Vermelho IAC 144’. Vitória da Conquista – BA, 2020.....46

Tabela 4 – Coeficiente de correlação entre os atributos de Nitrogênio Foliar (N), clorofila DMSO (CLDMSO), Índice de Clorofila Falker (ICF), Nota enfolhamento (NENF), Diâmetro do Caule (DMC)(mm), Comprimento do ramo (CPR)(m), Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Folha Verde (GLI), Índice de Vegetação por Diferença Normalizada- verde (GRVI), Índice Resistente à Atmosfera na Região Visível (VARI) de plantas de *Coffea arabica* L. ‘Catuaí Vermelho IAC 144’. Vitória da Conquista – BA, 2020.....56

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

a	Assimetria
A	Aleatoriedade
Alc.	Alcance (m)
AP	Agricultura de precisão
B	Reflectância no comprimento de onda do azul
C0	Efeito pepita
C0+C1	Patamar
C1	Patamar parcial
Circ.	Modelo matemático circular
CLDMSO	Clorofila extraída por Dimetilsulfóxido
CPR	Comprimento do ramo (cm)
CV	Coefficiente de variação (%)
DMC	Diâmetro do caule (mm)
DP	Desvio padrão
Esf.	Modelo matemático esférico
EPP	Efeito pepita puro
Exp.	Modelo matemático exponencial
G	Reflectância no comprimento de onda do verde
Gaus.	Modelo matemático gaussiano
GLI	Índice de folha verde
GNSS	Sistema de Navegação Global por Satélite
GRVI	Índice de vegetação verde-vermelho
ICF	Índice de clorofila Falker
IVs	Índices de vegetação
K	Curtose
Ks	Kolmogorov-smirnov
Máx	Máximo
Min	Mínimo
N	Nitrogênio
NDVI	Índice de vegetação por diferença normalizada
NENF	Nota de enfolhamento
NIR	Reflectância no comprimento de onda infravermelho
R	Reflectância no comprimento de onda do vermelho
VARI	Índice de vegetação resistente à atmosfera

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	18
2	REFERENCIAL TEÓRICO	20
	2.1 Aspectos gerais e econômicos da cultura do café	20
	2.2 Cultivar Catuaí 62	21
	2.3 Cafeicultura de precisão.....	21
	2.4 Teores de nitrogênio	23
	2.5 Teores de Clorofila.....	23
	2.6 Características fitotécnicas	24
	2.7 Índices de vegetação (IV).....	25
	2.8 Produção	28
3	MATERIAL E MÉTODOS	30
	3.1 Caracterização da área de estudo.....	30
	3.2 Mapeamento da área e malha de amostragem	30
	3.3 Nitrogênio foliar (NF)	32
	3.4 Teor de Clorofila	32
	3.4.1 Índice de Clorofila FALKER (ICF)	32
	3.4.2 Extração de clorofila foliar	33
	3.5 Parâmetros fitotécnicos	33
	3.6 Índices de Vegetação.....	34
	3.6.1 NDVI	34
	3.6.2 GLI, GRVI e VARI	34
	3.7 Produção	35
	3.8 Análise estatística e geostatística.....	35
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5	CONCLUSÕES.....	58
6	REFERÊNCIAS.....	59

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o principal produtor mundial de café (*Coffea* sp.) e esse produto se destaca na economia do país como um dos principais produtos da agropecuária brasileira, ocupando aproximadamente 1% da área explorada pela produção agrícola no Brasil, e a quinta posição em termos de valor bruto da produção (CONAB, 2019). No estado da Bahia, quarto maior produtor de café nacional, o Planalto da Conquista é uma região tradicional na cafeicultura, produzindo principalmente o café arábica.

A produtividade cafeeira no Brasil obteve um considerável incremento nos últimos anos, e grande parte deste se deve à utilização de ferramentas de Agricultura de Precisão (AP). A AP se apresenta como um conjunto de tecnologias capaz de auxiliar o produtor rural a identificar as estratégias a serem adotadas para aumentar a eficiência no gerenciamento da agricultura, maximizando a rentabilidade das colheitas (SILVA, 2008). A aplicação dessas ferramentas na lavoura cafeeira ficou conhecida como Cafeicultura de Precisão.

No conjunto de tecnologias da AP, uma parte está direcionada aos atributos nutricionais da lavoura. Dentre os elementos nutricionais essenciais requeridos pelo cafeeiro, o nitrogênio é um dos requeridos em maior quantidade. O teor de nitrogênio foliar está diretamente ligado ao potencial produtivo do cafeeiro. Este nutriente tem variabilidade espacial dentro da lavoura e dentro da própria planta, geralmente com maiores concentrações nas partes mais jovens e reprodutivas.

O Nitrogênio influencia diretamente na produtividade do cafeeiro, tendo ligação direta com o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo. A estimativa otimizada de seus teores pode ajudar o produtor na tomada de decisão, possibilitando um manejo mais adequado e facilitado, podendo, assim, elevar os ganhos de produtividade no cafezal (LADEIA e colaboradores, 2019).

Existem alguns métodos de laboratório clássicos para determinação

deste elemento na folha, como o método “Kjeldahl” (TEDESCO e colaboradores, 1995), porém, são métodos demorados e onerosos. Uma outra alternativa de estimativa de nitrogênio foliar, de forma rápida e prática, vem sendo estudada a partir do Sensoriamento Remoto (SR).

O SR consiste na obtenção de informações sem que haja contato entre o sensor e o objeto alvo. Dois diferentes tipos de sensores podem ser utilizados para o SR, os sensores ativos (SA) e os sensores passivos (SP). Os SA são aqueles que possuem sua própria fonte para iluminação. O sensor emite radiação, que é direcionada para o alvo que se deseja investigar. A radiação refletida do alvo é detectada e medida pelo sensor. Enquanto que os SP dependem que haja outra fonte de radiação, como, por exemplo, a radiação solar.

Dentre as informações que se pode obter a partir dos diferentes sensores empregados no SR, pode-se citar os índices de vegetação (IVs). Os IVs são combinações aritméticas da resposta espectral obtidas pelos sensores embarcados nas plataformas de SR. Segundo Bendig e colaboradores (2015) e Gnyep e colaboradores (2014), alguns IVs caracterizam-se por apresentarem correlações maiores ou menores, dependendo do tipo de cultivo e da finalidade de utilização. Com isso, novos índices podem ser gerados, visando o aumento da correlação entre a resposta espectral obtida pelos sensores e o objeto de estudo.

Com isso, objetivou-se com este trabalho calibrar a utilização de sensores na estimativa de teores de nitrogênio e dos valores de atributos fitotécnicos e produtivos para a cultura do café.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Aspectos gerais e econômicos da cultura do café

O cafeeiro é uma planta de origem africana com ciclo perene e que se adapta ao clima tropical. Pertence à família das Rubiaceas e ao gênero *Coffea*, que reúne diversas espécies, das quais apenas duas apresentam valor econômico desejável. As duas espécies de café mais cultivadas mundialmente, *Coffea arabica* e *Coffea canephora*, conhecidas popularmente como “arábica” e “robusta”, respectivamente.

O café arábica é responsável por cerca de 60% da produção mundial (COMBES; JOET; LASHERMES, 2018), sendo cultivado em regiões com altitudes mais elevadas, e produz cafés de melhor qualidade, mais finos e requintados, quando comparado ao *Coffea canéfora* (OLIVEIRA; OLIVEIRA; MOURA, 2012).

A cafeicultura figura entre as mais importantes atividades agrícolas do Brasil. Somos, ainda, o maior exportador mundial e o segundo maior consumidor (PRADO; DORNELES JUNIOR, 2015). O Brasil é o maior produtor mundial de café, com uma área de 2,2 milhões hectares plantada com a cultura (arábica e conilon) (CONAB, 2019).

O estado da Bahia é o quarto maior produtor de café do Brasil, ficando atrás apenas dos estados de Minas Gerais, Espírito Santo e São Paulo (CONAB, 2019). A produtividade do cafeeiro sofre influência da bienalidade, que pode ser caracterizada por anos de alta produção, seguido por ano de baixa. A bienalidade é atribuída ao menor crescimento dos ramos plagiotrópicos em função da diminuição das reservas das plantas em ano de alta produtividade (SILVA e colaboradores, 2010).

Além da bienalidade, a produtividade das lavouras cafeeiras é afetada sensivelmente por fatores fitotécnicos e fitossanitários como: geadas, estresse hídrico, pragas e doenças, e nutrição das plantas, provocando variações no abastecimento e nos preços de um ano para o outro (ASSAD e colaboradores, 2007).

2.2 Cultivar Catuaí 62

Existem diversas cultivares de café Arábica, sendo as mais comuns nas maiores regiões produtoras brasileiras: Bourbon, Catuaí e Mundo Novo. E, dentre essas cultivares, existem também algumas variantes, como: Bourbon Amarelo e Vermelho, Catuaí Amarelo e Vermelho, dentre outros.

A cv. Catuai foi obtida pelo cruzamento de 'Caturra Amarelo', prefixo IAC 476-11, com 'Mundo Novo' IAC 374-19. O híbrido resultante recebeu o prefixo IAC H2077. Na população F3 (IAC H2077-2-5), foram obtidos cafeeiros homozigotos para porte baixo e para frutos amarelos, mas com o desejado vigor da 'Mundo Novo'. Essa nova combinação foi denominada de Catuaí Amarelo, tendo como características principais o porte baixo e frutos com exocarpo amarelo (CARVALHO e colaboradores, 2008).

É uma cultivar suscetível à ferrugem e aos nematoides. As plantas são vigorosas e apresentam altura média de 2 a 2,3m e diâmetro da copa de 1,8 a 2m. O sistema radicular é vigoroso e, dependendo do tipo de solo, pode se distribuir em profundidades superiores a dois metros. As folhas novas são de cor verde-clara e as adultas são verde-escuras e brilhantes (CARVALHO e colaboradores, 2008).

As recomendações de adubação para o cafeeiro, geralmente, são feitas considerando a produção esperada. Segundo Mesquita (2016), a adubação encomendada para um estande de até 4.000 plantas de café e produção de 8,8 litros.planta⁻¹ de frutos cereja é de cerca de 450 kg.ha.ano⁻¹ de Nitrogênio, para que a recomendação dos teores foliares de nitrogênio para o cafeeiro alcancem entre 2,7 - 3,2% (PREZOTTI e colaboradores, 2007), e sejam devidamente alcançados.

2.3 Cafeicultura de precisão

A modernização do setor agrícola, principalmente no setor cafeeiro, está sendo impulsionada pela agricultura de precisão (AP) nas lavouras de café (FERRAZ e colaboradores, 2017). A AP baseia-se na variabilidade espacial na área de cultivo, em contraposição à agricultura convencional, que

trabalha com médias da lavoura, reduzindo, assim, perdas na aplicação de insumos e redução de danos ao meio ambiente (MOLIN e colaboradores, 2007). A adoção de técnicas de manejo do tipo sítio-específico tem como objetivo reduzir os custos operacionais de uma atividade agrícola, otimizando o empreendimento (COSTA e colaboradores, 2014).

A Cafeicultura de Precisão (CP) é um conceito que implica na utilização de técnicas de agricultura de precisão na lavoura cafeeira (SILVA; ALVES, 2013). O entendimento da variabilidade espacial na lavoura exige uma maior quantidade de informações, obtidas a partir de amostragens em malhas representativas (FERRAZ e colaboradores, 2012). Geoestatística é um ramo da Estatística Espacial que usa o conceito de funções aleatórias para incorporar a dependência espacial nas análises estatísticas (ROSSONI e colaboradores, 2014).

O cafeeiro apresenta particularidades que contribuem para se ter elevada variabilidade espacial em seus próprios atributos, além da heterogeneidade do tipo e da fertilidade do solo, declividade do terreno e das operações de preparo do solo, calagem, adubação de sulco de plantio, problemas de irrigação e compactação, dentre outros, que irão influenciar na variabilidade dos atributos da planta e do meio que ela vive até o fim de seu ciclo, que pode ser maior que 20 anos (SILVA e colaboradores, 2008; MATIELLO e colaboradores, 2015).

Diversos são os estudos utilizando análises geoestatísticas em campos cafeeiros. Tais análises foram usadas para o estudo da distribuição espacial da infestação de pragas, como a broca e o bicho-mineiro; de infecções de doenças, como a ferrugem e a cercosporiose (ALVES e colaboradores, 2009); dos atributos físicos do solo e das características agronômicas da cultura do café (CARVALHO e colaboradores, 2014); dos atributos químicos do solo e da produtividade da lavoura cafeeira (FERRAZ, 2012); da produção de café (SILVA, 2008; SILVA e colaboradores, 2007, 2010); da desfolha da planta durante a colheita (SILVA e colaboradores, 2010) e fertilizantes no solo (SILVA, 2008); do gerenciamento da variabilidade (MOLIN e colaboradores, 2010) e da caracterização geofísica do solo (OLIVEIRA e colaboradores,

2007).

2.4 Teores de nitrogênio

Nos dias atuais, a análise foliar de nitrogênio como alternativa de avaliação do vigor e estado nutricional da planta de café tem sido a metodologia mais usual, porém, tal metodologia é demorada e onerosa. Gallo e colaboradores (1999) confirmam a eficiência da análise foliar de N como critério para a recomendação do nutriente para o cafeeiro. Os teores de N foliar variam de acordo com a fase da cultura, sendo reduzido drasticamente quando começa a formação dos frutos (CHAVES; SARRUGE, 1984). Excesso de nitrogênio, entretanto, pode provocar deficiência de zinco, boro, cobre, ferro, e maior susceptibilidade da planta ao ataque por doenças (Phoma e Pseudomonas).

Todavia, em termos práticos, a demora entre a coleta do tecido vegetal para envio ao laboratório e os resultados das análises, bem como o uso das informações para suplementação da adubação dentro da mesma safra, na maioria das vezes, têm sido inviável (BRANDÃO e colaboradores, 2011). Dessa forma, técnicas de avaliação do estado nutricional das plantas quanto ao teor de nitrogênio, que dispensem as análises convencionais, vêm se tornando cada vez mais divulgadas nos meios de pesquisa e de produção, viabilizando a avaliação até mesmo para correções na mesma safra.

2.5 Teores de Clorofila

Os leitores portáteis de clorofila utilizam princípios não destrutivos, simples e instantâneos, possibilitando estudos ontogênicos foliares das culturas (NETTO e colaboradores, 2005; SALLA e colaboradores, 2007). A determinação indireta do teor relativo de clorofila é calculada pela quantidade de luz transmitida pela folha, por meio de dois outros comprimentos de onda com diferentes absorvâncias que, independente do instrumento utilizado, fornecem uma leitura única, proporcional às clorofilas a e b. Assim, os valores obtidos são proporcionais aos teores de clorofila foliar

e são chamados de índice do clorofilômetro (ARGENTA e colaboradores, 2001).

Um medidor de índice de clorofila portátil é o aparelho chamado ClorofiLog, modelo CFL 1030, produzido por Falker Automação Agrícola (Porto Alegre, Brasil). Diferentemente do SPAD, que trabalha com leituras em dois comprimentos de onda, o ClorofiLog utiliza emissores em três comprimentos de onda: dois emitem dentro da banda do vermelho, próximos aos picos de cada tipo de clorofila (635 e 660 nm); e um outro no infravermelho próximo (880 nm). A partir desse dado, o aparelho fornece valores de leitura proporcionais à absorvância das clorofilas a, b e (a+b).

A espectroradiometria revela-se uma ferramenta que possibilita detectar a resposta espectral através do contato direto com o alvo e pode ser feita em laboratório, permitindo, assim, que se minimizem as interferências dos fatores ambientais presentes nas leituras de outros sensores (SILVA e colaboradores, 2012).

Em laboratório, utilizam-se espectroradiômetros que registram a radiação refletida de folhas e demais órgãos das plantas, possibilitando identificar possíveis alterações na forma como esses órgãos interagem com a radiação eletromagnética (PONZONI, 2002). O comportamento espectral de uma folha é função de sua composição, morfologia e estrutura interna. De acordo com Watslawick e Kirchner (2004), em cada faixa do espectro eletromagnético, a radiação interage com a vegetação de forma diferenciada. A folha de uma planta reflete e transmite a radiação incidente de uma maneira que é exclusivamente característica de células pigmentadas contendo água.

2.6 Características fitotécnicas

O nitrogênio (N) é o nutriente mais exigido pelo cafeeiro. Esse nutriente promove crescimento rápido das folhas novas, também proporciona aumento do crescimento dos ramos plagiotrópicos, maior área foliar, maior produção de amido e outros carboidratos, indispensáveis para formação e crescimento dos frutos (GUIMARÃES; MENDES, 1997). Esse elemento é

facilmente redistribuído nas plantas, via floema e, conseqüentemente, os sintomas de deficiência aparecem primeiramente nas folhas mais velhas. Grandes quantidades do elemento são exportadas dos campos cultivados a cada colheita, devido à alta translocação de N para os frutos do cafeeiro (MALAVOLTA, 1993).

A partir do início da produção, os frutos tornam-se os drenos preferenciais e a adubação terá que ser planejada para atender à demanda dos frutos, somada à de crescimento vegetativo e formação de novos nós em ramos produtivos (SAKIYAMA e colaboradores, 2015).

A estimativa de fatores fitotécnicos, como comprimento do ramo, enfolhamento e diâmetro do caule, e a relação desses fatores com teores de nitrogênio e produção podem auxiliar o produtor na escolha do momento ideal para a entrada com tratamentos culturais na lavoura.

2.7 Índices de vegetação (IV)

Dentre as diversas técnicas existentes para estudos ambientais, o uso do geoprocessamento, por meio do Sensoriamento Remoto – SR e os Sistemas de Informações Geográficas – SIG, destacam-se por possuírem diversas metodologias precisas e menos onerosas. Conforme Jensen (2011), o sensoriamento remoto é a arte de se obter informações sobre um objeto, área ou fenômeno, sem que haja o contato físico, por meio de sistemas e sensores capazes de detectar, quantificar e analisar a radiação eletromagnética (REM) refletida, absorvida, transmitida e/ou emitida por esses alvos.

A aquisição de informações por meio do sensoriamento remoto pode ser adquirida de diversas maneiras, como, por exemplo: espectrorradiômetro de campo, em laboratório, a nível de aeronave e orbital (MOREIRA, 2011).

Em SR, os sensores utilizados podem ser divididos em duas categorias: passivos ou ativos. Sensores passivos registram a energia eletromagnética refletida ou emitida pelo alvo, como a radiação solar refletida ou radiação termal emitida. Já os sensores ativos proporcionam fonte própria de energia eletromagnética, como os radares, sonares, sensores ativos de

dossel (como o Crop Circle e Greenseeker) e LiDAR (ARAUJO e colaboradores, 2013).

O uso do sensoriamento remoto para a agricultura de precisão consiste em obter, por meio de sensores, dados espectrais relacionados com as características agronômicas das culturas e que definem a sua variabilidade espacial. Esses dados espectrais podem ser transformados em IVs, que têm por função maximizar a variável em estudo e minimizar diferentes fatores de variação, como a arquitetura do dossel, a influência dos solos, o estágio de desenvolvimento das plantas, a geometria de iluminação e a de visada.

Diversos trabalhos têm sido realizados com o desenvolvimento e avaliação de IVs para determinação das relações destes com as características biofísicas do dossel das culturas agrícolas, tais como teor de nitrogênio foliar, teor de clorofila foliar (LIU e colaboradores, 2010; VINCINI; FRAZZI, 2011) e produtividade (PIEKARCZYK e colaboradores, 2011).

Os IVs resultam de combinações lineares de dados espectrais, realçando o sinal da vegetação, que minimizam as variações na irradiância solar e os efeitos do substrato do dossel vegetal (JACKSON; HUETE, 1991). São operações algébricas que envolvem faixas de reflectância específicas, permitindo determinar a cobertura vegetal e a sua densidade (CRUZ; SOUZA; JESUS, 2011).

Os IVs possibilitam comparações espaciais e temporais da atividade fotossintética terrestre, facilitando, assim, o monitoramento sazonal, interanual e variações de longo prazo dos parâmetros estruturais, fisiológicos e biofísicos da vegetação (WANG; LIU; HUETE, 2003).

De acordo com Jensen (2009), existem mais de vinte IVs em uso, sendo que muitos deles possuem informações equivalentes, enquanto outros oferecem propriedades biofísicas únicas. Dentre os índices mais utilizados, destaca-se o NDVI (*normalized difference vegetation index*) que, traduzindo, significa índice de vegetação da diferença normalizada (FORMAGGIO; SANCHES, 2017). Proposto por Rouse e colaboradores (1973), este índice utiliza imagens dos canais espectrais do R e NIR para ser calculado.

O NDVI pode ser calculado por meio de dados de sensores orbitais,

aéreos ou terrestres. Os sensores podem ser passivos (necessita de uma fonte externa de energia, sendo a luz solar a mais comumente utilizada), ou ativos (possuem uma fonte própria de energia). Uma metodologia bastante utilizada para NDVI tem sido o uso de fotografias aéreas, captadas por sensores passivos que captem a radiação na faixa do vermelho e infravermelho próximo, acopladas em pequenas plataformas denominadas VANT (veículo aéreo não tripulado).

Dentre os sensores ativos, tem-se o GreenSeeker, um sensor óptico ativo manual terrestre que emite radiação eletromagnética na banda do vermelho a 660 ± 12 nm e do infravermelho próximo em 770 ± 12 nm. É um dispositivo de medição fácil de usar, que pode ser utilizado para avaliar a saúde ou vigor de uma cultura instantaneamente, quanto maior a leitura, mais saudável ou com maior biomassa está a lavoura (GEO AGRI, 2018). Um ponto positivo deste equipamento é o fato de não depender da luz solar para se fazer as leituras de NDVI, além de não ter interferência da atmosfera nos valores obtidos (VERHULST; GOVARERTS, 2015).

Grohs e colaboradores (2009) encontraram uma alta correlação entre o NDVI obtido pelo GreenSeeker e a produção de biomassa de trigo e cevada. Silva e colaboradores (2015), utilizando sensor ativo para obtenção de NDVI em plantas de café, perceberam que esse índice variou em função da posição da planta e da época da medida, observando-se, nas séries temporais de NDVI, maiores valores no topo das plantas em relação às faces nordeste e sudoeste. Motomiya, Molin e Chiavegato (2009) constataram a eficiência do GreenSeeker em detectar deficiência de nitrogênio em algodão.

O Índice do Verde das Folhas (Green Leaf Index – GLI) também pode ser utilizado para distinção entre plantas vivas e o solo, plantas vivas e plantas mortas e diferenças entre o teor de clorofila das plantas presentes na imagem. Possui a seguinte fórmula de trabalho:

O GRVI – Índice de vegetação verde – vermelho proposto por Tucker (1979) mostra pequenas mudanças na condição da vegetação durante o crescimento da cultura (MOTOHKA e colaboradores, 2010).

O VARI é o índice de vegetação resistente à atmosfera na região do

visível, utilizando a banda do verde (GITELSON e colaboradores, 2002), que foi projetado e testado para funcionar com sensores RGB. VARI é uma medida de “quão verde” é uma imagem, o qual não se destina a ser um substituto para uma câmera NIR, mas é significativo, quando se trabalha com imagens não-NDVI. As imagens RGB, com o algoritmo VARI aplicado, possibilitam a detecção de áreas de estresse de colheita em um campo.

2.8 Produção

A produção agrícola depende de um conjunto de fatores que incluem o clima, o solo e o potencial genético das culturas (PAIVA; TSUKAHARA; FRANÇA, 2013). Identificar o *status* destes fatores e a relação entre eles fornece subsídio à tomada de decisão do produtor. A utilização de novas tecnologias e práticas de manejo tem possibilitado o aumento da produtividade da cultura do café, tornando-a mais viável para os cafeicultores.

A produção do cafeeiro apresenta altas correlações com o vigor vegetativo das plantas (SEVERINO e colaboradores, 2002); com o índice SPAD (REIS e colaboradores, 2006); com o número de ramos produtivos (LIMA e colaboradores, 2016); e com o volume e área lateral do dossel do cafeeiro (FAVARIN e colaboradores, 2002). O nitrogênio atua no crescimento da planta, no aumento da vegetação com maior ramificação dos ramos plagiotrópicos, formação de folhas verdes e brilhantes, expansão da área foliar, formação de botões florais, promovendo, ainda, maior atividade fotossintética pelo aumento da clorofila e maior produção de carboidratos necessários à frutificação. Silva e colaboradores (2008), avaliando a variabilidade espacial da produtividade na cultura do café, em duas safras consecutivas, encontraram uma dependência espacial de 65 e 60 metros, respectivamente, para o primeiro e segundo ano de avaliação.

O sensoriamento remoto tem sido bastante utilizado e reconhecido por ser capaz de fornecer informações a respeito do estágio de desenvolvimento de diferentes culturas anuais, por meio dos diversos índices de vegetação que essa ferramenta disponibiliza (RAMOS, 2016). Em consequência disso,

muitas metodologias de estimativa de produtividade têm incorporado esse tipo de dados nas suas modelagens (PAIVA; TSUKAHARA; FRANÇA, 2013).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área de estudo

O experimento foi conduzido na Fazenda Atalaia, localizada no município de Encruzilhada, pertencente à região produtora de café denominada Planalto da Conquista, centro sul baiano, em uma área de 5 ha de café da cultivar Catuai 62, com 6 anos de idade, conduzida em sistema irrigado por gotejamento, plantada no espaçamento de 3,7 m entre linhas e de 0,7 m entre plantas, totalizando 3861 plantas ha⁻¹.

As coordenadas geográficas são de 15° 30' 18'' de latitude sul e 41° 14' 20'' de longitude oeste, com altitude entre 694 metros. O clima da região foi classificado pelo método de Köppen como clima tropical, com temperatura média anual de 22,1 °C.

Tabela 1 – Dados meteorológicos registrados na estação meteorológica automática da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, durante o período experimental (INMET).

Mês	T média (°C)	T máx (°C)	T mín (°C)	Precipitação (mm)
Julho	17,89	18,53	17,29	0,03
Agosto	18,11	18,73	17,53	0,04
Setembro	20,07	20,80	19,40	0,02
Outubro	20,23	20,93	19,54	22,41

3.2 Mapeamento da área e malha de amostragem

A área de estudo foi georreferenciada utilizando coordenadas obtidas por meio de um receptor GNSS geodésico, da marca Javad, modelo Triumph I. Foi utilizado o método de posicionamento RTK (*Real Time Kinematic*). Os dados foram processados no software Justin, utilizando uma base da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC), para melhorar a acurácia dos vértices levantados em campo.

Após levantamento e processamento dos dados do perímetro, foi gerada uma malha amostral regular, com pontos de coleta de 33 x 33 metros,

no software Quantum GIS, totalizando 49 pontos (Figura 1). Para cada ponto da malha, foram amostrados os dados em campo, utilizando o método do centro da malha ou centroide da área.

Os pontos de amostragem foram locados em campo com o mesmo receptor e método de posicionamento utilizado no georreferenciamento da área. Cada ponto correspondeu a uma amostra das variáveis a serem avaliadas, sendo essa amostra composta por 10 subamostras feitas num raio de 5 metros do ponto amostral (Figura 2).

Para a obtenção dos dados pretendidos, foram realizadas duas avaliações, a primeira foi realizada logo após a colheita, em 22/07/2019, compreendendo o período de inverno. A segunda avaliação foi realizada durante a estação da primavera, no dia 31/10/2019.

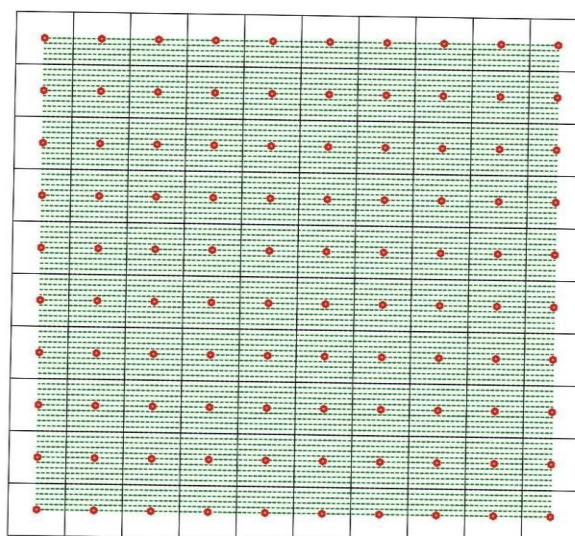


Figura 1 – Esquema da malha amostral de 33 x 33 metros em área de *Coffea arabica* L. ‘Catuai Vermelho IAC 144’. Vitória da Conquista – BA, 2019.

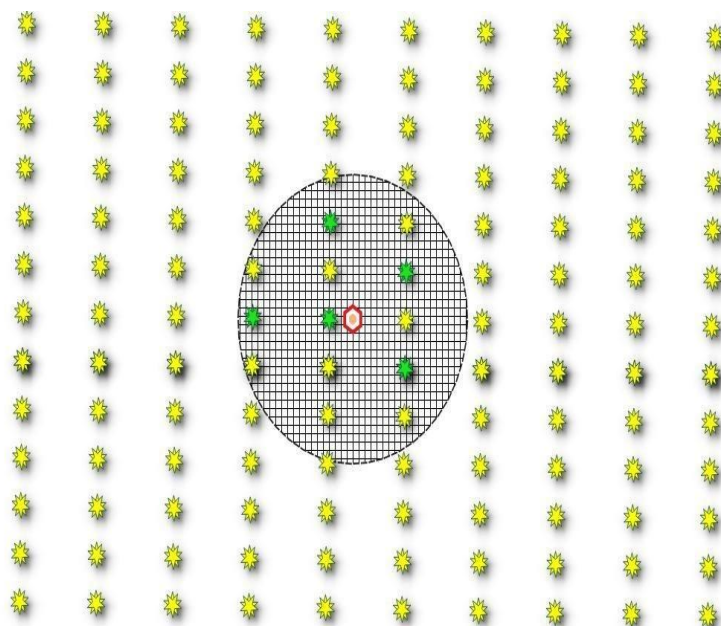


Figura 2 – Esquema do ponto amostral (vermelho) e subamostras (verdes).

3.3 Nitrogênio foliar (NF)

O teor de N nas folhas, para cada ponto amostral, foi determinado usando-se uma amostra de 20 folhas. Foi retirado o terceiro ou quarto par de folhas (a depender da disponibilidade na planta) de um ramo plagiotrópico escolhido aleatoriamente no terço médio de 10 plantas ao redor do ponto amostral. As folhas foram imediatamente acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa de circulação forçada a 65-70 °C, por 72 horas, moídas e submetidas à digestão sulfúrica, conforme métodos descritos em Malavolta, Vitti e Oliveira (1993). As análises foliares foram feitas no Laboratório de Nutrição Animal da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, utilizando-se o método de “Kjeldahl” para determinação do nitrogênio (TEDESCO e colaboradores, 1995). As mesmas folhas foram usadas para fazer as avaliações de clorofila.

3.4 Teor de Clorofila

3.4.1 Índice de Clorofila FALKER (ICF)

Os valores do teor de clorofila foram obtidos em laboratório com o

medidor portátil de clorofila (FALKER), nas mesmas folhas retiradas na amostragem anterior, antes que essas fossem secas para a análise de teores de nitrogênio. Foram medidos os valores ICF em 10 pares de folhas, em ramos produtivos (terceiro ou quarto par de folhas, a partir do ápice do ramo), no terço médio da planta, totalizando 20 folhas por planta. Foi utilizada a média dos valores obtidos em 10 plantas no entrono do ponto da malha amostral.

3.4.2 Extração de clorofila foliar

Foram retirados 3 discos com 5 mm de diâmetro, de 3 folhas das referidas anteriormente, e foram incubados em 10 mL de dimetilsulfóxido (DMSO), à temperatura de 25 °C, pelo período de 2 horas. Após o período de incubação, foi determinada a absorvância das amostras, em espectrofotômetro. Os comprimentos de onda e as equações para o cálculo das concentrações de clorofila a e b, e para o cálculo da clorofila total foram baseados no trabalho de Wellburn.

3.5 Parâmetros fitotécnicos

As seguintes avaliações foram realizadas em 10 plantas para cada ponto amostrado, obtendo uma média entre elas, para o valor final do ponto.

Os fatores fitotécnicos analisados foram:

- Diâmetro do caule: foi medido com o auxílio de um paquímetro, cuja medição foi realizada no caule a 10 centímetros do solo;
- Comprimento dos ramos plagiotrópicos: a medição do comprimento foi realizada em um dos ramos plagiotrópicos do terço médio de cada planta;
- Nota de enfolhamento: foram atribuídas notas de 1 a 5, de acordo com o grau de enfolhamento da planta analisada, com metodologia proposta por Boldini (2001).

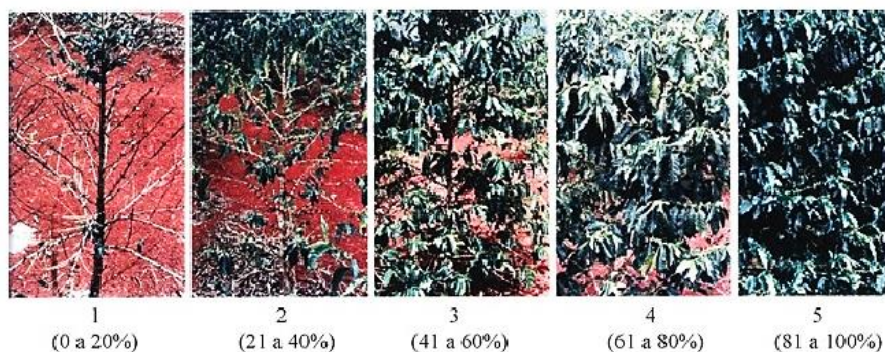


Figura 3. Escala diagramática para enfolhamento em cafeeiro (BOLDINI, 2001).

3.6 Índices de Vegetação

3.6.1 NDVI

Os valores do NDVI foram obtidos com o auxílio de um sensor óptico ativo manual terrestre (GreenSeeker®, Trimble, USA), emitindo radiação eletromagnética na banda do vermelho a 660 ± 12 nm e do infravermelho próximo em 770 ± 12 nm. A medição foi realizada a 0,50 metros da cultura no terço médio da planta, nas mesmas plantas que foram realizadas a leitura do teor de clorofila.

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

Em que:

NDVI é o índice de Vegetação por Diferença Normalizada;

NIR é a refletância no comprimento de onda correspondente ao Infravermelho Próximo (0,76 a 0,90 μm);

R é a refletância no comprimento de onda correspondente ao Vermelho (0,63 a 0,69 μm).

3.6.2 GLI, GRVI e VARI

Os índices GLI (LOUHAICHI e colaboradores, 2001) e GRVI (TUCKER, 1979) e VARI (GITELSON e colaboradores, 2002) foram obtidos por meio de imagens aéreas feitas com Aeronave Remotamente Pilotada (ARP), equipada com um sensor que capta a radiação do comprimento de ondas do visível (400 – 700 nm). As imagens foram processadas no software

Agisoft PhotoScan, utilizando os seguintes procedimentos: alinhamento das imagens; inserção de pontos de controle; extração dos modelos digitais de terreno e superfície; e o ortomosaico.

Após o processamento das imagens e geração do ortomosaico, o mesmo foi utilizado no software Quantum GIS para cálculo dos índices GLI, GRVI e VARI, por meio das seguintes equações:

$$GLI = [(2 \times G) - R - B] / [(2 \times G) + R + B],$$

$$GRVI = (G - R) / (G + R)$$

$$VARI = (G - R) / (G + R - B)$$

Em que: R é refletância no comprimento de onda do vermelho, G a refletância no verde, B a refletância no azul.

3.7 Produção

Para estimativa de produção, foram coletados dados da produção de 5 plantas em torno dos pontos amostrais, durante o mês de colheita. A colheita foi feita manualmente, colhendo-se toda a produção da planta em uma única vez. Para cálculo da produção, foi considerado o volume médio de café colhido por planta.

$$PROD (L.planta^{-1}) = \text{volume de grãos colhidos (L)} / n^{\circ} \text{ de plantas colhidas}$$

3.8 Análise estatística e geoestatística

Os dados da cultura do café foram analisados por meio da análise estatística descritiva, calculando-se média, variância, desvio-padrão, máximo, mínimo e coeficiente de variação, e de técnicas geoestatísticas. A hipótese de normalidade dos dados foi testada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, por meio do programa computacional IBM SPSS statistics 22.

A dependência espacial foi analisada por meio de ajustes de semivariogramas (VIEIRA e colaboradores, 1983), com base na pressuposição de estacionariedade da hipótese intrínseca, a qual é estimada por:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum [Z(x_i) - Z(x_i + h)] \quad (5)$$

Em que $N(h)$ é o número de pares experimentais de observações $Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$ separados por uma distância h . O semivariograma é representado pelo gráfico *versus* h . Do ajuste de um modelo matemático aos valores calculados de $\gamma(h)$, são estimados os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma (o efeito pepita, C_0 ; patamar, C_0+C_1 ; e o alcance, a). Os modelos de semivariogramas considerados foram o circular, esférico, o exponencial e o gaussiano (McBRATNEY; WEBSTER, 1986). Para analisar o grau da dependência espacial dos atributos em estudo, foi utilizada a classificação de Cambardella e colaboradores (1994), que considera “forte” os semivariogramas que tem efeito pepita $< 25\%$ do patamar, “moderado”, quando está entre 25 e 75%, e “fraco” quando $> 75\%$.

Os modelos foram ajustados por meio do software ArcGis 10.3. Em caso de divergência entre os modelos para o mesmo semivariograma, considerara o de maior valor de coeficiente de determinação e menor valor da soma dos quadrados reduzidos. Após o ajuste do semivariograma, foi feita a interpolação dos dados, por krigagem no software ArcGis 10.3, para a confecção dos mapas de distribuição espacial dos fatores fitotécnicos e fitossanitários. Para dados com normalidade comprovada, foram realizadas Krigagem ordinária, já os demais foram estudados como dados não paramétricos e utilizada a Krigagem indicativa.

Para averiguar a correlação entre os atributos em estudo, foram construídos semivariogramas cruzados, que podem assumir valores tanto positivos, indicando que o aumento em um dos atributos é acompanhado pelo aumento do outro, como negativos, indicando que, quando ocorre o aumento de um dos atributos, ocorre também decréscimo do outro. Para as análises dos resultados das correlações, foi utilizada a classificação de Hopkins (2000), na

qual: correlações entre 0,0 e 0,1 são consiradas muito baixas; entre 0,1 e 0,3 baixa; entre 0,3 e 0,5 moderada; entre 0,5 e 0,7 alta; entre 0,7 e 0,9 muito alta; e entre 0,9 e 1,0 é considerada quase perfeita.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise estatística descritiva dos atributos analisados encontra-se descrita na Tabela 2, na qual se observa que os dados de nota de enfolhamento, (NENF) e NDVI, não apresentaram normalidade pelo teste de Kolmogorov – Smirnov, a 5% de probabilidade, sendo trabalhados como dados não paramétricos. Os demais dados dos atributos avaliados no cafeeiro arábica apresentaram normalidade e foram trabalhados estatisticamente como dados paramétricos.

A demonstração gráfica da normalidade pode ser observada nos dados Q-Q plot, apresentados nas figuras de 05 a 09, para os dados de nitrogênio foliar, clorofila, dados fitotécnicos, para os índices de vegetação e para o de produção do cafeeiro arábica, respectivamente.

Verifica-se, a partir da estatística descritiva dos atributos mensurados (Tabela 02), principalmente dos valores mínimos e máximos, que há considerável variação entre os dados para todos os atributos estudados dentro da mesma avaliação e também entre as avaliações realizadas. Os valores de Nitrogênio foliar demonstram um valor médio pós-colheita de 2,78%, evidenciando que houve o translocamento do nutriente para o enchimento dos grãos. Maior capacidade de uma planta translocar nutriente pode se relacionar com a capacidade produtiva desta, visto que maiores conteúdos de nitrogênio na parte aérea tende a proporcionar maior síntese de cloroplasto, aumentando a capacidade fotossintética dessa planta em questão (EPSTEIN; BLOOM, 2006; TAIZ; ZEIGER, 2006).

Na avaliação de primavera, período pós-reposo fisiológico, as folhas apresentaram valores médios de nitrogênio foliar de 3,26% com aumento na dispersão, medida pelo CV de 8,27% para 10,74%, o que pode estar relacionado com a velocidade de absorção que cada planta apresenta, já que a adubação foi realizada por fertirrigação. Analisando-se o coeficiente de variação (CV), observa-se que, segundo a classificação proposta por Warricke Nielsen (1980), o N foi baixo ($CV < 12\%$).

Os dados de DMSO variaram entre 1,40 e 4,57 (CV 21,62%) na

primeira avaliação, enquanto que, na segunda, variou entre 1,50 e 4,03 (CV 19,40%). O ICF variou de 32,60 a 47,00 na avaliação, tendo um acréscimo na segunda avaliação, variando entre 47,7 a 63,62.

Segundo estudos de Carvalho (2017), valores de ICF podem variar de 53 a 82, sendo que entre 53 a 62 são considerados como deficiente nutricionalmente. Considera-se que o mais adequado é quando os valores estão entre 73 a 82. O mesmo autor ainda afirma que o nível de nitrogênio nas folhas está diretamente ligado com o ICF, pelo fato de que 70% do nitrogênio contido nas folhas estão nos cloroplastos. De acordo com Marengo e Lopes (2005), o nitrogênio participa da síntese e da estrutura das moléculas de clorofila.

Os atributos fitotécnicos também expressaram consideráveis variações, o NENF obteve dados que permaneceram entre 1,4 a 4,4 e 1,6 a 3,8 para primeira e segunda avaliação, respectivamente, obtendo média de 2,34 na primeira e 2,85 na segunda, evidenciando o depauperamento da lavoura pós-colheita, em julho, com enfolhamento abaixo de 50%; e o início do período vegetativo no mês de outubro, já com enfolhamento superior a 50% e com algumas plantas com floração presente (Figura 4).

Ainda para esta característica, observa-se que, para o atributo, o CV apresentou uma variação de 30,77% para 16,49% de uma avaliação para outra, uma redução em torno 70% na dispersão dos dados de enfolhamento na lavoura de café, caracterizando uma maior homogeneidade das plantas na segunda avaliação, demonstrando uma recuperação mesmo para as plantas que estavam com menor enfolhamento anteriormente.

Ainda, evidenciando o início da nova fase vegetativa, os índices de vegetação realizados obtiveram valores maiores para a segunda avaliação em relação à primeira, o que pode ser evidenciado, por exemplo, nos dados do NDVI que, na primeira avaliação, variou entre 0,62 e 0,85 (CV 6,85%); e na segunda entre 0,81 e 0,9 (CV 2,30%) com uma diminuição de aproximadamente 50% da heterogeneidade na área.

Tabela 2 – Estatística descritiva para os atributos de clorofila DMSO (CLDMSO), Índice de Clorofila Falker (ICF), Nota enfolhamento, (NENF), Diâmetro do Caule (DMC)(mm), Comprimento do ramo (CPR)(m), Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Folha Verde (GLI), Índice de Vegetação por Diferença Normalizada- verde (GRVI), Índice Resistente à Atmosfera na Região Visível (VARI), Nitrogênio Foliar (N) de plantas de *Coffea arabica* L. ‘Catuai Vermelho IAC 144’. Vitória da Conquista – BA, 2020.

Atributos	Mín.	Máx.	Média	D.P.	C.V.	K	A	KS
AVALIAÇÃO INVERNO								
N	2,34	3,24	2,78	0,23	8,27	-0,5	0,24	0,20*
CLDMSO	1,40	4,57	2,59	0,56	21,62	1,48	0,47	0,20*
ICF	32,6	47,00	41,37	2,73	6,60	1,13	-0,50	0,20*
NENF	1,40	4,40	2,34	0,72	30,77	1,47	1,08	0
DMC	45,8	57,89	52,07	2,84	5,45	-0,30	0	0,20*
CPR	0,63	0,90	0,75	0,07	9,33	-0,7	0,10	0,20*
NDVI	0,62	-0,85	0,73	0,05	6,85	0,16	-0,20	0,20*
GLI	0,09	0,24	0,28	0,03	10,71	0,34	0,26	0,20*
GRVI	-0,13	-0,03	-0,08	0,01	-12,5	0,70	0,65	0,10*
VARI	-0,15	-0,30	-0,09	0,02	-20,2	0,68	0,56	0,20*
AVALIAÇÃO PRIMAVERA								
N	2,58	3,99	3,26	0,35	10,74	-0,5	0,33	0,10*
CLDMSO	1,50	4,03	2,32	0,45	19,4	3,12	1,25	0,20*
ICF	47,6	63,62	56,95	3,70	6,50	0,02	-0,40	0,20*
NENF	1,60	3,80	2,85	0,47	16,49	-0,1	-0,60	0,20*
DMC	40,2	64,43	53,52	5,24	9,79	0,34	-0,50	0,20*
CPR	0,49	0,87	0,66	0,08	12,12	-0,10	-0,20	0,20*
NDVI	0,81	0,91	0,87	0,02	2,30	0,61	-0,50	0
GLI	0,001	0,23	0,13	0,05	38,46	0,15	-0,77	0,20*
GRVI	-0,02	0,18	0,09	0,05	55,56	0,10	-0,8	0,14*
VARI	-0,03	0,28	0,14	0,07	50,00	0,27	-0,87	0,09*
DADOS DE PRODUÇÃO								
PROD	4,72	19,63	13,43	0,03	3,82	0,65	0,34	0,20*

Mínimo (Mín), Máximo (Máx), Desvio Padrão (D.P), Curtose (K), Assimetria (a), Normalidade de Kolmogorov- Smirnov (KS).

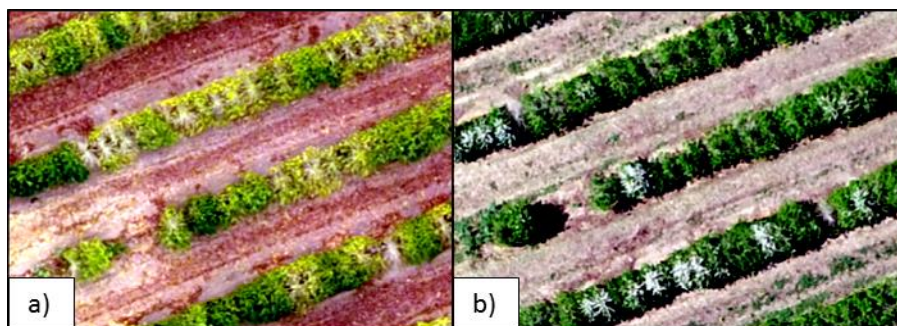


Figura 4 – Detalhe de imagem aérea de plantas de *Coffea arabica* L. ‘Catuaí Vermelho IAC 144’ avaliada: a) avaliação de inverno, b) avaliação de primavera, Vitória da Conquista – BA, 2020.

Segundo Cristiano e colaboradores (2014), os valores do NDVI, na maioria dos ecossistemas, tendem a diminuir durante a estação de temperaturas mais baixas, sugerindo uma redução na fotossíntese da copa, devido à menor atividade de enzimas fotossintéticas das folhas. Assim, as menores médias da estação Inverno 2019 coincidem com o período da desfolha causada pela seca no inverno, queda de temperatura e colheita.

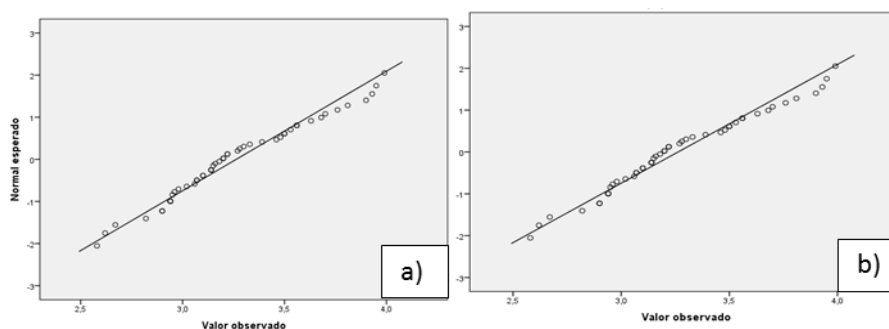


Figura 5 – Gráficos de distribuição normal para os atributos de: a) Nitrogênio foliar (N) primeira avaliação, b) Nitrogênio foliar (N) segunda avaliação de plantas de *Coffea arabica* L. ‘Catuaí Vermelho IAC 144’. Vitória da Conquista – BA, 2020.

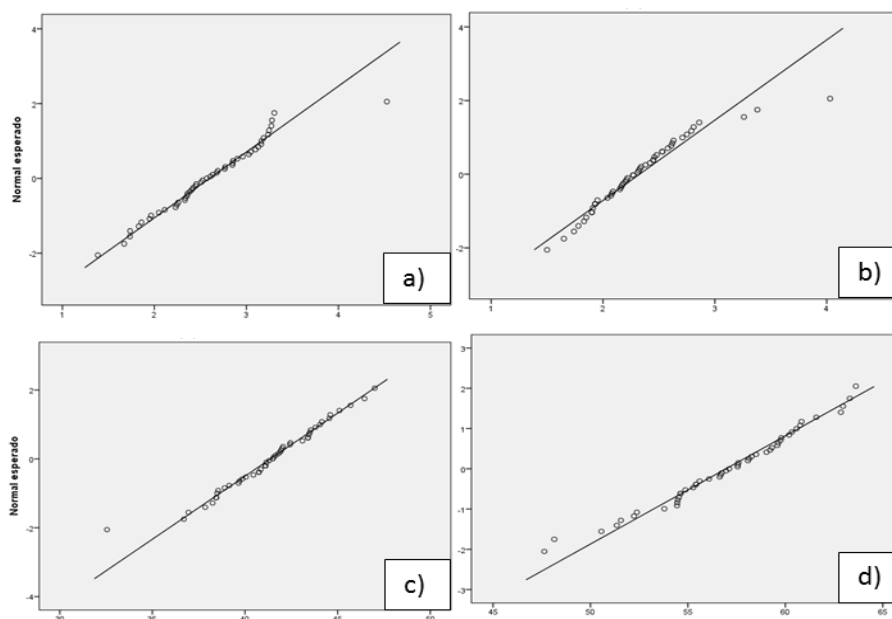


Figura 6 – Gráficos de distribuição normal para os atributos de: a) clorofila DMSO (CLDMSO) primeira avaliação, b) clorofila DMSO (CLDMSO) segunda avaliação, c) Índice de Clorofila Falker (ICF) primeira avaliação e d) Índice de Clorofila Falker (ICF) segunda avaliação de plantas de *Coffea arabica* L. ‘Catuai Vermelho IAC 144’. Vitória da Conquista – BA, 2020.

O aumento dos valores dos índices também pode ser observado nos valores médios de GRVI e VARI, que passou de valores médios negativos de -0,08 e -0,09 para 0,09 e 0,14 para primeira e segunda avaliação, respectivamente. Segundo Braga e colaboradores (2003), a vegetação demora de 30 a 60 dias para responder às variações do regime de precipitação pluvial. A partir do acúmulo das chuvas do mês de outubro, os valores de GLI, GRVI e VARI voltaram a subir.

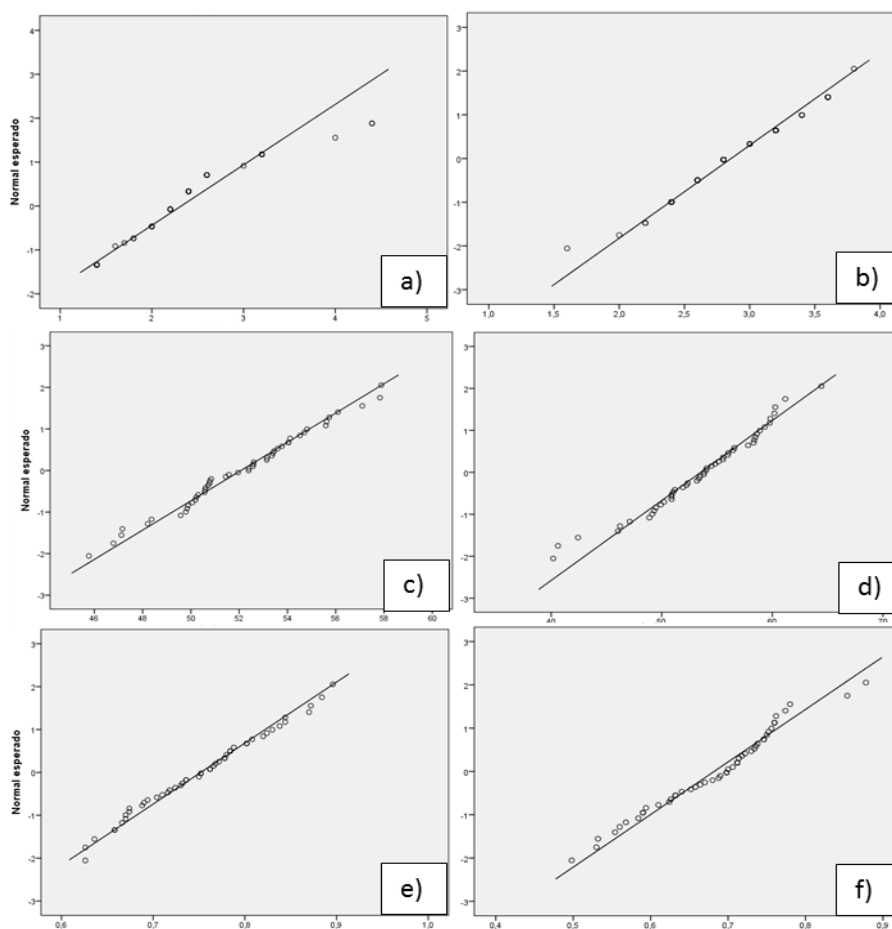


Figura 7 – Gráficos de distribuição normal para os atributos de: a) Nota enfolhamento (NENF) primeira avaliação, b) Nota enfolhamento (NENF) segunda avaliação, c) Diâmetro do Caule (DMC)(mm) primeira avaliação e d) Diâmetro do Caule (DMC)(mm) segunda avaliação, e) Comprimento do ramo (CPR)(m) primeira avaliação e f) Comprimento do ramo (CPR)(m) segunda avaliação de *Coffea arabica* L. ‘Catuai Vermelho IAC 144’. Vitória da Conquista – BA, 2020.

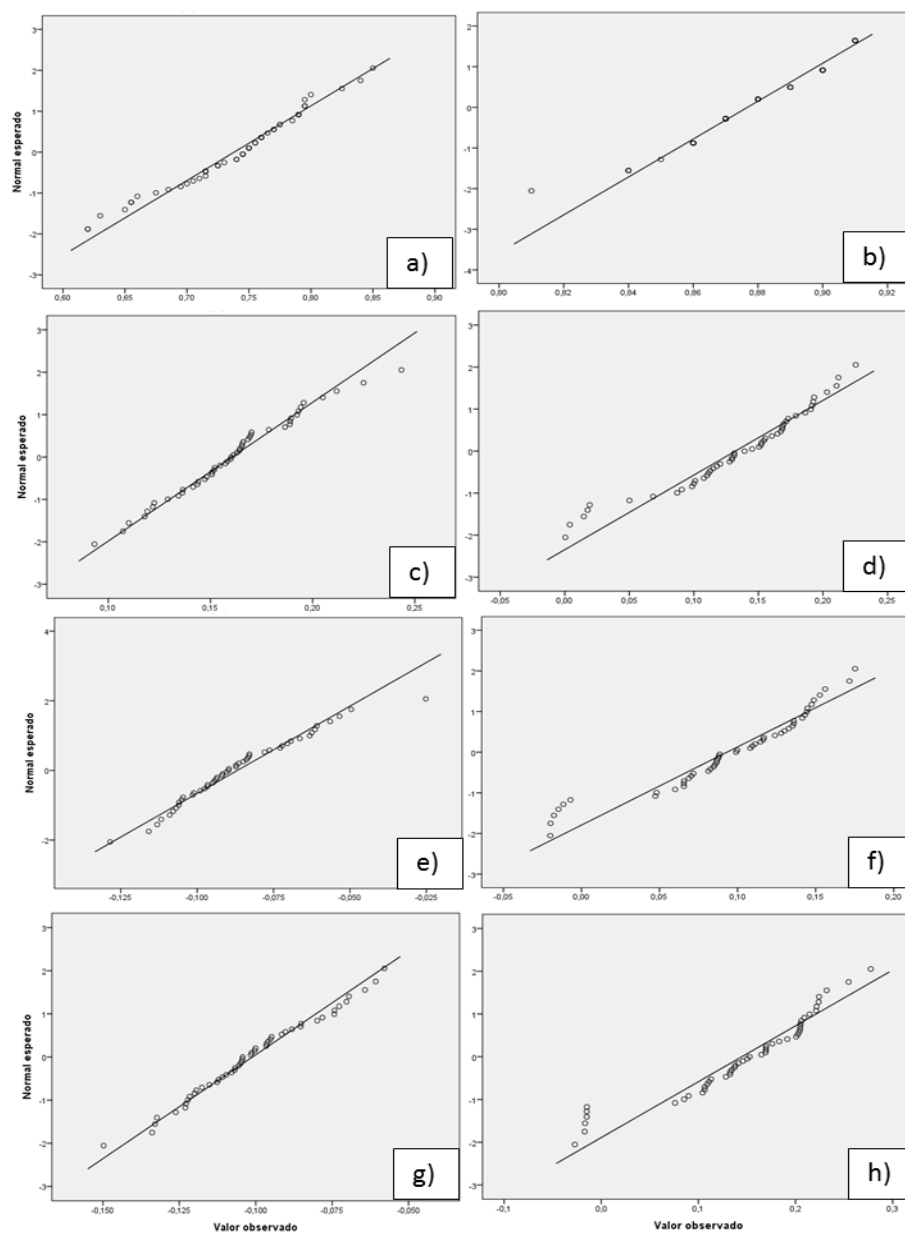


Figura 8 – Gráficos de distribuição normal para os atributos de: a) Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) primeira avaliação, b) Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) segunda avaliação, c) Índice de Folha Verde (GLI) primeira avaliação e d) Índice de Folha Verde (GLI) segunda avaliação, e) Índice de Vegetação por Diferença Normalizada- verde (GRVI) primeira avaliação e f) Índice de Vegetação por Diferença Normalizada- verde (GRVI) segunda avaliação, e) Índice Resistente à Atmosfera na Região Visível (VARI) primeira avaliação e f) Índice Resistente à Atmosfera na Região Visível (VARI) segunda avaliação de plantas de *Coffea arabica* L. ‘Catuai Vermelho IAC 144’. Vitória da Conquista – BA, 2020.

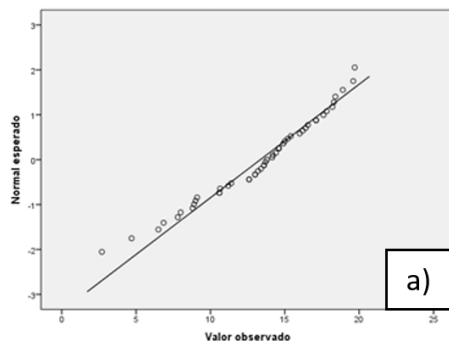


Figura 9 – Gráficos de distribuição normal para os atributos de: a) Produtividade (PROD) de plantas de *Coffea arabica* L. ‘Catuai Vermelho IAC 144’. Vitória da Conquista – BA, 2020.

A partir da análise geoestatística, foi possível quantificar a magnitude e a estrutura da dependência espacial de todos os atributos em estudo (Tabela 3). O uso da geoestatística se torna fundamental para identificar a localização e a variabilidade espacial dos respectivos atributos estudados, permitindo, assim, confeccionar mapas temáticos que sejam capazes de permitir a definição de zonas de manejo para o melhor gerenciamento da lavoura cafeeira, e do estudo da correlação espacial entre eles.

Houve ajuste do modelo estatístico para os dados de nitrogênio nas duas avaliações (Figura 10), para o qual foi obtida uma dependência espacial moderada com um alcance de 64,84 m.

Tabela 3 – Parâmetros estimados para o semivariograma experimental dos atributos de clorofila DMSO (CLDMSO), Índice de Clorofila Falker (ICF), Nota enfolhamento, (NENF), Diâmetro do Caule (DMC)(mm), Comprimento do ramo (CPR)(m), Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Folha Verde (GLI), Índice de Vegetação por Diferença Normalizada- verde (GRVI), Índice Resistente à Atmosfera na Região Visível (VARI), Nitrogênio Foliar (N) de plantas de *Coffea arabica* L. ‘Catuaí Vermelho IAC 144’. Vitória da Conquista – BA, 2020.

Atributo	Modelo	Erro	R ²	C0	Alc.	C	C0+C	IDE	A	
AVALIAÇÃO INVERNO										
N	Exp.	0,0001	1,00	0,0260	64,80	0,0370	0,0630	0,59	Mod	0,70
CLDMSO	Circ.	0,0080	0,96	0,215	69,68	0,0210	0,2356	0,09	Fraca	0,00
ICF	Exp.	0,0500	1,05	1,343	71,04	5,3938	6,7367	0,80	Mod.	0,25
NENF	Exp.	-0,020	0,96	0,052	64,84	0,2163	0,2679	0,81	Mod.	0,24
DMC	EPP									
CPR	Exp.	0,0004	1,06	0,0030	64,84	0,0010	0,0040	0,25	Forte	3,00
NDVI	Exp.	0,0027	1,16	0,0001	75,47	0,0020	0,0021	0,95	Fraca	0,05
GLI	Exp.	0,0003	1,04	0,0004	64,84	0,0004	0,0004	0,30	Mod.	2,31
GRVI	Gaus.	0,0004	1,30	0,0002	387,48	0,0001	0,0003	0,33	Mod.	2,00
VARI	Gaus.	0,0005	1,31	0,0002	387,48	0,0002	0,0004	0,50	Mod.	1,00
AVALIAÇÃO PRIMAVERA										
N	Exp.	-0,0072	1,03	0,0669	64,84	0,0470	0,1139	0,41	Mod.	1,42
CLDMSO	Circ.	0,0085	0,93	0,215	69,68	0,0210	0,2356	0,09	Forte	0,00
ICF	EPP									
NENF	Exp.	-0,016	1,00	0,0227	114,44	0,2393	0,2620	0,91	Fraca	0,09
DMC	Exp.	0,0923	1,02	3,4372	64,84	20,4084	23,8456	0,86	Fraca	0,17
CPR	Circ.	0,0005	1,05	0,0040	64,84	0,0004	0,0044	0,09	Forte	10,00
NDVI	Circ.	0,0047	0,98	0,1982	360,00	0,1288	0,3270	0,39	Mod.	1,54
GLI	Exp.	0,0020	1,10	0,0020	64,80	0,0010	0,0030	0,33	Mod.	2,00
GRVI	Exp.	0,0013	1,07	0,0021	64,84	0,0008	0,0029	0,28	Mod.	2,63
VARI	Exp.	0,0017	1,07	0,0040	64,84	0,0020	0,0060	0,33	Mod.	2,00
DADOS DE PRODUÇÃO										
PROD	Exp.	-0,076	1,06	0,3900	64,84	7,6800	8,0700	0,95	Fraca	0,05

*Efeito Pepita Puro (EPP)

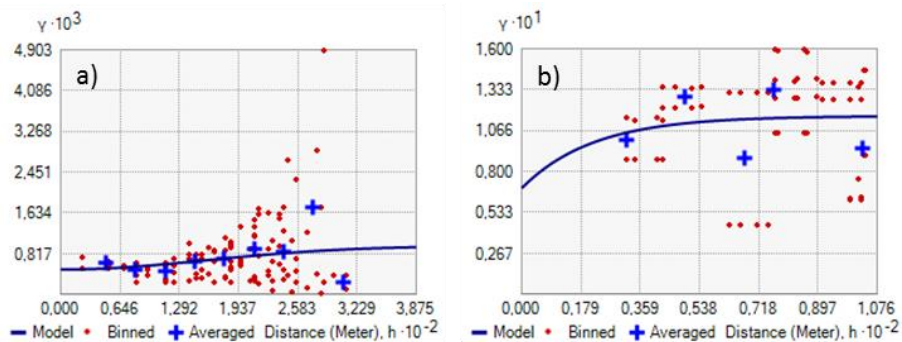


Figura 10 – Semivariograma dos atributos de: a) Nitrogênio foliar (N) primeira avaliação, b) Nitrogênio foliar (N) segunda avaliação, c) Produtividade (PROD) de plantas de *Coffea arabica* L. ‘Catuaí Vermelho IAC 144’. Vitória da Conquista – BA, 2020.

Observando-se os mapas de distribuição espacial dos teores foliares de nitrogênio (Figura 11), nota-se uma certa variação espacial dos teores de nitrogênio foliar entre os períodos avaliados, não mantendo, assim, a tendência espacial entre a avaliação de inverno e de primavera. O cafeeiro é extremamente exigente em Nitrogênio, sendo este o nutriente mais exigido pela cultura em relação aos demais. Sua função está ligada ao processo de fotossíntese, se tornando indispensável para o desenvolvimento da cultura.

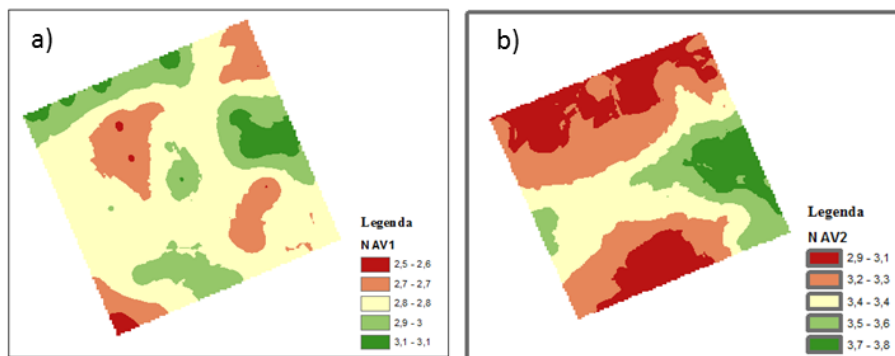


Figura 11 – Mapas de distribuição espacial de: a) Nitrogênio foliar (N) primeira avaliação, b) Nitrogênio foliar (N) segunda avaliação de plantas de *Coffea arabica* L. ‘Catuaí Vermelho IAC 144’. Vitória da Conquista – BA, 2020.

Para os atributos avaliados por meio da geoestatística, foi observada uma alta dependência espacial para CLDMSO na primeira avaliação, de acordo com a classificação sugerida por Cambardella e colaboradores (1994). Não foi possível modelar a Krigagem para o ICF para a segunda avaliação, pois este apresentou Efeito Pepita Puro (EPP) (figura 12), ou seja, a variável se comportou de modo aleatório no espaço, não sendo possível modelar sua dependência espacial. Possivelmente, devido à maior homogeneidade do atributo ICF na avaliação de primavera, o algoritmo computacional não conseguiu ajustar um modelo estatístico.

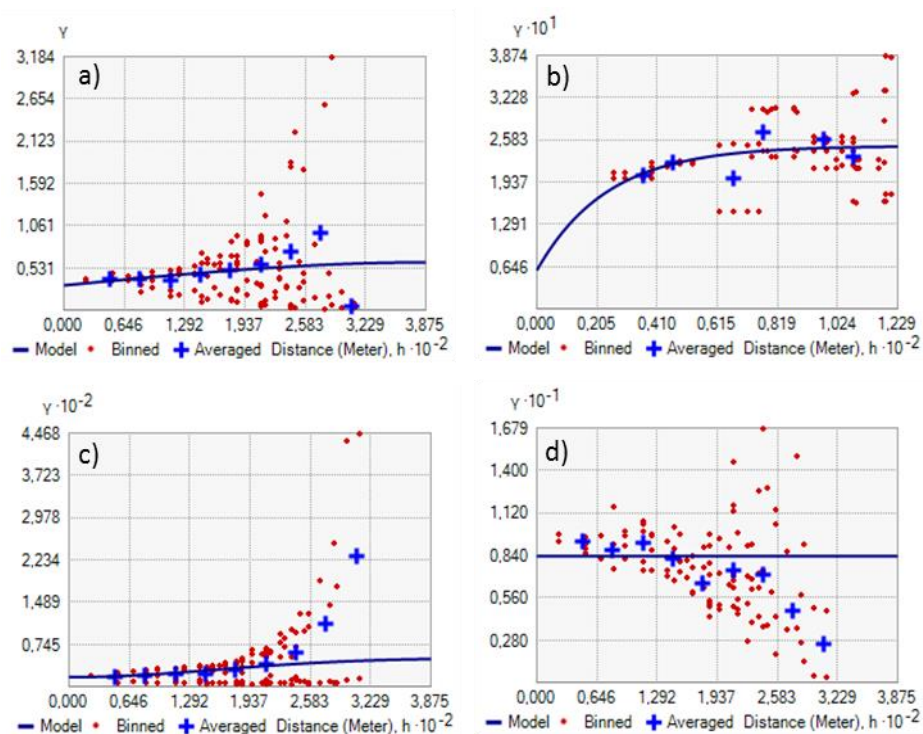


Figura 12 – Semivariograma para os atributos de: a) clorofila DMSO (CLDMSO) primeira avaliação, b) clorofila DMSO (CLDMSO) segunda avaliação, c) Índice de Clorofila Falker (ICF) primeira avaliação e d) Índice de Clorofila Falker (ICF) segunda avaliação de plantas de *Coffea arabica* L. ‘Catuai Vermelho IAC 144’. Vitória da Conquista – BA, 2020.

Os mapas de variabilidade espacial de clorofila, extraída para a avaliação de inverno, e o ICF, para a mesma avaliação (Figura 13),

demonstram visualmente uma tendência espacial de ocorrerem valores próximos para o mesmo ponto analisado. Já a avaliação de primavera, para o atributo de CLDMSO, obteve uma variação espacial considerável da primeira para a segunda avaliação.

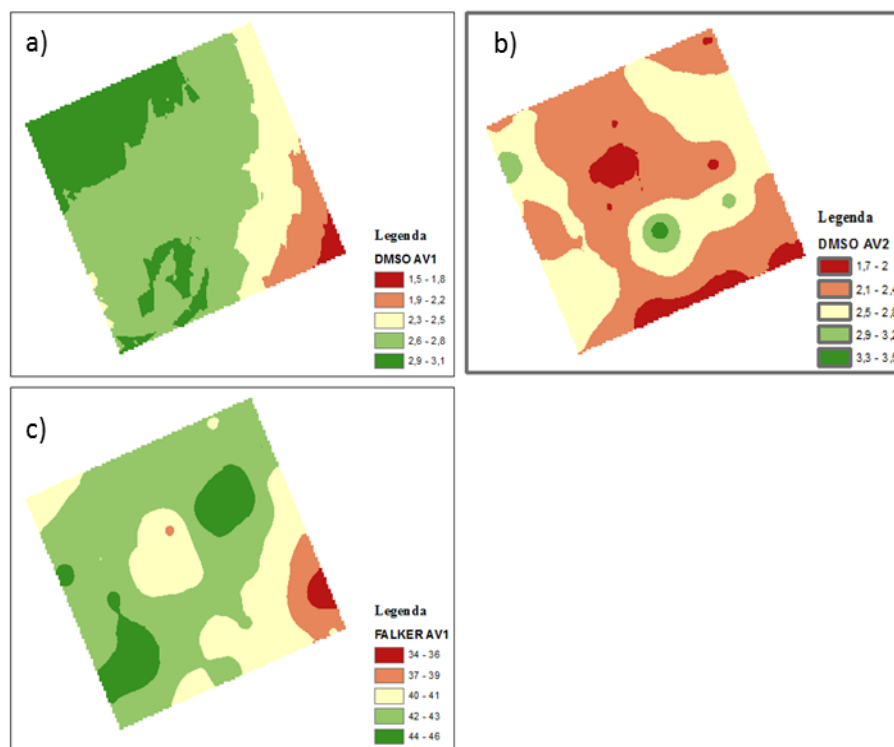


Figura 13 – Mapas de distribuição espacial de: a) clorofila DMSO (CLDMSO) primeira avaliação, b) clorofila DMSO (CLDMSO) segunda avaliação, c) Índice de Clorofila Falker (ICF) primeira avaliação de plantas de *Coffea arabica* L. ‘Catuaí Vermelho IAC 144’. Vitória da Conquista – BA, 2020.

Dentre os dados fitotécnicos, o CPR apresentou uma forte dependência espacial tanto na primeira avaliação (0,25) quanto na segunda (0,09), ou seja, a posição onde a planta está localizada no espaço influenciou o comprimento do ramo do cafeeiro. Os dados de DMC para a primeira avaliação apresentaram EPP (Figura 14), já na segunda observa-se um ajuste do modelo estatístico, porém, com fraca dependência espacial.

Ao observar visualmete os mapas de variabilidade espacial dos atributos fitotécnicos (Figura 15), nota-se grande proximidade da distribuição

especial entre a primeira e segunda avaliação para os dados de enfolhamento e de comprimento do ramos plagiotrópico.

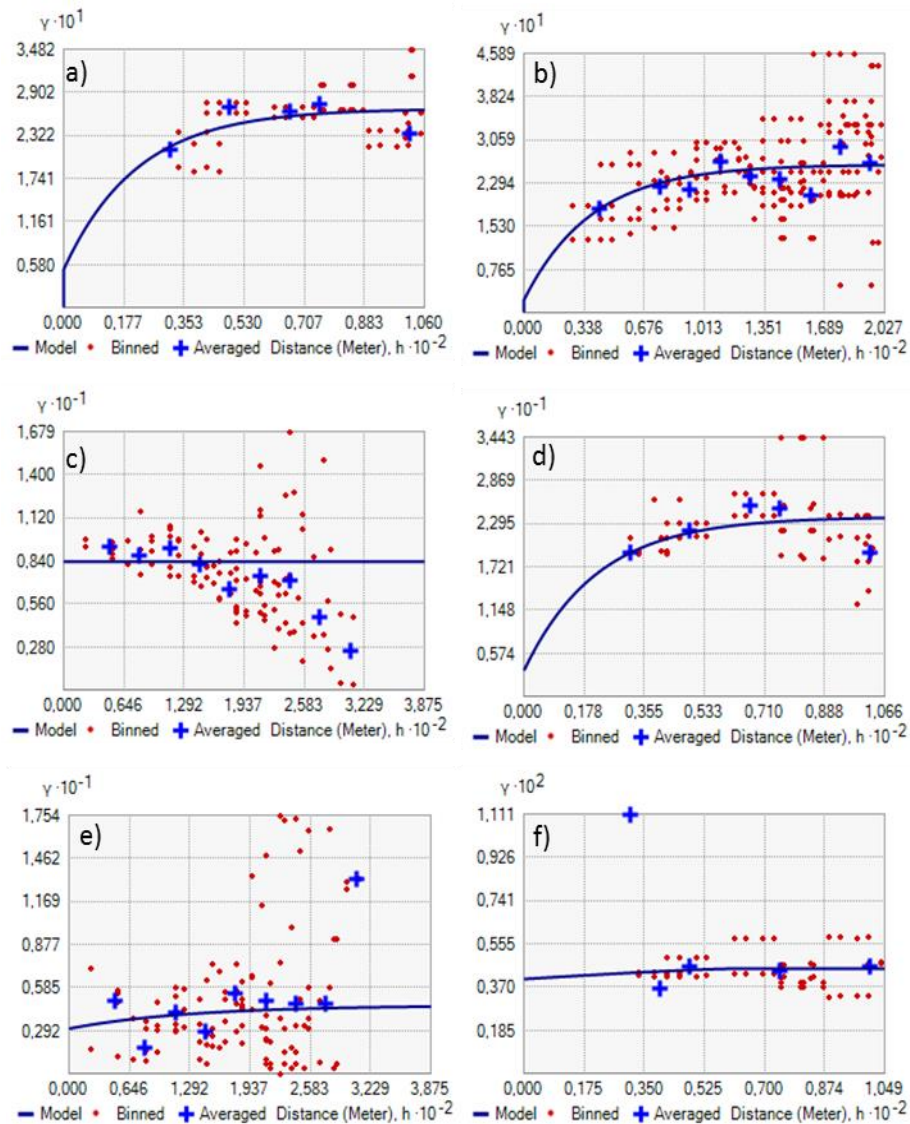


Figura 14 – Semivariograma para os atributos de: a) Nota enfolhamento (NENF) primeira avaliação, b) Nota enfolhamento (NENF) segunda avaliação, c) Diâmetro do Caule (DMC)(mm) primeira avaliação e d) Diâmetro do Caule (DMC)(mm) segunda avaliação, e) Comprimento do ramo (CPR)(m) primeira avaliação e f) Comprimento do ramo (CPR)(m) segunda avaliação de plantas de *Coffea arabica* L. ‘Catuai Vermelho IAC 144’. Vitória da Conquista – BA, 2020.

O mapa de distribuição do atributo DMC (Figura 15) demonstra uma alta homogeneidade da área, demonstrando uma área pequena e localizada com diâmetro do caule inferior a 40 mm.

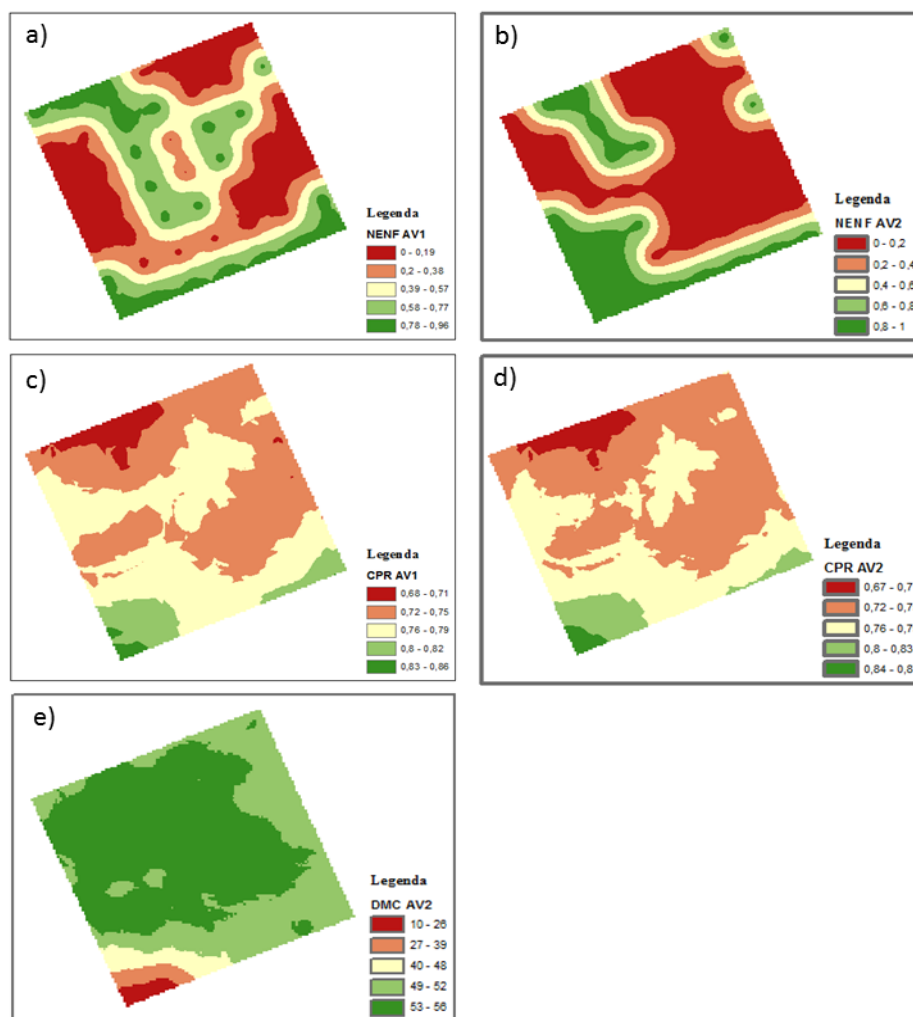


Figura 15 – Mapas de distribuição espacial de: a) Nota enfolhamento (NENF) primeira avaliação, b) Nota enfolhamento (NENF) segunda avaliação, c) Comprimento do ramo (CPR) (m) primeira avaliação e d) Comprimento do ramo (CPR) (m) segunda avaliação, e) Diâmetro do Caule (DMC)(mm)segunda avaliação de plantas de *Coffea arabica* L. ‘Catuaí Vermelho IAC 144’. Vitória da Conquista – BA, 2020.

Na avaliação dos índices, constata-se um ajuste nos modelos estatísticos com moderada dependência espacial, exceto para o NDVI na primeira avaliação, que apresentou uma dependência espacial fraca (Figura 16). Observa-se graficamente nos mapas de distribuição espacial dos índices de vegetação (Figura 17) grande similaridade entre os índices GLI, GRVI e VARI, obtidos através de sensor aéreo RGB, para os dois períodos de avaliação.

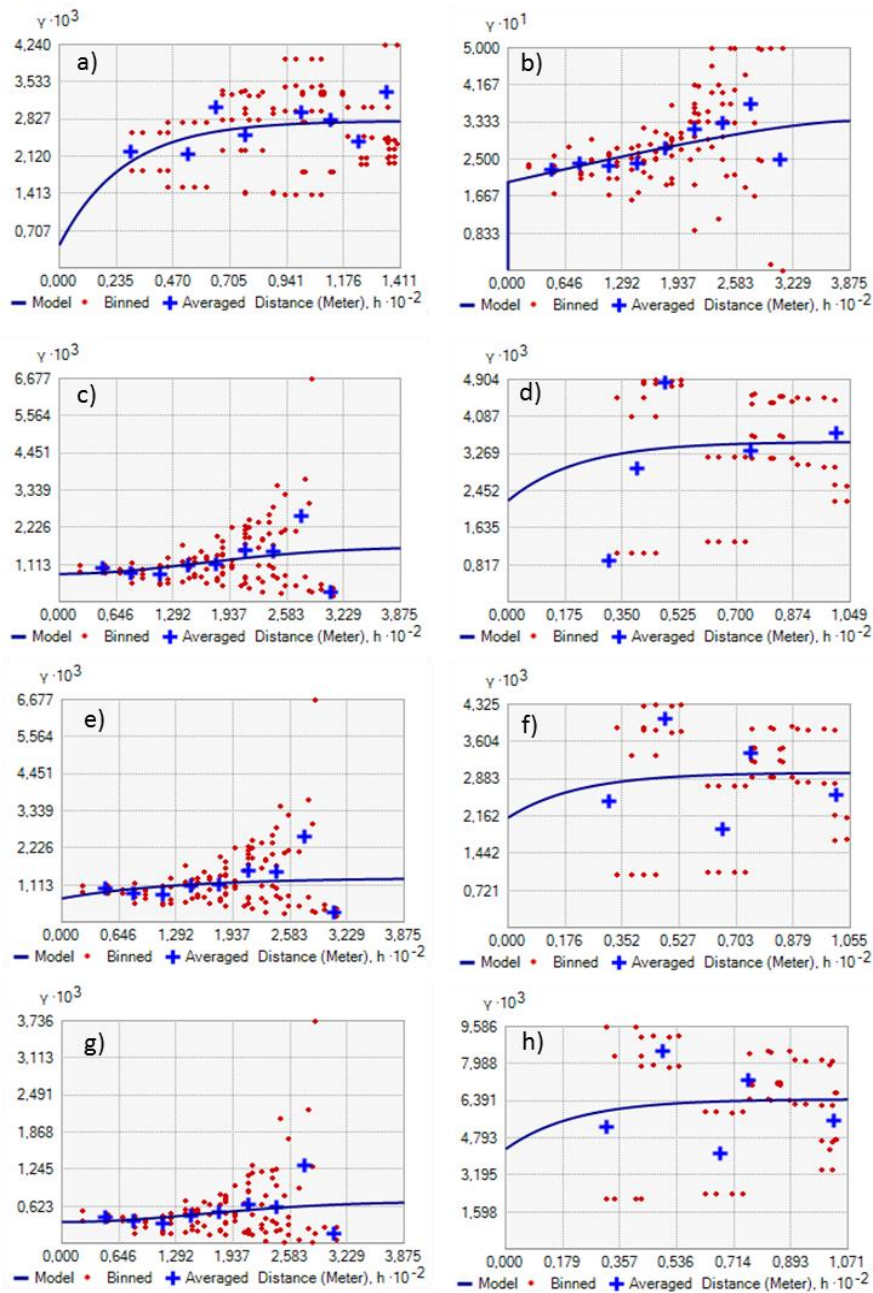


Figura 16 – Semivariograma dos atributos de: a) Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) primeira avaliação, b) Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) segunda avaliação, c) Índice de Folha Verde (GLI) primeira avaliação e d) Índice de Folha Verde (GLI) segunda avaliação, e) Índice de Vegetação por Diferença Normalizada- verde (GRVI) primeira avaliação e f) Índice de Vegetação por Diferença Normalizada- verde (GRVI) segunda avaliação, e) Índice Resistente à Atmosfera na Região Visível (VARI) primeira avaliação e f) Índice Resistente à Atmosfera na Região Visível (VARI) segunda avaliação de plantas de *Coffea arabica* L. ‘Catuai Vermelho IAC 144’. Vitória da Conquista – BA, 2020.

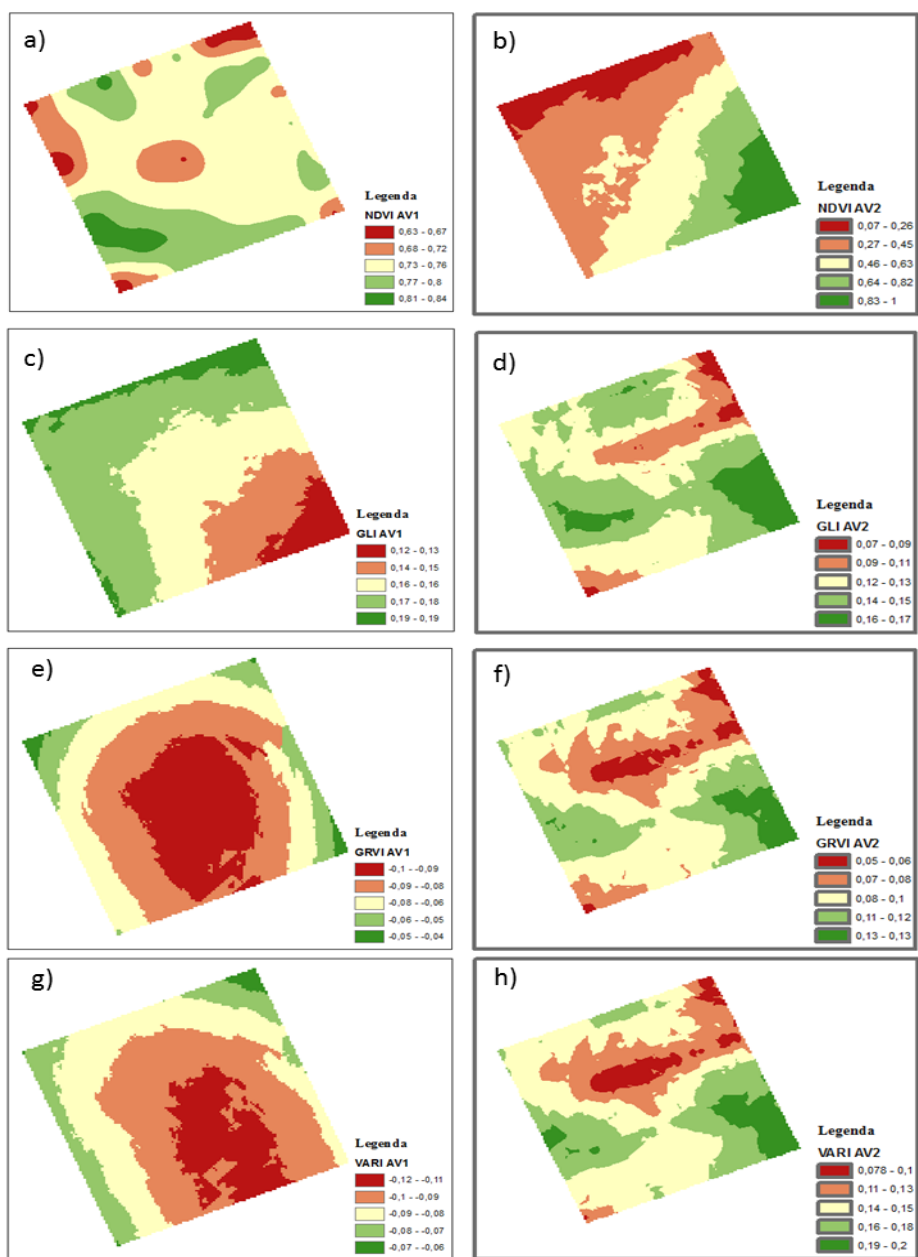


Figura 17 – Mapas de distribuição espacial de: a) Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) primeira avaliação, b) Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) segunda avaliação, c) Índice de Folha Verde (GLI) primeira avaliação e d) Índice de Folha Verde (GLI) segunda avaliação, e) Índice de Vegetação por Diferença Normalizada- verde (GRVI) primeira avaliação e f) Índice de Vegetação por Diferença Normalizada- verde (GRVI) segunda avaliação, e) Índice Resistente à Atmosfera na Região Visível (VARI) primeira avaliação e f) Índice Resistente à Atmosfera na Região Visível (VARI) segunda avaliação de plantas de *Coffea arabica* L. ‘Catuai Vermelho IAC 144’. Vitória da Conquista – BA, 2020.

Os dados de produção obteve ajuste matemático, e seu semivariograma (Figura 18) demonstra o ajuste quase perfeito dos valores avaliados e estimado pelo modelo.

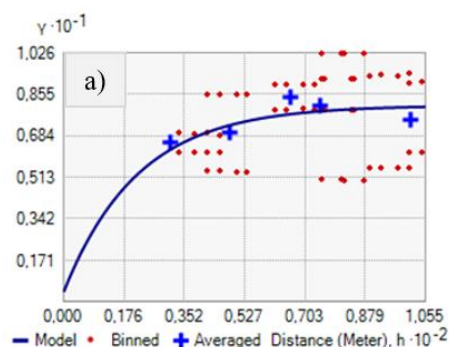


Figura 18 – Semivariograma dos atributos de: a) Dados de produtividade de plantas de *Coffea arabica* L. ‘Catuaí Vermelho IAC 144’. Vitória da Conquista – BA, 2020.

Pode-se ainda observar a distribuição espacial da produção (Figura 19) destacando-se numa área pequena e bem definida, com valores de produção abaixo de 7 L.planta⁻¹.

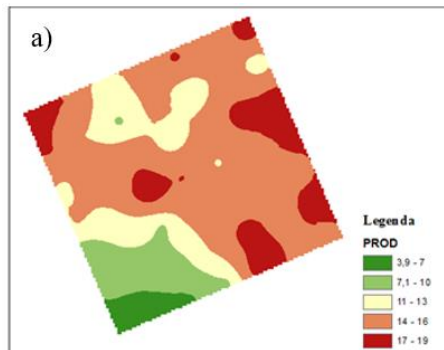


Figura 19 – Mapas de distribuição espacial de: a) Dados de produção de plantas de *Coffea arabica* L. ‘Catuaí Vermelho IAC 144’. Vitória da Conquista – BA, 2020.

Após a adequação dos semivariogramas para cada atributo avaliado, foram estimados valores através da interpolação dos pontos, por meio da krigagem ordinária para os dados que obtiveram a normalidade comprovada. Já para os dados que não apresentaram normalidade, foi realizada a Krigagem indicativa, sendo possível posteriormente a construção de mapas para a

visualização da distribuição espacial dessas características e o cálculo da correlação entre os dados (Tabela 4).

Possivelmente, por motivos de desbalanceio e depauperamento, os índices de vegetação não se correlacionaram com o nitrogênio foliar na primeira avaliação, contudo, na segunda avaliação, quando a lavoura estava restabelecendo os teores foliares de nitrogênio (N), houve uma correlação alta com todos os índices avaliados, sendo da ordem de 0,62, 0,42, 0,49, 0,53 para NDVI, GLI, GRVI e VARI, respectivamente, dando uma ótima expectativa para que se possa obter uma estimativa confiável dos teores foliares de nitrogênio, por meio de análises não destrutivas e de forma mais prática.

O N obteve uma correlação positiva baixa (0,22) com a produtividade, para a primeira avaliação; já para a segunda avaliação, esta correlação foi positiva moderada (0,34), evidenciando que as plantas com as maiores produtividades no ciclo anterior obtiveram maior absorção do nitrogênio para sua recuperação, durante o início da fase vegetativa.

Os atributos de ICF e DMSO apresentaram uma correlação espacial alta de 0,57, segundo classificação de Hopkins (2000), demonstrando a relação do estimador de clorofila com os teores foliares reais extraídos. Dados da segunda avaliação de enfolhamento obtiveram uma correlação negativa com o DMSO (-0,34), possivelmente porque a planta estava em estágio inicial de vegetação, apresentando diversas folhas novas, porém, ainda sem estabilização dos teores de clorofila foliar.

O índice de folha verde (GLI), obtido através da plataforma aérea, apresentou uma correlação espacial alta na primeira avaliação, de 0,66 e 0,60 com DMSO e ICF, respectivamente, constatando, assim, uma possibilidade alta no uso deste tipo de equipamento para estimativa dos teores de clorofila em cafeeiros, no período em questão.

Em relação ao índice GRVI, o mesmo obteve correlação positiva moderada com o NDVI (0,41) e quase perfeita com GLI (0,94), na segunda avaliação, demonstrando uma similaridade entre esses índices, pois são utilizados os valores das reflectâncias das mesmas bandas espectrais em seus cálculos, diferindo apenas em sua formulação algébrica. Já o índice VARI se

correlacionou com o CPR na segunda avaliação (0,30) e com os demais índices (GLI e GRVI) tanto na primeira quanto na segunda avaliação, presumindo a mesma similaridade dos índices utilizados.

Tabela 4 – Coeficiente de correlação entre os atributos de Nitrogênio Foliar (N),clorofila DMSO (CLDMSO), Índice de Clorofila Falker (ICF), Nota enfolhamento (NENF), Diâmetro do Caule (DMC)(mm), Comprimento do ramo (CPR)(m), Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Folha Verde (GLI), Índice de Vegetação por Diferença Normalizada- verde (GRVI), Índice Resistente à Atmosfera na Região Visível (VARI) de plantas de *Coffea arabica* L. ‘Catuaí Vermelho IAC 144’. Vitória da Conquista – BA, 2020.

AVALIAÇÃO DE INVERNO										
Atributo	N	DMSO	ICF	NENF	DMC	NDVI	GLI	GRVI	VARI	PROD
N	-									
DMSO	0,08	-								
ICF	0,03	0,57	-							
NENF	-0,17	0,08	-0,11	-						
DMC	-0,31	-0,21	0,06	0,24	-					
NDVI	0,13	-0,01	0,19	0,12	0,11	-				
GLI	-0,01	0,66	0,6	-0,11	-0,23	-0,11	-			
GRVI	0	-0,16	-0,2	-0,11	-0,11	-0,18	0,25	-		
VARI	-0,05	0,16	0,22	-0,2	-0,09	-0,16	0,7	0,82	-	
PROD	0,22	-0,38	-0,46	-0,17	-0,48	-0,47	-0,3	0,08	-0,18	-
AVALIAÇÃO DE PRIMAVERA										
Atributo	N	DMSO	NENF	DMC	CPR	NDVI	GLI	GRVI	VARI	PROD
N	-									
DMSO	0,14	-								
NENF	-0,27	-0,34	-							
DMC	-0,26	-0,01	0,34	-						
CPR	0,38	-0,08	0,24	-0,25	-					
NDVI	0,62	-0,11	-0,13	-0,45	0,6	-				
GLI	0,42	0,06	-0,17	-0,07	0,19	0,31	-			
GRVI	0,49	0,14	-0,11	-0,19	0,23	0,41	0,94	-		
VARI	0,53	0,14	-0,09	-0,26	0,3	0,48	0,9	0,99	-	
PROD	0,34	0,01	-0,61	-0,14	-0,36	0,26	0,14	0,14	0,08	-

Constata-se que, devido à primeira avaliação ter sido realizada logo

após a colheita, diversas correlações negativas foram obtidas com a produção nesse período, o que evidencia o deslocamento de suas reservas para o fruto e os danos físicos provocados pela colheita mecanizada realizada na área. A PROD obteve correlação negativa moderada com as variáveis DMSO (-0,38), ICF (-0,46), NDVI (-0,47), GLI (-0,30). Na cafeicultura, de acordo com Silva e colaboradores (2015a), o NDVI vem sendo utilizado como uma ferramenta útil, rápida e não destrutiva para o monitoramento do vigor vegetativo, e para se acessar o estado fisiológico de cafeeiros (SILVA e colaboradores, 2015b).

Na segunda avaliação, a variável PROD apresentou uma alta correlação negativa com o NENF (- 0,61), demonstrando que, ao obter uma alta produção no seu ciclo anterior, a planta necessita de um tempo maior de recuperação em relação às plantas com baixa produção. Segundo Alves (2009), uma boa relação entre folhas e frutos é interessante, de modo que as plantas de café possam dispor de um nível adequado de enfolhamento, capaz de suprir suficientemente com fotoassimilados a demanda exigida pelos frutos e, assim, suportar altas produções, do contrário, se não houver um incremento considerável na área da folha até o final da fase de crescimento dos frutos, pode haver intensificação da expressão de competitividade entre o crescimento vegetativo e reprodutivo, resultando em ciclos bienais de produção (CANNELL, 1976; LAVIOLA e colaboradores, 2007; PEZZOPANE e colaboradores, 2008).

Diante do exposto, nota-se que a utilização de análises não destrutivas, por meio de sensores ativos e passivos, é promissora para as estimativas de parâmetros nutricionais, de atributos fitotécnicos e de produção para o cafeeiro. Pelo fato de serem metodologias novas, ainda se faz necessária a apuração e a concretização da mesma para a cultura do café.

5 CONCLUSÕES

As análises não destrutivas, realizadas por meio de sensores ativos e passivos, demonstraram uma ferramenta satisfatória para a estimativa de nitrogênio foliar em plantas de café para a avaliação de primavera.

O índice de clorofila Falker obteve uma correlação alta com os teores extraídos de clorofila de plantas de café na avaliação de inverno, demonstrando sua eficiência em estimar o conteúdo de clorofila em café.

O comprimento de ramos obteve uma correlação positiva com o VARI, medido no cafeeiro na segunda avaliação, e com os índices GLI e GRVI nas duas avaliações.

A produção obtida para o ciclo anterior às avaliações não obteve correlação com as avaliações não destrutivas realizadas posteriormente.

Conclui-se que há inúmeras possibilidades na utilização de sensores para estimativas de parâmetros nutricionais, fitotécnicos e de produção para a cultura do café. Há, todavia, a necessidade de aprofundamento dos estudos para uma concretização das metodologias a serem aplicadas na cultura, levando em consideração suas particularidades.

6 REFERÊNCIAS

- ALVES, M. C. e colaboradores. Modeling spatial variability and pattern of rust and brown eye spot in coffee agroecosystem. **Journal of Pest Science**, v. 82, n. 2, p. 137, 2009.
- ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F. DA; BORTOLINI, C. G.; FORSTHOFER, E. L.; STRIEDE, M. L. Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e de nitrogênio na folha de milho. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.13, p.158-167, 2001.
- ASSAD, D. E. e colaboradores. Sistema de previsão de safra de soja para o Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.615-625, 2007.
- BENDIG, J. e colaboradores. Combining UAV-based plant height from crop surface models, visible, and near infrared vegetation indices for biomass monitoring in barley. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 39, p. 79–87, 2015.
- BRAGA, e colaboradores **Tempo de resposta da vegetação às variabilidades sazonais da precipitação no Nordeste do Brasil**. Santa Maria. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.11, n.1, p. 149-157, 2003.
- BRANDÃO, Z. N. e colaboradores. Estimativa da produtividade do algodoeiro através de imagens de satélite. *In: 8º Congresso Brasileiro de Algodão & I Cotton Expo 2011, Anais...* São Paulo, SP – 2011. p.1602-1609.
- BOLDINI, J. M. **Epidemiologia da ferrugem e da cercosporiose em cafeeiro irrigado e fertirrigado**. 2001. 67 f. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2001.
- CAMBARDELLA, C. A. e colaboradores. E. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, n. 5, p. 1501 – 1511, 1994.
- CARNNELL, M. G. R. Physiology of the coffee crop. *In: CLIFFORD, M. N.; WILLSON, K. C. Coffee. Springer US*, p. 108-134, 1976.
- CARVALHO, L. C. C. e colaboradores. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo e características agronômicas da cultura do café. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n.3, p. 265-275, 2014.
- CARVALHO, C.H.S. (Ed). Cultivares de café: origem, características e recomendações. Brasília: **Embrapa Café**, p. 157-226, 2008.

- CARVALHO, L. C. C. e colaboradores. Geostatistical analysis of Arabic coffee yield in two crop seasons. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 6, p. 410–414, 2017.
- CATANI, R.A.; MORAES, F.R.P. A composição química do cafeeiro. **Revista de Agricultura**, v.33, p.45-52, 1958.
- CHAVES, J. C. D.; SARRUGE, J. R. Alterações nas concentrações de macronutrientes nos frutos e folhas do cafeeiro durante um ciclo produtivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 19, n. 4, p. 427-432, 1984.
- CRISTIANO, Piedad e colaboradores. High NDVI and Potential Canopy Photosynthesis of South American Subtropical Forests despite Seasonal Changes in Leaf Area Index and Air Temperature. **Forests**. v.5, n. 2, p.287-308, 20 fev. 2014.
- COMBES, M.C.; JOET, T.; LASHERMES, P. Development of a rapid and efficient DNA-based method to detect and quantify adulterations in coffee (Arabica versus Robusta). **Food Control**, v.88, p.198-206, 2018.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento de safra brasileira de café**, v. 5– Safra 2019, n.1-Primeiro levantamento, Brasília, p. 1-73, 2019.
- CRUZ, M. A. S.; SOUZA, A. M. B.; JESUS, J. S. Avaliação da cobertura vegetal por meio dos Índices de Vegetação SR, NDVI, SAVI e EVI na bacia do rio Japarutuba-Mirim em Sergipe. *In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, **Anais...** v. 15, p. 1357-1365, 2011.
- DA MATTA, F. M. e colaboradores. Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.19, p.485-510, 2007.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Nutrição mineral de plantas, princípios e perspectivas**. 2.ed. Londrina-PR: Ed. Planta, 2006.
- FAVARIN, J. L.; NETO, D. D.; GARCÍA, A. G. Y.; VILLA NOVA, N. A.; FAVARIN, M. G. G. V. Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 6, p. 769-773, 2002.
- FERRAZ, G. A. S. **Cafeicultura de precisão: malhas amostrais para o mapeamento de atributos do solo, da planta e recomendações**. 2012. 134 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.
- FERRAZ, G. A. E S. e colaboradores. Methodology to determine the soil sampling grid for precision agriculture in a coffee field. **Dyna**, v.84, n. 200,

p. 316–325, 2017.

FORMAGGIO, A. R.; SANCHES, I. D. **Sensoriamento Remoto em agricultura**. São Paulo: Oficina de textos, 2017. 288p.

GALLO, P. B. e colaboradores. Resposta de cafezais adensados à adubação NPK. **Bragantia**, v. 58, n. 2, p. 341-351, 1999.

GEO AGRI – Tecnologia Agrícola. **GreenSeeker Portátil**. Disponível em: <http://www.lojageoagri.com.br/greenseeker-portatil/>. Acesso em: 26 jan. 2020.

GITELSON, A.A.; KAUFMAN, Y.J.; STARK, R. e colaboradores. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. **Remote Sensing of Environment**, v.80, p.76-87, 2002.

GNYP, M. L. e colaboradores. Development and implementation of a multiscale biomass model using hyperspectral vegetation indices for winter wheat in the North China Plain. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 33, p. 232–242, 2014.

GROHS, D. S. e colaboradores. Modelo para estimativa do potencial produtivo em trigo e cevada por meio do sensor GreenSeeker. **Engenharia Agrícola**, v. 29, n. 1, p. 101-112, 2009. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/6694669/artigo-principais-pragas-do-cafeeiro-no-contexto-do-manejo-integrado-de-pragas>. Acesso em: 26 jan. 2020.

GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A.N.G. **Nutrição Mineral do cafeeiro**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. 70p.

HOPKINS, W. G. **Correlation coefficient**: a new view of statistics. 2000. Disponível em: <http://www.sportsci.org/resource/stats/correl.html>. Acesso em: 28 jan. 2020.

LIU, J. e colaboradores. Estimating crop stresses, aboveground dry biomass and yield of corn using multi-temporal optical data combined with a radiation use efficiency model. **Remote Sensing of Environment**, v.114, n. 6, p. 1167-1177, 2010.

LOUHAICHI, M.; BORMAN, M. M.; JOHNSON, D. E. Spatially Located Platform and Aerial Photography for Documentation of Grazing Impacts on Wheat. **Geocarto International**, v. 16, n. 1, p. 65–70, 1 mar. 2001.

JACKSON, R.D.; HUETE, A. R. Interpreting vegetation indices. **Journal of Preventive Veterinary Medicine**, v.11, p.185-200, 1991.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos campos: Parêntese, 2009. 598p.

JENSEN, J. R.; EPIPHANIO, J. C. N. 2011. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos, SP: Parêntese, 598 p.

LADEIA, C. A. e colaboradores. Sensor ativo como ferramenta de estimativa de nitrogênio e clorofila em variedades de café. *In: X Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, Anais...* Vitória –ES, 2019.

LAVIOLA, B. G.; MARTINEZ, H. E. P.; SALOMÃO, L. C. C.; CRUZ, C. D.; MENDONÇA, S. M.; NETO, A. P. Alocação de fotoassimilados em folhas e frutos de cafeeiro cultivado em duas altitudes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 11, p. 1521-1530, 2007.

LIMA, J. S. S.; SILVA, S. A.; OLIVEIRA, R. B.; FONSECA, A. S. Estimativa da produtividade de café conilon utilizando técnicas de cokrigagem. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 63, n.1, p. 054-061, jan-fev, 2016.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1993, 319p.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. Viçosa, MG: UFV, 2005.

MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. London: Academic Press, 1986, p. 401-523.

MATIELLO, J.B.; SANTINATO, R.; ALMEIDA, S.R.; GARCIA, A.W.R. **Cultura 14 de café no Brasil: Manual de recomendações**: ed. 2015/ editor Futurama, 15585 p.

McBRATNEY, A.B.; WEBSTER, R. Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. **Journal Soil Science**, Oxford, v.37, n.3, p.617- 639, 1986.

MESQUITA, Carlos Magno de et al. **Manual do café: manejo de cafezais em produção**. Belo Horizonte: EMATER-MG, 2016. 72 p. il.

MOLIN, J. P. e colaboradores. Variação Espacial Na Produtividade De Milho Safrinha Devido Aos Macronutrientes E À População De Plantas. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 6, n. 3, p. 309–324, 2007.

MOLIN, J. P. e colaboradores. Teste procedure for variable rate fertilizer on coffee. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, v. 32, n. 4, p. 569-575, 2010.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 4 ed. Viçosa. 2011.

MOTOHKA, T., K.N. NASAHARA, H. OGUMA and S. Tsuchida. 2010. Applicability of Green-Red Vegetation Index for Remote Sensing of Vegetation Phenology. *Remote Sensing*, 2: 2369-2387.

MOTOMIYA, A.V.A.; MOLIN, J.P.; CHIAVEGATO, E.J. Utilização de sensor óptico ativo para detectar deficiência foliar de nitrogênio em algodoeiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, PB, v.13, n.2, p.137-145, 2009.

NETTO, A. T.; CAMPOSTRINI, E.; OLIVEIRA, J. G.; SMITH, R. E. B. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. *Scientia Horticulturae*, v.104, p.199-209, 2005.

OLIVEIRA, I. P.; OLIVEIRA, L. C.; MOURA, C. S. F. T. Cultura de café: histórico, classificação botânica e fases de crescimento. *Revista Faculdade Montes Belos*, v. 5, n. 4, 2012.

OLIVEIRA, R.B. **Mapeamento e Correlação de atributos do solo e de plantas de café conilon para fins de Agricultura de Precisão**. 2007. 129 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre/ES, 2007.

PAIVA, M. C; TSUKAHARA, R. Y; FRANÇA, G. B. Estimativa da produtividade da cultura do trigo via sensoriamento remoto no município de Pirai do Sul, no Estado do Paraná. *In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, Anais...* Foz do Iguaçu, PR. 2013.

PEZZOPANE, J.R.M.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; CAMARGO, M. B. P.; FAZUOLI, L. C. Exigência térmica do café arábica cv Mundo Novo no subperíodo florescimento-colheita. *Ciência e Agrotecnologia*, v.32, n.6, p.1781-1786, 2008.

PIEKARCZYK, J.; SULEWSK A, H.; SZYMAŃSKA, G. Winter oilseed-rape yield estimates from hyperspectral radiometer measurements. *Quaestiones Geographicae*, v. 30, n. 1, p. 77-84, 2011.

PONZONI, F.J. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação: diagnosticando a mata atlântica**. V Curso de uso de sensoriamento remoto no estudo do meio ambiente. São José dos Campos. Cap. 8, INPE, 22-26 de julho de 2002.

PREZOTTI, L.C.; GOMES, J.A.; DALDALTO, G.G.; OLIVEIRA, J.A. Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo. **5ª aproximação**. Vitória: SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007. 305p.

PRADO, S. S.; DORNELES JUNIOR, J. **Principais pragas do cafeeiro no contexto do manejo integrado de pragas**. 2015. Disponível em: chrome-extension://oemmnrcbldboiebfnladdacbfmadadm/https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/139810/1/2015AM-05.pdf. Acesso em: 10 jan. 2020.

RAMOS, M. F. **Estudo da variação temporal do índice de vegetação por diferença normalizada em Juiz de Fora a partir de imagens de satélite**. 2016. 41p. (Monografia) Juiz de Fora. Faculdade de Engenharia da UFJF. 2016

REIS, A. R.; FURLANI JUNIOR, E.; BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M. Diagnóstico da exigência do cafeeiro em nitrogênio pela utilização do medidor portátil de clorofila. IN: Metodologia e técnicas experimentais, **Bragantia**, Campinas, v.65, n.1, p.163-171, 2006.

ROSSONI, D. F., DE LIMA, R. R., DE OLIVEIRA, M. S. (2014). Proposta e validação de testes bootstrap para detecção de anisotropia em fenômenos espaciais contínuos. **Revista da Estatística da Universidade Federal de Ouro Preto**, 3(2), 210–227.

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: **Third ERTS Symposium, Proceedings**, NASA SP-351, NASA, Washington, DC, v. 1, p. 309-317, 1973

SAKIYAMA, N.; MARTINEZ, H.; TOMAZ, M.; BORÉM, A. **Café Arábica**: do plantio à colheita. 22.ed. Viçosa: UFV, 2015. 316 p.

SALLA, L.; RODRIGUES, J. C.; MARENOS, R. A. Teores de clorofila em árvores tropicais determinados com SPAD-502. **Revista Brasileira de Biociências**, v.5, p.59-161, 2007.

SEVERINO, L. S.; SAKIYAMA, N. S.; PEREIRA, A. A.; MIRANDA, G. V.; ZAMBOLIM, L.; BARROS, U. V.; Associações da produtividade com outras características agronômicas de café (*Coffea arabica* L. “Catimor”). **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1467-1471, 2002.

SILVA, F. C. **Efeito da força de desprendimento e maturação dos frutos de cafeeiros na colheita mecanizada**. 2008. 106 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG,

2008.

SILVA, F. M. e colaboradores. Efeitos da colheita manual na bienalidade do cafeeiro em Ijaci, Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.34, p.625-632, 2010.

SILVA, F. M. e colaboradores. Variabilidade espacial de atributos químicos e produtividade da cultura do café em duas safras agrícolas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 1, p. 231-241, 2007.

SILVA, L. C. e colaboradores. Uso do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) na avaliação do desenvolvimento de cafeeiros do Sul de Minas Gerais. *In: IX Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, Anais...* Curitiba, 2015.

SILVA, L.C.; FILHO, M. P.S.; AGUIAR, F. A.; NAVES, V. L.; LIRA, J. M. S.; RAMBAL, S., MOUILLOT, F. BARBOSA, J.P.R.A.D. Uso do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) na avaliação do desenvolvimento de cafeeiros do sul de Minas Gerais. *In: IX Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, Anais...* Curitiba-PR, Anais. Brasília, D.F.: Embrapa Café, 2015a.

SILVA, L.C.; FILHO, M. P. S.; MENDOÇA, A. M. C.; AGUIAR, F. A.; LIRA, J. M. S.; NAVES, V. L.; RAMBAL, S.; BARBOSA, J.P.R.A.D.; Ampliando o conhecimento nas relações folha-dossel de cafeeiros através da associação de trocas gasosas e índice de vegetação. *In: IX Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, Anais...* Curitiba-PR, Anais. Brasília, D.F.: Embrapa Café, 2013.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 719 p., 2006.

TEDESCO, M. J. e colaboradores. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre, Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 174p. 1995.

TUCKER, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**, v. 8, p. 127-150, 1979. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0). Acesso em: 20 janeiro 2020.

VERHULST, N., GOVAERTS, B. The normalized difference vegetation netmalaindex (NDVI) GreenSeeker™ handheld sensor: Toward the integrated evaluation of crop management. Part A: **Concepts and case studies**. México, D.F.; CIMMYT. 2015.

VIEIRA, S. R. e colaboradores. Geostatistical theory and application to

variability of some agronomical properties. **Hilgardia, Oakland**, v. 51, n. 1, p. 1-75, 1983.

VINCINI, M.; FRAZZI, E. Comparing narrow and broad-band vegetation indices to estimate leaf chlorophyll content in planophile crop canopies. **Precision Agriculture**, v.12, n.3, p.334-344, 2011.

WANG, Z. X.; LIU, C.; HUETE, A. From AVHRRNDVI to MODIS-EVI: Advances in vegetation index research. **Acta Ecologica Sinica**, v.23, n.5, p.979-988, 2003.

WATZLAWICK, L.F; KIRCHMER, F.F. Estimativas de biomassa e carbono utilizando imagens de satélite de alta resolução. *In: Fixação de carbono: atualizações, projetos e pesquisas. Anais...* Curitiba, 2004. p. 133-151.