

**ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS  
CÂMPUS DE JABOTICABAL UNIVERSIDADE**

**CARACTERIZAÇÃO AGRONÔMICA DA CULTURA DO  
CAFÉ COM AUXÍLIO DE FERRAMENTAS DO CONTROLE  
ESTATÍSTICO E SENSORIAMENTO REMOTO TERRESTRE**

**Watus Cleigson Alves da Costa  
Engenheiro Agrônomo**

**2019**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**CARACTERIZAÇÃO AGRONÔMICA DA CULTURA DO  
CAFÉ COM AUXÍLIO DE FERRAMENTAS DO CONTROLE  
ESTATÍSTICO E SENSORIAMENTO REMOTO TERRESTRE**

**Watus Cleigson Alves da Costa  
Orientador: Prof. Dr. Cristiano Zerbato**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal)

**2019**

C837c Costa, Watus Cleigson Alves  
Caracterização agrônômica da cultura do café  
com auxílio de ferramentas do controle estatístico e  
sensoriamento remoto terrestre. / Watus Cleigson Alves da Costa  
Jaboticabal, 2020  
62 p.: il., tabs., fotos, mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),  
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal  
Orientador: Cristiano Zerbato

1. Cafeicultura. 2. Sensoriamento. 3. Agricultura de Precisão. 4.  
Produtividade. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da  
Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de  
Jaboticabal.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



### CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: CARACTERIZAÇÃO AGRONÔMICA DA CULTURA DO CAFÉ COM AUXÍLIO DE FERRAMENTAS DO CONTROLE ESTATÍSTICO E SENSORIAMENTO REMOTO TERRESTRE

AUTOR: WATUS CLEIGSON ALVES DA COSTA

ORIENTADOR: CRISTIANO ZERBATO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. CRISTIANO ZERBATO  
Departamento de Engenharia Rural / FOAV / UNESP - Jaboticabal

Prof. Dr. RAFAEL TADEU DE ASSIS  
UNIARAXA / Araxá/MG

Pós-doutoranda FRANCIELE MORLIN CARNEIRO  
Departamento de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 05 de dezembro de 2019

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

**WATUS CLEIGSON ALVES DA COSTA** – nascido em Araxá, Minas Gerais, no dia 13 de dezembro de 1991, filho de Vitor Alves da Costa e Erimar Rodrigues da Silva, cursou o Ensino Médio na Escola Estadual Rotary, tendo finalizado no ano de 2011. No mesmo período estudou na instituição SENAI Araxá CFP Djalma Guimarães – Fiemg, nos cursos de aprendizagem industrial, onde recebeu prêmio Aluno Destaque, SESI-SENAI 2011 como segundo aluno de Minas Gerais. Em 2012 ingressou no Ensino Superior no curso de Agronomia, e recebeu o título de Engenheiro Agrônomo, pelo Centro Universitário do Planalto de Araxá – UNIARAXA, em dezembro de 2016 sendo premiado com o título de Mérito Acadêmico. Estagiou na Cooperativa Agropecuário de Araxá - CAPAL, Minas Gerais, no Campo Experimental de Café da CAPAL de 2012 a 2014, onde auxiliou na condução de diversos experimentos na formação, condução e colheita da cultura do café. No período de 2014 a 2016 estagiou na EDUCAMPO café com levantamento e análise de dados econômicos. Em agosto de 2017, iniciou o curso de Mestrado em Agronomia, no Programa de Ciência do Solo, na área de Máquinas Agrícolas, pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Campus de Jaboticabal, São Paulo, no Departamento de Engenharia Rural. No curso Produção Vegetal houve a realização de pesquisas com foco em Agricultura de Precisão e Sensoriamento Remoto na cultura do café. Em dezembro de 2019, submeteu-se à banca examinadora para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

*“Se cheguei até aqui foi porque me apoiei no ombro dos gigantes.”*

Isaac Newton

Dedico esse trabalho ao meu irmão, Clezio Alves da Costa (*In memoriam*), pelos ensinamentos que me proporcional, e que hoje olha e guia meus passos lá de cima.

**DEDICO**

A minha mãe Erimar Rodrigues da Silva sempre guerreira a quem me inspiro, pela educação que proporcionou, e não mediu esforços em sua batalha para que eu pudesse estudar e ter um futuro melhor.

**OFEREÇO**



## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a DEUS, por me iluminar e dar proteção durante toda a minha vida, por tudo que nela já conquistei e ainda irei conquistar, e pela fé que move nossas vidas sempre em busca de novos horizontes, enfrentando novos desafios em busca da paz.

Aos meus queridos pais, Vitor e Erimar, por me proporcionarem uma educação de qualidade, pelo amor, companheirismo e união, essenciais na formação do meu caráter e também da minha vida profissional.

Àos meus irmãos Rosa Cleida, Clenio, Clezio, Wesley, aos meus cunhado Ricardo e Luciene, aos meus sobrinhos Clezio Miguel, Douglas, Keven, Ricardo Augusto, e Maria por me apoiarem nas decisões, pelo carinho, juntamente com meus pais são a base que sustenta a minha fortaleza, estando cada um sempre pronto a acolher meus problemas e apontar o caminho da sabedoria.

Aos meus amigos (a) que me apoiaram durante esses anos, em especial Tiago de Oliveira Tavares, Alessandro Dias, Jose Carlos, Rodrigo Ticle que foram meus mentores desde o começo da caminhada na agronomia.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal) e a capes, pela concessão de bolsa.

Ao grande amigo, particular e profissional, e orientador, Prof. Dr. Cristiano Zerbato, por acreditar no meu potencial e pela dedicação nas informações transmitidas e no suporte necessário para elaboração deste trabalho.

Aos pesquisadores, Prof. Dr. Carlos Eduardo Furlani, Rafael Tadeu de Assis, e Franciele Morlin Carneiro por participarem da banca examinadora bem como pelas colocações e sugestões para o aprimoramento deste trabalho.

Aos amigos Paulo Cordeiro, Marco Vrech, João Godim, Luan Pereira que ajudaram na coleta de dados e no apoio e amizade durante esses anos, a Mariana Nogueira e Danielli Dias pela contribuição no trabalho.

Aos demais amigos e professores integrantes do Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola (LAMMA)

Aos Produtores Claudio e Pena e a toda sua equipe de funcionários das fazendas que me acolheram em sua propriedade.

A todos aqueles que, de uma forma ou de outra, contribuíram para tornar este momento possível, por meio de conselhos, palavras amigas e momentos de sabedoria, fica aqui a minha gratidão.

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

## SUMÁRIO

Página

LISTA DE TABELAS .....	xi
LISTA DE FIGURAS .....	xii
RESUMO.....	xiv
ABSTRACT .....	xv
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	3
2.1 Cafeicultura brasileira.....	3
2.2 Cafeicultura de precisão.....	4
2.3 Sensoriamento remoto .....	5
2.4 Controle Estatístico de Processo.....	7
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	10
3.1 Descrição da pesquisa .....	10
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	14
4.1 Análise descritiva.....	14
4.1.2 cartas de controle.....	23
5. CONCLUSÕES .....	40
6. REFERÊNCIAS.....	41

## LISTA DE TABELAS

	Página
<b>Tabela 1.</b> Estatística descritiva para os indicadores de qualidade NDVI e NDRE. (Perdizes-MG).....	15
<b>Tabela 2.</b> Estatística descritiva para os indicadores de qualidade NDVI e NDRE. (Araxá-MG).....	15
<b>Tabela 3.</b> Estatística descritiva para os indicadores de qualidade bicho mineiro, cercospora, ferrugem e phoma, em porcentagem (Perdizes-MG). ....	17
<b>Tabela 4.</b> Estatística descritiva para os indicadores de qualidade bicho mineiro, cercospora, ferrugem e phoma, em porcentagem (Araxá- MG).....	18
<b>Tabela 5.</b> Estatística descritiva para os indicadores de qualidade biométricos das áreas amostradas. (Perdizes-MG). ....	20
<b>Tabela 6.</b> Estatística descritiva para os indicadores de qualidade biométricos das áreas amostradas (Araxá- MG).....	21
<b>Tabela 7.</b> Estatística descritiva para o indicador de qualidade produtividade das áreas amostradas.....	23
<b>Tabela 8.</b> Matriz de correlação de Pearson entre as variáveis NDVI, NDRE, número de internódios (nós), enfolhamento, crescimento, área foliar, presença de bicho mineiro, cercospora e phoma/ascochita (Perdizes/MG). ....	37
<b>Tabela 9.</b> Matriz de correlação de Pearson entre as variáveis NDVI, NDRE, número de internódios (nós), enfolhamento, crescimento, área foliar, presença de bicho mineiro, cercospora e phoma/ascochita (Araxá/MG).....	39

## LISTA DE FIGURAS

	Página
<b>Figura 1.</b> Espectro eletromagnético da radiação eletromagnética. Fonte: Moreira (2011).....	6
<b>Figura 2.</b> Esquema de sensores ativos (A) e passivos (B). Fonte: Moreira (2011).....	6
<b>Figura 3.</b> Representação generalizada da assinatura espectral de uma folha verde (a), uma seca (b) e da superfície do solo descoberto (c). As letras representam os comprimentos de ondas do azul (B), verde (G), vermelho (R) e infravermelho (IR). FONTE:SOARES (2016) .....	7
<b>Figura 4</b> Cartas de controle com o processo sob controle estatístico (A) e processo instável com a presença de causas especiais (B).....	9
<b>Figura 5.</b> Área experimental nos municípios de Araxá (A) e Perdizes (B).....	10
<b>Figura 6.</b> Cartas de controle para o monitoramento do índice vegetativo NDVI nas diferentes datas na área de Araxá-MG. ....	24
<b>Figura 7.</b> Cartas de controle para o monitoramento do índice vegetativo NDRE nas diferentes datas na área de Araxá-MG. ....	24
<b>Figura 8</b> Cartas de controle para o monitoramento do índice vegetativo NDRE nas diferentes datas na área de Perdizes-MG.....	25
<b>Figura 9.</b> Cartas de controle para o monitoramento do índice vegetativo NDVI nas diferentes datas na área de Perdizes-MG.....	26
<b>Figura 10.</b> Cartas de controle para o monitoramento do ataque de bicho mineiro nas áreas experimentais. (A) – Araxá; (B) – Perdizes. ....	27
<b>Figura 11.</b> Cartas de controle para a incidência de cercospora nas áreas experimentais. (A) – Araxá; (B) – Perdizes. ....	29
<b>Figura 12.</b> Cartas de controle para o número de internódios durante o ciclo experimental nas duas áreas avaliadas. (A) – Araxá; (B) – Perdizes.....	30
<b>Figura 13.</b> Cartas de controle para o enfolhamento durante o ciclo experimental nas duas áreas avaliadas. (A) – Araxá; (B) – Perdizes.....	32

<b>Figura 14.</b> Cartas de controle para o crescimento dos ramos durante o ciclo experimental nas duas áreas avaliadas. (A) – Araxá; (B) – Perdizes.....	33
<b>Figura 15.</b> Cartas de controle para o monitoramento área foliar durante o ciclo experimental nas duas áreas avaliadas. (A) – Araxá; (B) – Perdizes.....	34
<b>Figura 16.</b> Cartas de controle para os resultados produtivos nas áreas experimentais. ....	35

## CARACTERIZAÇÃO AGRONÔMICA DA CULTURA DO CAFÉ COM AUXÍLIO DE FERRAMENTAS DO CONTROLE ESTATÍSTICO E SENSORIAMENTO REMOTO TERRESTRE

### RESUMO

A cafeicultura inova relativamente pouco em relação a outras culturas como cana-de-açúcar e grãos. No entanto com a chegada de sensores, assim como novas ferramentas de gestão que podem ser contributivas ao processo, têm-se verificado mudanças significativas na nova geração de produtores. O objetivo do presente trabalho foi propor ferramentas à cafeicultura, sendo a coleta de índices vegetativos (NDVI e NDRE) por meio de sensor optrix, aplicando-se ferramentas do controle estatístico de processo e comparados aos parâmetros biométricos da cultura. Foram levantados parâmetros sanitários e produtivos da cultura de duas lavouras de café em que estavam sendo conduzido ensaios, onde estava sendo testado um bioativador, acreditando-se em diferenças em função do uso. Os dados foram aplicados às cartas de valores individuais e de amplitude móvel, verificando-se as possíveis relações com os resultados obtidos via sensores. Os resultados de sensoriamento apresentaram pequenas mudanças nas datas avaliadas, em ambas as áreas, dificultando a utilização da ferramenta em áreas na cultura do café. As cartas de controle permitiram interpretar os dados agronômicos da cultura do café com maior precisão e detalhamento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cartas de controle, componentes agronômicos, Optrix, *Coffea arabica*.

## **AGRONOMIC CHARACTERIZATION OF COFFEE CULTURE WITH AID TOOLS FOR STATISTICAL CONTROL AND REMOTE SENSING**

### **ABSTRACT**

Coffee growing innovates relatively little compared to other crops such as sugar cane and grains. However, with the arrival of sensors, as well as new management tools that may be contributing to the process, these changes may change in the new generation of producers. The objective of the present work was to propose coffee growing tools, to collect vegetative indices (NDVI and NDRE) by means of optrix sensor, to apply statistical process control tools and compared to the biometric parameters of the crop. Health tests and crop products from two coffee washes in which trials were being performed were surveyed, where they were being tested in a bioactivator, believing differences in usage functions. Data were selected for individual value and moving range charts, verifying them as possible relations with the results obtained via sensors. The results of the sensing described small changes in the evaluated data, in areas such as areas, making it difficult to use the tool in areas in coffee culture. Because control charts allow you to interpret agronomic coffee crop data with greater precision and detail.

**Index terms:** Control charts, agronomic components, Optrix, Coffea arabica.



## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor, maior exportador e o maior consumidor de café do mundo, com uma área aproximadamente de 2,16 milhões de hectares implantados. Estes dados permitem entender a importância que a cafeicultura tem para o país. Diante desses dados há necessidade de melhorar cada vez mais a condução das lavouras por meio de técnicas e práticas tecnológicas, para se obter um melhor produto final com custo/benefício.

O desenvolvimento da agricultura encontra-se diretamente ligado à intensificação de atividades mecanizadas e também do uso de novas tecnologias como agricultura de precisão. Na cafeicultura se vê a campo uma crescente e dominação da mecanização pelo fato de mão de obra escassa e menor custo de produção, mas para o fator agricultura de precisão ainda é pouco difundido na cultura, pode se atrelar tal fato a peculiaridade de cada propriedade produtora trabalha de um determinado jeito dificultando assim uma padronização, e também ao fato que os principais países produtores de café investem pouco em pesquisas nessa área.

O uso da agricultura de precisão tem como principal benefício agilidade na detecção de problemas e melhora na tomada de decisão, e esta rapidez é de suma importância para evitar danos que possam ser ocasionado por pragas, doenças e/ou plantas daninhas, podendo assim reduzir o potencial produtivo, ou ocasionando um atraso ou uma má regulagem dos equipamentos levando a redução a qualidade do produto e do valor recebido pelo café.

Várias tecnologias vem surgindo ao decorrer dos tempos podendo assim ser adaptadas para cafeicultura, entre elas vale ressaltar o uso dos drones e sensores ativos como o optrix, com a função de estimar ou predizer dados agrônômicos como: volume de copas; produtividade; estado nutricional; condições hídricas; problemas sanitários, índices vegetativos entre outros.

Boa parte destas ferramentas não foram bem desenvolvidas na cafeicultura. Portanto, pressupondo que o uso de sensores possa auxiliar em validações experimentais associado às ferramentas do controle estatístico de processos, o presente trabalho tem como objetivo levantar os dados

agronômicos da cultura do café e verificar possíveis correlações os dados de sensoriamento, em áreas tratadas ou não com bioativadores.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Cafeicultura brasileira

O cafeeiro pertence à família das Rubiaceae sendo uma planta perene de porte arbustivo ou arbóreo com folhas persistentes e flores hermafroditas. Existem praticamente 10.000 espécies agrupadas em 630 gêneros, porém apenas *Coffea arabica* L. e a *Coffea canéfora* (Robusta) apresentam importância comercial (Coelho 2008). Foi trazido para o Brasil em 1727, pelo sargento-mor Francisco de Melo Palheta, onde conseguiu ser presenteado pela esposa do governador da Guiana Francesa com algumas mudas da planta, quando conquistou a sua confiança. Foi realizada a primeira plantação de café no Pará e, à medida que se produziam os grãos, foram formadas novas plantações, disseminando-se pelo Maranhão, Bahia, Rio de Janeiro, São Paulo, Pará e Minas Gerais (Matiello et al., 2010).

O café arábica é cultivado em regiões mais altas acima de 550 metros de altitude e é responsável por 70% do mercado de café mundial, enquanto o café robusta 30%, sendo cultivado em regiões mais baixas (abaixo de 550 m de altitude) e quentes.

O clima é um fator limitante que influi na cultura e nos organismos presentes no ambiente da mesma. Na avaliação de aptidão, basicamente utilizam-se os elementos, temperaturas e precipitação. A faixa de temperatura ideal para o cultivo do café arábica fica entre 19 a 22°C. Temperaturas mais altas promovem formação de botões florais e estimulam o crescimento dos frutos (Santinato e Fernandes 2012).

Com as condições favoráveis para a produção (Assad et al., 2004), um ótimo valor comercial, e incentivos políticos, o país se tornou o maior produtor mundial de café, detendo uma importante fatia de 36% de todo o café produzido no mundo (Embrapa, 2018). Sendo as principais regiões produtoras de café no País: o sul de Minas, as Matas de Minas, o Cerrado de Minas, Espírito Santo, Bahia, Mogiana Paulista (nordeste de São Paulo), Paraná e Rondônia (Conab,

2018). E o estado de Minas Gerais é o principal produtor e é responsável por 53% da produção nacional.

## 2.2 Cafeicultura de precisão

De acordo com Ceolin et al. (2008), a implementação de tecnologias no processo produtivo resulta em aumento de produção e redução de custos, principalmente devido à democratização de informações. Em resumo as tecnologias utilizadas no meio agrícola podem ser um conjunto de técnicas que englobam à Agricultura de Precisão (Zerbato et al., 2019). As diversas ferramentas normalmente unem, de forma automatizada, os serviços ou coleta de dados atrelado ao método de posicionamento global (Santos et al., 2017; Canata, et al., 2019). Portanto, o uso destas ferramentas tecnológicas permite mapear as áreas e criar estratos de classificação como: diferentes zonas de fertilidades e tipos de solos (Molin et al., 2012; Pias et al., 2018), índices de vegetação (Silva, Lima e Bottega, 2013; Molin e Veiga, 2016; Colaço et al., 2018), gerenciamento de operações mecanizadas (Pavlu e Molin, 2016; Santos et al., 2018), entre outros; atuando de forma diferenciada em cada local em função da variabilidade encontrada.

Na cafeicultura a evolução tecnológica, na maioria das vezes, é mais lenta principalmente por características culturais e pelo menor número de países investindo em tecnologias para o processo produtivo da cultura (Tavares, 2019). Porém, aos poucos alguns pesquisadores vem trazendo boas inovações para a cafeicultura.

Silva et al. (2007) realizaram um estudo para entender a variabilidade espacial de atributos químicos e produtivos na cultura do café, os autores mencionaram a alta variabilidade justifica o uso de ferramentas de Agricultura de Precisão. Molin et al. (2010) demonstraram que a aplicação de insumos em taxa variável na cultura do café pode ser utilizada de maneira eficiente apesar das diferenças entre as operações do café e as de culturas mais tecnificadas. Cunha et al. (2016) utilizaram ferramentas de AP para monitorar as máquinas durante

as operações, permitindo que os produtores pudessem ter maior controle sobre as atividades mecanizadas de sua propriedade.

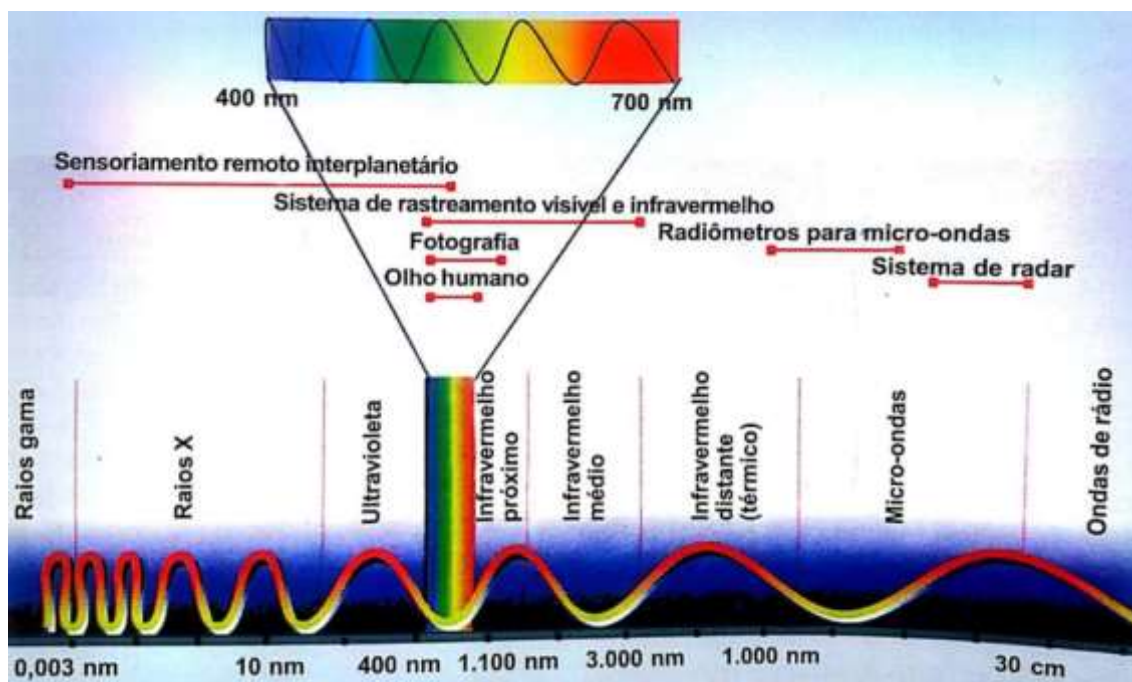
Mais recente, com o advento das técnicas de extração de informações de imagens e sensores como Optrix, surgiram vários estudos em diversas culturas com aplicações destas ferramentas para estimar ou predizer dados agrônômicos como: volume de copas; produtividade; estado nutricional; condições hídricas; problemas sanitários entre outros (Colaço et al., 2018; Ramirez e Zullu Junior, 2010; Atzberger, 2013).

### 2.3 Sensoriamento remoto

Com um grande potencial na agricultura o sensoriamento remoto (SR) tem despertado interesse na pesquisa e no mercado atual, a grande praticidade na geração de dados rápidos e precisos tem feito com que essa pratica seja a de maior crescimento na AP, Segundo Moreira (2011) sensoriamento remoto pode ser definido como toda fonte energia que possa ser medida e transformado em um produto interpretável. Essas fontes são medidas através de radiação eletromagnética, proveniente a partir da transformação: nuclear, química, cinética ou térmica (Novo, 2008).

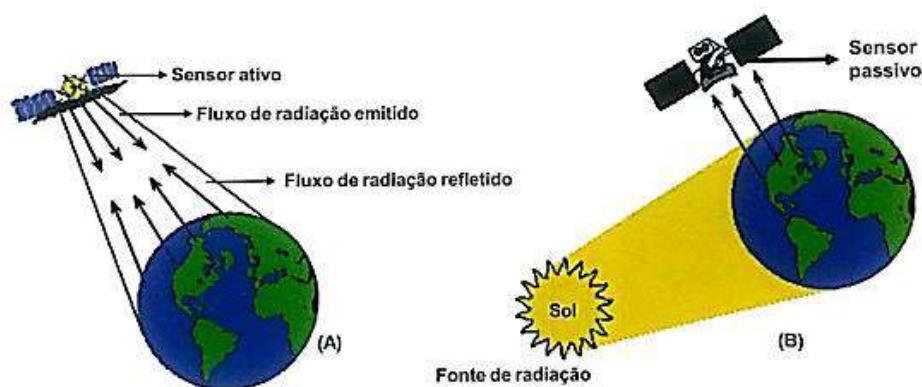
A energia eletromagnética utilizada no SR, pode ser oriundo do sol (principal fonte de energia da terra), de pulsos por uma antena radar, ou emitida pelos alvos, sendo geralmente, dividida em faixas espectrais ou, em termos de comprimento de onda ou de frequência (Lorenzetti, 2015), onde quanto maior

a sua energia emitida menor será o comprimento de onda (figura 1).



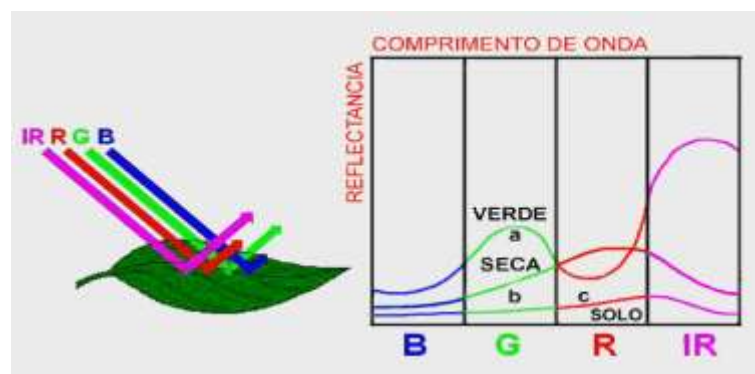
**Figura 1.** Espectro eletromagnético da radiação eletromagnética. Fonte: Moreira (2011).

Existe três tipos de sensoriamento, o terrestre (sensores acoplados em máquinas agrícolas), aéreo (drones, vants e aeronaves) e orbital (satélites), eles captam como a radiação interage com os alvos, como a energia refletida, que variam em virtude dos comprimentos de onda, plataforma e das faixas espectrais (Molin et al., 2015). Esses sensores são denominados como passivos (necessita de uma fonte de luz externa maioria das vezes proveniente do sol) e sensor ativo (emite sua própria luz) (Figura 2), essa energia é dividida em três partes absorvida, refletida e transmitida sendo denominado reflectância, absortância e transmitância (Molin et al., 2015).



**Figura 2.** Esquema de sensores ativos (A) e passivos (B). Fonte: Moreira (2011).

Por meio dos sensores obtêm-se os índices de vegetação, tais como NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), NDRE (Normalized Difference Red Edge), entre outros (Figura 3). Os índices de vegetação são ferramentas promissoras, que têm sido usadas e melhoradas para o monitoramento das culturas agrícolas (Motomiya et al. 2014).



**Figura 3.** Representação generalizada da assinatura espectral de uma folha verde (a), uma seca (b) e da superfície do solo descoberto (c). As letras representam os comprimentos de ondas do azul (B), verde (G), vermelho (R) e infravermelho (IR). FONTE:SOARES (2016)

#### 2.4 Controle Estatístico de Processo

O controle estatístico de processo (CEP) é uma técnica estatística, trazido de indústrias, para o controle da qualidade em operações agrícolas e agricultura de precisão, empregadas em várias culturas, obtendo resultados promissores, uma vez que o controle das operações agrícolas permite a diminuição na variabilidade, a fim de se melhorar a eficiência e manter a qualidade, a curto e longo prazo, respectivamente, resultando em respostas promissoras, uma vez que este controle diminua a variabilidade, obtendo resultados mais próximos aos aceitáveis(Voltarelli et al., 2014; Zerbato et al., 2014; Silva et al, 2013B; 2013; Noronha et al. 2011;).

O CEP compreende uma série de ferramentas, sendo a carta de controle a mais sofisticada tecnicamente, segundo Montgomery (2009). A carta de controle pode ser compreendida como um monitoramento instantâneo do processo amplamente utilizado para detectar uma variação de causa especial no processo, realizando uma ação corretiva antes que seja produzida uma unidade não conforme (Torrezani et al., 2015). Além disso, tem por objetivo estimar os parâmetros do processo, determinando sua capacidade. Então, no contexto do CEP, a carta de controle não elimina a variabilidade, mas permite que esta seja reduzida o máximo possível (Montgomery, 2009).

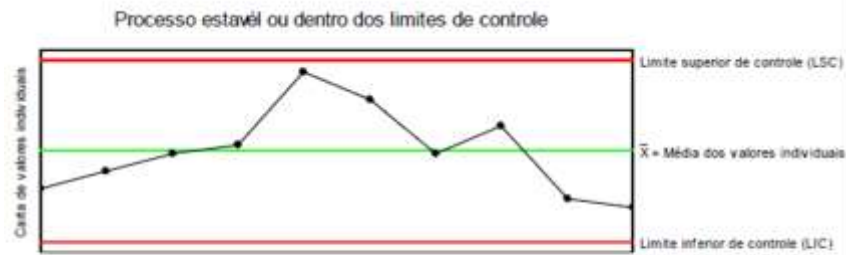
Segundo com Montgomery (2009) e de grande importância a utilização deste tipo de análise para o monitoramento, e a redução da variabilidade dos processos produtivos, aumentando a qualidade dos itens de produção final. De acordo com Costa; Epprecht e Carpinetti, (2005) qualquer processo mesmo bem planejado e controlado existe variabilidade, sendo por causas naturais ou aleatórias, causas especiais.

Causas naturais são as aquelas que não se pode controlar, exemplo chuva, temperatura, umidade do ar. Já as causas especiais, são aquelas ligadas a erros no processo, como uma má regulagem de máquinas e equipamentos, habilidade do operador, entre outros. Esses problemas quando encontrados devem ser solucionados imediatamente.

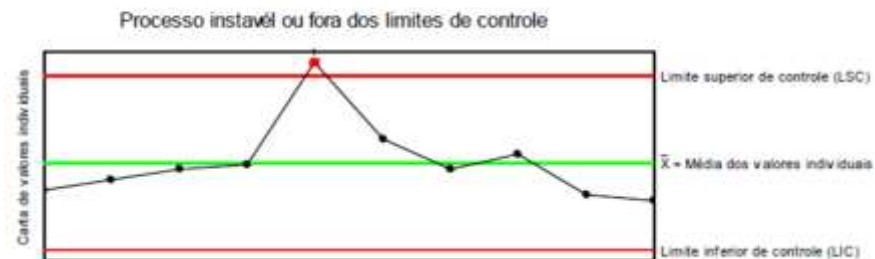
Essas cartas, tipicamente, são gráficos (Figura 1) que apresentam a característica em questão a ser estudada combinadas com o número da amostra ou longo do tempo.



A



B



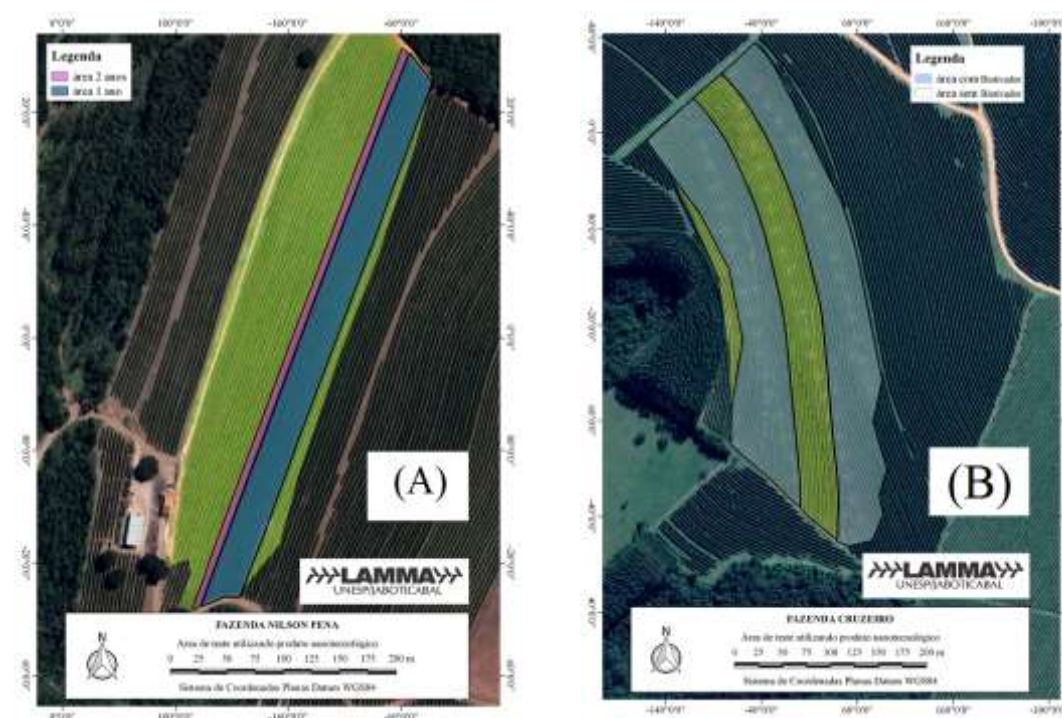
**Figura 4** Cartas de controle com o processo sob controle estatístico (A) e processo instável com a presença de causas especiais (B).

Estes gráficos apresentam três linhas, sendo que a linha central representa o valor médio da característica correspondente ao processo em controle, enquanto que as outras duas representam os limites superior e inferior de controle (LSC e LIC, respectivamente), sendo calculados com base no desvio-padrão das variáveis (para LSC, média mais três vezes o desvio-padrão, e para LIC, média menos três vezes o desvio, quando maior que zero) indicando que se o processo estiver sob controle, os pontos estarão entre as duas linhas de limite. Se os pontos estiverem fora dos limites definidos como superior e inferior ou também, estiverem dentro dos limites, mas apresentando um padrão sistemático ou não aleatório, o processo é dado como fora de controle, necessitando haver uma investigação a procura de medidas corretivas buscando eliminar as causas responsáveis por essa variação (MONTGOMERY, 2009).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Descrição da pesquisa

A pesquisa foi realizada em duas áreas agrícolas, sendo uma no município de Araxá MG e outra no município de Perdizes-MG. As áreas estão próximas às coordenadas 19°37'02"S e 46°53'51"O com altitude 1043 m, 19°25'45"S e 47°18'37"O com altitude 1123m, respectivamente. O experimento foi conduzido por uma safra, iniciando em agosto de 2018 e finalizando em junho de 2019.



**Figura 5.** Área experimental nos municípios de Araxá (A) e Perdizes (B).

O delineamento experimental foi baseado no Controle Estatístico de Qualidade CEQ (Montgomery, 2009) contendo 28 pontos amostrais por área. Foi avaliado aos 0, 90, 180, 240 dias após a colheita de 2018, por meio do sensoriamento proximal, o comportamento dos indicadores de qualidade.

Para isso, utilizou-se de duas lavouras de café (A e B) sendo elas: A (Araxá MG): cultivar Catuaí Vermelho IAC 144, transplantada em 2013, no espaçamento de 3,8 m entre linhas e 0,5 m entre plantas, totalizando 5.263

plantas ha-1. B (Perdizes MG): cultivar Catuaí Vermelho IAC 144, transplantada em 2002, no espaçamento de 3,8 m entre linhas e 0,65 m entre plantas, totalizando 4.049 plantas ha-1. Nestas áreas haviam ensaios em condução, testando um bioativador (complexo de substâncias orgânicas que nutre, estimula a multiplicação e promove o crescimento exponencial dos microrganismos benéficos presentes nos solos e nas plantas). Portanto, o intuito desta pesquisa foi utilizar sensoriamento remoto para caracterizar as lavouras, localizando as possíveis diferenças entre as áreas tratadas e não tratadas.

As áreas A e B estavam delineadas com dois tratamentos. Na primeira área (A), estava sendo testando o uso do bioativador pelo período de um ano (Tratamento 1) e dois anos (Tratamento 2). Já na segunda área (B), os testes em andamento continham lavoura sem o uso do bioativador (Tratamento 1) e outra área tratada com o produto (Tratamento 2). As duas áreas foram conduzidas em faixas e a metodologia de avaliação seguiu as premissas do Controle Estatístico de Processo (Montgomery, 2009). Em cada tratamento foram selecionadas com 14 pontos de avaliações (cada um composto por 5 plantas), totalizando 28 parcelas experimentais em cada lavoura analisada.

Foram levantados os índices de vegetação NDVI e NDRE utilizando o sensor terrestre modelo Optrx, da empresa Ag Leader. O NDVI (Índice de Vegetação por Diferença N

ormalizada), o qual é proposto por Rouse Junior et al. (1974), foi utilizado conforme a equação 1, que utiliza as bandas espectrais do Infravermelho Próximo (790 nm) e Vermelho (670 nm). Já o NDRE (Normalized Difference Red Edge) foi utilizado com base na refletância das ondas eletromagnéticas, especificamente, nas bandas Infravermelho Próximo (790 nm) e Red Edge (720 nm), sendo obtido por meio da Equação 2, de acordo com a indicação de Fitzgerald et al. (2006).

$$NDVI = \frac{\text{Infra Vermelho Próximo} - \text{Vermelho}}{\text{Infra Vermelho Próximo} + \text{Vermelho}} \quad (1)$$

$$NDRE = \frac{\text{Infra Vermelho Próximo} - \text{Red Edge}}{\text{Infra Vermelho Próximo} + \text{Red Edge}} \quad (2)$$

Além das avaliações obtidas via sensoriamento realizou-se as medições dos componentes agronômicos do cafeeiro com intuito de identificar possíveis correlações com os dados dos índices de vegetação. Os parâmetros analisados foram: tamanho das folhas; tamanho dos ramos (crescimento do ano); número de nós nos ramos; número de folhas e enfolhamento; pragas, doenças e produtividade.

As avaliações foram realizadas na parte herbácea dos ramos, no terço médio da planta. Os ramos selecionados foram retirados das plantas e levados ao laboratório para as avaliações anteriormente citadas.

Para o tamanho das folhas do cafeeiro utilizou-se a metodologia proposta por Barros et al. (1973), com um método simplificado, no qual mede-se o comprimento e largura de cada folha e aplica um fator de correção (0,667) para descontar as bordas. Para esta avaliações foram analisadas todas as folhas do crescimento anual de dez ramos de cada tratamento, coletadas no terço médio das plantas.

Contou-se o número de internódios crescidos a partir do último inverno, em 140 ramos por tratamentos. Nestes mesmos ramos foram contabilizadas as folhas, sendo possível obter o enfolhamento médio ou percentual de desfolha de cada tratamento.

Nas folhas completamente formadas do terceiro e quarto internódio contabilizou-se o percentual das mesmas que continham praga e/ou doença.

Os resultados foram inicialmente analisados por meio da estatística descritiva, utilizando-se média e medidas de dispersão (desvio padrão e coeficiente de variação). Para basear-se sobre os valores de dispersão, utilizou-se a determinação de Pimentel-Gomes e Garcia (2002) para classificar os coeficientes de variação, que considera como: muito alto (>30%); alto (entre 21 e 30%); médio (11 a 20%) e baixo (<10%).

A verificação da normalidade dos dados foi realizada por meio do teste de Anderson Darling, que mede a proximidade entre os pontos e a linha de estimativa da probabilidade, dando maior rigidez para a análise (ACOCK, 2008).

Os dados foram analisados utilizando o Controle Estatístico de Qualidade, utilizando-se como ferramentas, cartas de controle para valores individuais. Essas cartas apresentam três linhas, sendo que a linha central representa a

média geral, enquanto que as outras duas linhas representam os limites superior e inferior de controle (LSC e LIC, respectivamente), calculados com base no desvio-padrão das variáveis (para LSC, média mais três vezes o desvio-padrão (MONTGOMERY, 2009).

Realizou-se também a análise de correlação entre todas as variáveis para compreender a interação entre as mesmas e principalmente estes os índices de vegetação NDVI e NDRE. Os testes de correlação foram realizados com base na metodologia proposta por Baba et al. (2014), sendo:  $r = |0,00|$  até  $|0,19|$  (correlação muito fraca);  $r = |0,20|$  até  $|0,39|$  (correlação fraca);  $r = |0,40|$  até  $|0,69|$  (correlação moderada);  $r = |0,70|$  até  $|0,89|$  (correlação forte); e  $r = |0,90|$  até  $|1,00|$  (correlação muito forte).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Análise descritiva

Observa-se nas Tabelas 1 e 2 os dados obtidos por meio do sensoriamento terrestre nas áreas monitoradas dos municípios de Perdizes-MG e Araxá-MG, respectivamente. De modo geral, verifica-se que o NDVI sempre variou próximo de 1, que indica que os dados foram muito próximos da saturação da refletância, que ocorre em razão da alta absorção dos pigmentos da clorofila (Baret e Guyot, 1991). Por outro lado, os valores de NDRE ficaram em torno de 0,3 bem mais distante da saturação, bem provável que seja o mais indicado para o café.

Em outras culturas autores como Amaral et al. (2015), Taubinger et al. (2012) e Shiratsuchi et al. (2010) também verificou que os melhores resultados foram obtidos pelo NDRE do que NDVI para determinação de índice de vegetação e identificação de deficiências nutricionais.

Um detalhe interessante é que não se teve variações durante a ano, tendo valores praticamente iguais em todas as avaliações, independente do índice de vegetação utilizado. Este resultado é divergente dos obtidos por Silva et al. (2015) que encontrou variações nos índices de NDVI em café ao longo do ano. Uma informação que pode explicar as diferenças entre o trabalho de Silva et al. (2015) e este é a idade das lavouras, na qual os autores trabalharam com uma lavoura mais jovem do que as que foram avaliadas nesta pesquisa.

De modo geral ao se analisar os coeficientes de variação verifica-se que a maioria foram baixas, de acordo com Pimentel-Gomes e Garcia, (2002), com exceção dos resultado obtidos pelo NDRE nas áreas tratadas de Perdizes-MG (Tabela 1), que tiveram variações entre médias e altas, e Araxá (Tabela 2) que teve coeficientes médios nas áreas com 1 ano de tratamento com o bioativador para os dados de NDVI aos 180 dias e NDRE aos 180 dias nas áreas de 1 e 2 anos de tratamento e, por fim, na área de 1 ano de tratamento aos 240 dias.

**Tabela 1.** Estatística descritiva para os indicadores de qualidade NDVI e NDRE (Perdizes-MG).

IQ <sup>1</sup> (%)	Tratamento	Média	$\sigma$	CV	AD
NDVI 90	Com	0,90	0,01	1,17	0,47 N
	Sem	0,89	0,02	2,60	0,66 N
NDVI 180	Com	0,90	0,01	1,24	0,31 N
	Sem	0,91	0,02	1,72	1,73 A
NDVI 240	Com	0,90	0,01	1,24	0,31 N
	Sem	0,91	0,02	1,72	1,73 A
NDRE 90	Com	0,32	0,09	26,97	2,35 A
	Sem	0,35	0,01	3,46	0,27 N
NDRE 180	Com	0,35	0,04	12,23	2,01 A
	Sem	0,35	0,03	7,17	1,01 N
NDRE 240	Com	0,35	0,04	12,23	2,01 A
	Sem	0,35	0,03	7,17	1,04 N

1 – Indicador de qualidade;  $\sigma$  – Desvio padrão; CV (%) – Coeficiente de variação; AD – Teste de normalidade de Anderson Darling (N: distribuição normal; A: distribuição não normal).

**Tabela 2.** Estatística descritiva para os indicadores de qualidade NDVI e NDRE. (Araxá-MG).

IQ <sup>1</sup> (%)	Tratamento	Média	$\sigma$	CV	AD
NDVI 90	2 anos	0,88	0,02	2,78	1,84 A
	1 ano	0,88	0,01	1,62	0,32 N
NDVI 180	2 anos	0,88	0,01	1,30	0,45 N
	1 ano	0,86	0,10	12,03	3,64 A
NDVI 240	2 anos	0,87	0,02	2,28	0,42 N
	1 ano	0,87	0,02	2,78	1,33 A
NDRE 90	2 anos	0,30	0,03	10,09	0,21 N
	1 ano	0,30	0,02	7,99	0,21 N
NDRE 180	2 anos	0,30	0,04	12,66	1,13 A
	1 ano	0,30	0,04	14,09	0,50 N
NDRE 240	2 anos	0,30	0,03	9,61	0,28 N
	1 ano	0,30	0,04	13,09	1,00 N

1 – Indicador de qualidade;  $\sigma$  – Desvio padrão; CV (%) – Coeficiente de variação; AD – Teste de normalidade de Anderson Darling (N: distribuição normal; A: distribuição não normal).

Ainda nas Tabelas 2 e 3 verifica-se que a maioria dos dados seguiram a distribuição normal de dados, com exceção dos dados de NDVI da área não tratada de Perdizes-MG aos 180 e 240 dias, e da área com dois anos de

tratamento aos 90 DAA e na área de um ano de tratamento aos 180 e 240 dias de Araxá-MG. Foram observadas também distribuições não normais de dados para os resultados de NDRE para as três datas avaliadas na lavoura com tratamento com bioativador em Perdizes-MG e com dois anos consecutivos de tratamento aos 180 dias na área de Araxá-MG.

Nas Tabelas 3 e 4 verifica-se os resultados das estatísticas descritivas para as avaliações realizadas. Verifica-se que em alguns períodos não foram observadas doenças ou pragas, tendo-se valores iguais a zero, este fato impede que a estatística seja realizada. Porém, mesmo assim os dados foram apresentados para caracterizar o comportamento sanitário da área.

De modo geral, verificou-se valores muito baixos de incidência de doenças e infestação de pragas, em ambas as áreas, em todas as datas avaliadas. Esta sanidade é resultado principalmente do bom manejo de pragas e doenças nestas propriedades, estes baixos valores também indicam que não se teve fatores que pudessem atrapalhar no desenvolvimento das lavouras.

Para a variável Bicho Mineiro (Tabela 3) nota-se que em todas as avaliações o nível de infestação ficou abaixo de 1%. De modo geral as médias ficaram estáveis entre as datas avaliadas e, a área não tratada sempre esteve com maior média, mesmo com as médias bem próximas. Verifica-se que todas as médias apresentaram coeficiente médios e altos, sendo que os dados apresentam padrão de distribuição normal.



**Tabela 3.** Estatística descritiva para os indicadores de qualidade bicho mineiro, cercospora, ferrugem e phoma, em porcentagem (Perdizes-MG).

IQ <sup>1</sup> (%)	Tratamento	Média	$\sigma$	CV	AD
Bicho Mineiro 90	Com	0,15	0,04	25,40	0,58 N
	Sem	0,27	0,05	18,83	0,50 N
Bicho Mineiro 180	Com	0,18	0,04	22,22	0,52 N
	Sem	0,28	0,06	21,43	0,56 N
Bicho Mineiro 240	Com	0,24	0,05	20,83	0,40 N
	Sem	0,35	0,07	20,00	0,31 N
Cercospora 90	Com	0,18	0,03	16,72	0,34 N
	Sem	0,16	0,04	27,13	0,54 N
Cercospora 180	Com	0,14	0,02	14,29	0,50 N
	Sem	0,14	0,03	21,43	0,33 N
Cercospora 240	Com	0,14	0,02	14,29	0,50 N
	Sem	0,14	0,03	21,43	0,40 N
Ferrugem 90	Com	0,00	-	-	-
	Sem	0,00	-	-	-
Ferrugem 180	Com	0,00	-	-	-
	Sem	0,00	-	-	-
Ferrugem 240	Com	0,00	-	-	-
	Sem	0,00	-	-	-
Phoma 90	Com	0,00	-	-	-
	Sem	0,00	-	-	-
Phoma 180	Com	0,01	0,01	100,00	3,27 A
	Sem	0,01	0,00	0,00	3,99 A
Phoma 240	Com	0,01	0,01	100,00	3,27 A
	Sem	0,01	0,00	0,00	3,99 A

1 – Indicador de qualidade;  $\sigma$  – Desvio padrão; CV (%) – Coeficiente de variação; AD – Teste de normalidade de Anderson Darling (N: distribuição normal; A: distribuição não normal).

Em relação aos resultados de cercosporiose verifica-se que também se teve uma incidência muito baixa, em todo o período. Os coeficientes de variação também ficaram entre médios e altos, pelos resultados verifica-se também que as áreas sem o bioativador apresentaram maior variabilidade. Todas as datas, em ambas as áreas, tiveram-se distribuição norma de dados.

Por fim, as demais avaliações de pragas e doenças tiveram valores nulos ou praticamente irrisórios, impedindo que se tivesse avaliações estáticas consistentes. Por este motivo, as demais análises estatísticas foram realizadas sem as avaliações com dados médios iguais a zero.

Assim como a área de Perdizes-MG, Araxá teve baixas ocorrências de pragas e doenças (Tabela 4). Quanto a bicho mineiro, verifica-se que todas as avaliações situaram-se abaixo e 1 % e zerou na última avaliação. Os coeficientes de variação foram médios e altos nas avaliações de 90 e 180 dias, respectivamente. Pelo teste de normalidade verifica-se todas as avaliações de bicho mineiro foram normais, com exceção da área de 1 ano aos 180 dias, que apresentou distribuição não normal de dados.

**Tabela 4.** Estatística descritiva para os indicadores de qualidade bicho mineiro, cercospora, ferrugem e phoma, em porcentagem (Araxá- MG).

IQ <sup>1</sup> (%)	Tratamento	Média	$\sigma$	CV	AD
Bicho Mineiro 90	2 anos	0,42	0,05	11,90	0,26 N
	1 ano	0,41	0,06	14,63	0,45 N
Bicho Mineiro 180	2 anos	0,33	0,08	24,24	0,46 N
	1 ano	0,28	0,06	21,43	1,02 A
Bicho Mineiro 240	2 anos	0,00	-	-	-
	1 ano	0,00	-	-	-
Cercospora 90	2 anos	0,35	0,12	34,29	1,34 A
	1 ano	0,67	0,20	29,85	1,49 A
Cercospora 180	2 anos	0,64	0,14	22,50	0,87 A
	1 ano	0,43	0,06	13,95	0,31 A
Cercospora 240	2 anos	0,00	-	-	-
	1 ano	0,00	-	-	-
Ferrugem 90	2 anos	0,00	-	-	-
	1 ano	0,00	-	-	-
Ferrugem 180	2 anos	0,00	-	-	-
	1 ano	0,00	-	-	-
Ferrugem 240	2 anos	0,00	-	-	-
	1 ano	0,00	-	-	-
Phoma 90	2 anos	0,10	0,02	20,00	4,80 A
	1 ano	0,01	0,01	100,00	3,27 A
Phoma 180	2 anos	0,00	-	-	-
	1 ano	0,00	-	-	-
Phoma 240	2 anos	0,00	-	-	-
	1 ano	0,00	-	-	-

1 – Indicador de qualidade;  $\sigma$  – Desvio padrão; CV (%) – Coeficiente de variação; AD – Teste de normalidade de Anderson Darling (N: distribuição normal; A: distribuição não normal).

A cercosporiose apresentou um comportamento muito semelhante ao bicho mineiro, com incidências baixas pelo período de avaliação e a não observação aos 240 dias. Para esta variável houve uma variação maior, chegando a ter valores de coeficientes de variação maiores de 30%, que são classificados como muito alto pela metodologia de Pimentel-Gomes e Garcia, (2002). Estas variações podem estar associadas aos zeros das repetições avaliadas, isso interfere inclusive no teste de normalizada que, neste caso, teve-se todas as médias com distribuição não normal de dados.

As avaliações para levantar os níveis de incidência de ferrugem e phoma não detectaram níveis significativos das doenças, impossibilitando a utilização destas variáveis para criar analogias com dados de sensoriamento das análises subsequentes.

Analisando-se os resultados biométricos para área de Perdizes (Tabela 5), verifica-se que os indicadores de qualidade “número de internódios” e “crescimento” aumentaram ao longo do ciclo. Este fato é explicado por Camargo e Camargo (2001) que descreve o desenvolvimento fenológico com cafeeiro nas condições de clima brasileiro. A planta de café inicia a formação de novos ramos plagiotrópicos a partir da retomada das chuvas (primavera) e finaliza no período seco e frio (inverno).

Verifica-se também que as médias foram muito próximas nas áreas tratadas e não tratadas pelo bioativador. Nota-se ainda que estes indicadores apresentaram coeficientes de variação entre baixo e médio e todos tiveram distribuição normal de dados.

Para o indicador de qualidade “enfolhamento” nota-se que, no geral, verificou-se uma redução no enfolhamento aos 240 dias. Na cultura do café existem diversos fatores que causam desfolha, tais como: pragas, doenças, estresses climáticos e injúrias antropológica (Matiello et al., 2010). A área tratada apresentou maior enfolhamento em duas das três avaliações realizadas. Os dados de enfolhamento variaram pouco na avaliação de 90 dias (CV baixo), entretanto nas demais variou mais, tendo coeficientes médios e altos.

**Tabela 5.** Estatística descritiva para os indicadores de qualidade biométricos das áreas amostradas. (Perdizes-MG).

IQ <sup>1</sup> (%)	Tratamento	Média	$\sigma$	CV	AD
Nº internódios 90	Com	3,78	0,34	9,00	0,53N
	Sem	3,69	0,51	13,95	0,60N
Nº internódios 180	Com	5,85	0,95	16,26	0,19N
	Sem	5,31	1,15	21,74	0,25N
Nº internódios 240	Com	7,17	1,36	19,07	0,46N
	Sem	6,80	0,88	13,05	0,38N
Enfolhamento 90	Com	83,86	5,35	6,38	0,62N
	Sem	78,90	4,63	5,87	0,66N
Enfolhamento 180	Com	78,13	12,52	16,02	0,31N
	Sem	82,42	24,42	29,63	0,60N
Enfolhamento 240	Com	68,63	13,04	19,00	0,33N
	Sem	62,89	14,37	22,85	0,37N
Crescimento 90	Com	4,35	0,35	8,16	0,20N
	Sem	4,20	0,56	13,32	0,20N
Crescimento 180	Com	11,23	1,93	17,19	0,55N
	Sem	9,74	0,79	8,14	0,33N
Crescimento 240	Com	11,68	1,82	15,63	0,80N
	Sem	11,74	0,79	6,75	0,33N
Área Foliar 90	Com	24,65	1,42	5,76	0,90 N
	Sem	25,03	1,00	4,00	0,57 N
Área Foliar 180	Com	30,53	4,25	13,92	0,71 N
	Sem	32,77	9,28	28,32	0,34 N
Área Foliar 240	Com	38,04	4,24	11,15	0,40 N
	Sem	36,03	8,44	23,42	0,33 N

1 – Indicador de qualidade;  $\sigma$  – Desvio padrão; CV (%) – Coeficiente de variação; AD – Teste de normalidade de Anderson Darling (N: distribuição normal; A: distribuição não normal).

Por fim, nota-se que a média de área foliar aumentou com o passar do tempo, fato esperado, uma vez que a planta aumenta o seu número de folhas com o advento do período quente e chuvoso do ano (Camargo e Camargo, 2001). Nota-se também que as diferenças entre as áreas tratadas e não tratadas tiveram médias muito próximas. Em relação às medidas de dispersão observa-se que aos 90 dias os valores foram baixos, enquanto aos 180 e 240 os valores de coeficientes de variação aumentaram, obtendo-se a classificação de médio

para a área tratada com o bioativador e alto nas áreas sem o tratamento (PIMENTEL-GOMES e GARCIA, 2002). Todos os valores obtidos para esta variável seguiram a distribuição normal dos dados.

Os resultados biométricos obtidos na área de Araxá/MG podem ser observados na Tabela 6. Analisando o número de internódios percebe-se que houve um crescimento até os 180 dias e após isso percebe-se um “travamento”, paralisando o crescimento. Não existe uma explicação precisa para o ocorrido, porém acredita-se que possa estar relacionado a idade da lavoura.

Esta lavoura em Araxá/MG era mais jovem que a de Perdizes/MG e quando passou pelo período de seca (veranico) suas raízes era mais superficiais e se teve uma paralização do crescimento. De acordo com Partelli et al. (2006) a maior parte das raízes do cafeeiro se concentram na parte superior (camada superficial do solo), principalmente as plantas menores, como é o caso desta lavoura de Araxá/MG. De acordo com Matiello et al. (2010) um sistema radicular mais raso possui menor capacidade em absorver água em profundidade e pode sofrer mais em períodos de seca.

Não se verificou diferenças constantes entre as áreas com o tratamento de um ano e dois anos para o número de internódios. No geral, verifica-se que se teve distribuição normal dos dados e que o coeficiente de variação foi baixo e médio, com exceção da média obtida aos 240 dias na área com um ano de tratamento, que se teve valores de coeficiente de variação muito alto de acordo com Pimentel-Gomes e Garcia (2002).

**Tabela 6.** Estatística descritiva para os indicadores de qualidade biométricos das áreas amostradas (Araxá- MG).

IQ <sup>1</sup> (%)	Tratamento	Média	$\sigma$	CV	AD
Nº internódios 90	2 anos	3,78	0,09	9,00	0,53N
	1 ano	3,69	0,13	13,95	0,60N
Nº internódios 180	2 anos	6,81	0,20	11,07	0,37N
	1 ano	7,51	0,26	13,28	0,28N
Nº internódios 240	2 anos	6,65	0,25	14,58	0,22N
	1 ano	6,39	0,62	36,36	0,74N
Enfolhamento 90	2 anos	84,33	2,40	10,65	0,52N
	1 ano	85,10	2,19	9,64	0,95N
Enfolhamento 180	2 anos	24,42	1,05	15,21	0,21N
	1 ano	25,93	0,09	3,72	0,23N
Enfolhamento 240	2 anos	68,03	5,14	28,29	0,49N

	1 ano	56,75	6,07	40,01	1,00N
Crescimento 90	2 anos	4,32	0,16	14,12	0,20N
	1 ano	4,14	0,12	11,39	0,26N
Crescimento 180	2 anos	9,60	0,09	3,72	0,19N
	1 ano	10,02	0,20	7,80	0,26N
Crescimento 240	2 anos	10,07	0,09	3,40	0,21N
	1 ano	10,52	0,20	7,43	0,26N
Área Foliar 90	2 anos	30,39	1,35	4,44	0,28 N
	1 ano	29,37	1,82	6,20	0,19 N
Área Foliar 180	2 anos	24,42	0,44	1,80	0,21 N
	1 ano	25,93	1,05	4,05	0,23 N
Área Foliar 240	2 anos	29,05	0,47	1,62	0,23 N
	1 ano	30,73	1,15	3,74	0,23 N

1 – Indicador de qualidade;  $\sigma$  – Desvio padrão; CV (%) – Coeficiente de variação; AD – Teste de normalidade de Anderson Darling (N: distribuição normal; A: distribuição não normal).

Para os resultados de enfolhamento verifica-se também uma redução ao longo do ciclo, principalmente aos 180 dias. Esta avaliação ocorreu em fevereiro, logo após um período considerável sem chuvas, potencializando muito a desfolha do café. Fato interessante é que a área tratada com dois anos consecutivos com o bioativador finalizou o ciclo com maior enfolhamento. As médias desta variável também tiveram distribuição normal de dados e apresentaram coeficientes de variação baixos e médias nas coletas de 90 e 180 dias, por outro lado, teve-se valores altos e muito altos de CV aos 240 dias.

Pelos resultados de crescimento dos ramos verifica-se que na maior parte das avaliações a área de um ano apresentou médias maiores. Percebe-se também que os resultados variaram pouco, tendo coeficientes de variação médios e na maioria dos casos baixos. De acordo com o teste de Anderson Darling os dados também apresentaram distribuições normais.

Verifica-se um comportamento diferente de Perdizes-MG para a variável área foliar (Tabela 6), uma vez que não se verificou uma crescente a medida do tempo. Esta área refere-se a uma lavoura mais jovem que havia passado por um período de estresse, verificando-se uma desfolha que reduziu a área foliar aos 180 dias, posteriormente as plantas continuaram crescendo e a área foliar voltou a aumentar, como pode ser visto aos 240 dias.

De modo geral as observações de área foliar variaram pouco, tendo-se baixos valores de coeficiente de variação. Esta estabilidade é reforçada pela

análise de normalidade, na qual os valores obtidos tiverem distribuição normal em todas as avaliações.

Por fim, a produtividade foi baixa nas duas áreas, principalmente em predizes. Verifica-se também que a maior produtividade foi obtida na área sem o bioativador em Perdizes/MG e com dois anos consecutivos de tratamento de Araxá/MG. Observa-se que os valores de coeficientes de variação foram muito altos em todos os indicadores de qualidade, com exceção apenas na área com bioativador de Perdizes/MG, que apresentou um coeficiente de variação alto. Os dados apresentados tiveram distribuição normal de dados.

**Tabela 7.** Estatística descritiva para o indicador de qualidade produtividade das áreas amostradas.

IQ <sup>1</sup> (%)	Tratamento	Média	$\sigma$	CV	AD
Produtividade	Com	12,64	0,89	26,44	0,31N
Perdizes (sc ha <sup>-1</sup> )	Sem	15,29	1,26	30,84	0,21N
Produtividade	2 anos	23,86	2,10	32,97	0,34 N
Araxá (sc ha <sup>-1</sup> )	1 ano	23,54	2,74	43,54	0,24N

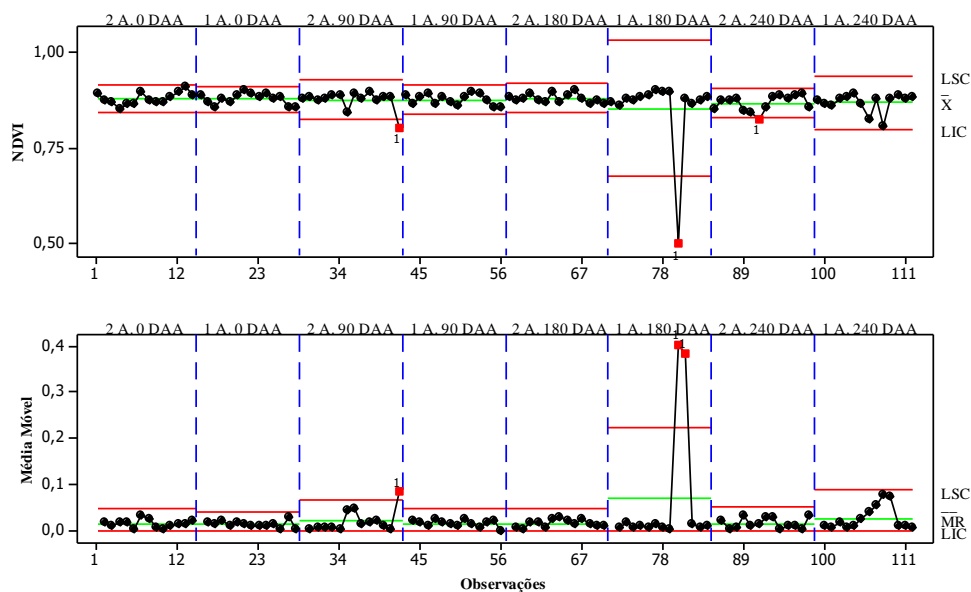
1 – Indicador de qualidade;  $\sigma$  – Desvio padrão; CV (%) – Coeficiente de variação; AD – Teste de normalidade de Anderson Darling (N: distribuição normal; A: distribuição não normal).

#### 4.1.2 cartas de controle

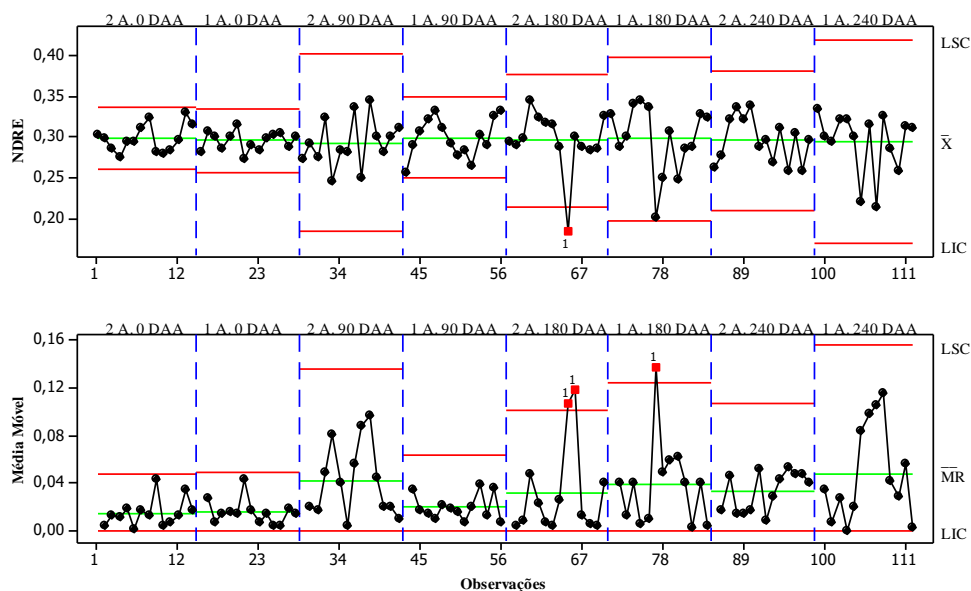
Por meio dos resultados obtidos com auxílio dos sensores, observou-se que em todas as cartas de controle houve pontos fora de controle, causando instabilidade no processo (Figura 5). Estes pontos fora de controle alteraram de forma significativa os limites estatísticos nas faixas observadas aos 90 dias (2 anos de aplicações dos produtos ativadores biológicos de solo), 180 dias (1 ano) e 240 dias (1 ano). De modo geral a média para NDVI em Araxá foram praticamente constantes em todas as épocas de avaliação (0 DAA (dias após avaliação) – momento da colheita; 90 DAA – chumbinho; 180 DAA – granação e 240 DAA – maturação).

Por outro lado, para o índice de vegetação NDRE, em Araxá-MG, percebe-se que houve maior variabilidade em relação ao NDVI, mesmo com as médias

muito similares dentro de cada índice. Do ponto de vista qualitativo, verificou-se pontos fora de controle aos 180 dias, em ambas as áreas. As demais cartas de controle forma estáveis (Figura 6).



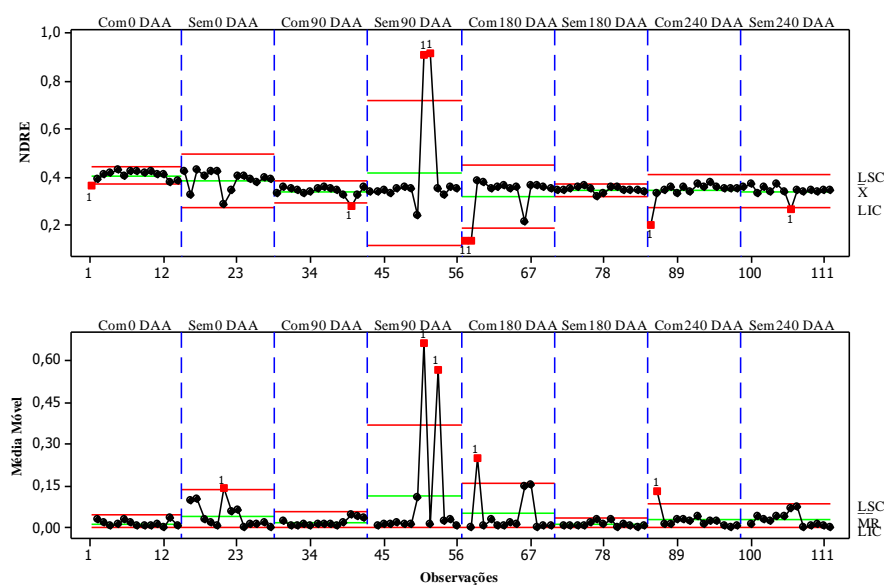
**Figura 6.** Cartas de controle para o monitoramento do índice vegetativo NDVI nas diferentes datas na área de Araxá-MG.



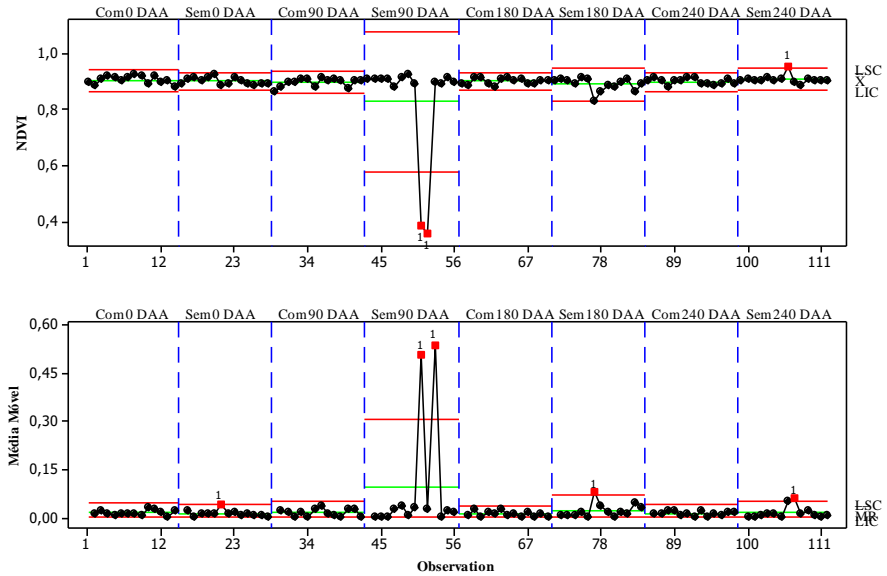
**Figura 7.** Cartas de controle para o monitoramento do índice vegetativo NDRE nas diferentes datas na área de Araxá-MG.



O monitoramento dos índices de vegetação na lavoura de Perdizes-MG permitiu verificar que, no geral, baixas variações nas médias ao longo das datas coletadas (Figuras 7 e 8). Vale ressaltar que os pontos fora de controle influenciaram muito no processo da carta “sem 90DAA” em ambos os índices. Estes pontos podem ser relacionados a possíveis falhas dos sensores no momento da coleta, fato passível de ocorrência e deve ser trabalhado ou até retirado da análise se o gestor entender que seja importante. Nota-se ainda que o índice NDRE apresentou pontos fora de controle em maior frequência, tendo apenas a carta de controle “sem 80 DAA” estável, as demais sempre apresentaram pelo menos um ponto discrepante. Já o NDVI apresentou pontos fora de controle em 4 das 8 cartas (Figura 8).

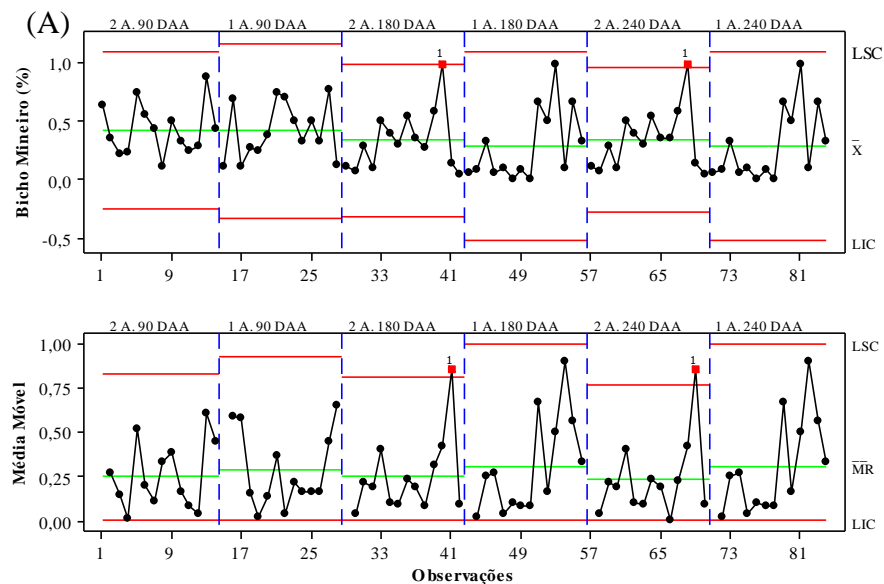


**Figura 8** Cartas de controle para o monitoramento do índice vegetativo NDRE nas diferentes datas na área de Perdizes-MG.

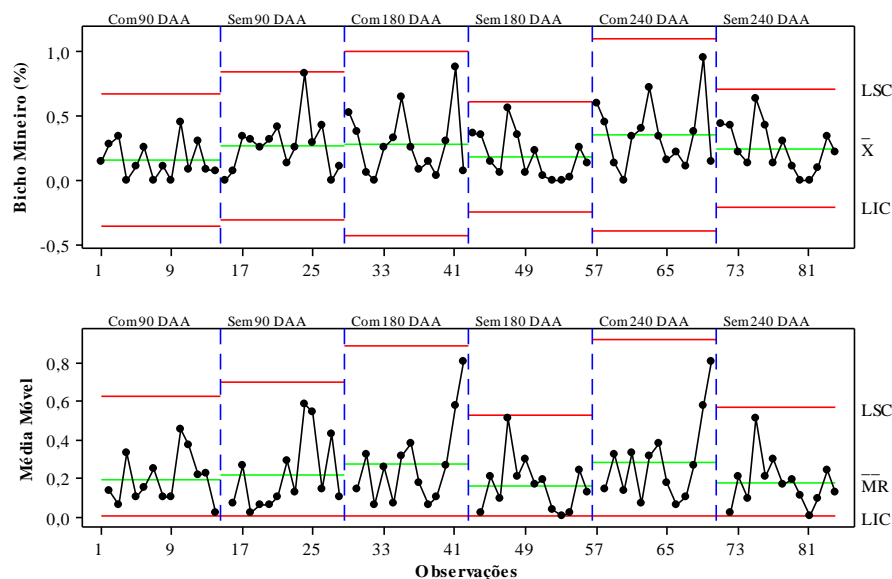


**Figura 9.** Cartas de controle para o monitoramento do índice vegetativo NDVI nas diferentes datas na área de Perdizes-MG.

Verifica-se pela Figura 9 que os níveis de bicho mineiro durante o ciclo foram relativamente baixos para as duas áreas experimentais, uma vez que o nível de controle indicado por alguns autores seria de 5% de folhas atacadas (Matiello et al., 2010) e, neste caso ambas as áreas tiveram níveis inferiores à 1 %.



(B)



**Figura 10.** Cartas de controle para o monitoramento do ataque de bicho mineiro nas áreas experimentais. (A) – Araxá; (B) – Perdizes.

Observa-se também, na Figura 9, que uso do bioativador (seja na área com e sem ou na área tratado por dois anos e um ano) também não apresentou influência sobre a praga. Vale ressaltar que o produto utilizado em questão não tem propriedades inseticidas ou fungicidas, por outro lado, o fato de trabalhar a vida biológica do solo e nas folhas pode resultar em melhorias no quesito de resistência aos patógenos.

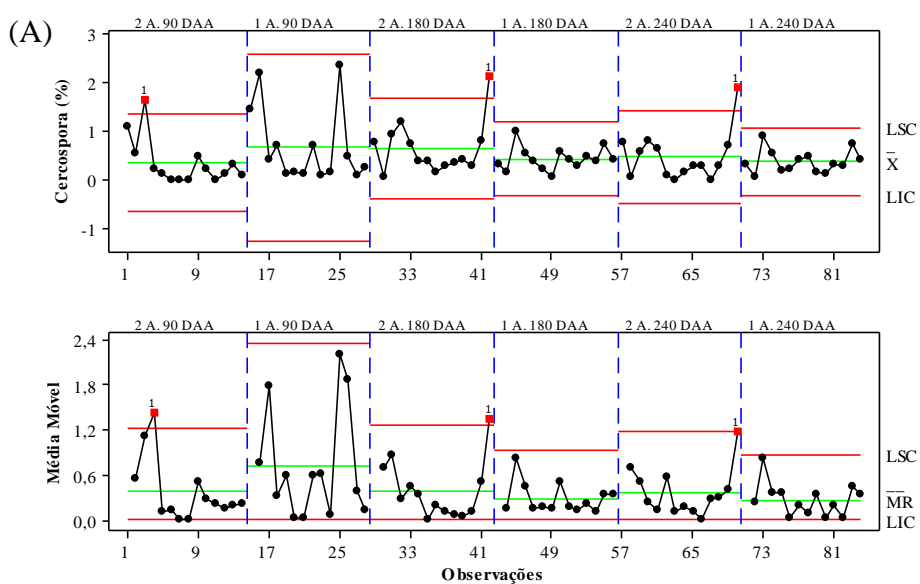
Do ponto de vista qualitativo pode-se verificar que foi observada uma menor variabilidade na área com tratamento sequencial de dois anos, em Araxá-MG. Nota-se também a existência de resultados que extrapolaram os limites de controle nas duas últimas avaliações, sendo este passível de verificação. Este fato pode ser explicado pelo fator meio ambiente, que se teve interações diferentes do padrão entre patógeno-hospedeiro.

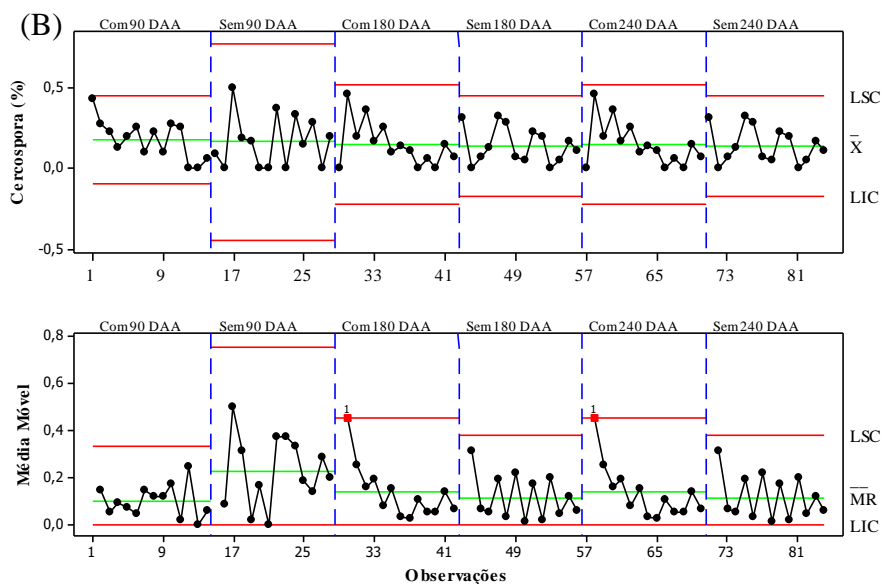
Ainda na Figura 9, verifica-se que nas áreas de Perdizes-MG observou-se um comportamento diferente, no qual as menores variabilidades foram alternando entre os tratamentos ao longo do tempo. Observou-se melhor qualidade na área tratada apenas nas avaliações de 90 dias após o início do monitoramento, já nas duas avaliações subsequentes (180 e 240 dias) a menor variabilidade foi observada na área sem a aplicação do produto. Por estes

resultados é possível inferir que possivelmente a flutuação da população de bicho mineiro não pode ser influenciada pelo uso deste bioativador.

Para a variável cercosporiose verifica-se também baixos níveis em todas as avaliações (Figura 10), conforme indicado por Santinato et al. (2017). Na primeira área (Araxá) nota-se que nas avaliações de 90 e 180 dia a área com dois anos consecutivos de tratamento apresentaram menores médias e menores variabilidades em relação a área com apenas um ano de tratamento. Verifica-se pontos fora de controle nas áreas de pontos fora de controle, em todas as avaliações, nas áreas de dois anos, muito provável que este fato esteja associado com desequilíbrios nutricionais ou falhas de controle, conforme descrito por Vale et al. (2019).

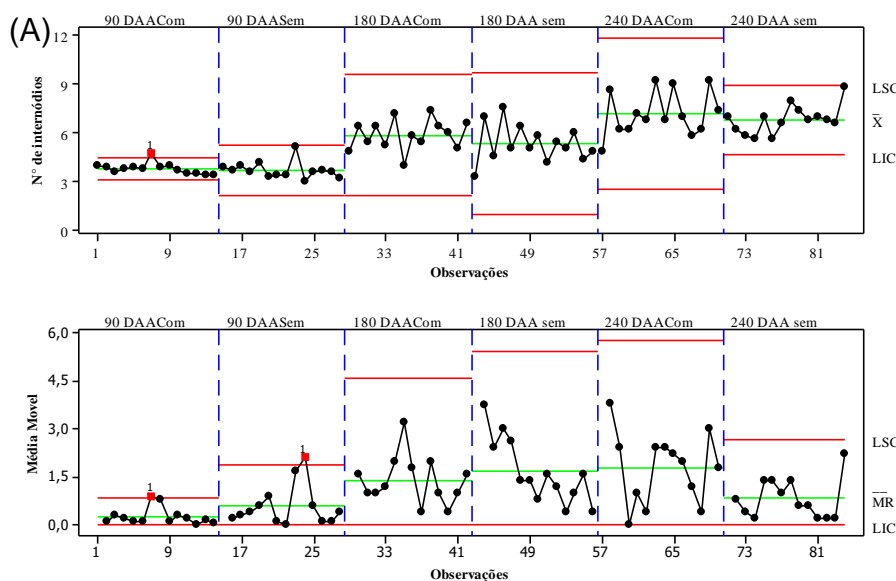
Já em Perdizes-MG foi verificado médias praticamente idênticas nas áreas com o sem o bioativador, verificando-se diferenças apenas em relação a variabilidade dos dados. Entretanto novamente não se pode relacionar esta variação em função dos tratamentos uma vez que percebe-se mudança no comportamento ao longo do tempo, tendo menor variabilidade na área tratada na primeira avaliação e isso se inverte nas duas avaliações subsequentes, chegando inclusive ter pontos de instabilidade (*outlier*) nas avaliações de 180 e 240 dias.

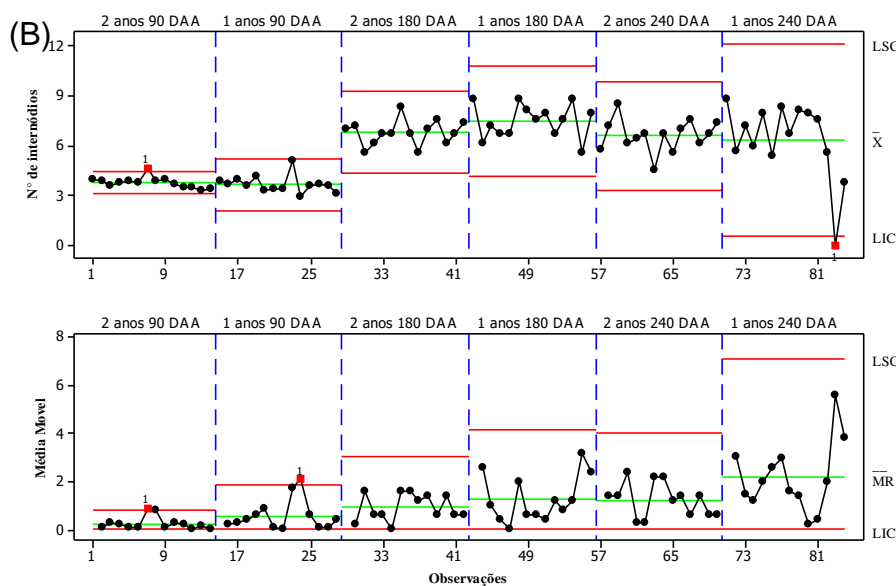




**Figura 11.** Cartas de controle para a incidência de cercospora nas áreas experimentais. (A) – Araxá; (B) – Perdizes.

Nestas mesmas datas de avaliações foram levantadas as informações relacionadas ao desenvolvimento fenológico da cultura do café (Figuras 11 a 14). Em relação ao número de internódios (Figura 11) da área de Perdizes/MG verificou-se que houve aproximadamente 6 internódios formados no ano (240 DAA), em ambas as áreas (tratamento de 1 e 2 anos). Verifica-se ainda uma menor variabilidade nas avaliações iniciais de 90 DAA, verifica-se também pontos fora de controle nas áreas com e sem o tratamento do ativador biológico aos 90 dias, já nos demais observa-se processos estáveis.





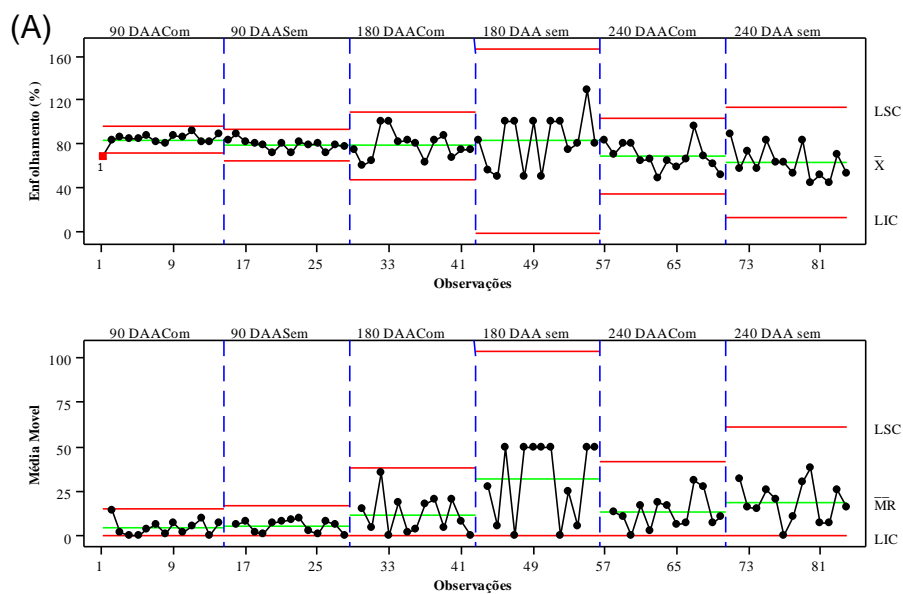
**Figura 12.** Cartas de controle para o número de internódios durante o ciclo experimental nas duas áreas avaliadas. (A) – Araxá; (B) – Perdizes.

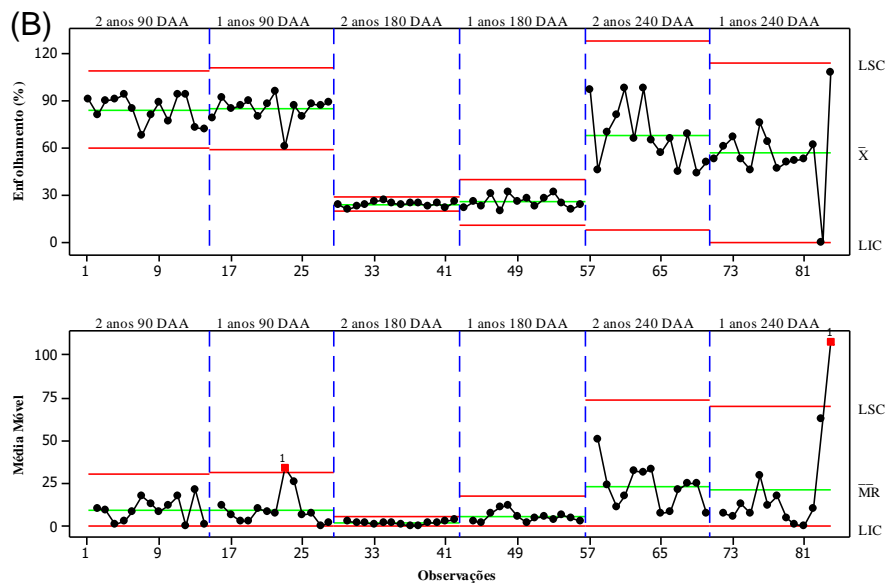
Em Araxá/MG, teve-se, aos 240 dias, médias próximas a 7 internódios, nas duas áreas (com e sem o tratamento do ativador biológico de solo). De maneira geral, também se verifica que menores variações nas avaliações iniciais e também se verificou pontos fora de controle nas cartas referentes as avaliações de 90 dias e também na carta de 240 dias na área de um ano.

Analisando-se os resultados de enfolhamento percebe-se que em média a área de Perdizes/MG chegou ao momento da colheita (240 DAA) mais preparada (mais enfolhada), tendo em torno de 70 %, enquanto em Araxá/MG se verificou-se valores médios próximos a 65 % (Figura 12). Em relação a variabilidade e estabilidade dos dados verifica-se que em Perdizes/MG todos os dados se situaram entre os limites de controle (estáveis) em todas as cartas com exceção a primeira observação de 90 dias, que se situou abaixo do limite inferior de controle. Foi observado também uma menor variação na área tratada com o bioativador de solo. As médias dos tratamentos foram praticamente iguais, não sendo possível verificar incrementos com o teste feito pelo produtor.

Já em Araxá/MG, a área de dois anos variou menos nas duas primeiras avaliações e um pouco mais na última. Praticamente todos os processos foram estáveis, com exceção das avaliações na área de 1 ano aos 90 e 240 dias, que tiveram um ponto fora de controle, indicando instabilidade para este conjunto de

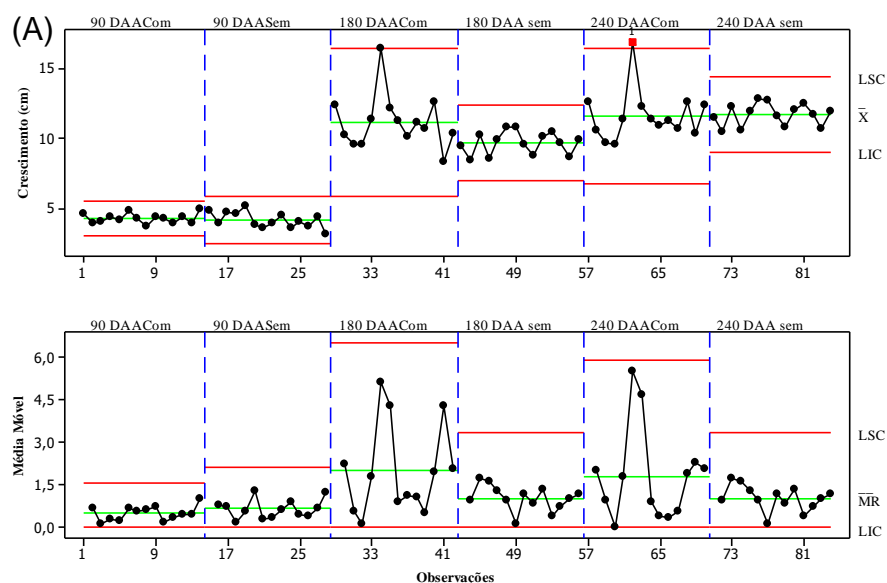
dados. Este ponto apresentou um enfolhamento muito maior que o restante dos dados, existe uma dificuldade de encontrar justificativas para este ocorrido, mas pode ser que as questões citadas anteriormente elencadas por Cassia et al. (2013) possa explicar este resultado.



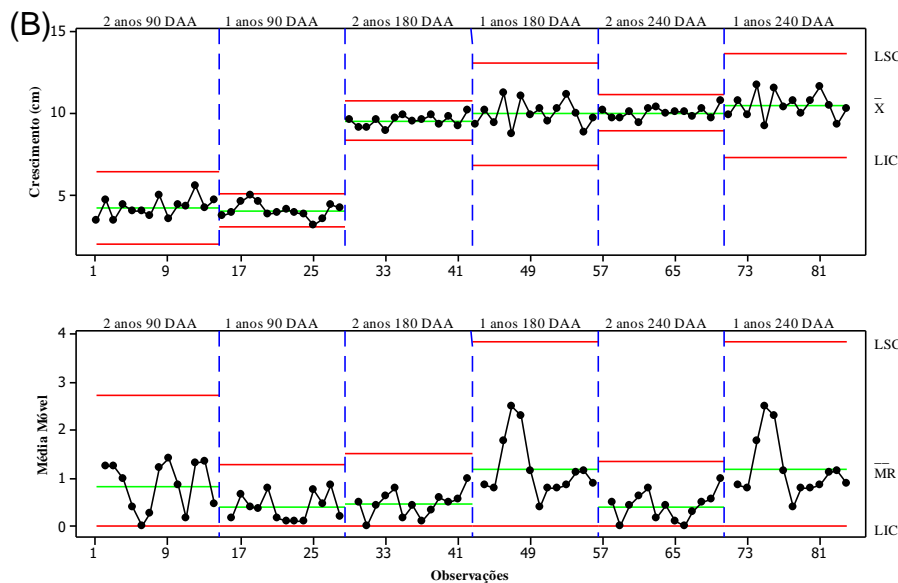


**Figura 13.** Cartas de controle para o enfolhamento durante o ciclo experimental nas duas áreas avaliadas. (A) – Araxá; (B) – Perdizes.

Analisando-se o crescimento verifica-se que Araxá/MG houve um crescimento menor em comparação a área de Perdizes/MG, que pode ser relacionado a vários fatores, inclusive com as diferenças de lavouras e manejo realizado pelos proprietários destas fazendas (Figura 13). Verifica-se ainda que as médias foram muito próximas nos diferentes tratamentos, ou seja, ao final dos 240 dias não se verificou diferenças entre as áreas tratadas por uma ou duas safras (Araxá/MG) e também com e sem o ativador de solo (Perdizes/MG).



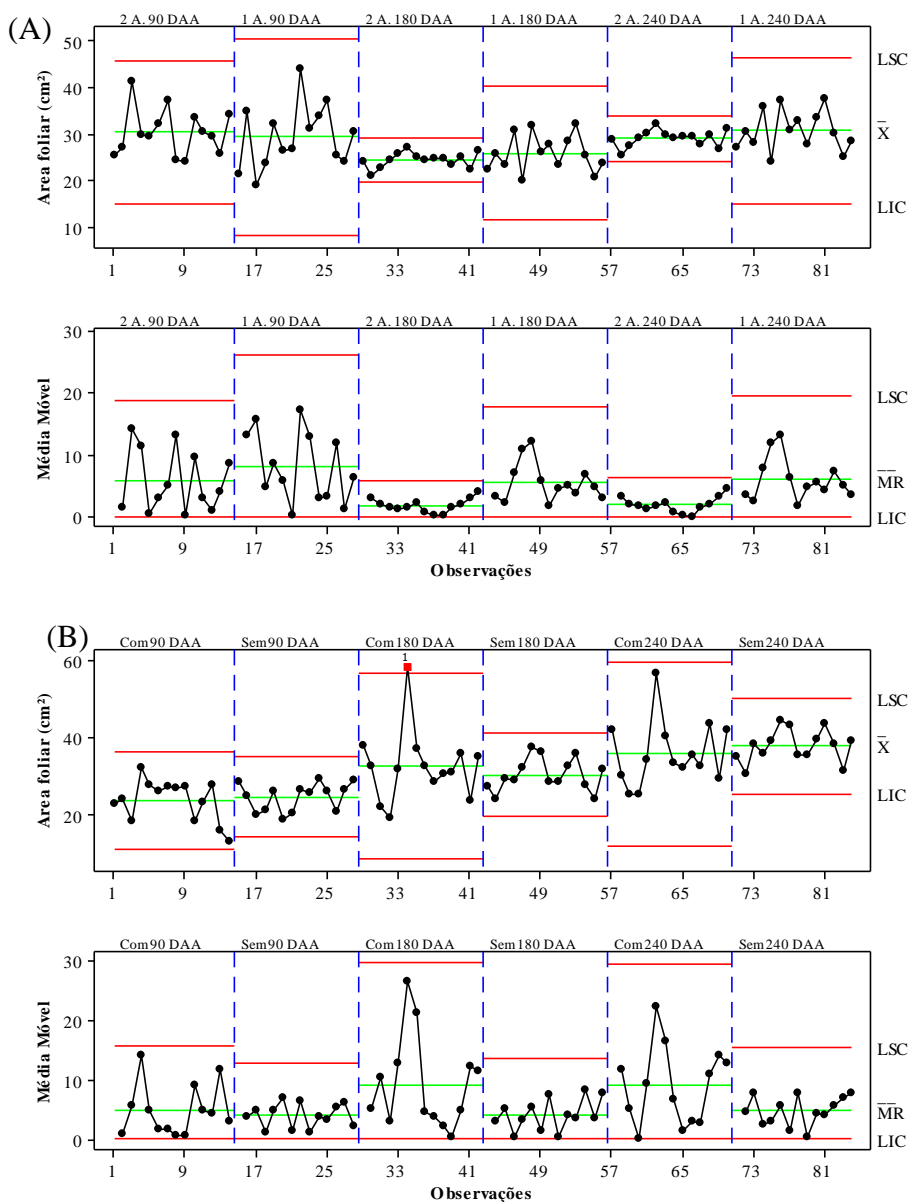




**Figura 14.** Cartas de controle para o crescimento dos ramos durante o ciclo experimental nas duas áreas avaliadas. (A) – Araxá; (B) – Perdizes.

Em relação a variabilidade do processo em ambas as áreas, percebe-se as maiores varrições não seguirem um padrão ao longo das avaliações, mas as duas últimas foram similares, com maiores variabilidades nas áreas com maior tempo de utilização do produto (dois anos em Araxá/MG) e com o tratamento com bioativador na área de Perdizes/MG, inclusive com um ponto fora dos limites de controle, indicando instabilidade no processo em Perdizes. Neste ponto fora de controle, houve um crescimento maior que o normal, podendo ser relacionado inclusive com o fator material, ou seja, o material avaliado, neste caso a planta apresentou um crescimento muito diferente do padrão das demais avaliadas. De acordo com Cassia et al. (2013), a lavoura de café apresenta elevada variabilidade, dependente de uma serie fatores como: produtividade, idade, exposição solar, solos entre outros.

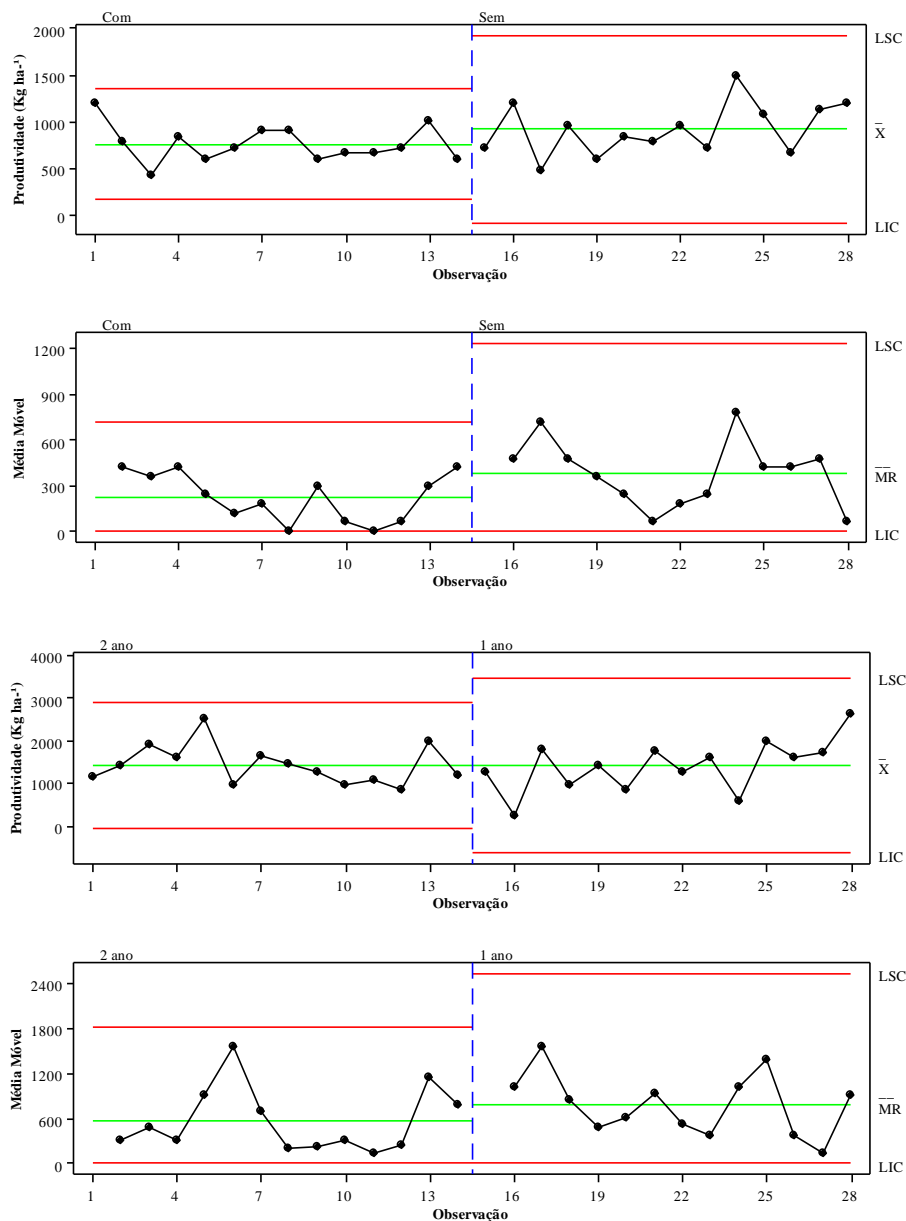
Um dos principais indicativos de melhoria no desenvolvimento é o crescimento foliar, que pode ser representado pela medição área foliar (tamanho médio das folhas). Este resultado pode ser observado na Figura 14, verifica-se que nas médias os valores foram próximos em ambas as áreas, não sendo verificadas diferenças em função das áreas tratadas ou não tratadas.



**Figura 15.** Cartas de controle para o monitoramento área foliar durante o ciclo experimental nas duas áreas avaliadas. (A) – Araxá; (B) – Perdizes.

Em relação a avaliação de produtividade das áreas, observou-se médias muito próximas nas duas áreas (Figura 15). A primeira (Araxá) verificou-se médias semelhantes, modificando apenas dispersão dos resultados, na qual a área tratada por dois anos consecutivos apresentou uma maior uniformidade produtiva (menor variabilidade). Por outro lado, na área de Perdizes verificou-se média um pouco inferior quando se tratou com o ativador biológico. A menor variabilidade na área tratada de Perdizes, indicando que os valores apesar de

mais baixos variaram menos em relação a área não tratada. Vale ressaltar que ambas as áreas apresentaram baixas produtividades nesta safra.



**Figura 16.** Cartas de controle para os resultados produtivos nas áreas experimentais.

Analisando-se as correlações para a área de Araxá/MG, verifica-se que a única variável que apresentou correlação com o NDVI foi o índice NDRE (Tabela 8). Esta correlação pode ser classificada como forte de acordo com Baba et al., 2014 e negativa, indicando que à medida que o NDVI aumentou o índice NDRE reduziu. Já em Perdizes/MG nenhum dos parâmetros se correlacionou com os índices de vegetação (Tabela 9). Este fato demonstra a dificuldade de

se ajustar sensores na cultura do café, não sendo possível utilizar os índices como indicadores de crescimento, enfolhamento, presença de pragas e doenças nestas lavouras.

Nota-se que os componentes agronômicos apresentam algumas correções entre-se nas duas lavouras avaliadas. Em Araxá/MG foi verificadas correlações, tais como: Correlação moderada entre enfolhamento e número de internódios assim como área foliar e número de internódios, a correlação foram negativas indicando que os ramos que apresentavam maior número de internódio possuía os maiores percentuais de desfolha (justificado pela desfolha nos momentos de estresses); correlação forte entre número de internódios e crescimento; correlação fraca entre phoma e número de nós (pode ser apenas coincidência ou indicativo que a doença ocorre mais em ramos que crescem mais).

Correlação moderada e negativa entre enfolhamento e crescimento (provavelmente seria melhor se não tivesse tido a desfolha tão acentuada aos 180 dias, apresentado anteriormente); correlação fraca entre enfolhamento e área foliar, assim como enfolhamento e cercospora (esperava-se que a área foliar tivesse uma melhor correlação uma que o dado “área foliar” representa as medições das folhas presentes no ramo, assim como o enfolhamento que contabiliza as mesmas); por fim verifica-se forte correlação positiva entre crescimento e área foliar, que era esperado devido o comportamento fenológico da cultura descrito por Camargo e Camargo (2001). Os demais dados não tiveram correlações.

**Tabela 8.** Matriz de correlação de Pearson entre as variáveis NDVI, NDRE, número de internódios (nós), enfolhamento, crescimento, área foliar, presença de bicho mineiro, cercospora e phoma/ascochita (Perdizes/MG).

	NDVI	NDRE foliar	Nós	Enfolhamento	Crescimento	Área Foliar	Bicho mineiro	Cercospora	Phoma/Ascochita
NDRE	<b>-0,88**</b> <b>&lt; 0,0001</b>	-	-	-	-	-	-	-	-
Nós	0,16 <sup>NS</sup>	-0,11 <sup>NS</sup>	-	-	-	-	-	-	-
Enfolhamento	-0,03 <sup>NS</sup>	-0,02 <sup>NS</sup>	<b>-0,52**</b> <b>&lt; 0,0001</b>	-	-	-	-	-	-
Crescimento	0,21 <sup>NS</sup>	-0,21 <sup>NS</sup>	<b>0,75**</b> <b>&lt; 0,0001</b>	<b>-0,41**</b> <b>0,0001</b>	-	-	-	-	-
Área Foliar	0,05 <sup>NS</sup>	-0,09 <sup>NS</sup>	<b>0,55**</b> <b>&lt; 0,0001</b>	<b>-0,36**</b> <b>0,0007</b>	<b>0,80**</b> <b>&lt;0,0001</b>	-	-	-	-
Bicho mineiro	-0,18 <sup>NS</sup>	0,14 <sup>NS</sup>	0,12 <sup>NS</sup>	-0,09 <sup>NS</sup>	0,14 <sup>NS</sup>	0,11 <sup>NS</sup>	-	-	-
Cercospora	-0,01 <sup>NS</sup>	-0,02 <sup>NS</sup>	-0,05 <sup>NS</sup>	<b>0,24*</b>	-0,09 <sup>NS</sup>	-0,09 <sup>NS</sup>	0,14 <sup>NS</sup>	-	-
Phoma/Ascochita	0,08 <sup>NS</sup>	-0,01 <sup>NS</sup>	<b>0,27*</b>	-0,11 <sup>NS</sup>	0,14 <sup>NS</sup>	-0,072 <sup>NS</sup>	0,13 <sup>NS</sup>	0,01 <sup>NS</sup>	-
Produtividade	-0,19 <sup>NS</sup>	0,09 <sup>NS</sup>	-0,04 <sup>NS</sup>	-0,03 <sup>NS</sup>	-0,04 <sup>NS</sup>	0,08 <sup>NS</sup>	0,10 <sup>NS</sup>	-0,14 <sup>NS</sup>	0,15 <sup>NS</sup>

\* coeficiente de correlação de Pearson; <sup>b</sup> valor-p; \* significativa a 0,05 de probabilidade; \*\* significativa a 0,01 de probabilidade; <sup>NS</sup> correlação não significativa

Para a área de Perdizes/MG também se verificou algumas correlações entre os componentes agronômicos. Observa-se uma correlação moderada e negativa entre número de internódios e enfolhamento, que indica menores índices de enfolhamento nos ramos com maior crescimento. Já para o crescimento e número de internódios verifica-se forte correlação positiva, fato já esperado. Por outro lado, verifica-se que a presença de bicho mineiro e phoma apresentou comportamento inverso ao número de internódios, sendo menos observado nos ramos maiores, este fato pode ser mera coincidência uma vez que se teve correlações fracas.

O enfolhamento também apresentou comportamento inverso ao crescimento, ou seja, os ramos que apresentaram menor crescimento se mantiveram mais enfolhados durante o ciclo, sendo caracterizado por uma correlação moderada de acordo com Baba et al. (2014). Verifica-se também fracas correlações positivas entre enfolhamento e bicho mineiro e phoma. Por fim, verifica-se também fraca e negativa correlação entre crescimento e phoma. De acordo com Matiello et al., esta doença causa morte de tecidos jovens da planta, podendo interferir no desenvolvimento e crescimento dos ramos, sendo uma possível explicação.

**Tabela 9.**Matriz de correlação de Pearson entre as variáveis NDVI, NDRE, número de internódios (nós), enfolhamento, crescimento, área foliar, presença de bicho mineiro, cercospora e phoma/ascochita (Araxá/MG).

	NDVI	NDRE	Nós	Enfolhamento	Crescimento	Área Foliar	Bicho mineiro	Cercospora	Phoma/Ascochita
NDRE	0,078 <sup>NS</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-
Nós	-0,05 <sup>NS</sup>	-0,01 <sup>NS</sup>	-	-	-	-	-	-	-
Enfolhamento	-0,03 <sup>NS</sup>	0,00 <sup>NS</sup>	<b>-0,53**</b>	-	-	-	-	-	-
Crescimento	-0,11 <sup>NS</sup>	0,02 <sup>NS</sup>	<b>0,78**</b>	<b>-0,60**</b>	-	-	-	-	-
Área Foliar	-0,11 <sup>NS</sup>	-0,03 <sup>NS</sup>	-0,21 <sup>NS</sup>	<b>0,36**</b>	-0,13 <sup>NS</sup>	-	-	-	-
Bicho mineiro	-0,07 <sup>NS</sup>	-0,13 <sup>NS</sup>	<b>-0,23*</b>	0,04 <sup>NS</sup>	-0,20 <sup>NS</sup>	0,12 <sup>NS</sup>	-	-	-
Cercospora	0,07 <sup>NS</sup>	0,06 <sup>NS</sup>	-0,07 <sup>NS</sup>	-0,05 <sup>NS</sup>	-0,07 <sup>NS</sup>	0,079 <sup>NS</sup>	0,08 <sup>NS</sup>	-	-
Phoma/Ascochita	-0,04 <sup>NS</sup>	-0,17 <sup>NS</sup>	<b>-0,38**</b>	<b>0,33**</b>	<b>-0,41**</b>	0,12 <sup>NS</sup>	0,13 <sup>NS</sup>	-0,10 <sup>NS</sup>	-
Produtividade	0,18 <sup>NS</sup>	0,01 <sup>NS</sup>	-0,01 <sup>NS</sup>	0,09 <sup>NS</sup>	-0,07 <sup>NS</sup>	-0,15 <sup>NS</sup>	0,10 <sup>NS</sup>	0,76 <sup>NS</sup>	-0,10 <sup>NS</sup>

\* coeficiente de correlação de Pearson; <sup>b</sup> valor-p; \* significativa a 0,05 de probabilidade; \*\* significativa a 0,01 de probabilidade; <sup>NS</sup> correlação não significativa.

## 5. CONCLUSÕES

A ferramenta (optrx) utilizada para o levantamento dos índices vegetativos na cultura do café não foi capaz de identificar diferenças nas condições testadas.

As cartas de controle se mostraram ferramentas uteis para analisar os resultados agronômicos do cafeeiro de forma mais detalhada, sendo possível muito além a média entre as áreas tratadas e não tratadas.

Esperava-se que seriam observadas diferenças com o uso do biotivador, que possibilitaria uma melhor visualização das diferenças apresentadas nas cartas de controle e nos resultados de sensoriamento remoto, porém, não se observou diferenças durante a pesquisa.

Não foi possível estabelecer correlações entre os componentes agronômicos e os índices de NDVI e NDRE.



## 6. REFERÊNCIAS

ACOCK, A. C. **Descriptive statistics and graphs for one variable**. In: \_\_\_\_\_. A gentle introduction to stata. Tucson: Stata Corporation Texas, 2008. p. 83-107.

AMARAL LR, MOLIN JP, SCHEPERS JS (2015) **Algorithm for Variable-Rate Nitrogen Application in Sugarcane Based on Active Crop Canopy Sensor**. Agronomy Journal 107:1513-1523.

ASSAD ED, PINTO HS, ZULLO JUNIOR J, ÁVILA AMH (2004) **Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 39: 1057 - 1064.

ATZBERGER, C. **Advances in Remote Sensing of Agriculture: Context Description, Existing Operational Monitoring Systems and Major Information Needs**. Remote Sensing 2013, 5(2), 949-981.

BABA RK, VAZ MSMG, COSTA J (2014) **Correção de dados agrometeorológicos utilizando métodos estatísticos**. Revista Brasileira de Meteorologia, 29: 515 – 526.

BARET F, GUYOT G (1991) **Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment**. Remote Sensing of Environment 35:161–173.

BARROS, R. S.; MAESTRI, M.; VIEIRA, M.; BRAGAFILHO, L. J. **Determinação de área de folhas do café (Coffea arabica L. cv. 'Bourbon Amarelo')**. Revista Ceres, Viçosa, v.20, n.107, p.44-52, 1973.

CAMARGO AP, CAMARGO MBP (2001) **Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil**. Bragantia. 60: 65-68.

CANATA, TATIANA F.; MOLIN, JOSÉ P.; SOUSA, RAFAEL V. DE . **A MEASUREMENT SYSTEM BASED ON LIDAR TECHNOLOGY TO CHARACTERIZE THE CANOPY OF SUGARCANE PLANTS.** ENG AGR-JABOTICABAL, v. 39, p. 240-247, 2019

CASSIA M.T.; SILVA R.P.; CHIODEROLI C.A; NORONHA R.H.F.; SANTOS E.P. **Quality of mechanized coffee harvesting in circular planting system.** Ciência Rural, Rio Grande do Sul, v. 43, n. 1, p. 28-34. 2013.

CEOLIN, A. C.; ABICHT, A. D. M.; CORRÊA, A. D. F.; PEREIRA, P. R. R. X.; SILVA, T. D. **Sistemas de informação sob a perspectiva de custos na gestão da pecuária de corte gaúcha.** *Custos e @gronegocio on-line*, Recife, PE, v. 4, Edição Especial, p. 62-84, maio 2008.

COELHO, RENATO ALVES (2008) **Colonização micorrízica, nutrição e morfologia do cafeeiro em monocultivo e sistemas 2008.** 83 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Vitória da Conquista.

COLACO, A. F. ; MOLIN, J. P. ; ROSSELL-POLO, J. R ; ESCOLÀ, A. . **Application of light detection and ranging and ultrasonic sensors to high-throughput phenotyping and precision horticulture: current status and challenges.** Horticulture Research, v. 5, p. 35, 2018.

CONAB Companhia Nacional de Abastecimento (2018) **Acompanhamento da safra brasileira: Café, safra 2018, quarto levantamento.** Brasília: Conab.84 p. Disponível em: <[https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/24571\\_eec1a3f8fdc30883717a497a09f7d159](https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/24571_eec1a3f8fdc30883717a497a09f7d159)>.

CUNHA, J. P. B. ; SILVA, F. M. ; ANDRADE, E. T. ; CARVALHO, L. C. **C. Modeling of operational performance parameters applied in mechanized harvest of coffee.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Online), v. 20, p. 946-952, 2016.

COSTA AFB, EPPRECHT EK, CARPINETTI LCR (2005) **Controle Estatístico de Qualidade. 2. ed.** São Paulo: Atlas, 335 p.

EMBRAPA. **Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária** (2018) Produção dos Cafés do Brasil equivale a 36% da produção mundial em 2018. Brasília. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/34724227/producao-dos-cafes-do-brasil-equivale-a-36-da-producao-mundial-em-2018>>. Acesso em: 27 out. 2019.

FERNANDES ALT, PARTELLI FL, BONOMO R, GOLYNSKI A (2012) **A moderna cafeicultura dos cerrados brasileiros.** Pesquisa Agropecuária Tropical. 42: 231-240

FITZGERALD GJ, RODRIGUEZ D, CHRISTENSEN LK, BELFORD R, SADRAS VO, CLARKE TR (2006) **Spectral and thermal sensing for nitrogen and water status in rainfed and irrigated wheat environments.** Precision Agriculture 7:233–248.

LORENZZETTI JA (2015) **Princípios físicos de sensoriamento remoto.** São Paulo: Blucher, 293p.

MATIELLO JB, SANTINATO R, GARCIA AW, ALMEIRA SR, FERNADES DR (2010) **Cultura de café no Brasil: manual de recomendações.** Varginha: Gráfica Santo Antônio. 542 p.

MOLIN, J. P.; ANDRÉ FREITAS COLAÇO ; CARLOS, E.F. ; MATTOS JUNIOR, D. . **Mapping yield, soil fertility and tree gaps in an orange orchard.** Revista Brasileira de Fruticultura (Impresso), v. 34, p. 1256-1265, 2012.

MOLIN, JOSÉ PAULO; MOTOMIYA, ANAMARI VIEGAS DE ARAUJO ; FRASSON, FLAVIA RONCATO ; FAULIN, GUSTAVO DI CHIACCHIO ; TOSTA, WANDERSON . **Test procedure for variable rate fertilizer on coffee.** Acta Scientiarum. Agronomy (Online), v. 32, p. 569-575, 2010.

MOLIN, J.P.; VEIGA, JOÃO PAULO SOTO. **Spatial variability of sugarcane row gaps: measurement and mapping**. *Ciência e Agrotecnologia (Online)*, v. 40, p. 347-355, 2016.

MOLIN JP, AMARAL LR, COLAÇO AF (2015) **Agricultura de precisão**. Oficina de Textos: São Paulo, p. 119-153.

MONTGOMERY, D.C. **Control charts for variables**. In: MONTGOMERY D.C. (ed) *Introduction to statistical quality control*, Arizona: 6rd edn. Wiley, 2009. p. 226-268.

MOREIRA MA (2011) **Fundamentos de sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 4. ed. Viçosa: UFV, 422p.

NOVO EMLM (2008) **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Ed. Blucher, 363p.

MOTOMIYA AVA, VALENTE IMQ, MOLIN JP, MOTOMIYA WR, BISCARO GA, JORDAN RA (2014) **Índice de vegetação no algodoeiro sob diferentes doses de nitrogênio e regulador de crescimento**. *Semina: Ciências Agrárias* 35:169-178.

NORONHA, R.H.F.; SILVA, R.P.; CHIODEROLI, C.A.; SANTOS, E.P.; CASSIA, M.T. **Controle estatístico aplicado ao processo de colheita mecanizada diurna e noturna de cana-de-açúcar**. *Bragantia, Campinas*, v. 70, n. 4, p. 931-938, 2011.

PARTELLI, F. L.; VIEIRA, H. D.; SANTIAGO, A. R.; BARROSO, D. G. **Produção e desenvolvimento radicular de plantas de café 'Conilon' propagadas por sementes e por estacas**. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 41, n. 6, p. 949-954, 2006.

PAVLU, FRANZ ARTHUR ; MOLIN, J.P. **A sampling plan and spatial distribution for site-specific control of *Sphenophorus levis* in sugarcane.** Acta Scientiarum. Agronomy (Impresso), v. 38, p. 279-287, 2016.

PIAS, O. H. C.; CHERUBIN, M. R.; BASSO, C. J.; SANTI, A. L.; MOLIN, J. P.; BAYER, C. . **Soil penetration resistance mapping quality: effect of the number of subsamples.** ACTA SCIENTIARUM. AGRONOMY (IMPRESSO), v. 40, p. 133-143, 2018.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos.** Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.

RAMIREZ, G. M.; ZULLU JUNIOR, J. **Estimativa de parâmetros biofísicos de plantios de café a partir de imagens orbitais de alta resolução espacial.** Eng. Agríc., Jaboticabal, v.30, n.3, p.468-479, maio/jun. 2010

ROUSE JW, HAAS RH, SCHELL JA, DEERING DW, HARLAN JC (1974) **Monitoring the vernal advancement and retrogradation (greenwave effect) of natural vegetation.** NASA/GSFC Type III Final Report. Greenbelt, MD, pp 371.

SANTINATO R, FERNANDES ALT (2012) **Cultivo do cafeeiro irrigado por gotejamento.** 2 ed. Uberaba: Gráfica WS, 387 p.

SANTINATO, F.; RENATO ADRIANE ALVES RUAS, TIAGO DE OLIVEIRA TAVARES, ROUVERSON PEREIRA DA SILVA, MATEUS ALTARUGIO GODOY. **INFLUENCE OF SPRAY VOLUMES, NOZZLE TYPES AND ADJUVANTS ON THE CONTROL OF PHOMA COFFEE RUST.** Coffee Science, Lavras, v. 12, n. 4, p. 444 - 450, out./dez. 2017

SANTOS, A. F.; SILVA, R. P. ; TAVARES, T. O. ; ORMOND, A. T. ; ASSIS, L. C. ; ROSALEN, D. L. . **Parallelism error in peanut sowing operation with auto-steer guidance**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 21, p. 731-736, 2017.

SANTOS, A. F.; SILVA, R. P. ; ZERBATO, C. ; MENEZES, P. C. ; KAZAMA, E. H. ; PAIXAO, C. S. S. ; VOLTARELLI, M. A. . **Use of real-time extend GNSS for planting and inverting peanuts**. *PRECISION AGRICULTURE (ONLINE)*, v. 19, p. 1-17, 2018.

SHIRATSUCHI LS, FERGUSON RB, SHANAHAN JF, ADAMCHUK VI, SLATER GP (2010) **Comparision of spectral indices derived from active crop canopy sensors for assessing nitrogen and water status**. In 10th INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE. Anais... Denver: CO.

SILVA, L.C.; SILVA FILHO, M.P.; AGUIAR, F.A.; NEVES, V.L.; LIRA, J.M.S.; RAMBAL, S.; MOUILLOT, F.; PENNACCHI, J.P.; BARBOSA, J.P.R.A.D. **Conhecendo o IAF do cafeeiro arábica através do índice de vegetação por diferença normalizada**. IX Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil. Anais... Curitiba – PR, 2015.

SILVA, S.A.; LIMA, J.S.S.; BOTTEGA, E.L. **Yield mapping of arabic coffee and their relationship with plant nutritional status**. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 2013, 13(3), 556-564.

SILVA, R.P.; CASSIA, M.T.; VOLTARELLI, M.A.; COMPAGNON, A.M.; FURLANI, C.E.A. **Qualidade da colheita mecanizada de feijão (*Phaseolus vulgaris*) em dois sistemas de preparo do solo**. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, v. 44, n. 1, p.61-69, 2013b.

SILVA, F. M.; SOUZA, Zigomar Menezes ; FIGUEIREDO, Carlos Augusto P ; MARQUES, José J. ; MACHADO, Rodrigo Vilela . **Variabilidade espacial de atributos químicos e de produtividade na cultura do café**. *Ciência Rural (UFMS. Impresso)*, v. 37, p. 401-407, 2007.

SOARES, L.M; ORTOBONI, E.M; BATISTA S.P; MAIA J.S.; (2016). **Agricultura de precisão e os nematoides**. In: R. Galbieri and J. Louis Belot, ed., Nematoides fitoparasitas do algodoeiro nos cerrados brasileiros: Biologia e medidas de controle, 3rd ed. [online] Cuiabá (MT): Instituto Mato-grossense do Algodão - IMAmt, pp.138, 139

TAVARES TO (2019) **Modelo computacional para análise do dimensionamento de frotas para a cafeicultura do cerrado mineiro**. 2019, 127 p. Tese (Doutorado em Agronomia). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Jaboticabal.

TAVARES, T. O.; BORBA, M. A. P.; OLIVEIRA, B. R.; SILVA, R. P.; VOLTARELLI, M. A.; ORMOND, A. T. S. **Effect of Soil Management Practices on the Sweeping Operation during Coffee Harvest**. AGRONOMY JOURNAL, v. 110, p. 1-8, 2018.

TAVARES, T. O. ; OLIVEIRA, B. R. ; SILVA, V. A. ; SILVA, R. P. ; SANTOS, A. F. ; OKIDA, E. S. . **The times, movements and operational efficiency of mechanized coffee harvesting in sloped areas**. PLoS One, v. 14, p. e 0217286, 2019.

TAUBINGER L, AMARAL LR, MOLIN JP (2012) **Vegetation indices from active crop canopy sensor and their potential interference factors on sugarcane**. p. 13. In: 11th INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE. Proceedings... Indianapolis: USA, p.13.

TORRENZANI, L.; KIELING, A. C.; SILVA, R. N. A.; FREITAS, B. M. **Carta de controle para análise da estabilidade de processo em ICP-OES<sup>i</sup>**. American Research Thoughts, v. 1, n. 11, p. 2602-2620,2015.

VALE, P.A.S.; RESENDE, M.L.V.; BOTELHO, D.; POZZA, E.; OGOSHI, C.; MONTEIRO, A.; COSTA, B.H.G.; VASCONCELOS, V.A.M. **Temperature, incubation time and virulence of *Cercospora coffeicola* in the production of cercosporin.** Journal of phytopathology, v 167, p. 371-379, 2019.

VOLTARELLI, M.A.; ZERBATO, C.; GAION, L.A.; FERREIRA, M.C.; GALATTI, F.S. **Uniformity of droplets distribution and control of *Ipomoea grandifolia* after simulated rainfall.** Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia, v. 7, p. 73-81, 2014.

ZERBATO, CRISTIANO; FURLANI, CARLOS E. A.; OLIVEIRA, MAILSON F. DE; VOLTARELLI, MURILO A.; TAVARES, TIAGO DE O.; CARNEIRO, FRANCIELE M. **Quality of mechanical peanut sowing and digging using autopilot.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 23, p. 630-637, 2019.

ZERBATO, C.; FURLANI, C.E.A.; VOLTARELLI, M.A.; BERTONHA, R.S.; SILVA, R.P. **Quality control to seeding systems and densities in peanut crop.** Australian Journal of Crop Science, v. 6, p. 992-998, 2014.