

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS PARA CAFEICULTURA DE  
PRECISÃO**

**Felipe Santinato**  
**Engenheiro Agrônomo**

**2016**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS PARA CAFEICULTURA DE  
PRECISÃO**

**Felipe Santinato**

**Orientador: Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva**

**Coorientador: Prof. Dr. Leonardo Campos de Assis**

**Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Campus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Produção Vegetal).**

**2016**

Santinato, Felipe  
S235i Inovações tecnológicas para cafeicultura de precisão / Felipe  
Santinato. -- Jaboticabal, 2016  
v, 125 p. : il. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de  
Ciências Agrárias e Veterinárias, 2016  
Orientador: Rouverson Pereira da Silva  
Coorientador: Leonardo Campos de Assis  
Banca examinadora: André Luis Teixeira Fernandes, Claudio Pagotto  
Ronchi, Haroldo Silva Vallone, Cristiano Zerbato  
Bibliografia

1. Cafeeiro. 2. Agricultura de Precisão. 3. Controle estatístico de  
processos. 4. Colheita mecanizada. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de  
Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 633.73:631.3



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS PARA CAFEICULTURA DE PRECISÃO


AUTOR: FELIPE SANTINATO

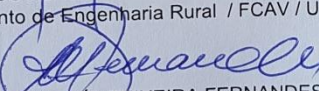
ORIENTADOR: ROVERSON PEREIRA DA SILVA

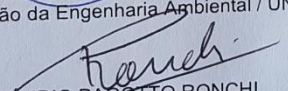
COORIENTADOR: RENATO ADRIANE ALVES RUAS

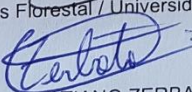
COORIENTADOR: LEONARDO CAMPOS DE ASSIS

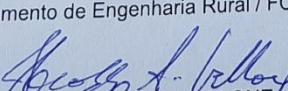
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:

  
Prof. Dr. ROVERSON PEREIRA DA SILVA  
Departamento de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal

  
Prof. Dr. ANDRÉ LUÍS TEIXEIRA FERNANDES  
Coordenação da Engenharia Ambiental / UNIUBE - Uberaba/MG

  
Prof. Dr. CLAUDIO PAGOTTO RONCHI  
Campus Florestal / Universidade Federal de Viçosa - Florestal, MG

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

  
Prof. Dr. HAROLDO SILVA VALLONE  
Instituto Federal do Triângulo Mineiro / Uberaba, MG

Jaboticabal, 05 de dezembro de 2016

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

**FELIPE SANTINATO** – Nasceu no dia 09/08/1990 no município de Campinas, SP. Em 2008 entrou na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias FCAV/UNESP no curso de Agronomia em Jaboticabal, SP e se formou em 05/08/2013. No mesmo ano ingressou no curso de Mestrado em Produção Vegetal pela UFV, Campus de Rio Paranaíba, MG, finalizando o curso no dia 17/07/2014. No mesmo ano entrou no curso de Doutorado em Produção Vegetal pela UNESP Jaboticabal, SP finalizando-o em 05/12/2016. Durante este período escreveu 5 capítulos de livros, publicou 21 artigos científicos nacionais e internacionais, 100 resumos técnicos no Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras (37º a 42º edições), coorientou 18 trabalhos de conclusão de curso de graduação e ministrou 22 palestras nacionalmente. Na carreira profissional, simultaneamente à acadêmica, fundou juntamente com seu pai a Santinato e Santinato Cafés Ltda em 2013, empresa de pesquisa e consultoria, instalando 145 experimentos no campo (2013 a 2016), construiu duas sedes da empresa em São João da Boa Vista, SP e Rio Paranaíba, MG e tornou-se cafeicultor, produtor de mudas e sementes de café nos dois municípios. Atualmente realiza pesquisa, consultoria e comércio de mudas e sementes de café.

"Eles passarão, eu passarinho".

Professor Rouverson,  
citando Mário Quintana

Ao cafeicultor Brasileiro

**DEDICO**

À minha mãe Leonor, feliz aniversário hoje!

**OFEREÇO**

## AGRADECIMENTOS

Ao final do doutorado devemos agradecer a todas as pessoas que participaram da nossa trajetória profissional e acadêmica, desde o começo da faculdade até este dia da defesa. Foram muitas pessoas com convivência agradável, e cada uma delas acrescentou de forma singular em alguma passagem desta história da minha vida, sejam pela amizade, conselhos, ensinamentos, ajuda, bar e criação de oportunidades.

Primeiramente a Deus por nos dar saúde, oportunidades, e principalmente por colocar pessoas maravilhosas no nosso caminho, parecendo até propositais, que sem elas não seria possível a construção da minha carreira e do presente trabalho. Agradeço à minha mãe Leonor por ser minha maior inspiração para viver. Agradeço ao meu pai, Roberto Santinato, em que me espelho como homem, profissional e líder, por me incentivar em todas as coisas que fizemos juntos me dando uma grande chance de ouro (“O guerreiro”). Agradeço ao Professor Rouverson por ter me dado oportunidades de ser seu estagiário, aluno, orientado de graduação, mestrado e doutorado, e por ser amigo, acreditando em nosso trabalho sempre, desde 2009, ensinando, ajudando, e me colocando no caminho certo várias vezes (“O orientador”).

Agradeço ao Professor Leonardo por ter sido o idealizador deste doutorado, pelos ensinamentos, pelas grandes sacadas que teve para a realização desta obra, que viemos trabalhando desde 2013, sempre, a cada reunião acrescentando mais ideias e produção. Agradeço à equipe da Santinato e Santinato Cafés Ltda e do LAMMA, em Minas Gerais, em especial ao Caio Fernando Eckhard Souza, por todo apoio na obtenção dos dados do trabalho. Agradeço aos profissionais José Braz Matiello, André Luiz Teixeira Fernandes, Alino Duarte, Enivaldo Marinho Pereira e Reginaldo Oliveira Silva, pelas oportunidades e parcerias no café ao longo desses anos.

Agradeço à UNESP Campus de Jaboticabal, aonde realizei minha graduação e doutorado, obtendo muitos aprendizados profissionais e pessoais. Também à UFV Campus de Rio Paranaíba, aonde cursei o mestrado e a CAPES pelo apoio com as bolsas de estudo.



**SUMÁRIO**

|    | <b>Página</b>                                                       |
|----|---------------------------------------------------------------------|
| 1  |                                                                     |
| 2  |                                                                     |
| 3  | CAPÍTULO 1: Considerações gerais.....02                             |
| 4  | CAPÍTULO 2: Metodologia empregada na análise espacial dos           |
| 5  | dados.....11                                                        |
| 6  | CAPÍTULO 3: Validação técnica da amostragem visual da produtividade |
| 7  | do cafeeiro.....19                                                  |
| 8  | CAPÍTULO 4: Técnica alternativa de amostragem da maturação dos      |
| 9  | frutos do cafeeiro.....41                                           |
| 10 | CAPÍTULO 5: Critério para seleção de modelo de semivariograma da    |
| 11 | produtividade e estágio de maturação de frutos de cafeeiro.....58   |
| 12 | CAPÍTULO 6: Análise da dependência espacial da produtividade do     |
| 13 | cafeeiro comparando-se lavouras e grades.....77                     |
| 14 | CAPÍTULO 7: Colheita mecanizada do café em função de ferramentas    |
| 15 | de Agricultura de Precisão.....91                                   |
| 16 | CAPÍTULO 8: Variabilidade espacial da operação da colheita          |
| 17 | mecanizada do café.....107                                          |
| 18 | CAPÍTULO 9: Considerações finais.....119                            |

## 1 **CAPÍTULO 1: Considerações gerais**

2

3 O cafeeiro apresenta particularidades que contribuem para se ter  
4 elevada variabilidade espacial, seja em seus próprios atributos ou em outros  
5 ligados a ele, tais como os parâmetros de fertilidade do solo. O café é perene,  
6 e por conta disto qualquer fator que influencie a planta em determinado  
7 momento de sua vida terá efeitos que poderão perdurar por vários anos,  
8 diferentemente das culturas anuais, que com o encerramento de seu ciclo, são  
9 removidas, têm o solo preparado, e no ano seguinte uma nova lavoura é  
10 implantada. Isto pôde ser percebido no trabalho de Santinato et al., (2016) que  
11 submeteram os cafeeiros a sete níveis de desfolha operacional e avaliaram os  
12 reflexos produtivos verificando alterações por até três safras subsequentes.

13 Fatores como profundidade de sulco ou da cova, vigor e sanidade das  
14 mudas, mão-de-obra utilizada no plantio, podem exercer influência, e contribuir  
15 para a variabilidade espacial de vários parâmetros das plantas durante todo o  
16 ciclo de vida da lavoura. Além disso, deve-se contar com a heterogeneidade do  
17 tipo e da fertilidade do solo, declividade do terreno e das operações de preparo  
18 do solo, calagem, adubação de sulco de plantio, problemas de irrigação e  
19 compactação, dentre outros, que irão influenciar na variabilidade dos atributos  
20 da planta e do meio que ela vive até o fim de seu ciclo, que pode ser maior que  
21 20 anos (SILVA et al., 2008; MATIELLO et al., 2015).

22 Estudar a variabilidade espacial da produtividade do cafeeiro é  
23 importante para todo o gerenciamento da propriedade, por tratar-se do produto  
24 final da atividade. Com base na produtividade, pode-se estimar parte da  
25 quantidade de insumos demandados na adubação, número de colhedoras ou  
26 de mão-de-obra empregados na colheita, dimensionamento de infraestrutura  
27 de pós-colheita, orçamento e lucro do cafeicultor.

28 Morfológica e fisiologicamente o cafeeiro apresenta três particularidades  
29 muito interessantes que influenciam, principalmente, na variabilidade de sua  
30 produtividade. A primeira delas é que os frutos do cafeeiro se originam apenas  
31 dos nós oriundos do crescimento do ano anterior, entre uma floração e outra  
32 (DAMATTA et al., 2007). Dessa forma, na safra seguinte, os nós que haviam  
33 produzido, não irão mais produzir, e haverá frutos somente nos nós  
34 subsequentes. Com isso, a produtividade do cafeeiro é dependente e

1 condicionada ao seu crescimento anual, e não do acumulativo ao longo de sua  
2 vida. Como o crescimento do cafeeiro é influenciado por vários fatores do solo,  
3 da planta, e da atmosfera, é extremamente variável, contribuindo assim para a  
4 variabilidade da produção.

5 A segunda particularidade é que o cafeeiro frutifica e cresce  
6 simultaneamente. Por conta disso necessita fornecer os metabólitos para estes  
7 dois drenos, em quantidades e proporções distintas já que o dreno de  
8 frutificação é soberano ao de crescimento (CANNELL et al., 1976). Isto faz com  
9 que em anos de elevada produtividade, haja pouco crescimento e,  
10 conseqüentemente, menor produtividade na safra seguinte, sendo este o efeito  
11 denominado bienalidade (PEREIRA, et al., 2011; VALADARES et al., 2013). A  
12 bienalidade torna a produtividade do cafeeiro extremamente variável ao longo  
13 dos anos, e como vários fatores são influenciados por ela, contribui para a  
14 variabilidade da cultura.

15 A terceira particularidade é a floração do cafeeiro (CAMARGO e  
16 CAMARGO et al., 2001), extremamente dependente da uniformidade do  
17 estágio de intumescimento das gemas, dormência, e da retomada do  
18 fornecimento hídrico, oriundo da pluviosidade, ou ainda, da irrigação, bem  
19 como da temperatura e microclima favoráveis à sua abertura (SANTINATO e  
20 FERNANDES, 2012). Dessa forma a florada, que origina os frutos do cafeeiro,  
21 por não ser uniforme, culmina em produtividades desuniformes e variáveis,  
22 bem como os estádios de maturação dos frutos.

23 Além disso, vários outros fatores como ataque de pragas (SOUZA et al.,  
24 2013), doenças (ALVES, et al., 2009), efeitos de salinidade, entre outros, que  
25 ocorrem ao longo de cada safra influenciam, setorialmente, a lavoura cafeeira,  
26 resultando em plantas altamente produtivas próximas a plantas com baixa  
27 produtividade, e vice-versa na safra seguinte (MATIELLO et al., 2015).

28 Além da produtividade outro parâmetro ligado a planta que deve ter a  
29 variabilidade espacial conhecida são os estádios de maturação dos frutos. Sua  
30 caracterização influencia na tomada de decisão do momento de início da  
31 colheita (MATIELLO et al., 2015), e este momento afeta toda a qualidade da  
32 operação de colheita (SANTINATO et al., 2014), o custo dessa operação  
33 (SANTINATO et al., 2015), a eficiência da colheita (SILVA et al., 2013) o vigor  
34 após a colheita e a produtividade da safra seguinte.

1           Têm-se como os mais importantes estádios o verde, cereja e seco,  
2 sendo esta a escala crescente de facilidade de remoção da planta. Porém,  
3 verde, seco e cereja, nesta ordem, compõem a escala crescente de qualidade  
4 de bebida, valor agregado e objetivo do cafeicultor (BORÉM et al., 2016).

5           O processo de amadurecimento é influenciado principalmente pela  
6 exposição solar (MATIELLO et al., 2015). Dessa forma, os frutos presentes no  
7 terço superior das plantas, por estarem mais expostos ao sol, amadurecem  
8 com velocidade mais acelerada que os dos outros terços. Por tratar-se de uma  
9 planta de elevado porte, os cafeeiros sombreiam outros, dependendo do  
10 direcionamento de plantio (SANTINATO et al., 2001), ocasionando em elevada  
11 variabilidade dos estádios de maturação dos frutos.

12           Em lavoura plantada de forma circular, como nos plantios irrigados via  
13 pivô central, têm-se todos os direcionamentos de plantio possíveis, de forma  
14 que a variabilidade da exposição solar e conseqüentemente dos parâmetros  
15 que ela afeta são elevados. Direcionamentos opostos ao caminhamento do  
16 solo promovem o efeito do lado do sol e lado da sombra, favorecendo  
17 ocorrência de doenças, pragas, escaldadura, amadurecimento dos frutos e  
18 produtividade. Já o direcionamento à favor do caminhamento do solo apresenta  
19 menores variabilidades de tais parâmetros, entre as os lados do cafeeiro  
20 (CASSIA et al., 2013).

21           Silva et al. (2013) evidenciaram a necessidade de maior “energia” da  
22 colhedora, através de menores velocidades operacionais e maiores vibrações  
23 das hastes para a derriça de frutos com estádios de maturação menos  
24 amadurecidos, do contrário, os frutos passas e secos. Santinato et al. (2014)  
25 obtiveram que para maior eficiência de colheita de lavouras com maiores  
26 produtividades, torna-se necessário maior quantidade desta energia, e vice-  
27 versa. Ambos ressaltam a importância da tomada de decisão das regulagens,  
28 levando em consideração a produtividade e estágio de maturação dos frutos,  
29 para ganhos na eficiência de colheita.

30           Admitir, conhecer e analisar a variabilidade espacial da produtividade e  
31 dos estádios de maturação dos frutos pode vir a nortear corretamente, ou mais  
32 precisamente, regulagens adequadas para o processo de colheita, elevando a  
33 eficiência operacional e reduzindo custos. Para tanto deve-se primeiramente  
34 validar novas metodologias de avaliação e obtenção dos dados e análise

1 geoestatística da produtividade e dos estádios de maturação dos frutos afim  
2 de gerar mapas de distribuição espacial confiáveis. Também pode-se verificar a  
3 variabilidade espacial da operação de colheita mecanizada, conhecendo  
4 pontos assertivos e errôneos do processo, quantificando-os e propondo novas  
5 soluções.

6 Também extremamente variáveis são os parâmetros de fertilidade do  
7 solo. Muitos trabalhos de pesquisa evidenciam que os atributos de solo  
8 apresentam grau de dependência espacial forte e que, por meio da utilização  
9 de mapas de isovalores é possível definir zonas de altas e baixas fertilidades.  
10 Tal fato sugere o manejo regionalizado das aplicações de insumos (SOUZA,  
11 2006 e SILVA et al., 2007, 2008).

12 Nas culturas em geral, a adubação busca fornecer insumos em  
13 quantidades necessárias para elevar os teores de determinado parâmetro para  
14 a faixa adequada, quando estes se encontram abaixo desta faixa  
15 (MALAVOLTA et al., 2006). Para tanto existem fórmulas de calagem (RAIJ et  
16 al. 1997), fosfatagem, potassagem, entre outros, baseadas em tabelas  
17 tradicionais (RAIJ et al. 1997; CFSEMG, 1999). As tabelas possuem ajustes  
18 que calibram as doses conforme o tipo de solo, teor de matéria orgânica e etc.  
19 Outra linha de pesquisa faz a recomendação da adubação com base em  
20 fórmulas matemáticas que levam em consideração a C.T.C do solo, a  
21 reatividade dos insumos e seu aproveitamento (SANTOS et al. 2009).

22 Em alguns casos, a adubação é complementada conforme a extração da  
23 cultura, baseada em trabalhos de sua composição química (CATANI e  
24 MORAES, 1967; CORRÊA et al. 1986; SANTINATO et al. 2008). Como na  
25 Agricultura de Precisão é possível aplicar os insumos à taxa variável, e essa  
26 quantidade pode atender a demanda do solo e da planta, com base em  
27 amostragens de solo e de produtividade mais precisas, podem-se propor novas  
28 fórmulas de adubação que atendam esta necessidade.

29 No entanto apesar de ter várias funções, a Agricultura de Precisão na  
30 cultura do cafeeiro deve seguir uma criteriosa metodologia para ser utilizada. A  
31 criação de mapas de isolinhas, que são a base das recomendações  
32 agronômicas pode ser gerada com e sem a confiabilidade necessária,  
33 dependendo do método escolhido para sua produção. Ressalta-se neste  
34 trabalho a importância de haver critérios para a análise dos dados obtidos e

1 principalmente para a escolha dos modelos empíricos que serão utilizados para  
2 representa-los.

3 Partindo do pressuposto que a aplicação da Agricultura de Precisão na  
4 cafeicultura mecanizada pode facilitar o gerenciamento das lavouras e que,  
5 podem ser realizadas ações inovadoras usando o entendimento da chamada  
6 mecanização de precisão, esta tese teve como objetivos estudar a variabilidade  
7 espacial de alguns parâmetros relacionados ao processo de colheita, bem  
8 como de adubação dos cafeeiros, buscando determinar novas metodologias  
9 para a análise dessa possível variabilidade.

10 Para atingir aos objetivos propostos estruturou-se esta tese em nove  
11 capítulos, iniciando-a com esta introdução que aborda as considerações gerais  
12 do trabalho (Capítulo um).

13 No Capítulo dois buscou-se apresentar a metodologia geoestatística  
14 utilizada na maioria dos outros capítulos, de modo a evitar a repetitividade das  
15 informações, permitindo nos demais capítulos uma abordagem mais superficial  
16 desta metodologia. A metodologia utilizada se propõe a servir de modelo para  
17 outros trabalhos da área devido à sua complexidade.

18 No Capítulo três realizaram-se análises visando avaliar e validar uma  
19 técnica empírica de estimativa da produtividade, atualmente utilizadas nas  
20 propriedades cafeeiras da região do Cerrado Mineiro, determinando o erro  
21 médio desta avaliação. Ainda no contexto de busca por inovações  
22 metodológicas, no Capítulo quatro é apresentada e discutida uma forma  
23 alternativa para avaliação da maturação dos frutos do café, de modo a se obter  
24 maior precisão nas avaliações, levando em consideração fatores morfológicos,  
25 anteriormente não abordados.

26 A variabilidade espacial da produtividade e da maturação dos frutos dos  
27 cafeeiros foi objeto de estudo do Capítulo cinco, enquanto que no Capítulo seis  
28 estudaram-se tamanhos de grades amostrais, e sua influência na análise dos  
29 dados, para a produtividade do cafeeiro.

30 Uma vez estudada a variabilidade e a dependência espacial da  
31 produtividade e estágio de maturação dos frutos, procurou-se no Capítulo sete,  
32 utilizar o conceito de Unidade Diferenciada de Gestão (UGD) para definir  
33 regulagens mais adequadas para a colheita mecanizada de café, em função de  
34 tais parâmetros.

1 No Capítulo oito estudou-se a variabilidade espacial de parâmetros da  
2 operação de colheita mecanizada de café, tais como quantidade de café caído,  
3 remanescente, colhido, eficiência de colheita e desfolha operacional, buscando  
4 identificar possíveis pontos de acertos e erros, posteriormente propondo  
5 soluções para otimizar a operação.

6 Por fim, o Capítulo nove, denominado considerações finais, expõe as  
7 principais conclusões obtidas na tese, correlacionando todos os temas  
8 abordados.

9

#### 10 **Referências:**

11

12 ALVES, M.C.; SILVA, F.M.; POZZA, E.A.; OLIVEIRA, M.S. Modeling spatial  
13 variability and pattern of rust and brown eye spot in coffee agroecosystem.  
14 **Journal of pest science**, v.82, p.137-148, 2009.

15

16 BORÉM, F.M. FIQUEIREDO, L.P.; RIBEIRO, F.C.; TAVEIRA, J.H.S.; GIOMO,  
17 G.S.; SALVA, T.J.G. The relationship between organic acids, sucrose and the  
18 quality of specialty coffees. **African Journal of Agricultural Research**, v.11,  
19 p.709-717, 2016.

20

21 CAMARCO, A.P.; CAMARGO, M.B.P. Definições e esquematização das fases  
22 fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, v.  
23 60, n.1, p. 65-68, 2001.

24

25 CANNELL, M.G. Crop physiological aspects of coffee bean yield – a review.  
26 **Kenya Coffee**, 41:245-253, 1976.

27

28 CASSIA, M. T.; SILVA, R. P.; CHIODEROLLI, R. H. F. N.; SANTOS, E. P.  
29 Quality of mechanized coffee harvesting in circular planting system. **Ciência**  
30 **Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 1, p. 28-34, 2013.

31

32 CATANI, R.A.; PUPO DE MORAES, F.R. A composição química do cafeeiro.  
33 Quantidade e distribuição de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, CaO e MgO em cafeeiro de 1 a 5  
34 anos de idade. **Revista Agricultura**, Piracicaba, 33:45-62, 1967.

- 1  
2 COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS.  
3 **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes e Minas Gerais:**  
4 **5a aproximação.** Viçosa, 1999. 176 p.  
5  
6 CORRÊA, J.B.; GARCIA, A.W.R.; COSTA, P.C. Extração de nutrientes pelos  
7 cafeeiros Mundo Novo e Catuaí. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE  
8 PESQUISAS CAFEEIRAS, 13., 1986, São Lourenço. **Anais...**Rio de Janeiro:  
9 Instituto Brasileiro do Café, 1986. P. 35-41.  
10  
11 DAMATTA FM et al (2007) Ecophysiology of coffee growth and production.  
12 **Braz J Plant Physiol.** 19(4):485-510.  
13  
14 MATIELLO, J.B.; SANTINATO, R.; ALMEIDA, S.R.; GARCIA, A.W.R. **Cultura**  
15 **de café no Brasil: Manual de recomendações:** ed. 2015/ editor Futurama,  
16 585 p.  
17  
18 PEREIRA SO, BARTHOLO GF, BALIZA DP, SOGREIRA FM, GUIMARÃES RJ  
19 (2011) Productivity and coffee biannuality depending on the crop spacing.  
20 **Pesqui Agropecuária Bras.** 46(2):152-160.  
21  
22 RAIJ, B.V.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise**  
23 **química para avaliação da fertilidade de solos tropicais.** IAC, Campinas.  
24 285p.  
25  
26 SANTINATO, F.; RUAS, R.A.A.; SILVA, R.P.; CARVALHO FILHO, A.;  
27 SANTINATO, R. Análise econômica da colheita mecanizada do café utilizando  
28 repetidas operações da colhedora. **Coffee Science**, v. 10, n.4, 2015.  
29  
30 SANTINATO, F.; SILVA, R.P.; CASSIA, M.T.; SANTINATO, R. Análise quali-  
31 quantitativa da operação de colheita mecanizada de café em duas safras.  
32 **Coffee Science**, v. 9, n.4, 2014.  
33



- 1 SANTINATO, F.; SILVA, R.P.; SANTINATO, R.; GONÇALVES, V.A.; VIEIRA,  
2 L.C. Influência produtiva no cafeeiro, a longo prazo, em função de tipos de  
3 colheita (manual e mecanizada com até seis passadas da colhedora). In:  
4 Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 42<sup>o</sup>, **Anais...**Serra Negra, 2016.  
5
- 6 SANTINATO, R., FERNANDES, A.L.T. **Cultivo do cafeeiro irrigado por**  
7 **gotejamento**. 2. Ed. Uberaba: Autores, 388p., 2012.  
8
- 9 SANTINATO, R.; PEREIRA, E.M.; SILVA, V.A. FERNANDES, A.L.T. Efeito do  
10 direcionamento norte-sul (NS), leste-oeste (LO), nordeste-sudeste(NO-SL) e  
11 noroeste-sudoeste (NL-SO) das linhas de plantio do cafeeiro nos altiplanos do  
12 cerrado com altitudes superiores a 900m. 2003. In: 27<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de  
13 Pesquisas Cafeeiras, **Anais...** Poços de Caldas, 2001.  
14
- 15 SANTOS, H.C.; OLIVEIRA, F.H.T.; ARRUDA, J.A.; LOPES, A.R.S.; JÚNIOR,  
16 R.F.S.; FARIAS, D.R. Amostragem para avaliação da fertilidade do solo em  
17 função da variabilidade de suas características químicas, **Revista Brasileira**  
18 **de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.849-854, 2009.  
19
- 20 SILVA, C.F.; SILVA, F.M.; SILVA, A.C.; BARROS, M.M.; PALMA, M.A.Z.  
21 Desempenho operacional da colheita mecanizada e seletiva do café em função  
22 da força de desprendimento dos frutos. **Coffee Science**, v.8, n.1, p.53-60,  
23 2013.  
24
- 25 SILVA, F.M.; SOUZA, Z.M.; FIGUEIREDO, C.A.P.; JÚNIOR, J.M.; MACHADO,  
26 R.V. Variabilidade espacial de atributos químicos e de produtividade da cultura  
27 do café. **Ciência Rural**, v.37, n.2, p. 401-07, 2007.  
28
- 29 SILVA, F.M.; SOUZA, Z.M.; FIGUEIREDO, C.A.P; VIEIRA, L.H.S.; OLIVEIRA,  
30 E. Variabilidade especial de atributos químicos e produtividade da cultura do  
31 café em duas safras agrícolas. **Ciência e Agrotecnologia**, v.32, p.231-241,  
32 2008  
33

- 1 SOUZA, J.C. de; REIS, P.R.; SILVA, R.A.; CARVALHO, T.A.F. de; PEREIRA,  
2 A.B. Controle químico da broca-do-café com cyantraniliprole. **Coffee Science**,  
3 v. 8, p. 404-410, 2013.  
4
- 5 SOUZA, Z.M.; CAMPOS, M.C.C.; CAVALCANTE, I.H.L.; JÚNIOR, J.M.;  
6 CESARIN, L.G.; SOUZA, S.R. Dependência espacial da resistência do solo à  
7 penetração e do teor de água do solo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar,  
8 **Ciência Rural**, v.36, n.1, p.128-134, 2006.  
9
- 10 VALADARES SV, NEVES JCL, ROSA GNGP, MARTINEZ HEP, VENEGAS  
11 VHA, LIMA PC (2013) Productivity and biennial production of dense coffee  
12 plantations under different doses of N and K. **Pesqui Agropecuária Bras**  
13 48(3):296-303.  
14

## 1 **CAPÍTULO 2: Metodologia empregada na análise espacial dos dados**

2  
3 Este trabalho foi composto por sete experimentos, cada um deles  
4 estudando um determinado assunto, com uma metodologia própria. No  
5 entanto, como na maioria deles utilizou-se análise e interpretação dos dados  
6 por meio da geoestatística, optou-se por detalha-la neste capítulo.

### 7 8 **Análise exploratória dos dados espaciais:**

9 Nesta pesquisa optou-se primeiramente por verificar o grau de  
10 associação espacial do conjunto de dados em etapa anterior à modelagem  
11 espacial dos mesmos. Para isso submeteu-se os dados à avaliação de auto  
12 correlação espacial utilizando o Índice de Moran Global (IMG) e em seguida, do  
13 padrão de agrupamento por meio do Índice de Moran Local (IML) (WANG,  
14 2015).

15 Utilizou-se o software ArcGIS versão 10.1 para a análise exploratória  
16 dos dados. O IMG utiliza as características espaciais a partir de suas  
17 respectivas localizações e de seus valores, avaliando se o conjunto das  
18 características segue um padrão agrupado ou disperso (SCOTT e JANIKAS,  
19 2010). Por tratar-se de uma estatística inferencial, tal índice interpreta os  
20 resultados pela hipótese da nulidade. A hipótese de nulidade atesta que o  
21 atributo em análise é aleatoriamente distribuído entre as características na área  
22 de estudo; ou seja, os processos espaciais geradores do padrão observado  
23 são aleatórios.

24 A estatística do Índice de Moran Global para auto correlação espacial é  
25 dada por (ESRI, 2010):

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{i,j} z_i z_j}{S_0 \sum_{i=1}^n z_i^2} \quad (1)$$

26  
27 Em que  $z_i$  é o desvio de um atributo para a feição  $i$  a partir de sua média  
28  $(x_i - \bar{X})$ ,  $w_{i,j}$  é o peso do critério de ponderação espacial entre a feição  $i$  e  $j$ ,  $n$  é  
29 igual ao número total de feições, e  $S_0$  é o somatório de todos os pesos do  
30 critério de ponderação espacial:

$$S_0 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{i,j} \quad (2)$$

1

2 O  $Z_I$ -score para estatística é calculado por:

$$Z_I = \frac{I - E[I]}{\sqrt{V[I]}} \quad (3)$$

3

4 Em que o valor esperado e dado por:

$$E[I] = -1/(n - 1) \quad (4)$$

5

6 E a variância é obtida por:

$$V[I] = E[I^2] - E[I]^2 \quad (5)$$

7

8 A partir da identificação de auto correlação espacial seguiu-se à análise  
9 do padrão de agrupamento por meio do IML, conforme (ESRI, 2010):

$$I_i = \frac{x_i - \bar{X}}{S_i^2} \sum_{j=1, j \neq i}^n w_{i,j} (x_j - \bar{X}) \quad (6)$$

10

11 Onde  $x_i$  é um atributo para a feição  $i$ ,  $\bar{X}$  é a média do atributo  
12 correspondente,  $w_{i,j}$  é o peso espacial entre a feição  $i$  e  $j$ , e:

$$S_i^2 = \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^n (x_j - \bar{X})^2}{n - 1} - \bar{X}^2 \quad (7)$$

13 Onde  $n$  é o número total de feições14 O  $Z_{I_i}$ -score para a estatística é calculado por:

$$Z_{I_i} = \frac{I_i - E[I_i]}{\sqrt{V[I_i]}} \quad (8)$$

15 Onde o valor esperado para a hipótese de aleatoriedade é dado por  
16 (ANSELIN, 1995):

$$E[I_i] = -\frac{\sum_{j=1, j \neq i}^n w_{i,j}}{n - 1} \quad (9)$$

17

18 E a variância por:

$$V[I_i] = E[I_i^2] - E[I_i]^2 \quad (10)$$

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31

Para uma modelagem espacial adequada de determinada variável ou fenômeno é importante conhecê-la (o) o suficiente para estabelecer corretamente a concepção de suas relações espaciais. Para todos os parâmetros em análise utilizou-se como concepção das relações espaciais o Método do inverso da distância, calculada pelo método da Distância Euclidiana, assumindo-se a Normalização dos dados. Os parâmetros avaliados neste processo foram z-score, p-valor e do próprio índice de Moran. Apenas os parâmetros que foram identificados pelo Índice de Moran Global como sendo agrupados com significância estatística seguiram com as demais análises.

As demais análises compreenderam a auto correlação espacial das amostras, caracterizada pela dependência espacial detectada pelo semivariograma. O semivariograma determina se existe ou não dependência espacial entre as amostras. A dependência espacial de um atributo pode ser descrita, utilizando o semivariograma experimental (ISAACS e SRIVASTAVA, 1989), ao qual pode ser ajustado um modelo matemático, conforme descrito por McBratney e Webster (1986). Na elaboração do semivariograma, todos os dados são pareados em todas as combinações aceitáveis e agrupados dentro de classes de distâncias e direções aproximadamente iguais (ZIMBACK, 2001).

O semivariograma é estimado de acordo com a equação 11:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (11)$$

Em que;

N (h) = é o número de pares experimentais de observações Z(xi) e Z (xi + h) separados por uma distância h.

O semivariograma é representado pelo gráfico  $\gamma(h)$  versus h. Do ajuste de um modelo matemático aos valores calculados, são estimados os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma denominados de efeito pepita, Co; patamar, Co+C1; e o alcance (VIEIRA et al., 1983).

O semivariograma possibilita observar se existe dependência espacial e estabelece valores para o interpolador, permitindo confeccionar mapas de isolinhas, além de apresentar alguns parâmetros:

1 • Variância pepita, ou efeito pepita ( $C_0$ ): é a semivariância diferente de  
2 zero, quando a distância entre as amostras tende a zero, a qual representa a  
3 variância que não pôde ser detectada pelo semivariograma, seja por  
4 necessidade de se coletarem amostras a distâncias menores, seja por um erro  
5 de alguma etapa do trabalho.

6 • Patamar ( $C_0 + C_1$ ): corresponde ao ponto onde toda semivariância da  
7 amostra é de influência aleatória, obedecendo à variância total obtida pela  
8 estatística clássica (TRANGMAR et al., 1985).

9 • Alcance: este representa a distância máxima entre duas amostras que  
10 possuem dependência espacial. Ressalta-se que, no semivariograma, todos os  
11 pares localizados, depois da medida do alcance, não possuem dependência  
12 espacial.

13 Após a obtenção do semivariograma de cada parâmetro escolheu-se o  
14 modelo matemático que melhor se ajustou segundo os critérios de avaliação.  
15 Os parâmetros de escolha foram a Classificação de Cambardella, que avalia  
16 como fraca, moderada e forte, a dependência espacial, e o coeficiente de  
17 determinação ( $R^2$ ) que avalia a assertividade do modelo, bem como os  
18 Critérios de Informação de Akayke (AIC) e Bayesiano (BIC) utilizados para a  
19 seleção de modelos.

20 A classificação de Cambardella et al. (1994) define o avaliador de  
21 dependência espacial (ADE), que se trata da relação entre o efeito pepita e o  
22 patamar,  $C_0 / (C_0 + C_1)$ , que pode ser:

23 - Forte: os semivariograma com efeito pepita menor ou igual a 25% do  
24 patamar ( $ADE \leq 0,25$ ).

25 - Moderada: quando os semivariograma estão entre 25 e 75% do  
26 patamar ( $0,25 \leq ADE \leq 0,75$ ).

27 - Fraca: quando o efeito pepita for maior ou igual a 75% do patamar  
28 ( $ADE \geq 0,75$ ).

29 Os Critérios de Informação de Akayke (AIC) e Bayesiano são (BIC) são  
30 utilizados como métodos para avaliar o ajuste de modelos penalizando a  
31 quantidade de parâmetros dos mesmos. Os principais modelos de  
32 semivariograma utilizados na geoestatística são: esférico, exponencial e  
33 gaussiano (DRUK et al., 2004). Para a obtenção dos parâmetros dos modelos  
34 esférico, exponencial e gaussiano (Equações X, Y e Z) utilizou-se o método da

1 máxima verossimilhança (Maximun Likelihood – ML), dados pelas Equações  
 2 12, 13 e 14, respectivamente.

$$Sph(|h|) = \begin{cases} 0, |h| = 0 \\ 1,5 \left(\frac{|h|}{a}\right) - 0,5 \left(\frac{|h|}{a}\right)^3, 0 < |h| \leq a \\ 1, |h| > a \end{cases} \quad (12)$$

3

$$Exp(|h|) = \begin{cases} 0, |h| = 0 \\ 1 - \exp\left(-\frac{|h|}{a}\right), |h| \neq 0 \end{cases} \quad (13)$$

4

$$Gau(|h|) = \begin{cases} 0, |h| = 0 \\ 1 - \exp\left(-\frac{|h|}{a}\right)^2, |h| \neq 0 \end{cases} \quad (14)$$

5

6 Por último, e apenas para os dados que atenderam as premissas pré-  
 7 estabelecidas, gerou-se os mapas de isolinhas, os quais permitem visualizar a  
 8 variabilidade espacial de um determinado parâmetro. Para serem  
 9 confeccionados, faz-se necessário um interpolador de dados para estimar os  
 10 valores de locais não amostrados. Segundo (VIEIRA, 2000), entre os métodos  
 11 por eles analisados, a Krigeagem foi o melhor interpolador para parâmetros da  
 12 paisagem. A Krigeagem, consiste em um método de interpolação para estimar  
 13 valores em locais não amostrados, a partir de pontos vizinhos provenientes da  
 14 área amostrada, levando-se em conta a estimativa da dependência espacial da  
 15 variável, estimada pelo semivariograma experimental e os locais dos valores  
 16 conhecidos.

17

#### 18 **Referências bibliográficas:**

19

20 ANSELIN, L. Local Indicators of Spatial Association – LISA. **Geographical**  
 21 **Analysis**, v.27, n2, p.39-115, 1995.

22

- 1 CAMBARDELLA, C. A. et al. Field scale variability of soil properties in Central  
2 Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58,  
3 n. 5, p. 1501-1511, May 1994.  
4
- 5 DRUK, S.; CARVALHO, M.S.; CAMARA, G.; MONTEIRO, A.V.M. **Análise**  
6 **especial de dados geográficos**. Brasília, EMBRAPA, 2004.  
7
- 8 ESRI – Environmental Systems Research Institute. **Help manual** (ArcGIS  
9 version). [Software]. ESRI 2010.  
10
- 11 ISAACS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied**  
12 **geostatistics**. New York: Oxford University, 1989. 561 p.  
13
- 14 McBRATNEY, A. B.; WEBSTER, R. Choosing functions for semi-variograms of  
15 soil properties and fitting them to sampling estimates. **Journal of Soil Science**,  
16 Oxford, v. 37, n. 3, p. 617-639, May 1986.  
17
- 18 SCOTT, L. M. e JANIKAS, M. V. **Spatial Statistics in ArcGIS**. In: FISCHER,  
19 M. M. e GETIS, A. (Eds.). Handbook of Applied Spatial Analysis: Software  
20 Tools, Methods and Applications. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010. 27-  
21 41.  
22
- 23 TRANGMAR, B. B. Applications of geostatistics to spatial studies of soil  
24 properties. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 38, n. 1, p. 45-94, Feb.  
25 1985.  
26
- 27 VIEIRA, S. R. et al. Geostatistical theory and application to variability of some  
28 agronomical properties. **Hilgardia**, Berkeley, v. 51, n. 3, p. 1-7, 1983.  
29
- 30 VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In:  
31 NOVAIS, R. F. de; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.). Tópicos em  
32 ciência do solo. Viçosa, MG: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2000.  
33 v. 1, p. 1-54.  
34



- 1 WANG, S.; LUO, K.; LIU, Y. Spatio-temporal distribution of human lifespan in
- 2 China. **Scientific Reports**, 5:13844, 2015. DOI: 10.1038/srep13844.

3

- 1 ZIMBACK, C.R.L. Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de
- 2 mapeamento da fertilidade do solo. 2001. **Tese** (Livre-Docência)-Faculdade de
- 3 Ciências Agronômicas.
- 4

1 **CAPÍTULO 3 - Validação técnica da amostragem visual da produtividade**  
2 **do cafeeiro**

3  
4 **CHAPTER 3 - Technical validation of the visual sampling of coffee yield**

5  
6 **RESUMO:** A amostragem da produtividade do café é feita de forma visual, por  
7 meio de caminhamento em zigue-zague, representando áreas de até 20 ha.  
8 Como a variabilidade espacial da produtividade é elevada, muitas vezes este  
9 tipo de amostragem não representa a realidade, devendo haver maior número  
10 de pontos amostrados. Para uma análise com base nos preceitos da  
11 Agricultura de Precisão faz-se necessário maior número de amostragens,  
12 sempre nos mesmos pontos, em grades definidos. No entanto, para a validação  
13 desta técnica devem-se confrontar os dados obtidos da avaliação visual com a  
14 produtividade real, em cada ponto avaliado. O presente trabalho foi realizado  
15 no município de Presidente Olegário, utilizando lavoura de 49 ha, da cultivar  
16 Catuaí Vermelho IAC 144, espaçada em 4,0 x 0,5, com 18 anos de idade,  
17 irrigada por pivô central. Utilizou-se o gride de 0,25 ha, totalizando 178 pontos  
18 amostrais. Em cada ponto procedeu-se a avaliação da produtividade de forma  
19 visual e real, por meio das derraça dos cafeeiros. De posse dos dados fez-se a  
20 análise da correlação dos valores pelo método de Pearson, análise descritiva e  
21 produziram-se cartas de controle e análises de distribuição de dados. Obteve-  
22 se elevada correlação entre as amostragens, validando a técnica da  
23 amostragem visual da produtividade utilizando-se a metodologia de Agricultura  
24 de Precisão.

25  
26 **Palavras-chave:** Agricultura de Precisão, correlação, colheita do café

27  
28 **ABSTRACT:** Sampling of coffee productivity is done visually through zigzag  
29 walking, representing areas of up to 20 ha. As the spatial variability of  
30 productivity is high, this type of sampling often does not represent reality, and  
31 there must be a greater number of sampling points. For an analysis based on  
32 the precepts of Precision Agriculture it is necessary to have a greater number of  
33 samplings, always in the same points, in defined grids. However, for the  
34 validation of this technique it is necessary to compare the data obtained from

1 the visual evaluation with the real productivity in each evaluated point. The  
2 present work was carried out in the municipality of Presidente Olegário, using  
3 49 ha of Catuaí Vermelho cultivar IAC 144, spaced in 4,0 x 0,5, with 18 years of  
4 age, irrigated by central pivot. The grids of 0.25 ha were used, totaling 178  
5 sampling points. At each point, the productivity was evaluated in a visual and  
6 real way, through the coffee trees. Data were analyzed by Pearson's method,  
7 descriptive analysis and control charts and data distribution analyzes were  
8 performed. A high correlation between the samplings was obtained, validating  
9 the technique of visual sampling of the productivity using the methodology of  
10 Precision Agriculture.

11

12 **Key words:** precision agriculture, correlation, coffee harvesting

13

#### 14 **Introdução:**

15 A avaliação da produtividade do cafeeiro tem diversas funções no  
16 manejo da cultura. A primeira avaliação, geralmente ocorre no mês de  
17 outubro/novembro, antes do início das adubações, justamente para auxiliar na  
18 determinação da dose de insumos, notadamente dos fertilizantes nitrogenados  
19 (SANTINATO e FERNANDES, 2012). As posteriores têm a finalidade de  
20 permitir previsões de safra para nortear o início, o sistema e o procedimento da  
21 colheita. Geralmente a última se faz pouco tempo antes do início da colheita.

22 Os erros na avaliação podem ocasionar sub ou superestimativa das  
23 doses de insumos, erros na adoção do sistema de colheita, podendo refletir em  
24 eficiências de colheita baixas aumentando a necessidade de repasse manual  
25 (SANTINATO et al., 2015a), afetando diretamente o custo da colheita  
26 (SANTINATO et al., 2015b) e da cultura como um todo (LANNA e REIS et al.,  
27 2012).

28 Alguns métodos de avaliação foram propostos para estimar a  
29 produtividade, como o de Fahl et al. (2005), Favarin, et al. (2009) e de Miranda  
30 et al. (2014) que propuseram modelos matemáticos correlacionando  
31 características biométricas com a produtividade e obtiveram correlações  
32 altamente significativas comprovando a viabilidade das avaliações de  
33 estimativa de produtividade.

1 No entanto, a obtenção dos parâmetros biométricos propostos pelos  
2 autores requerem grande quantidade de mão-de-obra especializada, e de  
3 tempo, o que tornaria este procedimento difícil e oneroso, notadamente em  
4 grandes propriedades cafeeiras.

5 A avaliação visual da produtividade, pelo método de amostragem de  
6 caminhamento por zigue-zague, tem sido utilizada, empiricamente, em larga  
7 escala nas lavouras, apresentando rápido tempo de execução. Porém, não  
8 existem trabalhos que comprovam que esta prática represente com alta  
9 confiabilidade a produtividade real da lavoura. Na cafeicultura moderna têm-se  
10 adotado o sistema de Agricultura de Precisão que eleva o número de amostras  
11 por talhão, aumentando a confiabilidade de análises de solo, pragas, doenças e  
12 também de produtividade (FERRAZ et al., 2012).

13 O uso do Controle Estatístico de Processo tem sido utilizado por alguns  
14 autores (VOLTARELLI, 2013; SILVA, 2014) para avaliar a variabilidade de  
15 dados obtidos na Agricultura, ajudando a compreender as causas de variações  
16 dos processos agrícolas.

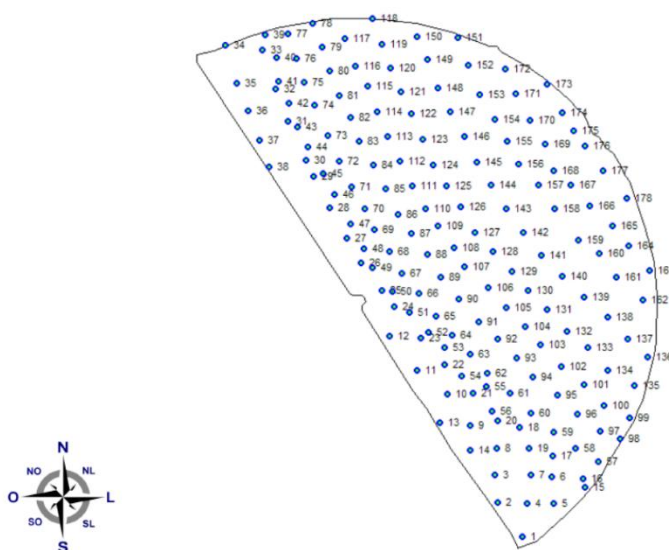
17 Diante disto, pressupondo-se que a avaliação visual da produtividade de  
18 lavouras cafeeiras possa apresentar boa confiabilidade e, desta forma, ser  
19 utilizada com o intuito de proporcionar maior eficiência da colheita, objetivou-se  
20 neste trabalho avaliar, por meio do Controle Estatístico de Processo e  
21 utilizando-se técnicas de amostragens da Agricultura de Precisão, verificar a  
22 confiabilidade e a viabilidade técnica da amostragem visual da produtividade do  
23 cafeeiro.

## 24 **Material e métodos:**

26 O estudo foi realizado na Fazenda Catuaí, situada no município de  
27 Presidente Olegário, MG, nas coordenadas geográficas 18°17'49'' S e  
28 46°32'52'' W. O clima da região, é do tipo mesotérmico com inverno seco  
29 (Cwa) (KOOPEN, 1948). A precipitação pluviométrica anual média é de  
30 1.100mm com chuvas concentradas no período de novembro a fevereiro  
31 Utilizou-se uma lavoura de café da cultivar Catuaí Vermelho IAC 144, plantada  
32 em 1998, em um Latossolo Vermelho distrófico (EMBRAPA, 2006), textura  
33 argilo-arenosa, a 1013 m de altitude, no espaçamento de 4,0 m entre linhas e  
34 0,5 m entre plantas, com 49 ha, plantada em círculo, irrigada sob Pivô Central,

1 com emissores do tipo LEPA (*Low Energy Pressurized Application*). A lavoura  
 2 apresentava 2,8 m de altura e produtividade média, encontrando-se em ano de  
 3 bienalidade positiva, em torno de 60 sacas de café ben. ha<sup>-1</sup>.

4 Foram demarcados 178 pontos, a uma distância mínima de 25 x 100 m,  
 5 resultando em um gride amostral de 0,25 ha (Figura 1). Para o  
 6 georreferenciamento do experimento utilizou-se um par de receptores Trimble  
 7 R8 dotado de posicionamento relativo cinético em tempo real, RTK (Real Time  
 8 Kinematic) (Figura 1).



9 **Figura 1.** Detalhamento dos pontos utilizados na realização do trabalho.

10

11 Cada ponto amostral foi constituído por dez plantas de café em duas  
 12 linhas, sendo cinco plantas contínuas em cada lado da linha de plantio. Em  
 13 cada ponto amostral avaliou-se visualmente a produtividade e, posteriormente,  
 14 se obteve a produtividade real, por meio da derrça de dez plantas. A  
 15 produtividade real foi obtida coletando-se e mensurando-se o volume de café  
 16 derrçado, em recipiente graduado, das dez plantas. De posse dos dados  
 17 volumétricos converteu-se o valor em sacas de café ben. ha<sup>-1</sup> segundo  
 18 metodologia proposta por Reis et al. (2008).

19 De posse dos dados obtidos em campo determinou-se o erro relativo  
 20 (ER) em cada ponto amostral, pela diferença entre os valores de produtividade  
 21 real e avaliada visualmente.

22 A análise estatística dos dados foi realizada utilizando-se ferramentas de  
 23 Controle Estatístico de Qualidade (CEQ). Inicialmente foram submetidos à

1 análise descritiva e à análise de correlação de Pearson e, posteriormente,  
2 foram utilizados os gráficos sequenciais e cartas de controle de valores  
3 individuais (*I-chart*), utilizando-se o software Minitab16<sup>®</sup>.

4 A análise pela estatística descritiva possibilita uma observação geral do  
5 comportamento dos dados, visando sua aptidão ou não para análises mais  
6 criteriosas pelas demais ferramentas estatísticas. Nesta análise, foram  
7 calculadas as medidas de tendência central (média, mediana e moda) e  
8 medidas de dispersão (amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação).  
9 Também foi realizada a verificação da normalidade dos dados, pelo teste de  
10 Ryan-Joiner. A análise de correlação de Pearson foi utilizada para verificar a  
11 interação dos valores de produtividade real com a produtividade avaliada  
12 visualmente, com significância de 5%.

13 Os gráficos sequenciais (*Run charts*) verificam a existência de  
14 comportamento não aleatório nos conjuntos dados. Esta ferramenta pode ser  
15 entendida como um “gráfico de sequências”, em que são realizados dois testes  
16 em função da “posição” dos dados em torno da média, para a detecção de  
17 padrões de agrupamento, misturas, tendências e oscilação, no conjunto de  
18 dados. Tais padrões de comportamento sugerem que a variação do processo é  
19 devida a causas especiais de variação (externas ao processo), que podem ser  
20 identificadas, com a aplicação de outras ferramentas, e corrigidas com  
21 intervenções no processo.

22 As cartas de controle (*Control charts*) são implementadas para o  
23 monitoramento das variáveis que influenciam a qualidade dos processos ao  
24 longo do tempo, para verificar a estabilidade deste processo (MONTGOMERY,  
25 2009). O modelo de carta de controle escolhido (valores individuais) contém um  
26 gráfico com os valores individuais amostrados em cada ponto e os limites de  
27 controle, que são estabelecidos considerando-se a variação dos dados,  
28 utilizando-se a média, mais ou menos três vezes o desvio padrão.

29 Em todos os gráficos, quando alguma observação ultrapassa os limites  
30 de controle, esta é destacada na carta e o processo é considerado instável ou  
31 fora de controle, pois está sob ação de causas especiais de variação  
32 (MONTGOMERY, 2009).

33 De acordo com Barros et al. (2009), não é adequada a adoção do  
34 coeficiente de determinação ( $R^2$ ) como o único critério de definição da

1 qualidade de métodos estimativos, uma vez que a correlação não estabelece o  
 2 tipo e a magnitude das diferenças entre um valor padrão e um valor previsto  
 3 por modelos de estimativa. Assim, a análise dos índices de concordância de  
 4 Wilmott (d), erro relativo médio, viés médio e raiz do erro quadrático médio  
 5 auxiliam a interpretação dos resultados.

6 Desta forma, a qualidade da estimativa de produtividade foi avaliada  
 7 pela análise de parâmetros estatísticos como viés médio (VIES), raiz quadrada  
 8 do erro quadrático médio (REQM), erro médio absoluto (EMA) e erro percentual  
 9 relativo médio (EPMA) (DUARTE et al., 2006). Os cálculos foram feitos aos  
 10 pares, confrontando as medidas de produtividade real com as de produtividade  
 11 avaliada visualmente, de acordo com as equações (1) a (3).

$$VIES = \frac{\sum_{t=1}^n (y_t - Y_t)}{n} \quad (1)$$

$$REQM = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (y_t - Y_t)^2}{n}} \quad (2)$$

$$EMA = \frac{\sum_{t=1}^n |y_t - Y_t|}{n} \quad (3)$$

12

13 Em que,

14  $P_r$ : Produtividade real (sacas café de ben. ha<sup>-1</sup>);15  $P_v$ : Produtividade avaliada visualmente (sacas de café ben. ha<sup>-1</sup>);16  $n$ : número de amostras.

17

18 O Erro Percentual Absoluto Médio (EPMA) (eq. 4) é uma medida relativa  
 19 de erro que informa a porcentagem média absoluta de erro, em relação aos  
 20 valores observados, ou seja, quanto menor o valor de EPMA, melhor será o  
 21 ajuste do modelo preditivo (OLIVEIRA et al., 2013).

22

$$EPMA = \frac{100}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{y_t - Y_t}{Y_t} \right| \quad (4)$$

23

24 A aproximação dos valores de produtividade estimados por avaliação  
 25 visual em comparação aos valores obtidos pelo método padrão, foi obtida pelo



1 índice de concordância (d) (WILLMOTT et al., 1985). Esta medida condensa  
 2 todas as diferenças entre as estimativas do modelo e as observações em uma  
 3 estatística quantitativa, sendo que, visto de outra perspectiva, o índice de  
 4 concordância é uma medida de quão bem o modelo estima o afastamento dos  
 5 dados da média observada. O índice de concordância tem um intervalo  
 6 variando entre 0 e 1, sendo que valores próximos a 1 mostram uma  
 7 concordância perfeita.

$$d = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (y_t - Y_t)}{\sum_{i=1}^n |y_t - \bar{Y}_t| - |Y_t - \bar{Y}_t|} \right] \quad (5)$$

8

9 Em que,

10  $\bar{Y}_t$ : Índice de concordância ( $0 \leq d \leq 1$ );

11  $\bar{Y}_t$ : Produtividade média real (sacas de café ben. ha<sup>-1</sup>);

12  $\bar{y}_t$ : Produtividade média avaliada visualmente (sacas de café ben. ha<sup>-1</sup>).

13

14 Para a análise da confiabilidade da equação de correlação considerou-  
 15 se o índice de confiança (c), dado pelo produto entre a correlação (R) e a  
 16 concordância (d) (CAMARGO e SENTELHAS, 1997). Valores do índice  $c = 0$   
 17 representam confiança nula, enquanto que índice  $c = 1$  significa confiança  
 18 perfeita.

19 O índice “c” é descrito pela equação 6:

$$c = R \cdot d \quad (6)$$

20

21 Em que,

22  $c$ : índice confiança;

23  $R$ : coeficiente de correlação de Pearson;

24  $d$ : índice de concordância de Willmott.

25

26 A partir do critério proposto por Camargo e Sentelhas (1997) para  
 27 interpretar o desempenho de métodos de estimativa, usando o índice “c”,  
 28 adotou-se neste trabalho o critério de interpretação pelo índice “c” apresentado  
 29 na Tabela 1.

30

1 **Tabela 1.** Critério de interpretação do desempenho do método de estimativa da  
 2 produtividade de café, pelo índice “c”.

| Valor de “c”         | Desempenho |
|----------------------|------------|
| $c \geq 0,85$        | Ótimo      |
| $0,70 \leq c < 0,85$ | Muito bom  |
| $0,55 \leq c < 0,70$ | Regular    |
| $0,40 \leq c < 0,55$ | Ruim       |
| $c < 0,40$           | Péssimo    |

3 \*Adaptado de Camargo e Sentelhas (1997).  
 4

5 De acordo com a AIAG (Automotive Industry Action Group) a variação de  
 6 um sistema de medida pode ser avaliada por meio do percentual de variação  
 7 do processo, sendo classificada em aceitável (variação menor que 10%);  
 8 aceitável, dependendo da aplicação, do custo do dispositivo de medição, do  
 9 custo de reparação ou de outros fatores (entre 10% e 30%) e inaceitável,  
 10 devendo ser melhorado, quando apresentar variações superiores a 30%  
 11 (CHESHIRE, 2011).

12 A análise estatística dos dados foi realizada utilizando-se ferramentas de  
 13 Controle Estatístico de Qualidade (CEQ). Inicialmente foram submetidos à  
 14 análise descritiva e à análise de correlação de Pearson e, posteriormente,  
 15 foram utilizados os gráficos sequenciais e cartas de controle de valores  
 16 individuais (*I-chart*), utilizando-se o software Minitab16<sup>®</sup>.

17 A análise pela estatística descritiva possibilita uma observação geral do  
 18 comportamento dos dados, visando sua aptidão ou não para análises mais  
 19 criteriosas pelas demais ferramentas estatísticas. Nesta análise, foram  
 20 calculadas as medidas de tendência central (média, mediana e moda) e  
 21 medidas de dispersão (amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação).  
 22 Também foi realizada a verificação da normalidade dos dados, pelo teste de  
 23 Ryan-Joiner. A análise de correlação de Pearson foi utilizada para verificar a  
 24 interação dos valores de produtividade real com a produtividade avaliada  
 25 visualmente, com significância de 5%.

26 Os gráficos sequenciais (*Run charts*) verificam a existência de  
 27 comportamento não aleatório nos conjuntos dados. Esta ferramenta pode ser

1 entendida como um “gráfico de sequências”, em que são realizados dois testes  
2 em função da “posição” dos dados em torno da média, para a detecção de  
3 padrões de agrupamento, misturas, tendências e oscilação, no conjunto de  
4 dados. Tais padrões de comportamento sugerem que a variação do processo é  
5 devida a causas especiais de variação (externas ao processo), que podem ser  
6 identificadas, com a aplicação de outras ferramentas, e corrigidas com  
7 intervenções no processo.

8       As cartas de controle (*Control charts*) são implementadas para o  
9 monitoramento das variáveis que influenciam a qualidade dos processos ao  
10 longo do tempo, para verificar a estabilidade deste processo (MONTGOMERY,  
11 2009). O modelo de carta de controle escolhido (valores individuais) contém um  
12 gráfico com os valores individuais amostrados em cada ponto e os limites de  
13 controle, que são estabelecidos considerando-se a variação dos dados,  
14 utilizando-se a média, mais ou menos duas vezes o desvio padrão.

15       Em todos os gráficos, quando alguma observação ultrapassa os limites  
16 de controle, esta é destacada na carta e o processo é considerado instável ou  
17 fora de controle, pois está sob ação de causas especiais de variação  
18 (MONTGOMERY, 2009).

19

## 1 **Resultados e discussão**

2

3 A análise dos parâmetros da estatística descritiva (Tabela 2) permite  
4 observar a existência de grande variabilidade para as avaliações realizadas,  
5 uma vez que os valores dos coeficientes de variação foram muito altos  
6 (PIMENTEL-GOMES e GARCIA, 2002). O desvio padrão, assim como a  
7 amplitude dos dados, podem ajudar no entendimento desse comportamento,  
8 uma vez que o desvio padrão e a amplitude para esses tratamentos foram  
9 elevados. No entanto, os valores dos coeficientes de assimetria e de curtose  
10 próximos de zero, bem como a proximidade entre os valores de média e  
11 mediana remetem à possível normalidade dos dados, constatada pelo teste de  
12 Ryan-Joiner.

13 É interessante observar que o valor mais frequente (moda) para o Erro  
14 Relativo foi de 0,0%, tendo sido encontrado em 8% dos resultados. Constata-  
15 se ainda que a diferença entre os valores médios absolutos de produtividade  
16 real e avaliada visualmente foi de 9,9 sacas de café ben. ha<sup>-1</sup>, o que pode não  
17 influenciar significativamente nas tomadas de decisão do manejo da cultura do  
18 café, sendo considerado aceitável (SANTINATO e FERNANDES, 2012).

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

33

1 **Tabela 2.** Análise descritiva para os valores de Produtividade Real,  
 2 Produtividade Avaliada visualmente e Erro Relativo.

| Variável  | Produtividade |                         | Erro Relativo <sup>(1)</sup><br>(%) |
|-----------|---------------|-------------------------|-------------------------------------|
|           | Real          | Avaliada<br>visualmente |                                     |
| Média     | 66,57         | 56,69                   | 21,89                               |
| Mediana   | 63,31         | 53,31                   | 18,90                               |
| Moda      | 69,97         | 48,31                   | 0,00                                |
| Amplitude | 101,63        | 109,96                  | 112,50                              |
| $\sigma$  | 20,20         | 23,36                   | 17,34                               |
| CV        | 30,34         | 41,21                   | 79,23                               |
| Cs        | 0,68          | 0,56                    | 1,10                                |
| Ck        | 0,25          | -0,08                   | 2,87                                |
| RJ        | 0,983*        | 0,987*                  | 0,965*                              |

3 <sup>(1)</sup> Valores absolutos.  $\sigma$ : desvio-padrão; CV: Coeficiente de variação; Cs:  
 4 coeficiente de assimetria; coeficiente de curtose; RJ: teste de normalidade de  
 5 Ryan-Joiner; \*: significativo a 5% de probabilidade; <sup>ns</sup>: não significativo a 5% de  
 6 probabilidade.

7

8 Pelos resultados do viés, erro quadrático médio e erro relativo médio  
 9 (Tabela 3) constata-se que estes erros apresentaram valores que podem ser  
 10 considerados satisfatórios. A avaliação visual da produtividade apresentou bom  
 11 desempenho, superestimando os valores observados na média global (VIÉS)  
 12 em 15,70 sacas de café ben. ha<sup>-1</sup>, sendo a REQM de 16,44 sacas de  
 13 café ben. ha<sup>-1</sup>. O erro relativo médio (EMA), que fornece a magnitude média  
 14 dos erros foi de 13,19 sacas de café ben. ha<sup>-1</sup>. O erro percentual relativo médio  
 15 foi de apenas 0,12%, o que indica o excelente ajuste da estimativa de  
 16 produtividade de café pelo método visual.

17

18

19

20

21

1 **Tabela 3.** Viés, raiz quadrada do erro quadrático médio (REQM), erro médio  
 2 absoluto (EMA) e erro percentual relativo médio (EPMA) calculados para a  
 3 avaliação de produtividade do café.

| Erro                                     | Valor |
|------------------------------------------|-------|
| VIÉS (sacas café ben. ha <sup>-1</sup> ) | 15,70 |
| REQM (sacas café ben. ha <sup>-1</sup> ) | 16,44 |
| EMA (sacas café ben. ha <sup>-1</sup> )  | 13,19 |
| EPAM (%)                                 | 0,12  |

4

5 A correlação de Pearson entre a produtividade real e a avaliada  
 6 visualmente (Figura 2) obteve  $R^2 = 0,6814$ , valor que expõe a interatividade  
 7 entre as variáveis, com grau de dependência de estatística linear classificado  
 8 como forte (PIMENTEL-GOMES e GARCIA, 2002). O coeficiente de correlação  
 9 obtido foi de 0,827, com coeficiente de determinação de 0,6814, o que indica  
 10 que a equação encontrada (Figura 2) é capaz de descrever a relação entre as  
 11 produtividades avaliada visualmente e real para 68,1% dos dados obtidos.  
 12 Considerando-se a variabilidade existente na produtividade do café, pode-se  
 13 considerar como bom este valor do coeficiente de correlação, reforçando a  
 14 análise realizada por meio dos erros relativos, que também fica evidenciada na  
 15 Figura 3.

16

17

18

19

20

21

22

23

24

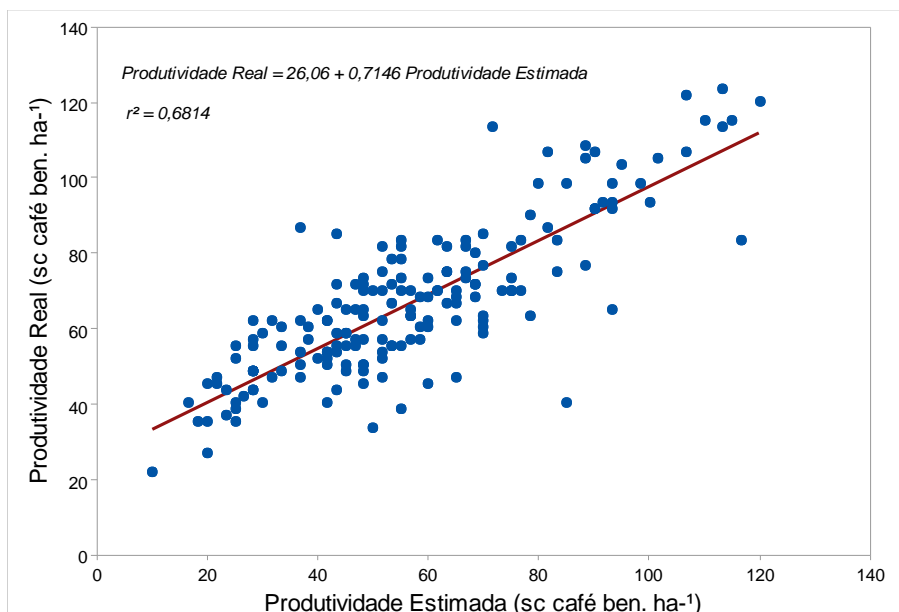
25

26

27

28

29



**Figura 2.** Estudo de regressão entre produtividade real e avaliada visualmente.

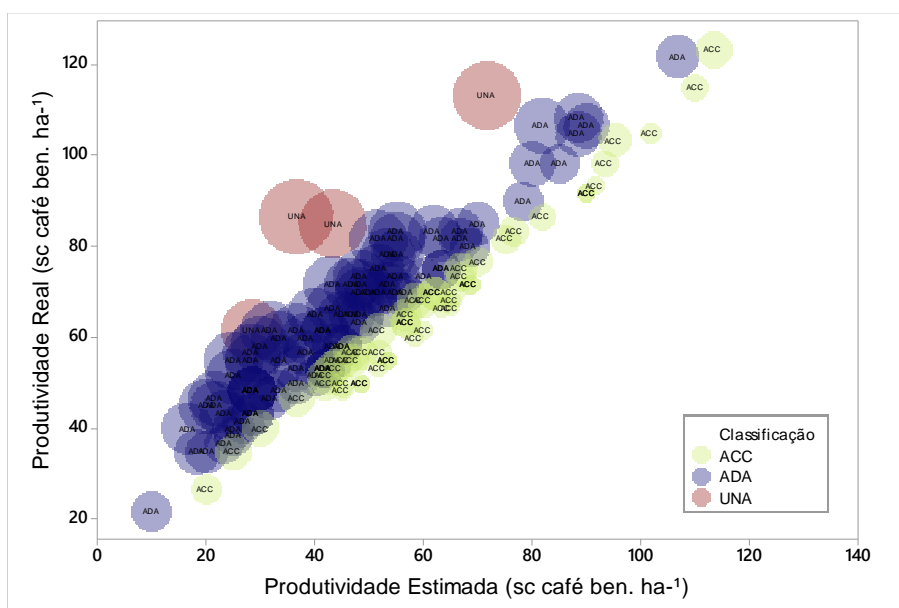
1

2 No gráfico de bolhas (Figura 3) observa-se alta correlação entre a  
 3 produtividade real e a avaliada visualmente, pois, os pontos nos quais se  
 4 obteve maiores valores de produtividade real também apresentaram, de modo  
 5 geral, maiores valores estimados. As bolhas vermelhas representam os pontos  
 6 nos quais foram obtidas as maiores diferenças entre os valores amostrados,  
 7 sendo consideradas inaceitáveis pela classificação de Cheshire (2011). As  
 8 bolhas azuis representam pontos com variação do processo de avaliação  
 9 aceitável, dependendo da aplicação. Como se trata da avaliação da  
 10 produtividade, infere-se que valores de erros entre 10% e 30% são aceitáveis  
 11 para esta aplicação. Já as bolhas verdes retratam as diferenças menores que  
 12 ou iguais a 10%, sendo portanto, aceitáveis.

13

14 A maioria das bolhas pertencem à categoria dos erros aceitáveis (bolhas  
 15 verdes, 45%) e aceitáveis dependendo da aplicação (azuis, 52%). Apenas 3%  
 16 dos erros foram realmente inaceitáveis (vermelhos), mostrando uma vez mais  
 17 que a estimativa visual da produtividade de café é uma boa alternativa para  
 18 auxiliar o cafeicultor a definir regulagens mais adequadas para a colheita  
 19 mecanizada.

19



ACC: aceitável; ADA: aceitável, dependendo da aplicação; UNA: inaceitável.

**Figura 3.** Gráfico de bolhas de produtividade real e avaliada visualmente.

Tamanho da bolha: diferença entre os métodos de avaliação.

1

2 Na Tabela 4 observa-se que a avaliação visual da produtividade  
 3 apresenta coeficiente de correlação de Pearson (R) de 0,827 e índice de  
 4 concordância (d) de 0,990, comprovando a excelente concordância da  
 5 avaliação visual com o método padrão (produtividade real). O índice de  
 6 confiança (c) obtido de 0,818 faz com que o método de avaliação visual possa  
 7 ser considerado como muito bom (Tabela 1).

8

9 **Tabela 4.** Coeficiente de correlação de Pearson (R), índice de concordância (d)  
 10 e índice de confiança (c) calculados para a avaliação de produtividade do café.

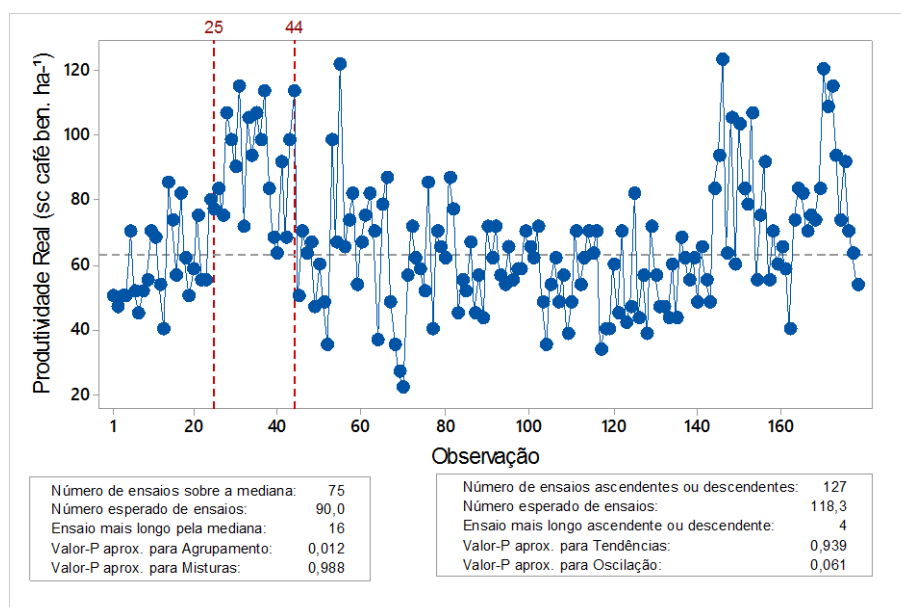
| Parâmetro | Valor |
|-----------|-------|
| R         | 0,827 |
| D         | 0,990 |
| C         | 0,818 |

11

12 A análise dos gráficos sequenciais (Figuras 4 a 6) demonstrou a  
 13 ocorrência de padrões de agrupamento para os dois métodos de avaliação  
 14 utilizados, bem como para o erro relativo entre as amostragens de  
 15 produtividade. Estes resultados indicam a grande variabilidade dos dados em



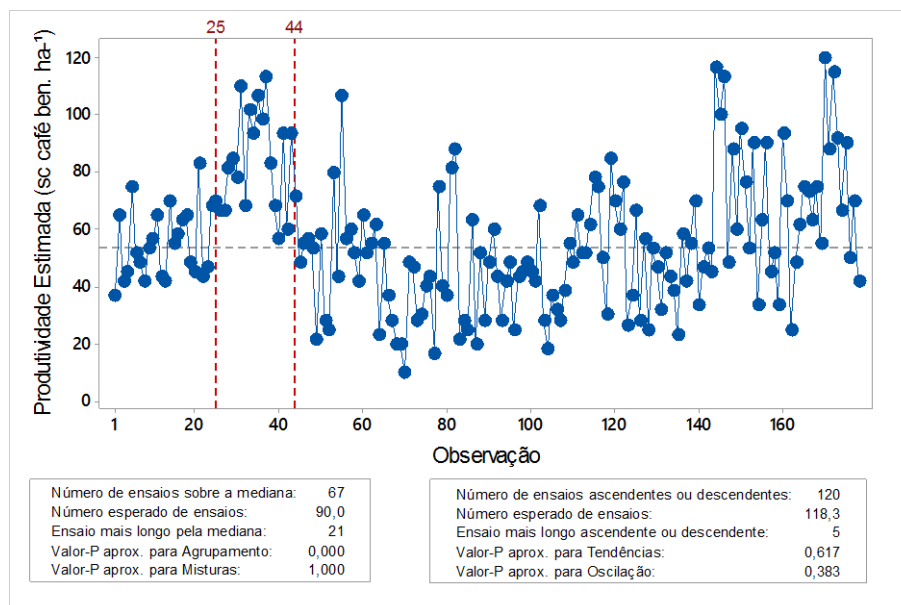
1 ambas as avaliações e, conseqüentemente, na determinação do erro relativo.  
 2 Observando-se as Figuras 4 a 6 pode-se constatar que os dados apresentaram  
 3 indícios de ocorrência de agrupamento entre as observações 25 a 44 (para as  
 4 avaliações de produtividade), com um grupo de pontos localizados na área  
 5 superior do gráfico, acima da mediana. Para o erro relativo encontrou-se um  
 6 grupo de pontos localizados na área inferior do gráfico, abaixo da mediana,  
 7 entre as observações 30 a 43. Este comportamento com a ocorrência de  
 8 padrões de agrupamento indica a possibilidade de ocorrência de causas  
 9 especiais de variação, o que foi detectado pelas cartas de controle (Figuras 7 a  
 10 9).  
 11



**Figura 4.** Gráfico sequencial para produtividade real.

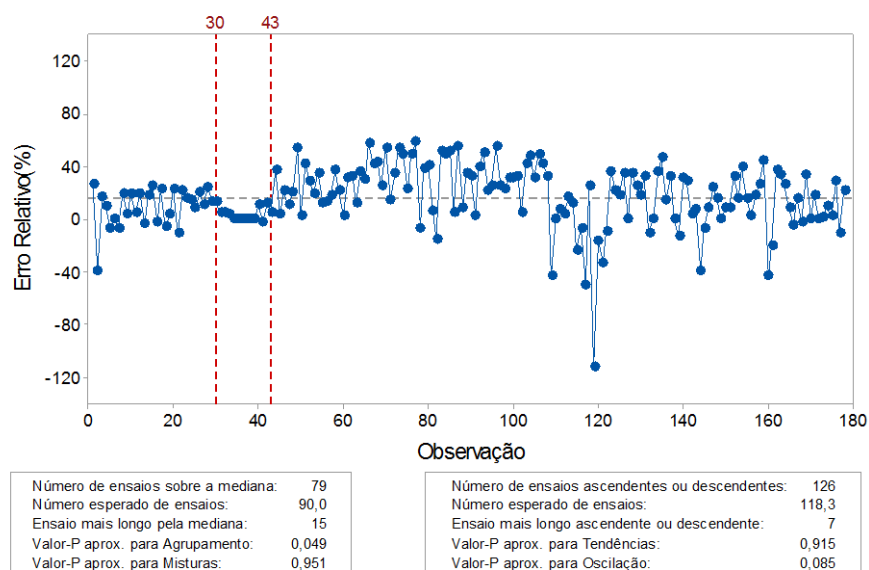
12

13



**Figura 5.** Gráfico sequencial para produtividade avaliada visualmente.

1



**Figura 6.** Gráfico sequencial para o erro relativo entre as amostragens de produtividade real e avaliada visualmente.

2

3

4 As cartas de controle, tanto para a produtividade real do cafeeiro  
 5 (Figura 7), quanto para a avaliada visualmente (Figura 8), permitem verificar a  
 6 alta variabilidade do processo de amostragem, pois as distâncias entre os  
 7 limites superior e inferior de controle foram elevadas, situando-se,  
 8 respectivamente, acima de 90 e 110 sacas de café ben. ha<sup>-1</sup>. Ambos os

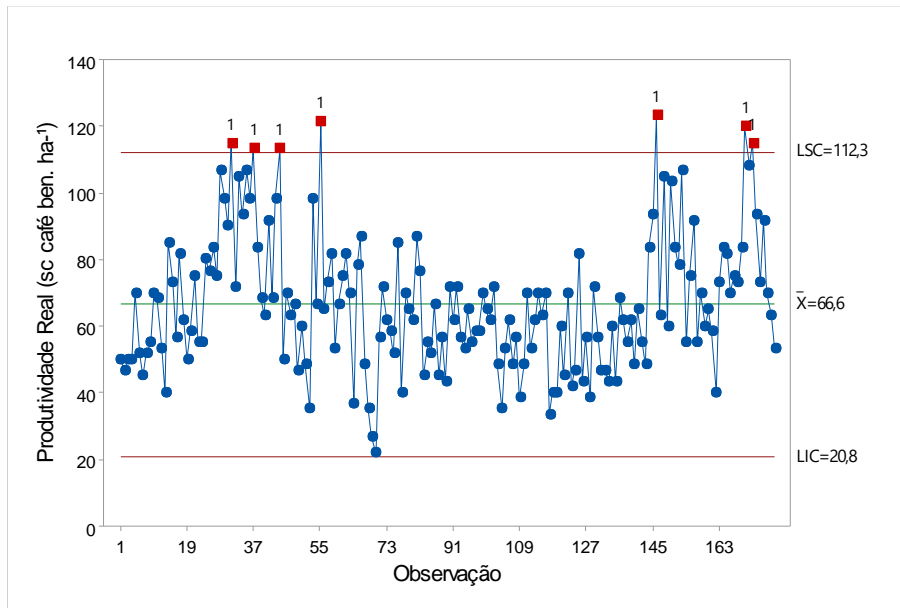
1 processos de avaliação apresentaram pontos fora de controle, que embora  
2 representem um pequeno percentual do total de pontos avaliados (3,9% e  
3 2,8%, para produtividade real e avaliada visualmente, respectivamente),  
4 indicam a ocorrência de causas especiais que ocorrem devido aos chamados  
5 fatores 6 M's (Material, Máquinas, Mão de obra, Método, Medição e Meio  
6 ambiente). Neste caso, a ocorrência de causas especiais pode ser atribuída  
7 aos fatores Material (variabilidade intrínseca da cultura devido a fatores  
8 fisiológicos, para ambas as avaliações) e Metodologia, para a avaliação visual,  
9 que é dificultada pelo enfolhamento da cultura.

10 Na carta de controle para valores individuais do erro relativo (Figura 9),  
11 por ser diretamente ligada às cartas anteriores, também apresentou a  
12 ocorrência de causas especiais, sendo então estas causas justificadas da  
13 mesma maneira anteriormente explicada.

14 A ocorrência de pontos fora de controle nas três cartas reafirma a  
15 existência de causas especiais de variação, primeiramente detectadas nos  
16 gráficos sequenciais por meio da ocorrência de padrões de não aleatoriedade  
17 (Figuras 4 a 6). Causas especiais afetam o comportamento de um processo de  
18 maneira não previsível, impossibilitando a obtenção de determinado valor-  
19 padrão. Desta forma, as causas especiais produzem resultados totalmente  
20 discrepantes em relação aos demais valores, enquanto que as causas comuns  
21 de variação podem ser definidas como fontes de variação que afetam todos os  
22 valores individuais do processo e são resultantes de diversas fontes, sem que  
23 nenhuma tenha predominância sobre a outra (RAMOS, 1997).

24

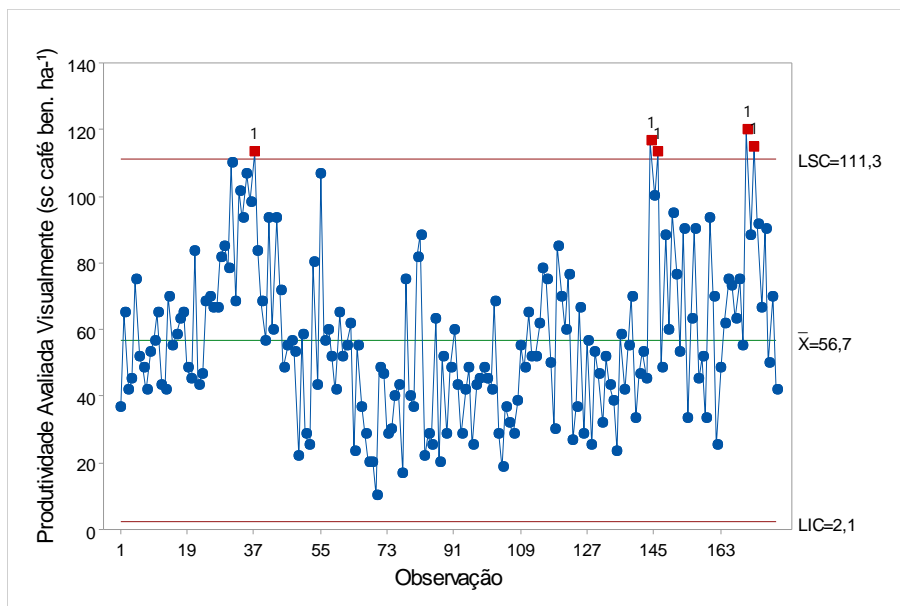
25



**Figura 7.** Carta de controle para valores individuais da produtividade real.

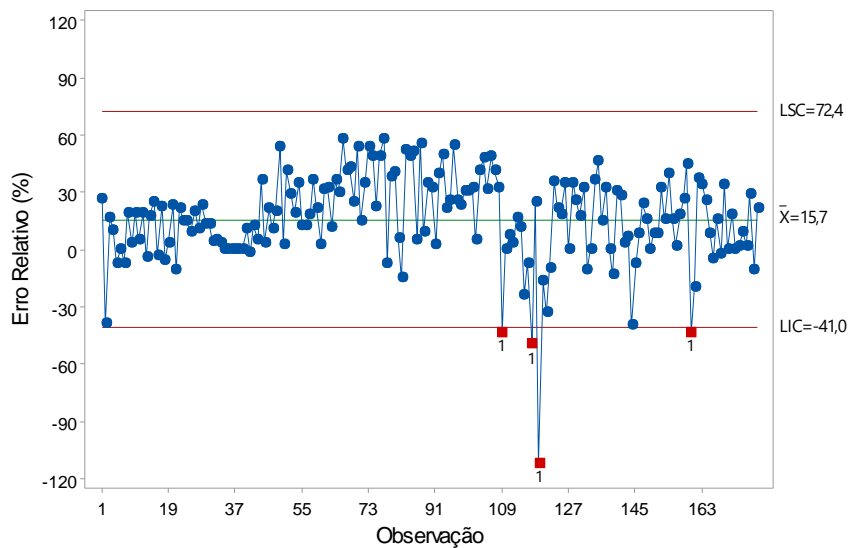
1

2



**Figura 8.** Carta de controle para valores individuais da produtividade avaliada visualmente.

3



**Figura 9.** Carta de controle para valores individuais do erro relativo entre as amostragens de produtividade real e avaliada visualmente.

1

## 2 **Conclusões**

3           1 – A avaliação visual da produtividade representa com confiabilidade a  
4 produtividade real do cafeeiro quando procedida com amostras em gride de 0,5  
5 ha.

6           2 - Os erros encontrados entre as avaliações visual e real são aceitáveis  
7 e podem ser atribuído à causas especiais de variação, como fatores fisiológicos  
8 e pelo enfolhamento da cultura.

9           3 – A avaliação visual da produtividade otimiza o tempo de obtenção de  
10 dados e diagnósticos da lavoura

11

## 1 Referências

2

3 CHESHIRE, A. **More no How to Interpret Gage ReR Output**. Disponível em:  
4 [http://blog.minitab.com/blog/quality-data-analysis-and-statistics/how-to-interpret-](http://blog.minitab.com/blog/quality-data-analysis-and-statistics/how-to-interpret-gage-output-part-2)  
5 [gage-output-part-2](http://blog.minitab.com/blog/quality-data-analysis-and-statistics/how-to-interpret-gage-output-part-2). 7 setembro, 2011.

6

7 DUARTE, H.F.; DIAS, N.L.; MAGGIOTTO, S.R. Assessing daytime downward  
8 longwave radiation estimates for clear and cloudy skies in southern Brazil.  
9 **Agricultural and forest meteorology**, 139, 171-181. 2006.

10

11 FAHL, J.I.; CARELLI, M.L.C; ALFONSI, E.L.; CAMARGO, M.B.P.  
12 Desenvolvimento e aplicação de metodologia para estimativa da produtividade  
13 do cafeeiro, utilizando as características fenológicas determinantes do  
14 crescimento e produção. In: Simpósio de pesquisas dos cafés do Brasil, 4.,  
15 2005, Londrina. **Anais...**Brasília, 2005.

16

17 FAVARIN, J.L.; PEZZOANE, C.G.; PEREZ, M.M.; PEZZOPANE, J.R.M.;  
18 GUEREIRO, O. **Ciência Rural**, v.39, p.711-717, 2009.Atributos fenológicos e  
19 agrônômicos em cultivares de cafeeiro arábica

20

21 FERRAZ, G.A.S.; SILVA, F.M.; COSTA, P.A.N.; SILVA, A.C.; CARVALHO, F.M.  
22 Agricultura de precisão no estudo de atributos químicos do solo e da  
23 produtividade de lavoura cafeeira. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n.1, p. 59-67,  
24 2012.

25

26 KÖEPPEN, W. **Climatologia: con um estúdio de los climas de la Tierra**.  
27 México: Fondo de Cultura Economica, 1948. 478p.

28

29 LANNA, G.B.M.; REIS, P.R. Influência da mecanização da colheita na  
30 viabilidade econonômico-financeira da cafeicultura no sul de Minas Gerais.  
31 **Coffee Science**, Lavras, v.7, n. 2, p. 110-121, 2012.

32

- 1 MIRANDA, J.M.; REINATO, R.A.O.; SILVA, A.B. Modelo matemático para  
2 previsão da produtividade do cafeeiro. **Revista Brasileira de Engenharia**  
3 **Agrícola e Ambiental**, v.18, n.4, p.353-361, 2014.
- 4
- 5 MONTGOMERY, D.C. **Introduction to statistical quality control**. 4. ed. New  
6 york: John Wiley & Sons, 2009. 677 p.
- 7
- 8 OLIVEIRA, M. T. R.; BERBERT, P. A.; MARTINAZZO, A. P. Avaliação de  
9 modelos matemáticos na descrição das curvas de secagem por convecção de  
10 *Pectis brevipedunculata* (Gardner) Sch. Bip. **Revista Brasileira de Plantas**  
11 **Medicinais**, Botucatu, v. 15, n. 1, p. 1-12, 2013.
- 12
- 13 PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística Aplicada a experimentos**  
14 **agronômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para**  
15 **uso de aplicativos**. FEALQ, 2002. 309 p.
- 16
- 17 REIS, T.H.P.; SOARES, T.L.; GUIMARÃES, G.P.T. Informações úteis no  
18 planejamento e no gerenciamento da atividade cafeeira. **Informe**  
19 **Agropecuário**, Belo Horizonte, v.29, n. 247, p. 112-27,2008.
- 20
- 21 SANTINATO, F.; RUAS, R.A.A.; SILVA, R.P.; CARVALHO FILHO, A.;  
22 SANTINATO, R. Número de operações mecanizadas na colheita do café.  
23 **Ciência Rural**, v.45, n.10, p.1809-1814, 2015.
- 24
- 25 SANTINATO, F.; RUAS, R.A.A.; SILVA, R.P.; DUARTE, A.; SANTINATO, R.  
26 Análise econômica da colheita mecanizada do café utilizando repetidas  
27 operações da colhedora **Coffee Science**, v.10, n.3, p.402-411. 2015b.
- 28
- 29 SANTINATO, R., FERNANDES, A.L.T. **Cultivo do cafeeiro irrigado por**  
30 **gotejamento**. 2. Ed. Uberaba: Autores, 388p., 2012.
- 31
- 32 SILVA, R. P.; VOLTARELLI, M. A.; CASSIA, M. T.; VIDAL, D. O.; CAVICHIOLI,  
33 F. A. Qualidade das operações de preparo reduzido do solo e transplântio  
34 mecanizado de mudas de café. **Coffee Science**, v. 9, n. 1, p. 51-60, 2014.

1 VOLTARELLI, M. A.; SILVA, R. P.; ROSALEN, D. L.; ZERBATO, C.; CASSIA,  
2 M. T. Quality of performance of the operation of sugarcane mechanized planting  
3 in day and night shifts. **Australian Journal of Crop Science**, v. 7, n. 9, p.  
4 1396-1406, 2013.

5



1 **CAPÍTULO 4 - Técnica alternativa de amostragem da maturação dos**  
2 **frutos do cafeeiro**

3

4 **CHAPTER 4 - Sampling technique alternative maturation of coffee fruits**

5

6 **RESUMO:** O estágio de maturação dos frutos do cafeeiro é altamente  
7 influenciado pela exposição solar, que quanto maior, mais acelera o processo  
8 de amadurecimento. Dessa forma, os frutos presentes no terço superior  
9 alcançam o estágio cereja e seco mais rápido que os dos outros terços. No  
10 terço inferior, por sua vez, os frutos ficam recobertos por grande quantidade de  
11 folhas, recebendo pouca radiação solar, permanecendo no estágio verde por  
12 mais tempo. Em campo a avaliação do estágio de maturação é feita apenas no  
13 terço médio, podendo sub ou super-estimar as quantidades de frutos verdes,  
14 cereja e secos, norteados erroneamente as recomendações do momento de  
15 início da colheita, dentre outras. Diante disso objetivou-se a proposição de uma  
16 metodologia alternativa para avaliação da maturação dos frutos de café. O  
17 presente trabalho foi realizado no município de Presidente Olegário, utilizando  
18 lavoura de 49 ha, da cultivar Catuaí Vermelho IAC 144, espaçada em 4,0 x 0,5,  
19 com 18 anos de idade, irrigada via pivô central. Utilizou-se o gride de 0,25 ha,  
20 totalizando 178 pontos amostrais. Em cada ponto coletou-se amostras de café  
21 nos três terços das plantas. De posse dos dados fez-se cartas de controle para  
22 a interpretação dos dados, submetendo-os também à análise de variância e ao  
23 teste de Tukey. Foram gerados mapas de isolinhas para cada estágio de  
24 maturação, em cada terço da planta. Obteve-se diferenças entre os métodos  
25 de avaliação de estágio de maturação tradicional, no terço médio apenas, e o  
26 método alternativo, segmentando as plantas em terços. As avaliações nos  
27 terços superior e inferior apontaram maiores quantidades de frutos nos  
28 estágios secos e verdes, respectivamente.

29

30 **Palavras-chave:** variabilidade, metodologia, amadurecimento

31

32 **ABSTRACT:** The maturation stage of coffee fruits is highly influenced by the  
33 sun exposure, which the greater the acceleration of the ripening process. In this  
34 way, the fruits present in the upper third reach the cherry stage and dry faster

1 than those of the other thirds. In the lower third, in turn, the fruits are covered by  
2 a large amount of leaves, receiving little solar radiation, remaining in the green  
3 stage for longer. In the field the evaluation of the stage of maturation is done  
4 only in the middle third, being able to under or overestimate the quantities of  
5 green, cherry and dry fruits, erroneously guiding the recommendations of the  
6 time of beginning of the harvest. Aiming at this, the objective was to propose an  
7 alternative methodology to evaluate the maturation of coffee fruits. The present  
8 work was carried out in the municipality of Presidente Olegário, using 49 ha of  
9 Catuaí Vermelho cultivar IAC 144, spaced in 4.0 x 0.5, with 18 years of age,  
10 irrigated via central pivot. The grids of 0.25 ha were used, totaling 178 sampling  
11 points. At each point coffee samples were collected in three thirds of the plants.  
12 Data were collected for the interpretation of data and subjected to analysis of  
13 variance and Tukey's test. Isoline maps were generated for each maturation  
14 stage, in each third of the plant. Significant differences were obtained between  
15 traditional maturation stage evaluation methods in the middle third only, and the  
16 alternative method, segmenting the plants into thirds.

17

18 **Key words:** variability, methodology, maturation

19

## 20 **Introdução:**

21 O estágio de maturação dos frutos do cafeeiro possui várias  
22 classificações. Porém, as mais importantes são verde, cereja e seco  
23 (MATIELLO et al., 2015). Os frutos verdes apresentam propriedades  
24 organolépticas indesejadas, conferindo gosto adstringente à bebida (BORÉM et  
25 al., 2008). Também são os frutos mais fortemente aderidos aos ramos (SILVA  
26 et al., 2010), exigindo maior força da colhedora, com velocidades menores e/ou  
27 vibrações maiores (SANTINATO et al., 2015 a).

28 Os frutos cerejas são os mais valorizados, por possuírem as melhores  
29 propriedades de bebida, por terem a possibilidade de serem descascados,  
30 adquirindo outra classe de comercialização e por serem removidos das plantas  
31 com maior facilidade. Os frutos secos, apresentam qualidade de bebida  
32 satisfatória e são facilmente removidos pelas plantas, porém, em grandes  
33 quantidades, notadamente no terço superior das plantas, elevam  
34 demasiadamente a quantidade de café caído naturalmente, acarretando na

1 elevação do custo da colheita (SANTINATO et al., 2015 b), além do deságio  
2 em seu preço. Também, quanto mais tempo os frutos permanecem nos  
3 cafeeiros, maior é a extração de metabólitos, e o depauperamento da planta,  
4 visto que os frutos são um dreno constante de energia do cafeeiro (CATANI et  
5 al., 1967).

6 O estágio de maturação dos frutos é altamente influenciado pela  
7 exposição solar. Quanto maior a exposição solar, mais acelerado é o processo  
8 de amadurecimento. Dessa forma, os frutos presentes nos terços superiores  
9 das plantas alcançam os estádios cereja e seco mais cedo que os dos terços  
10 médio e inferior. Cassia et al. (2013) apontam elevada influência do  
11 direcionamento de plantio no estágio de maturação dos frutos, devido ao fato  
12 de uma planta sombrear a outra, dependendo do sentido de plantio, além do  
13 próprio auto-sombreamento e do efeito “guarda-chuva”, em que os ramos do  
14 terço superior sobrepõem aos ramos dos terços de baixo (SASAKI et al. 2013),  
15 sombreando os frutos que então permanecem verdes por mais tempo.

16 Considerando que a avaliação da maturação dos frutos nas  
17 propriedades cafeeiras é a realizada na planta como um todo e que isso pode  
18 acarretar em sub ou superestimativa para os terços superior e inferior,  
19 objetivou-se com este trabalho propor uma metodologia alternativa para a  
20 avaliação dos estádios de maturação dos frutos do cafeeiro nos três terços da  
21 planta, independentemente, buscando nortear melhor o cafeicultor quanto a  
22 este parâmetro, para que possa realizar a colheita, podendo ser mais seletiva  
23 e, conseqüentemente, aumentar a qualidade do produto final.

24

## 25 **Material e métodos:**

26 A área de estudo localiza-se no centro-oeste do estado de Minas gerais,  
27 no município de Presidente Olegário, com altitude média de 1.013 m. O clima  
28 da região, é do tipo mesotérmico com inverno seco (Cwa) (KOOPEN, 1948). A  
29 precipitação pluviométrica anual média é de 1.100 mm com chuvas  
30 concentradas no período de novembro a fevereiro. O relevo é  
31 predominantemente suave ondulado com declividades médias variando de 3 a  
32 6%. O solo é classificado como Latossolo Vermelho distrófico, textura argilo-  
33 arenosa.

1 A área estudada, pertencente à Fazenda Catuaí, nas coordenadas  
2 geográficas 18°17'49'' S e 46°32'52'' W, com 49,0 ha de café com idade de 18  
3 anos. Trata-se da cultivar Catuaí Vermelho IAC 144, espaçada em 4,0 m x 0,5  
4 (5.000 plantas ha<sup>-1</sup>), irrigada via pivô central e emissores do tipo LEPA (*Low*  
5 *Energy Pressurized Application*). Uma malha com intervalos regulares de 25 x  
6 100 m (gride de 0,25 ha), perfazendo um total de 178 pontos, foi disposta na  
7 área experimental. Para o georreferenciamento do experimento utilizou-se um  
8 par de receptores GNSS Trimble R8 dotado de posicionamento relativo cinético  
9 em tempo real, RTK (*Real Time Kinematic*).

10 Avaliou-se o estágio de maturação dos frutos do café em dez plantas por  
11 ponto amostral, em cada um dos terços da planta (superior, médio e inferior),  
12 coletando-se amostras de 0,5 L, em cada um deles e separando-os em frutos  
13 verdes, cerejas e secos, convertendo-se os valores em porcentagem.  
14 Posteriormente foi calculada a média dos frutos verdes, cerejas e secos para a  
15 planta com um todo. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado,  
16 seguindo-se as premissas do Controle Estatístico de Qualidade.

17 A análise da estatística descritiva foi realizada para permitir a  
18 visualização geral do comportamento dos dados, utilizando-se o programa  
19 Minitab r para o cálculo das medidas de posição média e mediana das medidas  
20 de dispersão (desvio padrão e coeficiente de variação) e dos coeficientes de  
21 curtose e assimetria. Efetuou-se também o teste de Ryan-Joiner para verificar  
22 a normalidade dos dados. Os dados foram submetidos à análise de variância e  
23 quando significativos ao teste de Tukey a 5% de probabilidade.

24 Na sequencia procedeu-se a análise por meio do Controle Estatístico de  
25 Processo (CEP), utilizando-se os gráficos sequenciais e as cartas de controle  
26 de valores individuais. Os limites de controle, inferior (LIC) e superior (LSC),  
27 resultaram da análise estatística e foram determinados de acordo com a  
28 variabilidade do processo. Os limites de controle permitem inferir se ha  
29 variação dos resultados devido a causas não controladas no processo (causas  
30 especiais, ou seja causas não aleatórias, proporcionadas por fatores externos  
31 ao processo), e são calculados com base no desvio padrão das variáveis,  
32 como demonstrado nas equações 2 e 3.

33

$$LSC = \bar{x} + 3\sigma \quad (2)$$

$$LIC = \bar{x} - 3\sigma \quad (3)$$

1

2 Em que,

3  $LSC$  = Limite superior de controle.4  $\bar{x}$  = Média geral da variável.5  $\sigma$  = Desvio padrão.6  $LIC$  = Limite inferior de controle (quando o valor calculado do  $LIC$  foi  
7 negativo, considerou-se o mesmo como nulo,  $LIC = 0$ ).

8 Quando uma observação apresenta falha em um dos testes para causas  
9 especiais, o ponto é destacado na carta de controle, com o número do  
10 respectivo erro. Um ponto falho indica que ha variação não aleatória nos  
11 resultados, decorrente da ação de causas especiais e que, portanto, deve ser  
12 investigada. Quando nenhum ponto é destacado na carta de controle, não ha  
13 observação falha no processo, ou seja, não existem causas especiais de  
14 variação e conseqüentemente o processo está sob controle estatístico.

15 Os gráficos sequenciais foram utilizados para a verificação da ocorrência  
16 de padrões de não aleatoriedade, considerando-se os padrões estabelecidos  
17 para agrupamentos, misturas, tendências e oscilações (NHS SCOTLAND,  
18 2010).

19 Os dados também foram submetidos à análise de correlação de Pearson  
20 para verificar possíveis correlações lineares entre os frutos verdes, cereja e  
21 passa nos diferentes terços da planta e na planta inteira. A análise de  
22 correlação de Pearson foi utilizada para verificar a interação dos valores de  
23 maturação com significância de 5%.

24 Por fim, para ilustrar a variabilidade da maturação, foram gerados mapas  
25 de isolinhas para os estádios verde, cereja e passa, nos três terços da planta  
26 (inferior, médio e superior), bem como para a planta inteira, sendo calculadas  
27 as respectivas áreas.

28

## 29 **Resultados e discussão:**

30 A análise dos parâmetros da estatística descritiva (Tabela 1) permite  
31 observar a existência de grande variabilidade para as avaliações realizadas,  
32 uma vez que os valores dos coeficientes de variação foram altos e muito altos

1 (PIMENTEL-GOMES e GARCIA, 2002), exceto para frutos cereja na avaliação  
 2 da planta inteira. O desvio padrão e amplitude também foram, para a maioria  
 3 das variáveis, elevados. No entanto, os valores dos coeficientes de assimetria  
 4 e de curtose foram próximos de zero e houve proximidade entre os valores de  
 5 média e mediana. Pelo teste de Ryan-Joiner apenas as avaliações nos  
 6 estádios, passa para o terço superior, e cereja e passa para a planta inteira  
 7 apresentaram normalidade dos dados.

8 Segundo SCHAFFER et al. (2012) independentemente da suposição de  
 9 normalidade do grupo de dados, torna-se possível a utilização das cartas de  
 10 controle Shewhart, porém a análise e a interpretação do processo devem ser  
 11 feitas com maior critério para haver melhor confiabilidade dos resultados sobre  
 12 o nível de qualidade do processo.

13

14 **Tabela 1.** Análise descritiva para os estádios de maturação do café nos terços  
 15 superior (TS), médio (TM) e inferior (TI) e na planta inteira (PI).

| Variável  | Média  | Mediana | Amplitude | $\sigma$ | CV     | Cs    | Ck    | RJ                  |
|-----------|--------|---------|-----------|----------|--------|-------|-------|---------------------|
|           | (%)    |         |           |          |        |       |       |                     |
| TS Verde  | 3,3 a  | 2,5     | 22,6      | 3,81     | 116,17 | 2,53  | 8,16  | 0,899 <sup>ns</sup> |
| TSCereja  | 54,7 a | 54,1    | 87,1      | 0,71     | 37,84  | -0,08 | -0,68 | 0,992 <sup>ns</sup> |
| TS Passa  | 42,0 a | 43,2    | 91,8      | 21,60    | 51,43  | 0,12  | -0,67 | 0,993 <sup>*</sup>  |
| TM Verde  | 8,8b   | 6,6     | 46,1      | 7,44     | 84,74  | 2,03  | 5,50  | 0,907 <sup>ns</sup> |
| TMCereja  | 65,2bc | 66,7    | 84,6      | 17,52    | 26,88  | -0,99 | 0,98  | 0,966 <sup>ns</sup> |
| TMPassa   | 26,0b  | 21,4    | 84,5      | 18,24    | 70,09  | 1,13  | 1,13  | 0,955 <sup>ns</sup> |
| TI Verde  | 15,0c  | 12,2    | 54,5      | 10,44    | 69,35  | 1,26  | 1,73  | 0,953 <sup>ns</sup> |
| TI Cereja | 67,9c  | 70,5    | 76,7      | 15,98    | 23,52  | -1,26 | 1,76  | 0,950 <sup>ns</sup> |
| TI Passa  | 17,1 a | 14,0    | 70,9      | 14,98    | 87,48  | 1,57  | 2,61  | 0,927 <sup>ns</sup> |
| PI Verde  | 9,0b   | 7,8     | 289       | 5,45     | 60,36  | 1,36  | 2,20  | 0,947 <sup>ns</sup> |
| PI Cereja | 62,6b  | 63,6    | 503       | 11,24    | 17,94  | -0,27 | -0,30 | 0,993 <sup>*</sup>  |
| PI Passa  | 28,4b  | 27,5    | 59,3      | 12,24    | 43,14  | 0,35  | -0,25 | 0,993 <sup>*</sup>  |

16  $\sigma$ : desvio-padrão; CV: Coeficiente de variação; Cs: coeficiente de assimetria;  
 17 coeficiente de curtose; RJ: teste de normalidade de Ryan-Joiner; \* : significativo  
 18 a 5% de probabilidade; <sup>ns</sup>: não significativo a 5% de probabilidade.

19

1           Pela Tabela 1 constata-se a evidência da necessidade de avaliação de  
2 estádios de maturação dos frutos do cafeeiro de forma mais criteriosa,  
3 separando-os em terços e não somente avaliando a planta como um todo. Isto  
4 se justifica pelo fato de que as diferenças entre as porcentagens de maturação,  
5 notadamente nos estádios verde e seco foram acentuadas.

6           A avaliação de planta inteira apresentou diferença de 13,6% para menos  
7 de café seco em relação ao terço superior, o que interfere demasiadamente na  
8 decisão do cafeicultor quanto ao momento de início da colheita, pois, o faz crer  
9 que o momento ainda não é o ideal. Com isso, haverá aumento na quantidade  
10 de frutos caídos naturalmente no chão, reduzindo a produtividade  
11 (SANTINATO et al., 2014). Com relação aos frutos verdes a maior diferença se  
12 deu entre a avaliação de planta inteira com a do terço inferior, 6% nas médias.  
13 No caso do presente estudo a diferença não interferiria tanto na tomada de  
14 decisão, mas, no entanto, em situações de colheita mais atrasadas, caso o  
15 produtor optasse por iniciar a colheita poderia acarretar em grande quantidade  
16 de frutos no estádio verde colhidos (Tabela 1).

17           Tais diferenças sugerem a avaliação da maturação dos frutos somente  
18 nos terços superior e inferior, utilizando-se a maturação do terço superior como  
19 parâmetro para avalia a quantidade de frutos secos, considerando o provável  
20 risco de aumento de café caído. A avaliação do terço inferior teria a finalidade  
21 de balizar a tomada de decisão levando-se em consideração os frutos verdes  
22 (Tabela 1). Esta avaliação pode favorecer a colheita mecanizada seletiva do  
23 café, atuando-se em duas etapas (duas passadas da colhedora), promovendo  
24 a colheita imediatamente após a constatação da quantidade de frutos secos no  
25 terço superior, utilizando somente as varetas do superiores da colhedora.  
26 Desta forma seriam removidos somente os frutos no estádio seco, aliviando  
27 desta maneira a planta e evitando que eles caiam precocemente no solo. Nesta  
28 operação poderiam ser utilizadas regulagens menos “pesadas” da colhedora,  
29 como por exemplo utilizar maiores velocidades de deslocamento (1.300 e 1.600  
30 m h<sup>-1</sup>) e rotações de vibração das varetas menores (700 ou 800 rpm).

31           Em um segundo momento, assim que a quantidade de frutos verdes  
32 presentes no terço inferior atingisse valores inferiores a 10% se iniciaria a  
33 segunda passada, utilizando todas as varetas e regulagens mais agressivas da  
34 colhedora, como por exemplo, 1.000 ou 1.300 m h<sup>-1</sup> e 900 rpm.

A análise dos gráficos sequenciais (Tabela 2) demonstrou a ocorrência de padrões de agrupamento para o terço superior (cereja e passa), terço médio (passa) e planta inteira (cereja). Também para a avaliação de planta inteira (cereja e passa) foi constatado o padrão de oscilação. Estes resultados indicam que, de modo geral, as avaliações de estádios de maturação nos terços apresentam variabilidade totalmente aleatória, sem a ocorrência de causas especiais de variação. No entanto, quando se avalia a planta inteira, tem-se a possibilidade de ocorrência de causas especiais, o que deve ser melhor analisado com o uso das cartas de controle.

**Tabela 2.** Valores padrões de probabilidade dos gráficos sequenciais para os estádios de maturação do café nos terços superior (TS), médio (TM) e inferior (TI) e na planta inteira (PI).

| Variável  | Agrupamento         | Misturas            | Tendências          | Oscilação           |
|-----------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| TS-Verde  | 0,471 <sup>ns</sup> | 0,529 <sup>ns</sup> | 0,074 <sup>ns</sup> | 0,926 <sup>ns</sup> |
| TS-Cereja | <b>0,000</b> *      | 1,000 <sup>ns</sup> | 0,358 <sup>ns</sup> | 0,642 <sup>ns</sup> |
| TS-Passa  | <b>0,000</b> *      | 1,000 <sup>ns</sup> | 0,234 <sup>ns</sup> | 0,766 <sup>ns</sup> |
| TM-Verde  | 0,126 <sup>ns</sup> | 0,874 <sup>ns</sup> | 0,572 <sup>ns</sup> | 0,428 <sup>ns</sup> |
| TM-Cereja | 0,201 <sup>ns</sup> | 0,799 <sup>ns</sup> | 0,293 <sup>ns</sup> | 0,707 <sup>ns</sup> |
| TM-Passa  | <b>0,020</b> *      | 0,980 <sup>ns</sup> | 0,500 <sup>ns</sup> | 0,500 <sup>ns</sup> |
| TI-Verde  | 0,298 <sup>ns</sup> | 0,702 <sup>ns</sup> | 0,234 <sup>ns</sup> | 0,766 <sup>ns</sup> |
| TI-Cereja | 0,703 <sup>ns</sup> | 0,297 <sup>ns</sup> | 0,234 <sup>ns</sup> | 0,766 <sup>ns</sup> |
| TI-Passa  | 0,411 <sup>ns</sup> | 0,589 <sup>ns</sup> | 0,293 <sup>ns</sup> | 0,707 <sup>ns</sup> |
| PI-Verde  | 0,126 <sup>ns</sup> | 0,874 <sup>ns</sup> | 0,138 <sup>ns</sup> | 0,862 <sup>ns</sup> |
| PI-Cereja | <b>0,009</b> *      | 0,991 <sup>ns</sup> | 0,965 <sup>ns</sup> | <b>0,035</b> *      |
| PI-Passa  | 0,074 <sup>ns</sup> | 0,926 <sup>ns</sup> | 0,985 <sup>ns</sup> | <b>0,015</b> *      |

\*: significativo a 5% de probabilidade; <sup>ns</sup>: não significativo a 5% de probabilidade.

Analisando-se as cartas de controle (Figuras 1 a 3) observa-se que, de modo geral, houve grande variabilidade para as avaliações de frutos nos estádios verde, cereja e seco, ocorrendo, quase sempre, pontos fora de controle, indicando a ação de causas especiais.



1 Para a quantidade de frutos no estágio verde (Figura 1) notou-se grande  
2 diferença entre os três terços das plantas, com menor variabilidade no terço  
3 superior, seguido dos terços médio e inferior, respectivamente, ocorrendo  
4 também pontos fora de controle em todos os terços. Esta maior variabilidade  
5 pode ser explicada pelo fator meio ambiente, devido ao sombreamento dos  
6 frutos nas partes mais baixas das plantas (SASAKI et al., 2013), reduzindo a  
7 insolação e retardando o processo de amadurecimento (DAMATTA et al.,  
8 2007).

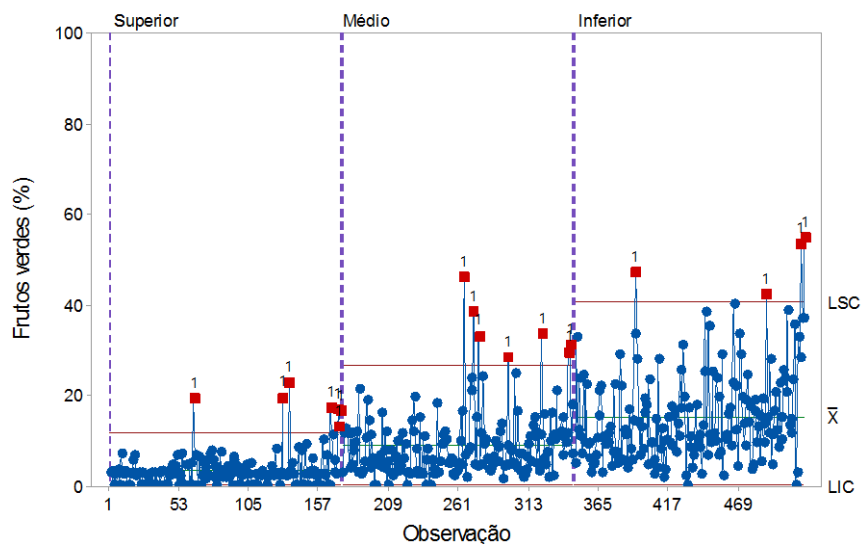
9 De forma geral, para avaliação de frutos no estágio verde nos três terços  
10 estudados, ocorreram 17 *outliers*, sendo 6, 7 e 4 para os terços superior, médio  
11 e inferior, respectivamente. Ou seja, apenas 3% dos 534 pontos avaliados  
12 estiveram acima do limite superior de controle, evidenciando a assertividade no  
13 método de avaliação (Figura 1)

14 Para o café cereja (Figura 2) a diferença de variabilidade entre os terços  
15 superior, médio e inferior não foi tão elevada. Ocorreram quantidades médias  
16 semelhantes nos três terços deste estágio de maturação, porém, o terço  
17 superior apresentou amplitude entre limites ligeiramente superior aos demais  
18 terços. Para esta variável também ocorreram *outliers*, sendo, no entanto,  
19 somente 10 pontos fora de controle, situados abaixo do LIC.

20 Para os frutos secos (Figura 3), o comportamento foi inverso ao  
21 encontrado para os frutos verdes, ocorrendo em maior quantidade no terço  
22 superior, intermediário e inferior, respectivamente. No terço superior, os frutos  
23 recebem mais radiação solar, principalmente quando estão desfolha  
24 operacionais (FERNANDES et al., 2012 b), principalmente em plantios  
25 circulares de Pivô (Cassia et al., 2013), e por isso alcançam o estágio seco  
26 mais rapidamente. Isso ocorre principalmente nas regiões mais quentes como  
27 a do presente estudo (FERNANDES, et al., 2012 a).

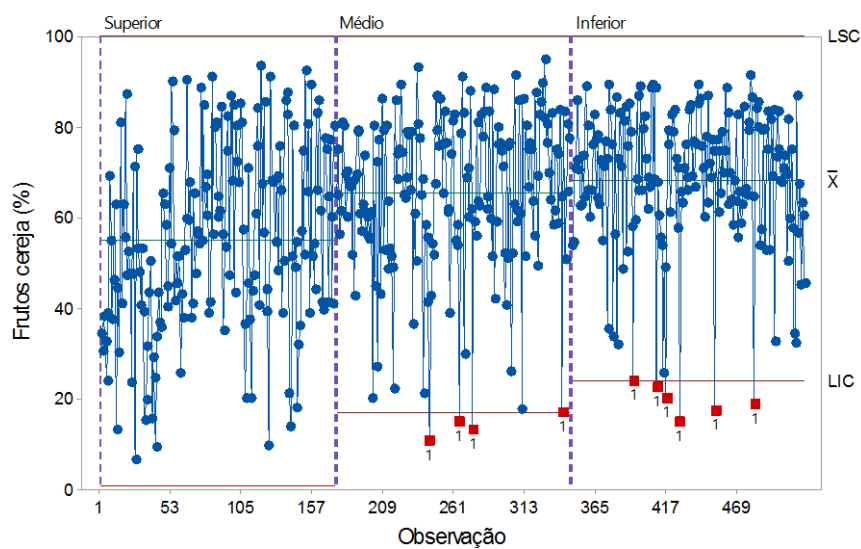
28 Quando se analisa a carta de controle para a planta inteira (Figura 4),  
29 constata-se que os frutos secos e cereja apresentaram praticamente a mesma  
30 variabilidade, medida pela distância entre os limites de controle. Os frutos  
31 secos apresentaram um ponto fora de controle, que pode ser classificado como  
32 um *outlier*. Na avaliação da planta inteira os frutos verdes, apesar da  
33 ocorrência de alguns pontos fora de controle, apresentaram baixa variabilidade.  
34 Isso indica que se o produtor for tomar a decisão pela quantidade de frutos

- 1 verdes existentes na planta encontrará, no momento da colheita, alta
- 2 variabilidade de frutos cereja e secos, dificultando as regulagens da colhedora.
- 3



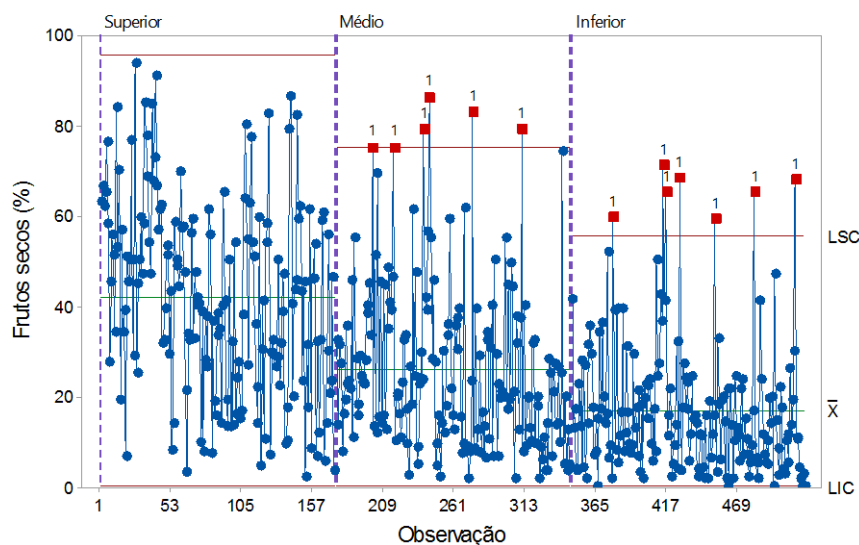
**Figura 1.** Carta de controle para valores individuais do estágio de maturação verde nos terços superior, médio e inferior.

4



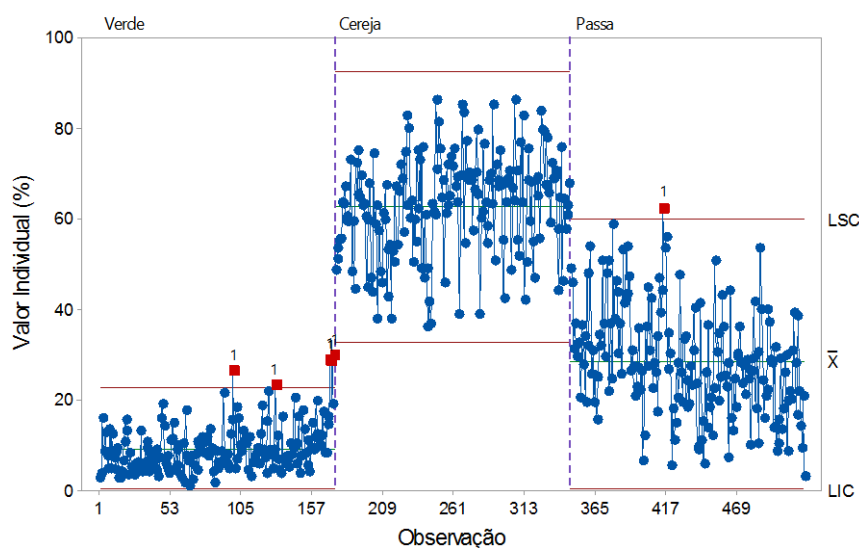
**Figura 2.** Carta de controle para valores individuais do estágio de maturação cereja nos terços superior, médio e inferior.

5



**Figura 3.** Carta de controle para valores individuais do estágio de maturação seco nos terços superior, médio e inferior.

1



**Figura 4.** Carta de controle para valores individuais dos estádios de maturação verde, cereja e seco na planta inteira.

2

3 A análise de correlação de Pearson apresentou correlações fortes e  
 4 fracas, positivas e negativas (Tabela 3). Para todos os terços da planta, como  
 5 era de se esperar, os frutos secos apresentaram correlação negativa com os  
 6 frutos verdes e cereja, sendo a correlação mais forte com os frutos cereja,  
 7 indicando que quando ha aumento da quantidade de frutos secos ocorre a

1 diminuição dos frutos cereja. Também se observa que os frutos verdes nos  
2 diferentes terços da planta apresentaram correlação positiva, o que não foi  
3 observado para os frutos cereja e secos.

4 A porcentagem de frutos secos na planta inteira apresentou correlação  
5 positiva com os frutos secos nos três terços da planta, e negativa com os frutos  
6 cereja e verde em todos os terços. Apesar da existência de correlação linear,  
7 os coeficientes de determinação foram baixos, indicando que a interatividade  
8 entre as variáveis, com grau de dependência de estatística linear classificados  
9 como fracos (PIMENTEL-GOMES e GARCIA, 2002).

10

11 **Tabela 3.** Matriz de correlação de Pearson para os estádios de maturação do  
12 café nos terços superior (TS), médio (TM) e inferior (TI) e na planta inteira (PI).

| Variável | TS-V <sup>(1)</sup>  | TS-C                 | TS-P                 | TM-V                 | TM-C                | TM-P                 | TI-V                 | TI-C           | TI-P           | PI-V                 | PI-C           |
|----------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------|----------------|----------------------|----------------|
| TS-C     | 0,145 <sup>ns</sup>  |                      |                      |                      |                     |                      |                      |                |                |                      |                |
| TS-P     | <b>-0,315*</b>       | <b>-0,985*</b>       |                      |                      |                     |                      |                      |                |                |                      |                |
| TM-V     | <b>0,154*</b>        | 0,112 <sup>ns</sup>  | -0,135 <sup>ns</sup> |                      |                     |                      |                      |                |                |                      |                |
| TM-C     | 0,018 <sup>ns</sup>  | 0,049 <sup>ns</sup>  | -0,05 <sup>ns</sup>  | -0,113 <sup>ns</sup> |                     |                      |                      |                |                |                      |                |
| TM-P     | -0,080 <sup>ns</sup> | -0,093 <sup>ns</sup> | 0,103 <sup>ns</sup>  | <b>-0,299*</b>       | <b>-0,914*</b>      |                      |                      |                |                |                      |                |
| TI-V     | <b>0,248*</b>        | 0,099 <sup>ns</sup>  | -0,138 <sup>ns</sup> | <b>0,390*</b>        | 0,119 <sup>ns</sup> | <b>-0,274*</b>       |                      |                |                |                      |                |
| TI-C     | -0,133 <sup>ns</sup> | 0,105 <sup>ns</sup>  | -0,077 <sup>ns</sup> | -0,013 <sup>ns</sup> | 0,071 <sup>ns</sup> | -0,063 <sup>ns</sup> | <b>-0,415*</b>       |                |                |                      |                |
| TI-P     | -0,023 <sup>ns</sup> | <b>-0,172*</b>       | <b>0,169*</b>        | <b>-0,246*</b>       | <b>-0,153*</b>      | <b>0,248*</b>        | <b>-0,252*</b>       | <b>-0,771*</b> |                |                      |                |
| PI-V     | <b>0,461*</b>        | 0,148 <sup>ns</sup>  | <b>-0,223*</b>       | <b>0,739*</b>        | 0,029 <sup>ns</sup> | <b>-0,329*</b>       | <b>0,873*</b>        | <b>-0,302*</b> | <b>-0,278*</b> |                      |                |
| PI-C     | 0,035 <sup>ns</sup>  | <b>0,690*</b>        | <b>-0,668*</b>       | 0,004 <sup>ns</sup>  | <b>0,584*</b>       | <b>-0,562*</b>       | -0,074 <sup>ns</sup> | <b>0,575*</b>  | <b>-0,551*</b> | -0,037 <sup>ns</sup> |                |
| PI-P     | <b>-0,234*</b>       | <b>-0,695*</b>       | <b>0,708*</b>        | <b>-0,328*</b>       | <b>-0,546*</b>      | <b>0,658*</b>        | <b>-0,320*</b>       | <b>-0,391*</b> | <b>0,630*</b>  | <b>-0,408*</b>       | <b>-0,896*</b> |

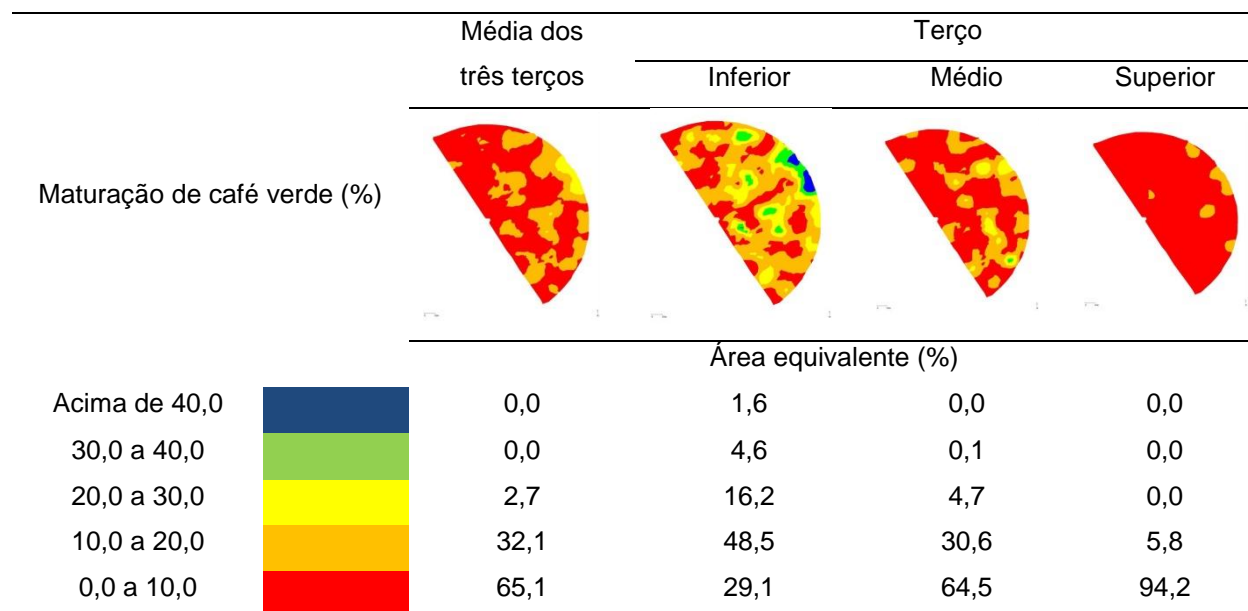
13 <sup>(1)</sup> TS: terço superior; TM: terço médio; TI: terço inferior; PI: planta inteira; V: verde; C: cereja; P: passa.

14

15 Os mapas de isolinhas de cada estágio de maturação dos frutos em  
16 cada terço das plantas (superior, médio e inferior), bem como as respectivas  
17 porcentagens de áreas ocupadas pelas manchas, estão dispostos nas Tabelas  
18 4 a 6. De modo geral notou-se pequena quantidade de frutos no estágio de  
19 maturação verde, ocorrendo maior quantidade no terço inferior do que nos  
20 outros terços. As diferenças entre as porcentagens em área da quantidade de  
21 frutos verdes entre as avaliações de terço inferior e média dos três terços  
22 evidenciam a necessidade de se avaliar os terços independentemente. Na  
23 média dos três terços havia apenas 2,7% da área total com frutos na faixa de  
24 20,0 a 30,0% de verdes, enquanto que no terço inferior essa área era de 16,2%  
25 no mapa (Tabela 4)

1

2 **Tabela 4.** Variabilidade espacial de frutos no estágio de maturação verde na  
 3 média dos três terços da planta, no terço inferior, no terço médio e terço  
 4 superior.



5

6 O terço superior obteve menor quantidade de frutos cereja que as  
 7 demais avaliações. Entre os dois outros terços e a média dos três terços, a  
 8 diferença foi muito pequena, com todos tendo mais de 96% das áreas na faixa  
 9 acima de 40% de frutos no estágio cereja (Tabela 5).

10

11

12

13

14

15

16

17

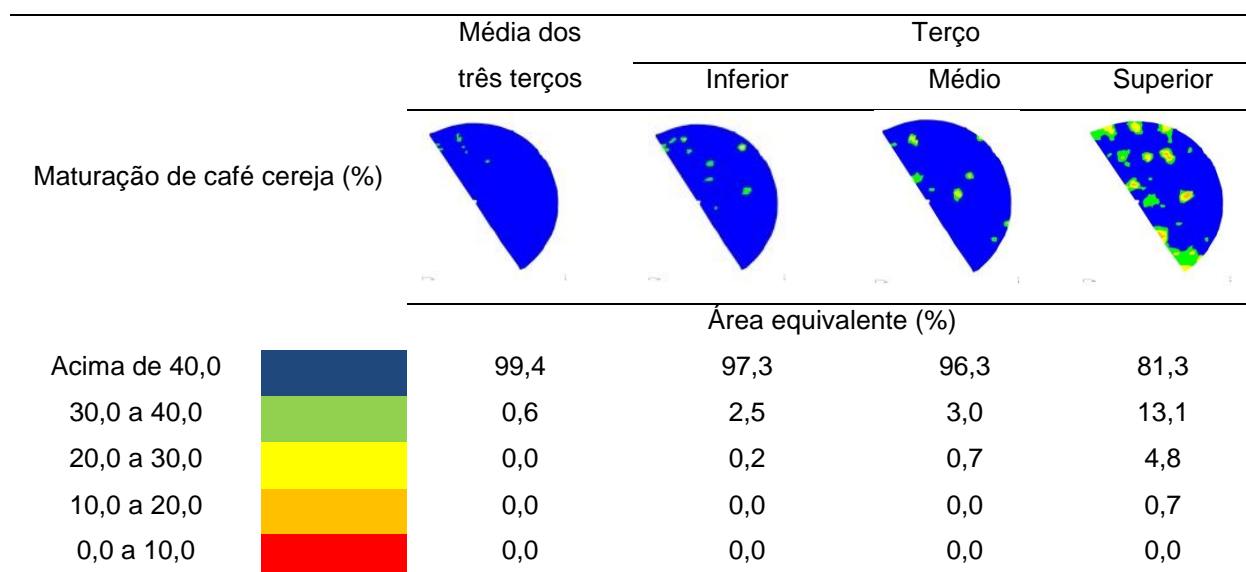
18

19

20

21

1 **Tabela 5.** Variabilidade espacial de frutos no estágio de maturação cereja na  
 2 média dos três terços da planta, no terço inferior, no terço médio e terço  
 3 superior.



4

5 O terço superior foi o que apresentou as maiores diferenças. Na média  
 6 dos três terços das plantas apenas 13,2% da área tinham a lavoura com mais  
 7 de 40% dos frutos no estágio seco. No terço superior a área era de 54,0%, ou  
 8 seja, mais da metade da área encontrava-se em risco de ter aumento  
 9 significativo na quantidade de café caído. Com 54% da área, têm-se 26,46 ha  
 10 da área para ser colhida com urgência, fato que demandaria 92,61 h, ou 12  
 11 dias (em regime apenas diurno). Em 12 dias provavelmente grande parte deste  
 12 café já estaria presente no solo (Tabela 6).

13

14

15

16

17

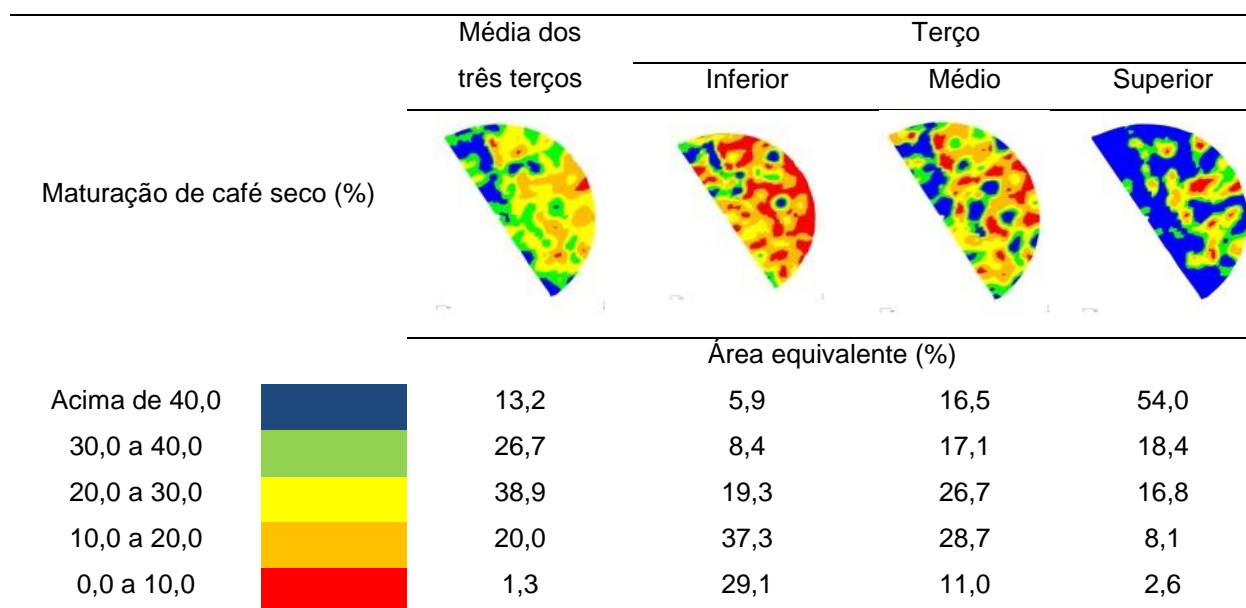
18

19

20

21

1 **Tabela 6.** Variabilidade espacial de frutos no estágio de maturação seco na  
 2 média dos três terços da planta, no terço inferior, no terço médio e terço  
 3 superior.



4

5

## 6 **Conclusões**

7 1 – Avaliar o estágio de maturação dos frutos do cafeeiro de forma  
 8 padrão, observando e coletando frutos da planta como um todo subestima e  
 9 superestima os resultados, levando a diagnósticos e recomendações errôneas.

10 2 – Deve-se avaliar o estágio de maturação dos frutos do cafeeiro nos  
 11 três terços da planta para tomadas de decisão com relação a este parâmetro.

12

## 13 **Referências:**

14

15 CASSIA, M.T.; SILVA, R.P.; CHIODEROLLI, R.H.F.N.; SANTOS, E.P. Quality  
 16 of mechanized coffee harvesting in circular planting system. **Ciência Rural**,  
 17 Santa Maria, v. 43, n. 1, p. 28 - 34, 2013.

18

19 CATANI, R.A.; PELLEGRINO, D.; ALCARDE, J.C.; GRANER, C.A.F. Variação  
 20 na concentração e na quantidade de macro e micronutrientes no fruto do  
 21 cafeeiro, durante o seu desenvolvimento, **Revista Agricultura**, Piracicaba, 33:  
 22 p.249-263, 1967.

23

- 1 DAMATTA, F. M.; RONCHI, C. P.; MAESTRI, M.; BARROS, R. S.  
2 Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal Plant**  
3 **Physiology**, 19(4): 485-510, 2007.
- 4
- 5 FERNANDES, A.L.T.; PARTELLI, F.L.; BONOMO, R.; GOLYNSKI, A. A  
6 moderna cafeicultura dos cerrados brasileiros. **Pesquisa Agropecuária**  
7 **Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 2, p. 231 - 40, 2012 a.
- 8
- 9 FERNANDES, A.L.T.; SANTINATO, F.; SANTINATO, R.; MICHELIM, V.  
10 Condução das podas do cafeeiro irrigado por gotejamento cultivado no Cerrado  
11 de Minas Gerais. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 8, n. 15, p. 110-19, 2012  
12 b.
- 13
- 14 KÖEPPEN, W. **Climatologia: con um estudio de los climas de la Tierra.**  
15 México: Fondo de Cultura Economica, 1948. 478p.
- 16
- 17 MATIELLO, J.B.; SANTINATO, R.; ALMEIDA, S.R.; GARCIA, A.W.R. **Cultura**  
18 **de café no Brasil: Manual de recomendações**: ed. 2015/ editor Futurama,  
19 585 p.
- 20
- 21 SANTINATO, F.; SILVA, R. P.; CASSIA, M. T.; SANTINATO, R. Análise quali-  
22 quantitativa da operação de colheita mecanizada de café em duas safras.  
23 **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 4, p. 495-505, 2014.
- 24
- 25 SANTINATO, F.; RUAS, R.A.A.; SILVA, R.P.; CARVALHO FILHO, A.;  
26 SANTINATO, R. Número de operações mecanizadas na colheita do café.  
27 **Ciência Rural**, v.45, n.10, p.1809-1814, 2015 a.
- 28
- 29 SANTINATO, F.; RUAS, R.A.A.; SILVA, R.P.; CARVALHO FILHO, A.;  
30 SANTINATO, R. Análise econômica da colheita mecanizada do café utilizando  
31 repetidas operações da colhedora. **Coffee Science**, v. 10, n.4, 2015 b.
- 32
- 33 SASAKI, R.S.; TEIXEIRA, M.M.; FERNANDES, H.C.; MONTEIRO, P.M.B.;  
34 RODRIGUES, D.E. Deposição e uniformidade de distribuição da calda de



- 1 aplicação em plantas de café utilizando a pulverização eletrostática. **Ciência**  
2 **Rural**, v.43, n.7, p.1605-1609, 2013.  
3
- 4 SCHAFER, W.D.; COVERDALE, B.J.; LUXEMBERG, H; JIN, Y. Quality control  
5 charts in large-scale assessment programs. **Practical Assesment, Research**  
6 **and Evaluation**, v.16, n.15, p.01-07, 2012.  
7
- 8 SILVA, C. F.; SILVA, F. M.; ALVES, M. C.; BARROS, M. M.; SALES, R. S.  
9 Comportamento da força de desprendimento dos frutos de cafeeiros ao longo  
10 do período de colheita. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 2, p. 468-  
11 474, 2010.  
12

1 **CAPÍTULO 5 - Critério para seleção de modelo de semivariograma da**  
2 **produtividade e estágio de maturação de frutos de cafeeiro**

3  
4 **CHAPTER 5 - Criteria for selection of semivariogram model of productivity**  
5 **and maturation stage of coffee fruits**

6  
7 **RESUMO:** O mapa de isolinhas é uma ferramenta da Agricultura de Precisão  
8 que representa visualmente a distribuição dos valores de um determinado  
9 parâmetro em uma área. Os valores são classificados em classes, ou  
10 manchas, pré-estabelecidos agrupando valores próximos. Com base nestes  
11 mapas pode-se fazer recomendações agronômicas, como adubação e manejo  
12 da colheita. Os mapas são gerados com base na escolha dos modelos  
13 empíricos que representam o semivariograma do parâmetro. Dessa forma há a  
14 necessidade de se ter critérios para sua escolha a fim de não gerar mapas com  
15 inconformidades, interferindo nas recomendações negativamente. O presente  
16 trabalho objetivou detalhar os critérios de escolha de tais modelos para a  
17 produtividade e estágio de maturação dos frutos do cafeeiro. Realizou-se o  
18 trabalho em lavoura de café de 49,0 ha, em malha uniforme de 25 x 100 m  
19 (grade de 0,25 ha), no município de Patos de Minas, MG. Avaliou-se a  
20 produtividade e os estádios de maturação dos frutos verdes, cerejas e secos do  
21 cafeeiro. O trabalho ressaltou a importância da capacitação para proceder  
22 análises de Agricultura de Precisão na cultura do café, principalmente com  
23 relação a escolha do modelo empírico do semivariograma, visto que cada  
24 modelo gera um mapa de isolinha distinto, influenciando nas recomendações  
25 agronômicas.

26  
27 **Palavras-chave:** variabilidade, café, Agricultura de Precisão

28  
29 **ABSTRACT:** The isolines map is a Precision Agriculture tool that visually  
30 represents the distribution of the values of a given parameter in an area. The  
31 values are classified into classes, or spots, pre-established by grouping close  
32 values. Based on these maps one can make agronomic recommendations,  
33 such as fertilization and harvest management. The maps are generated based  
34 on the choice of the empirical models that represent the semivariogram of the

1 parameter. Thus, there is a need to have criteria to choose from in order not to  
2 generate maps with nonconformities, interfering with the recommendations  
3 negatively. The present work aimed to detail the selection criteria of such  
4 models for the productivity and maturation stage of coffee fruits. The work was  
5 carried out in 49.0 ha of coffee in a 25 x 100 m uniform (gride of 0.25 ha), in the  
6 municipality of Patos de Minas, MG. The productivity and stages of maturation  
7 of green fruits, coffee trees and dry fruits were evaluated. It was concluded that  
8 the values of the parameters used to choose the empirical models can be very  
9 similar, and if there is no criterion for their choice, errors can occur in the  
10 generation of the isolines maps, reflecting in errors in the agronomic  
11 recommendations.

12

13 **Key words:** variability, coffee, Precision Agriculture

14

### 15 **Introdução:**

16 O café é uma planta perene que apresenta uma série de particularidades  
17 referentes à forma como produz e amadurece os frutos. Os frutos do café se  
18 originam apenas nos nós do crescimento do ano anterior, não se repetindo  
19 jamais (DAMATTA et al., 2007) de forma que esta condicionada ao crescimento  
20 anual da planta.

21 Vários são os fatores que interferem no crescimento da planta, e como  
22 parte desses fatores ocorrem heterogeneamente na lavoura, como pragas  
23 (REIS et al., 2014), doenças (REIS et al., 2008), manchas de fertilidade do solo  
24 (SILVA et al., 2007), a variabilidade do crescimento da planta e  
25 consequentemente da produtividade são elevados (FERRAZ et al., 2011).

26 Outra particularidade do cafeeiro que acentua a variabilidade espacial da  
27 produtividade do cafeeiro é o efeito da bienalidade de produção (VALADARES  
28 et al., 2013). O cafeeiro frutifica e cresce simultaneamente, de forma que  
29 necessita dividir a demanda de seus metabólitos para estes dois setores  
30 exigentes. O setor de frutificação é o mais exigente, comprometendo o de  
31 crescimento, notadamente em anos de elevada produção. Consequentemente  
32 o cafeeiro tem elevada produtividade e pequeno crescimento e vice-versa  
33 anualmente (PEREIRA et al., 2011).

1 O amadurecimento dos frutos do cafeeiro é influenciado positivamente  
2 pela exposição solar. Dessa forma, frutos presentes no lado de maior  
3 exposição solar, ou em áreas menos sombreadas, como o terço superior das  
4 plantas, ou ainda em lavouras acentuadamente desfolha operacional das  
5 apresentam velocidade de amadurecimento mais acelerado (DAMATTA et al.,  
6 2007).

7 A produtividade e os estádios de maturação dos frutos são fundamentais  
8 para as tomadas de decisão do manejo da lavoura cafeeira, bem como da sua  
9 comercialização. Um dos manejos que é altamente influenciado por esses dois  
10 fatores é a colheita do café (SANTINATO et al., 2015).

11 Dessa forma têm-se que a variabilidade espacial da produtividade e dos  
12 estádios de maturação dos frutos do cafeeiro são elevados, e por tanto devem  
13 ser avaliados de forma mais precisa que nos métodos convencionais, com a  
14 finalidade de representar seus valores com maior confiabilidade, gerando  
15 mapas de distribuição e recomendações mais eficazes.

16 Existem pressuposições de que para que se haja dependência espacial  
17 primeiramente deva existir auto correlação espacial (WANG, 2015). No entanto  
18 esta verificação não é realizada na maioria dos trabalhos da bibliografia,  
19 podendo interferir nos resultados das análises geoestatística. A escolha de um  
20 modelo empírico para representar o semivariograma de determinado parâmetro  
21 pode ser equivocada ocasionando em mapas com desconformidades. Tal fato  
22 poderá influenciar nas recomendações agrônômicas. O presente trabalho teve  
23 o objetivo de aplicar metodologia que precede a etapa da modelagem da  
24 geoestatística para os parâmetros de produtividade e estágio de maturação de  
25 frutos do cafeeiro.

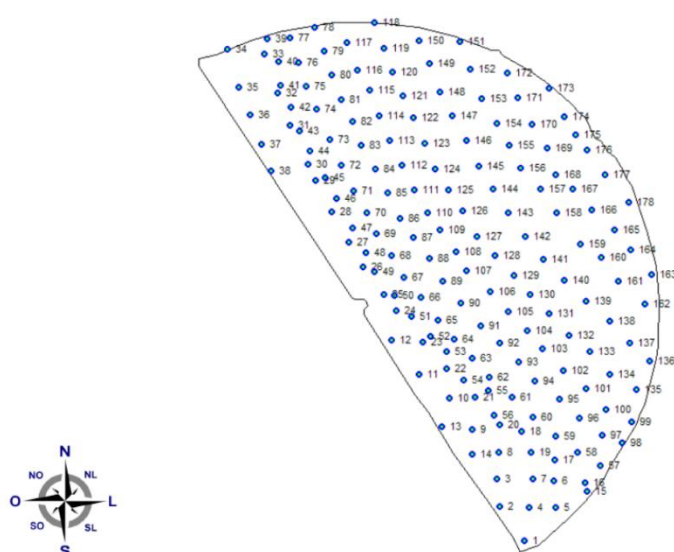
26

## 27 **Material e métodos:**

28 O estudo foi realizado na Fazenda Catuaí, situada no município de  
29 Presidente Olegário, MG, nas coordenadas geográficas 18°17'49'' S e  
30 46°32'52'' W. O clima da região, é do tipo mesotérmico com inverno seco  
31 (Cwa) (KOOPEN, 1948). A precipitação pluviométrica anual média é de  
32 1.100mm com chuvas concentradas no período de novembro a fevereiro  
33 Utilizou-se uma lavoura de café da cultivar Catuaí Vermelho IAC 144, plantada  
34 em 1998, em um Latossolo Vermelho distrófico (EMBRAPA, 2006), textura

1 argilo-arenosa, a 1013 m de altitude, no espaçamento de 4,0 m entre linhas e  
 2 0,5 m entre plantas, com 49 ha, plantada em círculo, irrigada sob Pivô Central,  
 3 com emissores do tipo LEPA (*Low Energy Pressurized Application*). A lavoura  
 4 apresentava 2,8 m de altura e produtividade média, encontrando-se em ano de  
 5 bialidade positiva, em torno de 60 sacas de café ben. ha<sup>-1</sup>.

6 Foram demarcados 178 pontos, a uma distância mínima de 25 x 100 m,  
 7 resultando em um gride amostral de 0,25 ha (Figura 1). Para o  
 8 georreferenciamento do experimento utilizou-se um par de receptores Trimble  
 9 R8 dotado de posicionamento relativo cinético em tempo real, RTK (*Real Time*  
 10 *Kinematic*) (Figura 1).



11 **Figura 1.** Detalhamento dos pontos utilizados na realização do trabalho.

12

13 Cada ponto amostral foi constituído por dez plantas de café em duas  
 14 linhas, sendo cinco plantas contínuas em cada lado da linha de plantio. Em  
 15 cada ponto amostral avaliou-se visualmente a produtividade e, posteriormente,  
 16 se obteve a produtividade real, por meio da derriça de dez plantas. A  
 17 produtividade real foi obtida coletando-se e mensurando-se o volume de café  
 18 derriçado, em recipiente graduado, das dez plantas. De posse dos dados  
 19 volumétricos converteu-se o valor em sacas de café ben. ha<sup>-1</sup> segundo  
 20 metodologia proposta por Reis et al. (2008).

21 Em cada um dos pontos amostrais realizou-se a mensuração da  
 22 produtividade do cafeeiro. Para tanto colocou-se sob a copa de 10 cafeeiros  
 23 em linha, dos dois lados das plantas, panos de derriça de 5,0 x 2,5 m.

1 Posteriormente iniciou-se a derrça manual dos frutos de café. Os mesmos  
2 foram colocados e medidos em recipiente graduado de 20 L. Uma amostra de  
3 0,5 L de cada ponto foi retirada, acomodada em sacolas teladas, secadas em  
4 terreiro de café durante quatro dias, até atingirem 11% de umidade.  
5 Posteriormente foram beneficiadas. Com base na quantidade de café em litros  
6 e na conversão de café da “roça” para café beneficiado, estimou-se a  
7 produtividade do cafeeiro em sacas de café ben. ha<sup>-1</sup> (REIS et al., 2008).

8 Para a determinação dos estádios de maturação dos frutos nos mesmos  
9 pontos coletou-se 0,5 L de frutos de café dos terços superior, médio e inferior  
10 das plantas, totalizando 1,5 L. As amostras foram subdivididas em café verde,  
11 cereja e seco e tiveram seus valores convertidos em porcentagem do total.

12 Os dados foram submetidos à análise geoestatística, com o objetivo de  
13 se definir o modelo de variabilidade espacial dos atributos envolvidos neste  
14 estudo obtendo-se, os semivariogramas e, posteriormente, os mapas de  
15 isolinhas, através da krigeagem.

16

### 17 **Análise exploratória dos dados espaciais**

18

19 Nesta pesquisa optou-se primeiramente por verificar o grau de  
20 associação espacial do conjunto de dados em etapa anterior à modelagem  
21 espacial dos mesmos. Para isso submeteu-se os dados à avaliação de auto  
22 correlação espacial utilizando o Índice de Moran Global (IMG) e em seguida, do  
23 padrão de agrupamento por meio do Índice de Moran Local (IML).

24 Utilizou-se o software ArcGIS versão 10.1 para a análise exploratória  
25 dos dados (ESRI, 2010):

26 Os parâmetros avaliados neste processo foram z-score, p-valor e do  
27 próprio índice de Moran. Apenas os parâmetros que foram identificados pelo  
28 Índice de Moran Global como sendo agrupados com significância estatística  
29 seguiram com as demais análises.

30 As demais análises compreenderam a auto correlação espacial das  
31 amostras, caracterizada pela dependência espacial detectada pelo  
32 semivariograma (ISAAKS e SRIVASTAVA, 1989), ao qual pode ser ajustado  
33 um modelo matemático, conforme descrito por McBratney e Webster (1986).

1 Após a obtenção do semivariograma de cada parâmetro escolheu-se o  
2 modelo matemático que melhor se ajustou segundo os critérios de avaliação.  
3 Os parâmetros de escolha foram a Classificação de Cambardella, que avalia  
4 como fraca, moderada e forte, a dependência espacial, e o coeficiente de  
5 determinação ( $R^2$ ) que avalia a assertividade do modelo, bem como os  
6 Critérios de Informação de Akayke (AIC) e Bayesiano (BIC) utilizados para a  
7 seleção de modelos.

8 Por último, e apenas para os dados que atenderam as premissas pré-  
9 estabelecidas, gerou-se os mapas de isolinhas, os quais permitem visualizar a  
10 variabilidade espacial de um determinado parâmetro (VIEIRA, 2000).

11

## 12 **Resultados e discussão:**

13 Apenas a produtividade e os estádios de maturação verde e seco  
14 apresentaram auto correlação espacial segundo o Índice Global de Moran, o  
15 que pode ser um indício de dependência espacial. Os frutos no estágio de  
16 maturação cereja não apresentaram auto correlação, o que significa terem sua  
17 distribuição aleatória (Tabela 1).

18 Os parâmetros ligados à planta do cafeeiro possuem elevada  
19 variabilidade espacial (FERRAZ et al. 2012), mais do que os ligados à  
20 fertilidade do solo (SANTOS et al., 2012), isto provavelmente por serem  
21 influenciados por maior número de fatores, notadamente os ambientais  
22 (MATIELLO et al., 2015), o que se agrava no café, por tratar-se de uma cultura  
23 perene.

24 Na bibliografia encontramos que parâmetros como resistência do solo à  
25 penetração, em cana de açúcar, também são extremamente variáveis. A  
26 variabilidade é tamanha que nem mesmo com uma malha amostral de 10 m  
27 entre pontos houve a possibilidade de verificar sua dependência espacial  
28 (SOUZA, et al., 2006). Quando o atributo apresenta alta variabilidade, nem  
29 mesmo grades mais adensados, com maior número de vizinhos próximos, são  
30 capazes de verificar sua dependência espacial. Isto é oriundo do próprio  
31 atributo, não podendo e não justificando o emprego da geoestatística  
32 (ANDRIOTTI et al., 2002) (Tabela 1).

33

34

1 **Tabela 1.** Índice de Moran para os parâmetros avaliados

| Parâmetro e respectivo raio de busca (m) | Índice de Moran | z-score | p-valor |
|------------------------------------------|-----------------|---------|---------|
| Produtividade 100                        | 0,1617          | 4,56    | 0,0     |
| Produtividade 200                        | 0,1072          | 5,84    | 0,0     |
| Estádio de maturação verde 100           | 0,0783          | 2,33    | 0,0198  |
| Estádio de maturação verde 200           | 0,0607          | 3,49    | 0,0004  |
| Estádio de maturação cereja 100          | -0,0052         | 0,0144  | 0,988   |
| Estádio de maturação cereja 200          | 0,0029          | 0,0455  | 0,648   |
| Estádio de maturação seco 100            | 0,0659          | 1,96    | 0,988   |
| Estádio de maturação seco 200            | 0,0456          | 2,66    | 0,0077  |

2

3 Para a produtividade do cafeeiro todos os modelos apresentaram grau  
4 de dependência espacial forte (CAMBARDELLA, 1994). Os modelos esférico e  
5 gaussiano obtiveram o maior valor de  $R^2$ , descartando o modelo exponencial. E  
6 apesar de bem semelhantes, o modelo gaussiano obteve o menor valor de  
7 AIC e BIC, sendo portanto o modelo escolhido para representar a dependência  
8 espacial deste parâmetro. Notou-se muitas proximidades entre os valores dos  
9 parâmetros determinadores da escolha do modelo ideal. Isto pode induzir à  
10 erros em sua escolha. Ressalta-se que cada modelo escolhido, apresenta um  
11 semivariograma e um mapa de isolinhas, com diferenças. Cada mapa  
12 apresentará uma recomendação para adubação, colheita e etc., e em alguns  
13 casos pode prejudicar o manejo da lavoura (Tabela 2)

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24



1 **Tabela 2.** Escolha de modelo empírico para produtividade do cafeeiro.

| Parâmetro                    | Esférico | Exponencial | Gaussiano |
|------------------------------|----------|-------------|-----------|
| Estimador                    | 56,01    | 57,14       | 56,06     |
| Pepita ( $C_0$ )             | 17,78    | 17,66       | 120,4     |
| Patamar ( $C_0+C_1$ )        | 521,9    | 535,2       | 419,2     |
| Alcance (a)                  | 72,62    | 32,46       | 37,57     |
| Alcance assintótico          | 72,61    | 97,24       | 65,03     |
| Contribuição                 | 504,12   | 517,54      | 298,8     |
| $^1[C_0/C_0+C_1] \times 100$ | 3,29     | 3,19        | 22,31     |
| $^2R^2$                      | 0,82     | 0,81        | 0,82      |
| $^3AIC$                      | 1575     | 1574        | 1574      |
| $^4BIC$                      | 1587     | 1586        | 1587      |

2  $^1[C_0/C_0+C_1] \times 100 =$  Índice de dependência espacial dado pela Classificação de  
3 Cambardella;  $^2R^2 =$  Coeficiente de determinação;  $^3AIC =$  Critério de informação  
4 de *Akaike*;  $^4BIC =$  Critério de informação *Bayesiana*.

5

6 A dependência espacial do estágio de maturação de frutos verde não foi  
7 verificada em nenhum dos modelos. Nos três modelos obteve-se o efeito pepita  
8 puro, onde a pepita tem valor de zero. O efeito pepita puro significa que um  
9 ponto que esteja mais próximo ao ponto amostral não tem necessariamente  
10 maior influência no valor estimado, o que se resume em desconsiderar a  
11 correlação espacial, ou seja, não ha vantagem em se utilizar a ferramenta da  
12 geoestatística para o estudo do parâmetro (ANDRIOTTI, 2002). Quando isto  
13 ocorre ha possibilidades do modelo escolhido apresentar inconsistências  
14 quanto aos mapas de isolinhas elaborados posteriormente.

15 Como alternativa, pode-se fazer a interpolação por métodos  
16 determinísticos mais simples, como por exemplo, o inverso da distância  
17 ponderada. Porém, nesta pesquisa optou-se por continuar a utilizar a  
18 Krigeagem. Dessa forma a classificação de Cambardella não é utilizada, pois  
19 não existe dependência espacial. Utiliza-se como definidor do modelo o  
20 coeficiente de determinação e em caso de empate utiliza-se os critérios de  
21 informação de *Akaike* e *Bayseana*.

1 Essa análise evidenciou que a presença de auto correlação espacial do  
 2 parâmetro não é garantia de haver dependência espacial do modelo. O modelo  
 3 escolhido foi o exponencial em função do maior valor de  $R^2$  (Tabela 3)

4

5 **Tabela 3.** Escolha de modelo empírico para estágio de maturação dos frutos  
 6 verde.

| Parâmetro                    | Esférico | Exponencial | Gaussiano |
|------------------------------|----------|-------------|-----------|
| Estimador                    | 8,98     | 8,94        | 8,99      |
| Pepita ( $C_0$ )             | 0,0      | 0,0         | 0,0       |
| Patamar ( $C_0+C_1$ )        | 54,95    | 54,93       | 55,51     |
| Alcance (a)                  | 58,26    | 20,23       | 27,92     |
| Alcance assintótico          | 58,26    | 60,61       | 48,31     |
| Contribuição                 | 54,95    | 54,93       | 55,51     |
| $^1[C_0/C_0+C_1] \times 100$ | 0,0      | 0,0         | 0,0       |
| $^2R^2$                      | 0,8      | 0,84        | 0,79      |
| $^3AIC$                      | 1187     | 1187        | 1186      |
| $^4BIC$                      | 1199     | 1200        | 1199      |

7  $^1[C_0/C_0+C_1] \times 100 =$  Índice de dependência espacial dado pela Classificação de  
 8 Cambardella;  $^2R^2 =$  Coeficiente de determinação;  $^3AIC =$  Critério de informação  
 9 de Akayke;  $^4BIC =$  Critério de informação *Bayesiana*.

10

11 Para o estágio de maturação de frutos secos ocorreu inconformidade  
 12 nos valores do modelo gaussiano, com pepita superior ao patamar, o que é um  
 13 dado inconsistente e impossibilita a validade do semivariograma, sendo  
 14 portanto excluído. Os modelos esféricos e exponencial apresentaram efeito  
 15 pepita puro, não apresentando dependência espacial. Novamente houve  
 16 proximidade entre os valores de coeficiente de determinação (0,88 e 0,89),  
 17 evidenciando a possibilidade de erros na escolha dos modelos. No caso o  
 18 modelo escolhido foi o exponencial (Tabela 4).

19

20

21

22

1 **Tabela 4.** Escolha de modelo empírico para estágio de maturação dos frutos  
2 seco.

| Parâmetro                    | Esférico | Exponencial | Gaussiano |
|------------------------------|----------|-------------|-----------|
| Estimador                    | 26,03    | 25,77       | 25,82     |
| Pepita ( $C_0$ )             | 0,0      | 0,0         | 230,1     |
| Patamar ( $C_0+C_1$ )        | 330,9    | 333,2       | 99,17     |
| Alcance (a)                  | 9,08     | 18,59       | 47,46     |
| Alcance assintótico          | 9,08     | 55,68       | 82,15     |
| Contribuição                 | 330,9    | 333,2       | -130,93   |
| $^1[C_0/C_0+C_1] \times 100$ | 0,0      | 0,0         | 69,88     |
| $^2R^2$                      | 0,88     | 0,89        | 0,88      |
| $^3AIC$                      | 1501     | 1498        | 1498      |
| $^4BIC$                      | 1510     | 1507        | 1510      |

3  $^1[C_0/C_0+C_1] \times 100 =$  Índice de dependência espacial dado pela Classificação de  
4 Cambardella;  $^2R^2 =$  Coeficiente de determinação;  $^3AIC =$  Critério de informação  
5 de Akayke;  $^4BIC =$  Critério de informação *Bayesiana*.

6

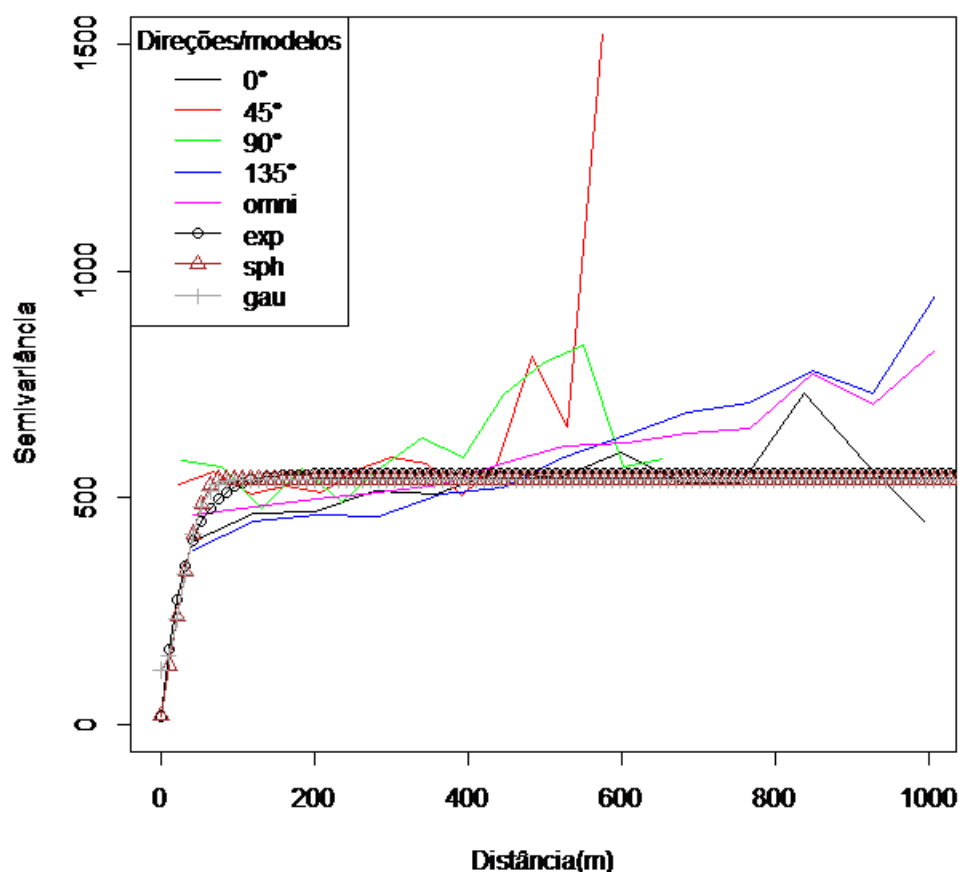
7 Escolheu-se o modelo gaussiano uma vez e duas vezes o modelo  
8 exponencial. Notou-se pequenas diferenças entre os parâmetros de escolha  
9 dos modelos, ressaltando a importância da adoção de critérios para a escolha  
10 dos modelos.

11 O alcance da dependência espacial é um atributo importante no estudo  
12 dos semivariogramas, pois representa a distância máxima em que os pontos  
13 amostrais estão correlacionados espacialmente entre si (CHAVES e FARIAS,  
14 2009), ou seja, os pontos localizados numa área de raio igual ou inferior ao  
15 alcance do parâmetro são mais homogêneos. Os pontos localizados fora deste  
16 raio são bem distintos e não exercem entre si dependência espacial. O alcance  
17 para produtividade foi de 37,57 m. Para os demais parâmetros não houve  
18 dependência espacial, não podendo tomar tais conclusões. O valor foi muito  
19 baixo evidenciando a elevada variabilidade da produtividade da cultura.

20 Na bibliografia encontram-se valores de alcances maiores do que o do  
21 presente estudo para produtividade do cafeeiro (212,26 m) (FERRAZ et al.,  
22 2012), mesmo com gride menos adensado (gride de 0,4 ha), com maior

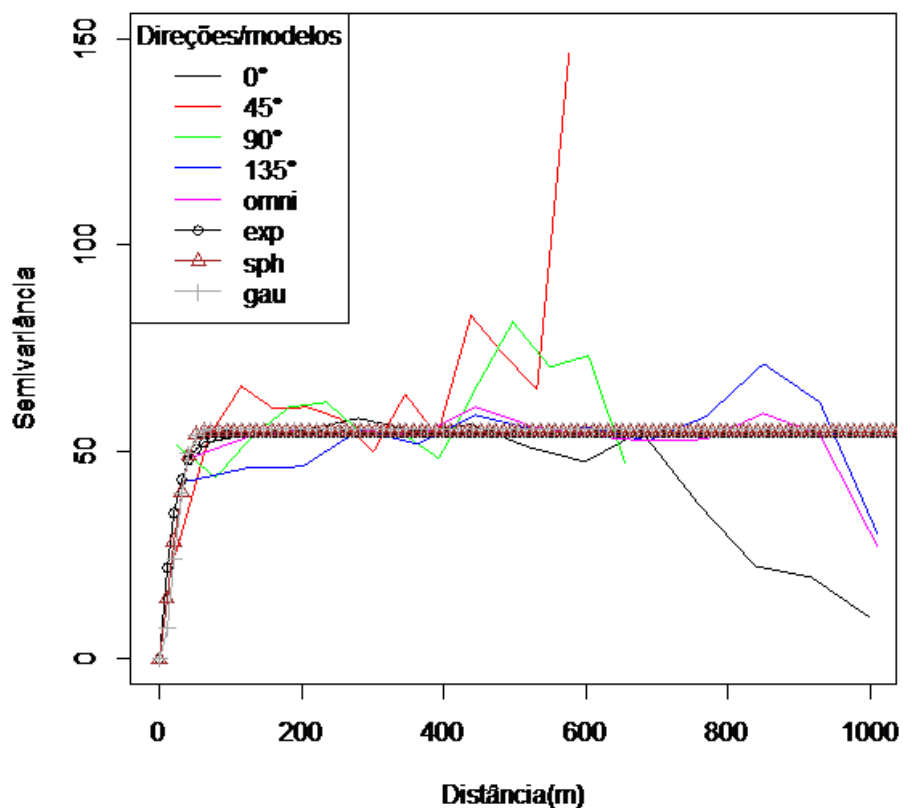
1 número de vizinhos próximos. Em outro trabalho, Silva et al., (2007) verificaram  
 2 valores também superiores (60,43 m), só que utilizando gride mais adensados  
 3 (gride de 0,06 ha). Dessa forma leva-se a crer que a determinação da  
 4 dependência espacial não esta relacionada somente ao gride amostral  
 5 empregado na avaliação e sim a variabilidade da própria lavoura devido às  
 6 condições da planta, solo e clima, não podendo-se estabelecer regras ou  
 7 recomendações de qual gride deve ser utilizado para se fazer Agricultura de  
 8 Precisão.

9 Os semivariogramas da produtividade do cafeeiro para as direções 0,  
 10 45, 90, 125° e omnidirecional apresentou comportamento muito semelhante  
 11 até a distância de aproximadamente 400 m, evidenciando comportamento  
 12 isotrópico da variável. Após isto, a direção 45° se distanciou das demais  
 13 (Figura 1).



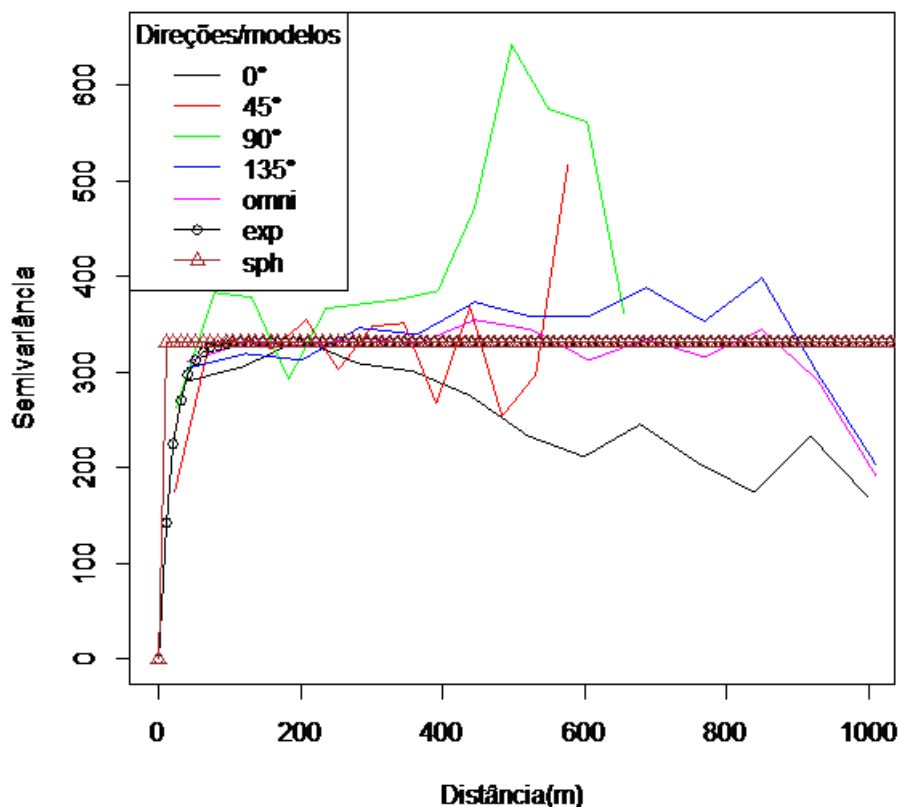
**Figura 1.** Semivariograma para produtividade do cafeeiro

1 Para os frutos verde o comportamento omnidirecional, isotrópico,  
 2 também foi verificado, desta vez até aproximadamente 500 m. Após isto, o  
 3 direcionamento 45° se distanciou dos demais (Figura 2).



**Figura 2.** Semivariograma para estágio de maturação dos frutos verde

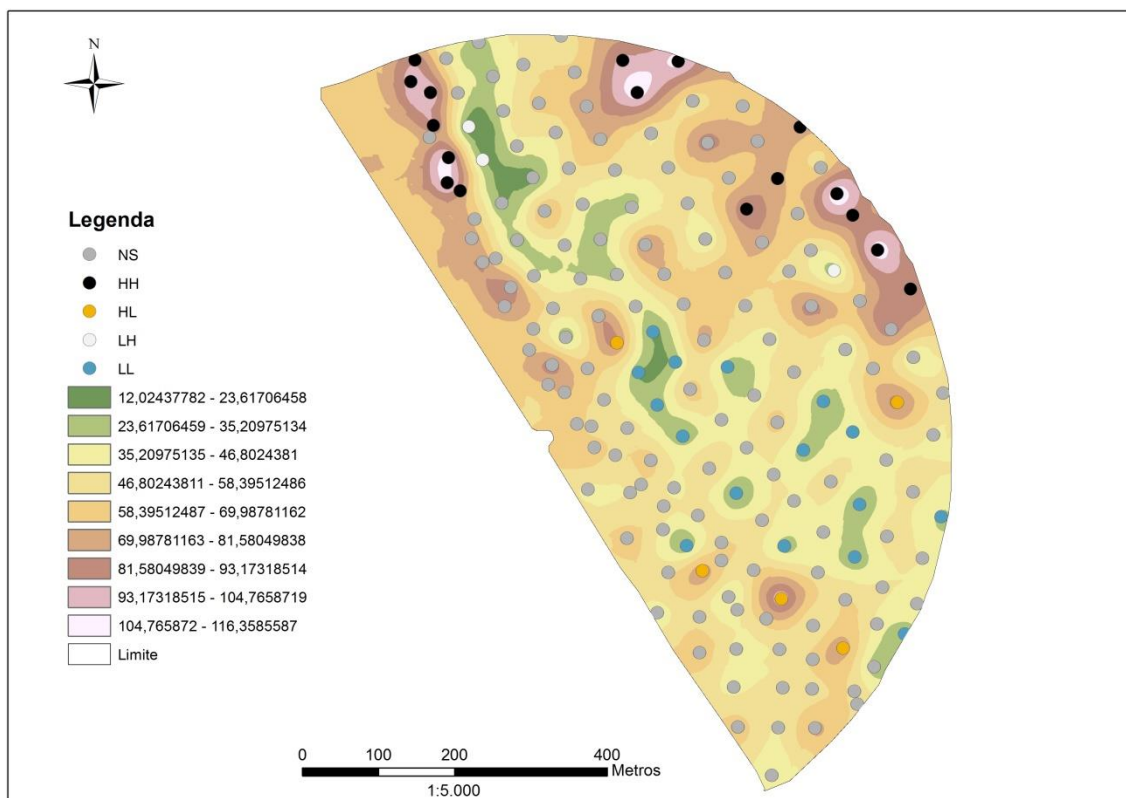
4  
 5 Para os frutos secos houve comportamento omnidirecional, isotrópico,  
 6 até 400 m, após isto as demais direções se divergiram acentuadamente (Figura  
 7 3).



**Figura 3.** Semivariograma para estágio de maturação dos frutos seco

1

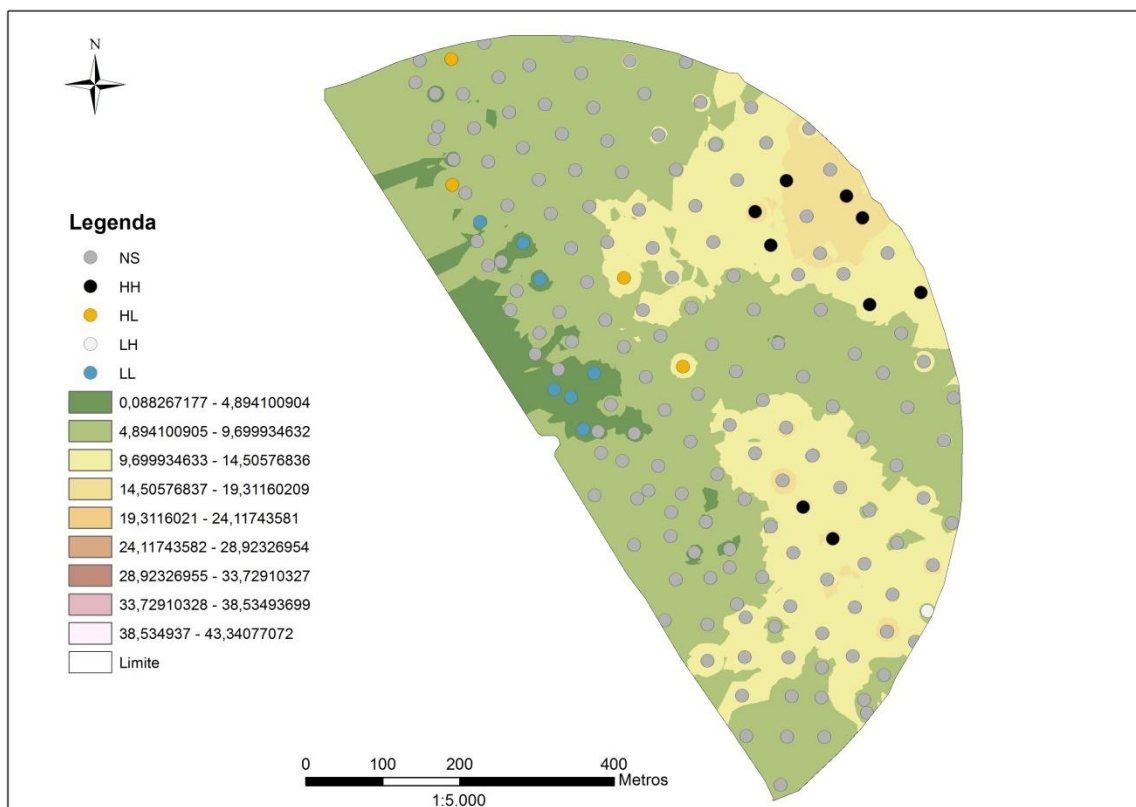
2 Notou-se distribuição aleatória da produtividade do cafeeiro na área  
 3 estudada. Houve uma maior concentração de produtividade de 35,0 a 69,0  
 4 sacas de café ben. ha<sup>-1</sup> em toda a área. Ocorreram zonas de maiores  
 5 produtividades (acima de 81,0 sacas de café ben. ha<sup>-1</sup>) ao norte e ao nordeste  
 6 das áreas. Próximas às áreas de maior produtividade encontramos áreas de  
 7 baixa produtividade 12,0 a 35,0 sacas de café ben. ha<sup>-1</sup>, evidenciando a  
 8 elevada variabilidade deste parâmetro (Figura 4).



**Figura 4.** Mapa da distribuição espacial da produtividade do cafeeiro

1

2 Para os frutos verdes, houve predomínio de sua baixa ocorrência (0,08 a  
 3 9,69%), e em partes de 9,69 a 14,5%, no entanto também considerada baixa  
 4 quantidade. Isso ocorreu por tratar-se de uma região cafeeira quente, e o  
 5 estágio de maturação dos frutos estar mais avançado na época de realização  
 6 do estudo (MATIELLO et al., 2015) (Figura 5).

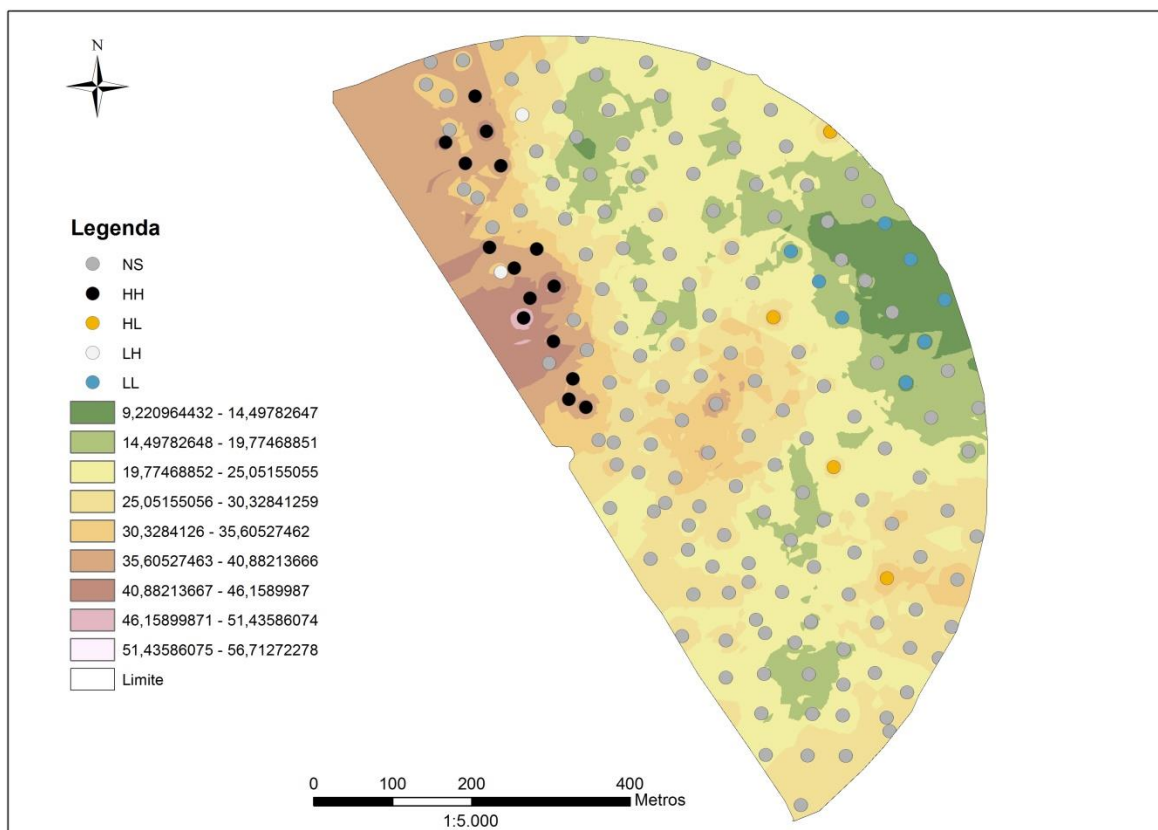


**Figura 5.** Mapa da distribuição espacial do estágio de maturação dos frutos verde

1

2 Para os frutos secos o predomínio foi de 19,77 a 35,6%, valor  
 3 considerado moderado. No entanto houveram zonas de elevada quantidade de  
 4 frutos secos, ao norte e noroeste no mapa, com quantidades de 40,8 a 51,4%.  
 5 Também houveram áreas com menor quantidade, apenas 9,22 a 19,77%. Isto  
 6 significa que no momento do presente estudo havia a necessidade de realizar a  
 7 colheita do café, visto a baixa quantidade de frutos verdes e moderada á  
 8 elevada quantidade de frutos secos (MATIELLO et al., 2015) (Figura 6).





**Figura 6.** Mapa da distribuição espacial do estágio de maturação dos frutos seco

1

2 Foi possível, portanto, representar a produtividade e os estádios de  
 3 maturação dos frutos verdes e secos através dos mapas de isolinhas. Além  
 4 disto o presente trabalho expõe a importância da adoção de critérios para a  
 5 escolha dos modelos empíricos do semivariograma, visto a proximidade entre  
 6 os valores de seus parâmetros definidores, atendo o objetivo proposto.

7

### 8 **Conclusões:**

9 1 – Haver auto correlação em determinado atributo estudado não é  
 10 garantia de haver dependência espacial, descartando tal hipótese.

11 2 – Os valores dos critérios que escolhem os modelos empíricos de  
 12 semivariogramas podem ser muito próximos, salientando a importância da  
 13 capacitação para a tomada de decisão quanto à escolha do modelo, visto que  
 14 cada modelo gera mapas de isolinhas distintos, influenciando nas  
 15 recomendações.

16

1 **Referências:**

2

3 CAMBARDELLA, C. A. et al. Field scale variability of soil properties in Central  
4 Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58,  
5 n. 5, p. 1501-1511, May 1994.

6

7 CHAVES, L. H. G.; FARIAS, C. H. A. Variabilidade espacial de cobre e  
8 manganês em Argissolo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Ciência**  
9 **Agrônômica**, v.40, p.211-218, 2009.

10

11 DAMATTA FM et al (2007) **Ecophysiology of coffee growth and production.**  
12 **Braz J Plant Physiol.** 19(4):485-510.

13

14 ESRI – Environmental Systems Research Institute. **Help manual** (ArcGIS  
15 version). [Software]. ESRI 2010.

16

17 FERRAZ, G.A.S.; SILVA, F.M.; COSTA, P.A.N.; SILVA, A.C.; CARVALHO, F.M  
18 . Agricultura de precisão no estudo de atributos químicos do solo e da  
19 produtividade de lavoura cafeeira. **Coffee Science**, v.7, n.1, p.59-67, 2012.

20

21 ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied**  
22 **geostatistics**. New York: Oxford University, 1989. 561 p.

23

24 KÖEPPEN, W. **Climatologia: con um estúdio de los climas de la Tierra.**  
25 México: Fondo de Cultura Economica, 1948. 478p.

26

27 MATIELLO, J.B.; SANTINATO, R.; ALMEIDA, S.R.; GARCIA, A.W.R. **Cultura**  
28 **de café no Brasil: Manual de recomendações**: ed. 2015/ editor Futurama,  
29 585 p.

30

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

34

- 1 PEREIRA SO, BARTHOLO GF, BALIZA DP, SOGREIRA FM, GUIMARÃES RJ  
2 (2011) Productivity and coffee biannuality depending on the crop spacing.  
3 **Pesqui Agropecuária Bras.** 46(2):152-160.  
4
- 5 REIS, P.R.; TOLEDO, M.A.; SILVA, F.M.A. Cyazypyr Selectivity for Three  
6 Species of Phytoseiid for Coffee and Other Relevant Agricultural Crops in  
7 Brazil. **Agricultural Sciences**, v.5, 298-303, 2014..  
8 [dx.doi.org/10.4236/as.2014.54032](https://doi.org/10.4236/as.2014.54032)  
9
- 10 REIS, T.H.P.; FIGUEIREDO, F.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; BOTREL, P.P.;  
11 RODRIGUES, C.R. Efeito da associação silício líquido solúvel com fungicida no  
12 controle fitossanitário do cafeeiro. **Coffee Science**, v.3., n.1, p. 76-80, 2008  
13
- 14 REIS, T.H.P.; SOARES, T.L.; GUIMARÃES, GONTIJO, P.T. Informações úteis  
15 no planejamento e no gerenciamento da atividade cafeeira. **Informe**  
16 **Agropecuário**, Belo Horizonte, v.29, n. 247, p. 112-27, 2008.  
17
- 18 SANTOS, E.O.J.; GONTIJO, I.; NICOLE, L.R. Variabilidade espacial de ca,  
19 magnésio, fósforo, potássio no solo e produtividade da pimenta-do-reino.  
20 **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.10, p.1062-  
21 1068, 2012.  
22
- 23 SANTINATO, F.; RUAS, R.A.A.; SILVA, R.P.; CARVALHO FILHO, A.;  
24 SANTINATO, R. Número de operações mecanizadas na colheita do café.  
25 **Ciência Rural**, v.45, n.10, p.1809-1814, 2015.  
26
- 27 SILVA, F.M.; SOUZA, Z.M.; FIGUEIREDO, C.A.P.; JÚNIOR, J.M.; MACHADO,  
28 R.V. Variabilidade espacial de atributos químicos e de produtividade da cultura  
29 do café. **Ciência Rural**, v.37, n.2, p. 401-07, 2007.  
30
- 31 SILVA, F.M.; SOUZA, Z.M.; FIGUEIREDO, C.A.P.; MARQUES JÚNIOR, J.;  
32 MACHADO, R.V. Variabilidade espacial de atributos químicos e de  
33 produtividade da cultura do café. **Ciência Rural**, v.37, n.2, p.401-407, 2007.  
34

- 1 SOUZA, Z.M.; CAMPOS, M.C.C.; CAVALCANTE, I.H.L.; JÚNIOR, J.M.;  
2 CESARIN, L.G.; SOUZA, S.R. Dependência espacial da resistência do solo à  
3 penetração e do teor de água do solo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar,  
4 **Ciência Rural**, v.36, n.1, p.128-134, 2006.
- 5
- 6 VALADARES SV, NEVES JCL, ROSA GNGP, MARTINEZ HEP, VENEGAS  
7 VHA, LIMA PC (2013) Productivity and biennial production of dense coffee  
8 plantations under different doses of N and K. **Pesqui Agropecuária Bras**  
9 48(3):296-303.
- 10
- 11 VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In:  
12 NOVAIS, R. F. de; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.). **Tópicos**  
13 **em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo,  
14 2000. v. 1, p. 1-54.
- 15
- 16 WANG, S.; LUO, K.; LIU, Y. Spatio-temporal distribution of human lifespan in  
17 China. **Scientific Reports**, 5:13844, 2015. DOI: 10.1038/srep13844.
- 18

1 **CAPÍTULO 6 – Análise da dependência espacial da produtividade do**  
2 **cafeeiro comparando-se lavouras e grides**

3

4 **CHAPTER 6 - Analysis of spatial dependence of coffee yields comparing**  
5 **crops and grids**

6

7 **RESUMO:** Um dos pontos fundamentais para o uso da Agricultura de Precisão é  
8 a definição do gride amostral. Teoricamente grides mais adensados, que  
9 apresentam maior número de vizinhos próximos, facilitam a identificação de  
10 dependência espacial. No entanto, pode ser que a utilização de grides mais  
11 adensados não seja garantia de verificação da dependência, pois ela é  
12 condicionada à variabilidade característica de cada parâmetro, em cada área  
13 em que se estuda, de forma que não se pode afirmar qual gride deva ser  
14 utilizado em cada situação. Diante disto estudou-se neste trabalho a  
15 variabilidade espacial de três lavouras de café, utilizando dois grides amostrais.  
16 As lavouras utilizadas tinham 49,0, 50,0 e 30,0 ha, com grides de 0,25 e 0,5 ha,  
17 e idades variadas. Utilizou-se metodologia de Agricultura de Precisão para  
18 identificar as dependências espaciais, com avaliação preliminar da auto  
19 correlação espacial. Obteve-se que a utilização de grides mais adensados não  
20 é garantia de verificação da dependência espacial, esta é condicionada pela  
21 variabilidade intrínseca da própria lavoura. A segmentação das áreas e  
22 realização de interpolações em sub-áreas pode ser uma alternativa para  
23 minizar as variabilidades, possibilitando a verificação de dependência espacial.

24

25 **Palavras-chave:** mapas de isolinhas, café, Agricultura de Precisão

26

27 **ABSTRACT:** One of the fundamental points for the use of Precision Agriculture  
28 is the definition of sample grids. Theoretically, denser grids, which have more  
29 neighboring neighbors, facilitate the identification of spatial dependence.  
30 However, it may be that the use of thicker grids is not a guarantee of  
31 dependence verification, since it is conditioned to the characteristic variability of  
32 each parameter, in each area in which it is studied, so that it can not be stated  
33 which grid should be used in each situation. In this work the spatial variability of  
34 three coffee plantations was studied, using two sample grids. The crops used

1 had 49.0, 50.0 and 30.0 ha, with grids of 0.25 and 0.5 ha, and varied ages.  
2 Precision Agriculture methodology was used to identify spatial dependencies,  
3 with preliminary evaluation of spatial autocorrelation. It was obtained that the  
4 use of denser grids is not a guarantee of verification of spatial dependence, this  
5 is conditioned by the intrinsic variability of the crop itself.

6

7 **Key-words:** isolines maps, coffee, Precision Farming

8

### 9 **Introdução:**

10 Na Agricultura de Precisão (A.P) tem-se percebido que nem todos os  
11 atributos avaliados, sejam do solo ou da própria planta, apresentam  
12 dependência espacial. Isso ocorre quando a distribuição dos dados é aleatória  
13 e não agrupada. Essa distribuição é verificada através de testes como o Índice  
14 de Moran Global (IMG) (WANG, 2015). Souza et al. (2006) por exemplo não  
15 conseguiram observar dependência espacial na resistência do solo à  
16 penetração no cultivo de cana-de-açúcar, nem mesmo com malha regular de  
17 amostragem de 10 m. Quanto maior é a variabilidade do parâmetro, e quando  
18 ele não segue agrupamentos espaciais, menor é a chance de haver  
19 dependência espacial.

20 Na tentativa de se verificar a dependência espacial de parâmetros de  
21 alta variabilidade pesquisas tem adensado cada vez mais os grides, elevado o  
22 número de vizinhos próximos e aumentado o número de amostras avaliadas.  
23 No entanto, não é apenas o gride que afeta a dependência espacial  
24 (GUIMARÃES, 2013). O adensamento do gride, eleva o número de avaliações  
25 e/ou amostragens, onerando o produtor, as vezes desnecessariamente e não  
26 garante a verificação da dependência espacial.

27 Nos estudos de A.P na cultura do café, são utilizados grides de 1,0, 0,5,  
28 0,4 e até 0,06 ha, obtendo sucesso na maioria dos atributos estudados (SILVA  
29 et al., 2007; FERRAZ et al., 2012). No entanto, não foi possível observar uma  
30 correlação entre grides mais “precisos”, com maior número de vizinhos  
31 próximos com aumento do alcance do parâmetro.

32 Tal fato sugere que a configuração do semivariograma e a orientação  
33 para a utilização da malha amostral não segue normas e esta ligada aos

1 próprios parâmetros da planta e do solo que sofrerem influência mais ou menos  
2 acentuadas em determinadas localidades (MATIELLO et al., 2015).

3 O presente estudo objetivou analisar a dependência espacial da  
4 produtividade do cafeeiro, em três lavouras de café, com dois grides amostrais,  
5 afim de, verificar tais relações.

6

### 7 **Material e métodos:**

8 Foram estudadas três lavouras de café na região do Cerrado Mineiro  
9 com coincidências entre as cultivares, Catuaí Vermelho IAC 144, espaçamento,  
10 4,0 m entre linhas e 0,5 m entre plantas (5.000 plantas ha<sup>-1</sup>), solo Latossolo  
11 Vermelho distrófico (EMBRAPA, 2006), textura areno-argilosa e todas dentro  
12 do mesmo clima, do tipo mesotérmico com inverno seco (Cwa) (KOOPEN,  
13 1948). A precipitação pluviométrica anual média é de 1.100 mm com chuvas  
14 concentradas no período de novembro a fevereiro.

15 A primeira área (A) foi na Fazenda Catuaí, situada no município de  
16 Presidente Olegário, MG, nas coordenadas geográficas são 18°17'49'' S e  
17 46°32'52'' W. Utilizou-se uma lavoura de café com 16,5 anos de idade, a 1013  
18 m de altitude, em círculo, irrigada sob Pivô Central, com emissores do tipo  
19 LEPA (*Low Energy Pressurized Application*). A lavoura apresentava 2,8 m de  
20 altura e produtividade média, encontrando-se em ano de bienalidade positiva,  
21 em torno de 60,0 sacas de café ben. ha<sup>-1</sup>. Utilizou-se a área de 49 ha (490.000  
22 m<sup>2</sup>) com 178 pontos, amostrados a uma distância mínima de 25 m (gride de  
23 0,25 ha).

24 A segunda área (B) foi uma lavoura de café, com 9,5 anos de idade, em  
25 regime de irrigação por Pivô central e emissores do tipo LEPA (*Low Energy*  
26 *Pressurized Application*), no município de Presidente Olegário, na Fazenda  
27 Café, com produtividade média de 50,0 sacas de café ben. ha<sup>-1</sup>. Utilizou-se  
28 toda a lavoura plantada no Pivô de café, de 50 ha (500.000 m<sup>2</sup>) com 100  
29 pontos, amostrados a uma distância mínima de 50 m (gride de 0,5 ha).

30 A terceira área (C) foi escolhida no Campo Experimental Francisco  
31 Pinheiro Campos, pertencente à Fazenda AUMA, situada no município de  
32 Patos de Minas, MG. Utilizou-se uma lavoura plantada em linha e irrigada via  
33 pivô circular e irrigação em área total, com 2,5 anos de idade. A lavoura  
34 apresentava 2,5 ano de idade e produtividade estimada de 40,0 sacas de café

1 ben. ha<sup>-1</sup>. Inicialmente instalou-se na lavoura de 30,0 ha um gride amostral de  
2 0,5 ha, com malhas regulares de 50 m, totalizando 60 pontos.

3 Para o georreferenciamento do experimento utilizou-se um par de  
4 receptores Trimble R8 dotado de posicionamento relativo cinético em tempo  
5 real, RTK (Real Time Kinematic). Cada ponto amostral foi constituído por dez  
6 plantas de café em duas linhas, sendo cinco plantas contínuas em cada lado  
7 da linha de plantio. Em cada ponto amostral avaliou-se visualmente a  
8 produtividade e, posteriormente, se obteve a produtividade real, por meio da  
9 derriça de dez plantas. A produtividade real foi obtida coletando-se e  
10 mensurando-se o volume de café derriçado, em recipiente graduado, das dez  
11 plantas. De posse dos dados volumétricos converteu-se o valor em sacas de  
12 café ben. ha<sup>-1</sup> segundo metodologia proposta por Reis et al. (2008).

13 Os dados foram submetidos à análise geoestatística, com o objetivo de  
14 se definir o modelo de variabilidade espacial dos atributos do solo envolvidos  
15 neste estudo obtendo-se, os semivariogramas e, posteriormente, os mapas de  
16 isolinhas, através da krigeagem.

17

### 18 **Análise exploratória dos dados espaciais**

19

20 Nesta pesquisa optou-se primeiramente por verificar o grau de  
21 associação espacial do conjunto de dados em etapa anterior à modelagem  
22 espacial dos mesmos. Para isso submeteu-se os dados à avaliação de auto  
23 correlação espacial utilizando o Índice de Moran Global (IMG) e em seguida, do  
24 padrão de agrupamento por meio do Índice de Moran Local (IML).

25 Utilizou-se o software ArcGIS versão 10.1 para a análise exploratória  
26 dos dados (ESRI, 2010):

27 Os parâmetros avaliados neste processo foram z-score, p-valor e do  
28 próprio índice de Moran. Apenas os parâmetros que foram identificados pelo  
29 Índice de Moran Global como sendo agrupados com significância estatística  
30 seguiram com as demais análises.

31 As demais análises compreenderam a auto correlação espacial das  
32 amostras, caracterizada pela dependência espacial detectada pelo  
33 semivariograma (ISAACS e SRIVASTAVA, 1989), ao qual pode ser ajustado  
34 um modelo matemático, conforme descrito por McBratney e Webster (1986).



1 Após a obtenção do semivariograma de cada parâmetro escolheu-se o  
 2 modelo matemático que melhor se ajustou segundo os critérios de avaliação.  
 3 Os parâmetros de escolha foram a Classificação de Cambardella, que avalia  
 4 como fraca, moderada e forte, a dependência espacial, e o coeficiente de  
 5 determinação ( $R^2$ ) que avalia a assertividade do modelo, bem como os  
 6 Critérios de Informação de Akayke (AIC) e Bayesiano (BIC) utilizados para a  
 7 seleção de modelos.

8 Por último, e apenas para os dados que atenderam as premissas pré-  
 9 estabelecidas, gerou-se os mapas de isolinhas, os quais permitem visualizar a  
 10 variabilidade espacial de um determinado parâmetro (VIEIRA, 2000).

## 12 Resultados e discussão:

13 As produtividades das lavouras A e B apresentaram auto correlação  
 14 espacial. O mesmo não foi verificado para a lavoura C. Apresentar auto  
 15 correlação, determinada pelo Índice Global de Moran significa que o conjunto  
 16 de dados é distribuído em grupamentos e não aleatoriamente, como verificado  
 17 na lavoura C. Na lavoura C, as plantas tem apenas 2,5 anos, e por conta disto,  
 18 elevada variabilidade, devido a ainda não terem o efeito da bienalidade  
 19 (PEREIRA, et al., 2011; VALADARES et al., 2013), que ao longo do tempo  
 20 “corrige” as variabilidades das produtividades decorrentes de replantas, que  
 21 são realizadas nas lavouras de café a uma taxa média de 10% (MATIELLO et  
 22 al. 2015) (Tabela 1).

24 **Tabela 1.** Índice de Moran para os parâmetros avaliados

| Lavoura             | raio de busca | Índice de Moran | z-score | p-valor |
|---------------------|---------------|-----------------|---------|---------|
| A, gride de 0,25 ha | 100           | 0,1617          | 4,56    | 0,0     |
| A, gride de 0,25 ha | 200           | 0,1072          | 5,84    | 0,0     |
| B, gride de 0,5 ha  | 150           | 0,2062          | 4,87    | 0,0     |
| B, gride de 0,5 ha  | 300           | 0,1385          | 6,62    | 0,0     |
| C, gride de 0,5 ha  | 300           | -0,0131         | 0,15    | 0,8788  |

25  
 26 Para produtividade da lavoura A o grau de dependência espacial foi forte  
 27 nos três modelos estudados. Os maiores valores de  $R^2$  foram obtidos com os  
 28 modelos esférico e gaussiano, sendo iguais. Dessa forma, partiu-se para o

1 critério de informação de *Akaiake* e *Bayseana*, onde o gaussiano, obteve o  
 2 menor valor, portanto sendo o escolhido. Notou-se valores dos parâmetros  
 3 definidores da escolha dos modelos muito próximos, exigindo maior  
 4 capacitação para a escolha do modelo ideal que represente o semivariograma  
 5 da produtividade (Tabela 2). Erros, na escolha do modelo podem ocasionar em  
 6 mapas de isolinhas divergidos, levando a erros nas recomendações.

7

8 **Tabela 2.** Escolha de modelo empírico para produtividade do cafeeiro na  
 9 Lavoura A com gride de 0,25 ha

| Parâmetro                                                                   | Esférico | Exponencial | Gaussiano |
|-----------------------------------------------------------------------------|----------|-------------|-----------|
| Estimador                                                                   | 56,01    | 57,14       | 56,06     |
| Pepita (C <sub>0</sub> )                                                    | 17,78    | 17,66       | 120,4     |
| Patamar (C <sub>0</sub> +C <sub>1</sub> )                                   | 521,9    | 535,2       | 419,2     |
| Alcance (a)                                                                 | 72,62    | 32,46       | 37,57     |
| Alcance<br>assintótico                                                      | 72,61    | 97,24       | 65,03     |
| Contribuição                                                                | 504,12   | 517,54      | 298,8     |
| <sup>1</sup> [C <sub>0</sub> /C <sub>0</sub> +C <sub>1</sub> ] $\times$ 100 | 3,29     | 3,19        | 22,31     |
| <sup>2</sup> R <sup>2</sup>                                                 | 0,82     | 0,81        | 0,82      |
| <sup>3</sup> AIC                                                            | 1575     | 1574        | 1574      |
| <sup>4</sup> BIC                                                            | 1587     | 1586        | 1587      |

10 <sup>1</sup>[C<sub>0</sub>/C<sub>0</sub>+C<sub>1</sub>] $\times$ 100 = Índice de dependência espacial dado pela Classificação de  
 11 Cambardella; <sup>2</sup>VC = Coeficiente de determinação do teste de validação  
 12 cruzada; <sup>3</sup>R<sup>2</sup> = Coeficiente de determinação; <sup>4</sup>AIC = Critério de informação de  
 13 *Akaike*; <sup>5</sup>BIC = Critério de informação *Bayesiana*.

14

15 Para a produtividade da lavoura B o grau de dependência espacial foi  
 16 moderado nos modelos esférico e exponencial. No modelo gaussiano  
 17 ocorreram inconsistências nos parâmetros determinadores do semivariograma,  
 18 onde o pepita foi superior ao patamar, descartando o modelo. O modelo  
 19 escolhido foi o exponencial por apresentar maior coeficiente de determinação  
 20 (Tabela 3).

21

1

2 **Tabela 3.** Escolha de modelo empírico para produtividade do cafeeiro com  
3 gride de 0,5 ha

| Parâmetro                    | Esférico | Exponencial | Gaussiano |
|------------------------------|----------|-------------|-----------|
| Estimador                    | 40,78    | 40,39       | 40,74     |
| Pepita ( $C_0$ )             | 81,27    | 71,01       | 96,61     |
| Patamar ( $C_0+C_1$ )        | 93,97    | 115,7       | 83,85     |
| Alcance (a)                  | 378,8    | 183,9       | 196,7     |
| Alcance<br>assintótico       | 378,83   | 550,79      | 340,51    |
| Contribuição                 | 12,7     | 44,69       | -12,76    |
| $^1[C_0/C_0+C_1] \times 100$ | 46,38    | 38,03       | 53,54     |
| $^2R^2$                      | 0,61     | 0,63        | 0,6       |
| $^3AIC$                      | 771      | 773         | 770       |
| $^4BIC$                      | 781,3    | 783,4       | 780,7     |

4  $^1[C_0/C_0+C_1] \times 100 =$  Índice de dependência espacial dado pela Classificação de  
5 Cambardella;  $^2R^2 =$  Coeficiente de determinação;  $^3AIC =$  Critério de informação  
6 de Akayke;  $^4BIC =$  Critério de informação *Bayesiana*.

7

8 Com relação aos semivariogramas o alcance foi de 37,57 e 183,9 m  
9 para as produtividades das lavouras A e B, respectivamente. Ou seja, para o  
10 gride mais adensado, com maior número de vizinhos próximos, a distância  
11 máxima que um ponto exerce influência sobre o outro foi de apenas 37,57,  
12 contra o quádruplo da distância promovida pelo gride menos adensado.

13 Com gride de 0,4 ha em lavoura de 22 ha, totalizando 54 pontos, Ferraz  
14 et al. (2012) encontrou alcance de 212,26 m, enquanto que Silva et al. (2007)  
15 encontrou alcance de 60,43 m, para gride super-adensado, de 0,06 ha em  
16 lavoura de 4,2 ha, totalizando 68 pontos. Ou seja, o que condiciona a  
17 dependência espacial, e sua influência sobre o ponto próximo, não é o  
18 tamanho de seu gride, nem mesmo o número de vizinhos próximos, e sim a  
19 variabilidade intrínseca do próprio parâmetro. A amplitude de produtividade da  
20 lavoura A foi muito maior que da lavoura B, o que contribui para a variabilidade,  
21 fato abordado mais adiante.

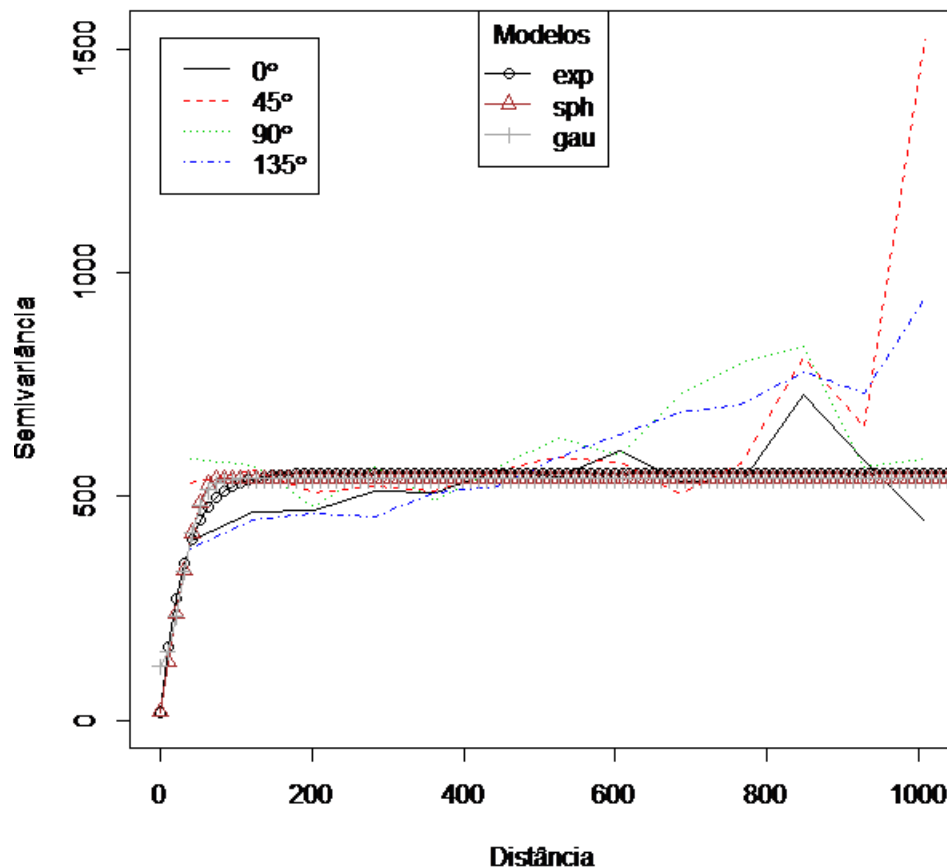
1 O alcance da dependência espacial é um atributo importante no estudo  
2 dos semivariogramas, pois representa a distância máxima em que os pontos  
3 amostrais estão correlacionados espacialmente entre si (CHAVES e FARIAS,  
4 2009), ou seja, os pontos localizados numa área de raio igual ou inferior ao  
5 alcance do parâmetro são mais homogêneos. Os pontos localizados fora deste  
6 raio são bem distintos e não exercem entre si dependência espacial.

7 Esta elevada variação de resultados entre os grides amostrais nos leva a  
8 pensar que existem alguns casos que a variabilidade espacial da produtividade  
9 do café é tamanha que não se pode ao certo determinar qual gride utilizar. O  
10 mesmo ocorreu para Souza et al. (2006) que não conseguiram observar  
11 dependência espacial na resistência do solo à penetração no cultivo de cana-  
12 de-açúcar, nem mesmo com malha regular de amostragem de 10 m. Quanto  
13 maior é a variabilidade do parâmetro, e quando ele não segue agrupamentos  
14 espaciais, menor é a chance de haver dependência espacial (GUIMARÃES, et  
15 al. 2013).

16 Dessa forma, ha chances de se obter erros nos mapas de isolinhas e  
17 conseqüentemente nas interpolações. Dessa forma, elevar o número de  
18 amostras, número de vizinhos próximos ou utilizar grides mais adensados, não  
19 garante a verificação da dependência espacial, além de elevar  
20 demasiadamente o tempo e o custo operacional da Agricultura de Precisão.  
21 Sugere-se a adoção de novas técnicas de amostragem para a Agricultura de  
22 Precisão, como a segmentação das áreas amostradas, com a finalidade de  
23 agrupar áreas com valores muito altos de áreas com valores baixos, reduzindo  
24 a variabilidade e permitindo a identificação da dependência espacial em cada  
25 sub-área.

26 O semivariograma da produtividade do cafeeiro para a lavoura A para as  
27 direções 0, 45, 90, 135° e omnidirecional apresentou comportamento muito  
28 semelhante até a distância de 600 m, evidenciado comportamento isotrópico.  
29 Após isto as direções se divergiram (Figura 1).

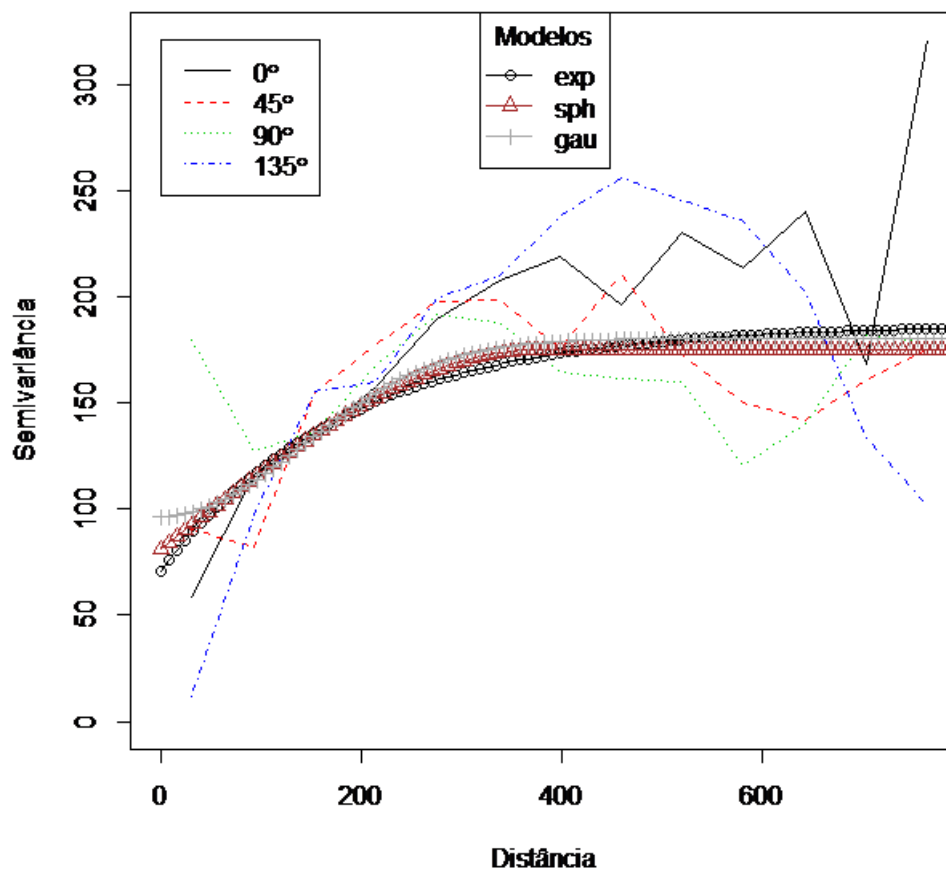
30



**Figura 1.** Semivariograma para produtividade do cafeeiro na lavoura A com gride de 0,25 há

1

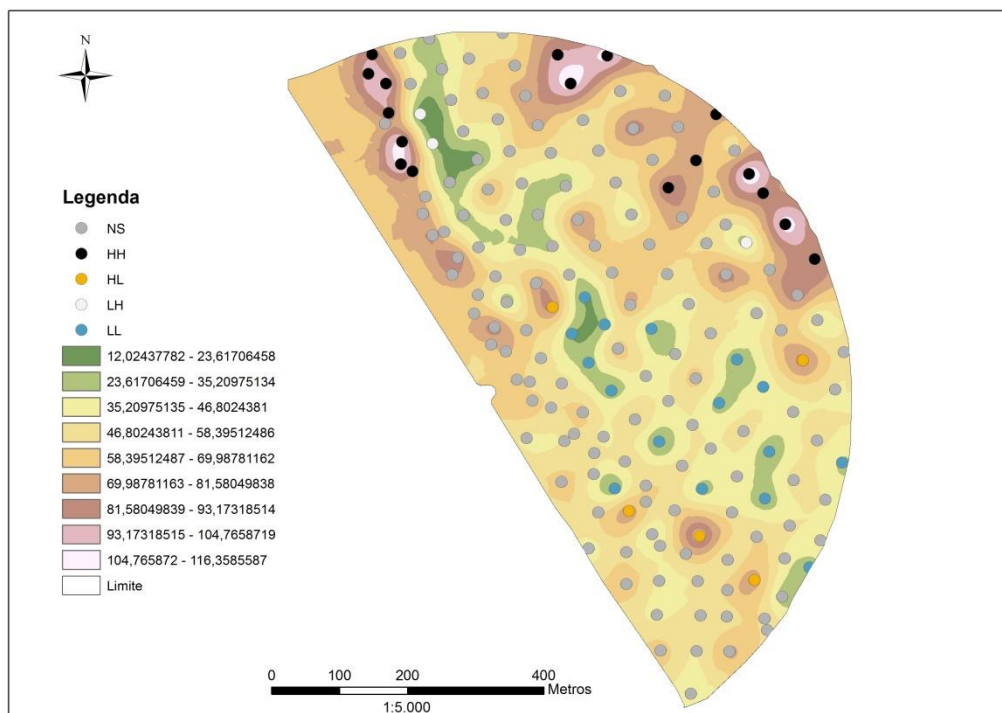
2 Já para a produtividade do cafeeiro na lavoura B o semivariograma foi  
 3 desuniforme. Assim, o modelo escolhido não foi bem representativo das  
 4 características espaciais deste parâmetros, visto tais diferenças nas  
 5 semivariância (Figura 2).



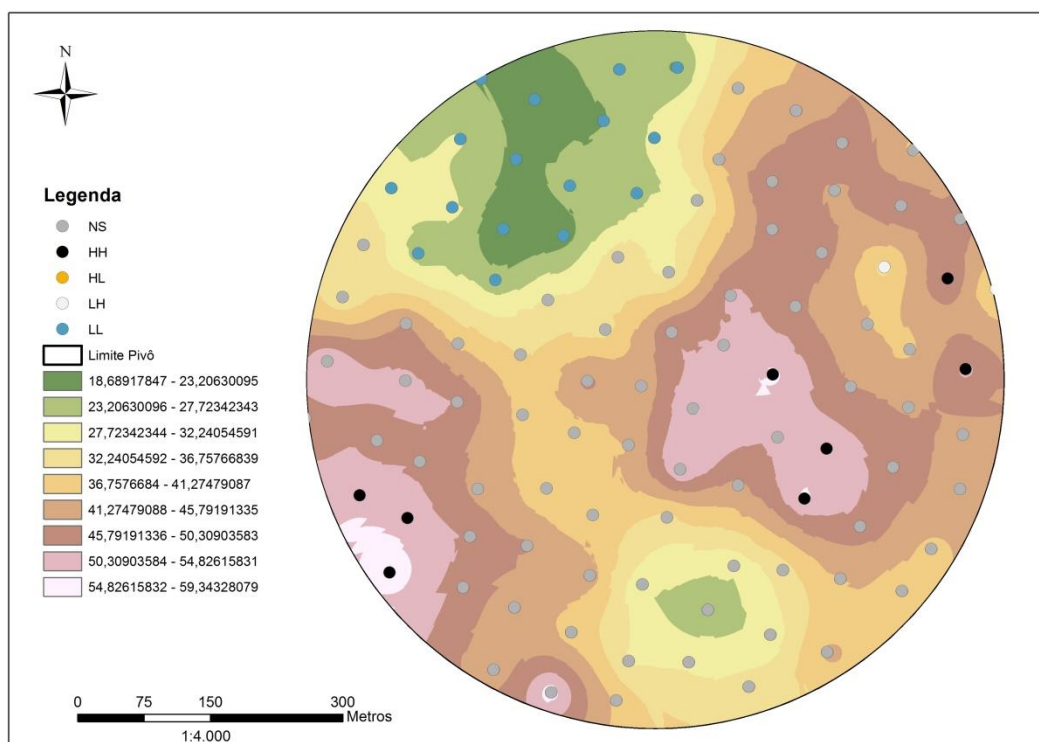
**Figura 2.** Semivariograma para produtividade do cafeeiro na lavoura B com gride de 0,5 ha.

1

2 Os mapas de isolinhas representaram a distribuição da produtividade  
 3 nas áreas estudadas, evidenciando a elevada variabilidade do parâmetro  
 4 produtividade, com manchas de produtividade que variaram de 12,0 a 116,0  
 5 sacas de café ben. ha<sup>-1</sup> para a lavoura A e de 18,0 a 59,0 sacas de café ben.  
 6 ha<sup>-1</sup> para a lavoura B. A amplitude dos dados da lavoura B foi muito menor que  
 7 da lavoura A e isto deve ser levado em consideração para argumentar com  
 8 relação ao maior alcance obtido na lavoura B (183,9 m contra 37,57 m apenas)  
 9 (Figuras 3 e 4).



1 **Figura 3.** Mapa de isolinhas para produtividade da lavoura A com grade de 0,25  
2 ha



3 **Figura 4.** Mapa de isolinhas para produtividade na lavoura B com grade de 0,5  
4 ha

5

## 1 **Conclusões:**

2 1 – A escolha do gride pode não interferir na verificação de dependência  
3 espacial, pois isto é condicionado pela variabilidade intrínseca do parâmetro,  
4 sendo variável de estudo para estudo.

5 2 – Elevar a densidade amostral ou seja trabalhar com grides mais adensados  
6 não é a solução para identificar a dependência espacial de alguns parâmetros.

7 3 – A segmentação das áreas e realização de interpolações em sub-áreas  
8 podem minizar as variabilidades, possibilitando a verificação de dependência  
9 espacial.

10

## 11 **Referências:**

12

13 CHAVES, L. H. G.; FARIAS, C. H. A. Variabilidade espacial de cobre e  
14 manganês em Argissolo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Ciência**  
15 **Agrônômica**, v.40, p.211-218, 2009.

16

17 EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema**  
18 **Brasileiro de classificação de solos**. 2. 88d. Brasília, DF, 2006 Rio de  
19 Janeiro. 412 p.

20

21 ESRI – Environmental Systems Research Institute. **Help manual** (ArcGIS  
22 version). [Software]. ESRI, 2010.

23

24 FERRAZ, G.A.S.; SILVA, F.M.; COSTA, P.A.N.; SILVA, A.C.; CARVALHO, F.M  
25 Agricultura de precisão no estudo de atributos químicos do solo e da  
26 produtividade de lavoura cafeeira. **Coffee Science**, v.7, n.1, p.59-67, 2012.

27

28 GUIMARÃES, W.D. Geoestatística para o mapeamento da variabilidade  
29 espacial de atributos físicos do solo. **Tese de doutorado**, Viçosa, 2013.

30



- 1 ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied**  
2 **geostatistics**. New York: Oxford University, 1989. 561 p.  
3
- 4 KÖEPPEN, W. **Climatologia: con um estúdio de los climas de la Tierra**.  
5 México: Fondo de Cultura Economica, 1948. 478p.  
6
- 7 MATIELLO, J.B.; SANTINATO, R.; ALMEIDA, S.R.; GARCIA, A.W.R. **Cultura**  
8 **de café no Brasil: Manual de recomendações**: ed. 2015/ editor Futurama,  
9 585 p.  
10
- 11 McBRATNEY, A. B.; WEBSTER, R. Choosing functions for semi-variograms of  
12 soil properties and fitting them to sampling estimates. **Journal of Soil Science**,  
13 Oxford, v. 37, n. 3, p. 617-639, May 1986.  
14
- 15 PEREIRA SO, BARTHOLO GF, BALIZA DP, SOGREIRA FM, GUIMARÃES RJ  
16 (2011) Productivity and coffee biannuality depending on the crop spacing.  
17 **Pesqui Agropecuária Bras**. 46(2):152-160.  
18
- 19 REIS, T.H.P.; SOARES, T.L.; GUIMARÃES, GONTIJO, P.T. Informações úteis  
20 no planejamento e no gerenciamento da atividade cafeeira. **Informe**  
21 **Agropecuário**, Belo Horizonte,v.29, n. 247, p. 112-27, 2008.  
22
- 23 SILVA, F.M.; SOUZA, Z.M.; FIGUEIREDO, C.A.P.; JÚNIOR, J.M.; MACHADO,  
24 R.V. Variabilidade espacial de atributos químicos e de produtividade da cultura  
25 do café. **Ciência Rural**, v.37, n.2, p. 401-07, 2007.  
26
- 27 SOUZA, Z.M.; CAMPOS, M.C.C.; CAVALCANTE, I.H.L.; JÚNIOR, J.M.;  
28 CESARIN, L.G.; SOUZA, S.R. Dependência espacial da resistência do solo à  
29 penetração e do teor de água do solo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar,  
30 **Ciência Rural**, v.36, n.1, p.128-134, 2006.  
31
- 32 VALADARES SV, NEVES JCL, ROSA GNGP, MARTINEZ HEP, VENEGAS  
33 VHA, LIMA PC (2013) Productivity and biennial production of dense coffee

1 plantations under different doses of N and K. **Pesqui Agropecuária Bras**  
2 48(3):296-303.

3

4 VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In:  
5 NOVAIS, R. F. de; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.). **Tópicos**  
6 **em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo,  
7 2000. v. 1, p. 1-54.

8

9 WANG, S.; LUO, K.; LIU, Y. Spatio-temporal distribution of human lifespan in  
10 China. **Scientific Reports**, 5:13844, 2015. DOI: 10.1038/srep13844.

11

12

1 **CAPÍTULO 7 - colheita mecanizada do café em função de ferramentas da**  
2 **agricultura de precisão**

3  
4 **CHAPTER 7 - Mechanized harvest coffee in precision farming tools feature**

5  
6 **RESUMO:** Existe elevada variabilidade espacial da produtividade e do estágio  
7 de maturação dos frutos do cafeeiro. A existência de dependência espacial  
8 desses parâmetros possibilita a construção de mapas de distribuição espacial,  
9 classificando a área em Classes de Colheita. Objetivou-se neste trabalho  
10 verificar se o emprego de regulagens da colhedora de café norteadas com  
11 base na variabilidade da produtividade e estágio de maturação dos frutos  
12 influenciam no processo de colheita. O experimento foi instalado em lavoura de  
13 Café da cultivar Catuaí Vermelho IAC 144, plantada em pivô central, com  
14 produtividade média de 60,0 sacas de café ben. ha<sup>-1</sup>. Utilizou-se ferramentas  
15 da geoestatística para a confecção do mapa de distribuição espacial. Em  
16 seguida selecionou-se seis Classes de Colheita, e em cada uma delas instalou-  
17 se um experimento fatorial 3 x 3 (velocidade x vibração), com a finalidade de  
18 determinar as mais adequadas regulagens para cada uma das áreas e não  
19 apenas uma regulagem fixa para colher a área total. Verificou-se que a  
20 avaliação da produtividade utilizando ferramentas da Agricultura de Precisão  
21 identificou classes de colheita anteriormente não percebidas pela amostragem  
22 convencional e quando aplicou-se combinações de regulagens em cada uma  
23 dessas classes elevou-se a eficiência de colheita em relação à regulagem fixa  
24 para área total.

25  
26 **Palavras-chave:** eficiência de colheita, geoestatística, amostragem

27  
28 **ABSTRACT:** There is a high spatial variability of productivity and maturation  
29 stage of coffee fruits. The existence of spatial dependence of these parameters  
30 allows the construction of spatial distribution maps, classifying the area into  
31 Harvest Classes. The objective of this study was to verify if the use of  
32 regulations of the coffee harvester based on the variability of productivity and  
33 stage of maturation of the fruits influence the harvesting process. The  
34 experiment was installed in a coffee crop of Catuaí Vermelho cultivar IAC 144,

1 planted in central pivot, with average yield of 60.0 bags of ben coffee. Ha-1.  
2 Geostatistical tools were used to construct the spatial distribution map. Then,  
3 six harvest classes were selected, and in each one of them a 3 x 3 factorial  
4 experiment (velocity x vibration) was installed, in order to determine the most  
5 suitable adjustments for each one of the areas and not only a fixed regulation  
6 To collect the total area. It was verified that the productivity evaluation using  
7 Precision Agriculture tools identified harvesting classes previously not perceived  
8 by conventional sampling and when applying combinations of adjustments in  
9 each of these classes the harvesting efficiency was increased in relation to the  
10 fixed regulation for total area.

11  
12 **Keywords:** harvesting efficiency, geostatistics, sampling

#### 13 14 **Introdução:**

15 Lavouras de maiores produtividades e/ou maior presença de frutos  
16 verdes demandam maior quantidade de energia da colhedora de café para que  
17 se obtenha eficiência de colheita satisfatória. A energia demandada da  
18 máquina é proporcional ao tempo de exposição das hastes vibratórias da  
19 colhedora junto as plantas, estando, portanto correlacionada, principalmente  
20 com a velocidade operacional e com a frequência de vibração das hastes,  
21 sendo estas as duas regulagens mais importantes na colheita do café. Quanto  
22 menor a velocidade operacional e maior a frequência de vibração das hastes,  
23 maior será a energia atribuída à colhedora e vice-versa (SILVA et al., 2013;  
24 SANTINATO et al., 2014).

25 É comum encontrarmos no campo colhedoras reguladas empiricamente,  
26 ajustando-se a velocidade operacional e a vibração das hastes sem qualquer  
27 critério. Quando isto ocorre, geralmente a eficiência de colheita é baixa  
28 demandando outra operação mecanizada ou o repasse manual, tornando a  
29 colheita ainda mais onerosa (SANTINATO et al., 2015b). Dessa forma, a  
30 tomada de decisão quanto à regulagem é essencial para o sucesso da  
31 operação e está diretamente ligada ao lucro do cafeicultor (LANNA e REIS,  
32 2012).

33 Vários trabalhos relatam a elevada variabilidade espacial da  
34 produtividade dos cafeeiros, bem como do estágio de maturação dos frutos

1 (SILVA et al., 2007; FERRAZ et al., 2012). Pezzopane et al. (2009) apontam  
2 que a duração e o desenvolvimento do ciclo fenológico, os atributos  
3 agronômicos e a maturação dos frutos são altamente influenciadas pelo  
4 ambiente, e que, dessa forma, o homem exerce pouco controle sobre a  
5 situação. Sanchez et al., (2005) citam que o comportamento da planta está  
6 diretamente relacionado com as combinações variáveis do solo, ou seja,  
7 dependendo das características do solo a variabilidade espacial da  
8 produtividade pode ser mais acentuada.

9 Dessa forma têm-se que em um mesmo talhão haverá cafeeiros com  
10 elevada, moderada e baixa produtividade e quantidade de frutos verdes,  
11 cerejas e secos variáveis. No Brasil, normalmente, a definição da regulação  
12 das colhedoras segue avaliações estimadas de forma pouco precisa com  
13 amostragem tradicional e caminhamento por zigue-zague, e abrangem áreas  
14 extensas, fazendo com que, as regulagens, em algumas situações, não serão  
15 adequadas em todo o talhão (MATIELLO et al., 2015).

16 Para identificar a elevada variabilidade espacial da produtividade e  
17 estágio de maturação dos frutos e identificar possíveis agrupamentos destas  
18 características (Classes de produtividade) existem ferramentas da Agricultura  
19 de Precisão, que fazem medições com maior número de amostras que o  
20 padrão zigue-zague e ainda, permitem verificar a auto correlação do dados, e  
21 posteriormente avaliar a dependência espacial, permitindo a interpolação de  
22 pontos, conhecendo os valores em pontos não amostrados. Caso se consiga  
23 utilizar a mais adequada regulação para cada produtividade e estágio de  
24 maturação dos frutos pode ser que a eficiência de colheita se eleve pois  
25 supostamente esta atendendo corretamente a demanda de energia que os  
26 frutos precisem para se desprenderem e serem colhidos, além de promover  
27 danos às plantas em níveis aceitáveis.

28 Neste trabalho, buscando otimizar a colheita mecanizada do café,  
29 mensurou-se a produtividade do cafeeiro por meio da Agricultura de Precisão,  
30 definiu-se Classes de produtividade, selecionou-se regulagens de velocidade  
31 operacional e vibração das hastes adequadas para cada uma das Classes de  
32 produtividade e comparou-se a colheita mecanizada regulada com base na  
33 Agricultura de Precisão com a colheita mecanizada regulada conforme os

1 padrões convencionais da Fazenda, objetivando elevar a eficiência da  
2 operação.

3

#### 4 **Material e métodos:**

5

6 O estudo foi realizado na Fazenda Catuaí, situada no município de  
7 Presidente Olegário, MG. Em torno das coordenadas geográficas são 18°17'49  
8 S e 46°32'52,17 O. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico  
9 (EMBRAPA, 2006), textura argilo-arenosa. clima, do tipo mesotérmico com  
10 inverno seco (Cwa) (KOOPEN, 1948). Utilizou-se uma lavoura de café da  
11 cultivar Catuaí Vermelho IAC 144, plantada em 1998, no espaçamento de 4,0  
12 m entre linhas e 0,5 m entre plantas (5.000 plantas ha<sup>-1</sup>), plantada em círculo,  
13 irrigada sob Pivô Central com emissores do tipo LEPA (*Low Energy*  
14 *Pressurized Application*), a 1013 m de altitude. A lavoura apresentava  
15 aproximadamente 2,8 m de altura e produtividade em torno de 60,0 sacas de  
16 café ben. ha<sup>-1</sup>.

17 Utilizou-se toda lavoura de 49 ha (490.000 m<sup>2</sup>) com 178 pontos,  
18 amostrados a uma distância mínima de 25 m (gride de 0,25 ha). Para o  
19 georreferenciamento do experimento utilizou-se um par de receptores GNSS  
20 R8 dotado de posicionamento relativo cinético em tempo real, RTK (*Real Time*  
21 *Kinematic*).

22 Para a obtenção da produtividade, em cada um dos pontos amostrais  
23 colou-se panos de derricha sob a saia de dez cafeeiros, recobrando o solo  
24 completamente. Procedeu-se a derricha manual das plantas e mensurou-se, em  
25 recipiente graduado, a quantidade de café derrichado. De posse dos dados  
26 converteu-se a quantidade de café (L) para sacas de café ben. ha<sup>-1</sup>, conforme  
27 metodologia descrita por Reis et al. (2008). Esta mesma conversão foi feita em  
28 todos os demais dados do trabalho. Também, em cada ponto, retirou-se uma  
29 amostra de 3,0 L de café e separou-se os frutos nos estádios de maturação  
30 verde, cereja e seco.

31

#### 32 **Análise exploratória dos dados espaciais:**

33

1 Nesta pesquisa optou-se primeiramente por verificar o grau de  
2 associação espacial do conjunto de dados em etapa anterior à modelagem  
3 espacial dos mesmos. Para isso submeteu-se os dados à avaliação de auto  
4 correlação espacial utilizando o Índice de Moran Global (IMG) e em seguida, do  
5 padrão de agrupamento por meio do Índice de Moran Local (IML) (WANG,  
6 2015).

7 Utilizou-se o software ArcGIS versão 10.1 para a análise exploratória  
8 dos dados (ESRI, 2010):

9 Os parâmetros avaliados neste processo foram z-score, p-valor e do  
10 próprio índice de Moran. Apenas os parâmetros que foram identificados pelo  
11 Índice de Moran Global como sendo agrupados com significância estatística  
12 seguiram com as demais análises.

13 As demais análises compreenderam a auto correlação espacial das  
14 amostras, caracterizada pela dependência espacial detectada pelo  
15 semivariograma (ISAACS e SRIVASTAVA, 1989), ao qual pode ser ajustado  
16 um modelo matemático, conforme descrito por McBratney e Webster (1986).

17 Após a obtenção do semivariograma de cada parâmetro escolheu-se o  
18 modelo matemático que melhor se ajustou segundo os critérios de avaliação.  
19 Os parâmetros de escolha foram a Classificação de Cambardella, que avalia  
20 como fraca, moderada e forte, a dependência espacial, e o coeficiente de  
21 determinação ( $R^2$ ) que avalia a assertividade do modelo, bem como os  
22 Critérios de Informação de Akayke (AIC) e Bayesiano (BIC) utilizados para a  
23 seleção de modelos.

24 Por último, e apenas para os dados que atenderam as premissas pré-  
25 estabelecidas, gerou-se os mapas de isolinhas, os quais permitem visualizar a  
26 variabilidade espacial de um determinado parâmetro (VIEIRA, 2000).

27

## 28 **Metodologia para parâmetros relacionados à operação de colheita** 29 **mecanizada do café**

30

31 Dentro do software selecionou-se a opção de separação dos pontos  
32 amostrais em classes de produtividade, sendo elas (0,0 a 20,0; 21,0 a 40,0;  
33 41,0 a 60,0; 61,0 a 80,0 e mais de 80,0 sacas de café ben. ha<sup>-1</sup>).

A partir dos dados de produtividade foram selecionadas seis “Classes de colheita” (1; 2; 3; 4; 5 e 6). A seleção tomou como critério a produtividade e o estágio de maturação dos frutos, notadamente pela quantidade de frutos cerejas. As Classes de colheita selecionadas apresentavam as produtividades e os estádios de maturação dos frutos conforme a Tabela 1.

**Tabela 1.** Produtividade e Frutos do cafeeiro nos estádios de maturação verde, cereja e seco (%), em cada Classe de Manejo utilizada no experimento.

| Classe | Produtividade média<br>(sacas de café<br>ben.ha <sup>-1</sup> ) | Verde | Cereja | Seco |
|--------|-----------------------------------------------------------------|-------|--------|------|
|        |                                                                 | %     |        |      |
| 1      | 31,65                                                           | 8,5   | 73,3   | 18,1 |
| 2      | 37,73                                                           | 4,1   | 71,3   | 23,3 |
| 3      | 47,06                                                           | 5,6   | 68,2   | 26,1 |
| 4      | 51,06                                                           | 10,0  | 62,9   | 27,1 |
| 5      | 57,14                                                           | 9,2   | 67,9   | 25,1 |
| 6      | 109,95                                                          | 7,3   | 58,3   | 34,4 |

Definidas as Classes de colheita instalou-se em cada uma delas um experimento para realização dos testes de regulagens. Os tratamentos foram estudados em esquema fatorial 3x3, sendo três velocidades operacionais (1.000; 1.300 e 1.600 m h<sup>-1</sup>) e três frequências de vibração das hastes (700; 800 e 900 rpm, 11,67; 13,33 e 13,0 Hz), totalizando nove tratamentos. Os mesmos foram dispostos no delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições, totalizando 36 parcelas, para cada classe de colheita. Cada parcela foi composta por cinco plantas de café, espaçadas em 20 m entre si. Em cada parcela fez-se as avaliações de café caído, remanescente, colhido, e eficiência de colheita.

Em cada parcela colocou-se panos de derriça, recobrando toda a área proposta, dos dois lados da linha do cafeeiro. Em seguida operou-se a colhedora com as regulagens correspondentes a cada tratamento. O café caído após sua passagem foi colhido, separado e teve o volume medido, obtendo-se assim a quantidade de “Café Caído”. Após isto limpou-se os panos que novamente foram posicionados nos respectivos locais. Logo após derriçou-se



1 manualmente as plantas e o café obtido correspondeu ao “Café  
2 Remanescente”, que também teve seu volume medido. De posse dos dados  
3 obteve-se o café colhido pela diferença entre a produtividade inicial e as  
4 quantidades de café caído e remanescente. A eficiência de colheita foi obtida  
5 pela equação 15.

$$E_f = \frac{CC}{C_{Ini}} \cdot 100 \quad (1)$$

6

7 Em que:

8 Ef = Eficiência de colheita (%)

9 CC = Quantidade de café colhido (sacas de café ben. ha<sup>-1</sup>)10 C<sub>Ini</sub> = Produtividade inicial (sacas de café ben. ha<sup>-1</sup>)

11

12 Após isso fez-se uma outra etapa do experimento utilizando a regulação  
13 mais adequada para cada Classe de Colheita, em área total, comparando-a  
14 com a regulação do padrão da fazenda (velocidade operacional de 1.300 m h<sup>-1</sup>  
15 e vibração das hastes de 800 rpm). Comparou-se a quantidade de café caído,  
16 remanescente, colhido e a eficiência de colheita. Todos os dados obtidos do  
17 trabalho foram analisados pela ANOVA e quando procedente, pelo teste de  
18 Tukey, ambos a 5% de probabilidade.

19

## 20 **Resultados e discussão**

21

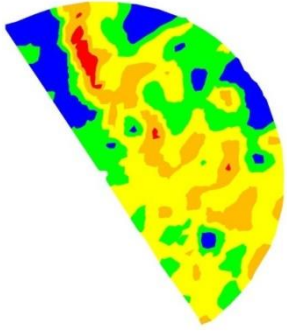





22 Na área estudada houve predomínio da produtividade de 41,0 a 60,0  
23 sacas de café ben. ha<sup>-1</sup>, com 42,9% da área total. 14,0% de áreas com mais de  
24 80,0, 26,0% de áreas com 61,0 a 80,0, 15,6% de áreas com 21,0 a 40,0 e  
25 apenas 1,5% com áreas de 0,0 a 20,0 sacas de café ben. ha<sup>-1</sup>. Na avaliação  
26 tradicional, apontava-se que a média da área total era de 60,0 sacas de café  
27 ben. ha<sup>-1</sup>. Tal fato evidencia as grandes diferenças entre as avaliações e os  
28 possíveis erros nas recomendações feitas com base na produtividade do  
29 cafeeiro Tabela 1.

30

31

32

1 **Tabela 1.** Composição das classes de produtividade do cafeeiro

| Classes de produtividade            | Legenda                                                                           | Relação na área | Mapa de isolinhas                                                                   |
|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Sacas de café ben. ha <sup>-1</sup> | Coloração                                                                         | %               |  |
| Acima de 80,0                       |  | 14,0            |                                                                                     |
| 61,0 a 80,0                         |  | 26,0            |                                                                                     |
| 41,0 a 60,0                         |  | 42,9            |                                                                                     |
| 21,0 a 40,0                         |  | 15,6            |                                                                                     |
| 0,0 a 20,0                          |  | 1,5             |                                                                                     |

2

3 Para a produtividade do cafeeiro todos os modelos apresentaram grau  
4 de dependência espacial forte (CAMBARDELLA, 1994). Os modelos esférico e  
5 gaussiano obtiveram o maior valor de  $R^2$ , descartando o modelo exponencial. E  
6 apesar de bem semelhantes, o modelo gaussiano obteve o menor valor de  
7 AIC, sendo portanto o modelo escolhido para representar a dependência  
8 espacial deste parâmetro (Tabela 2 e Figura 1).

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

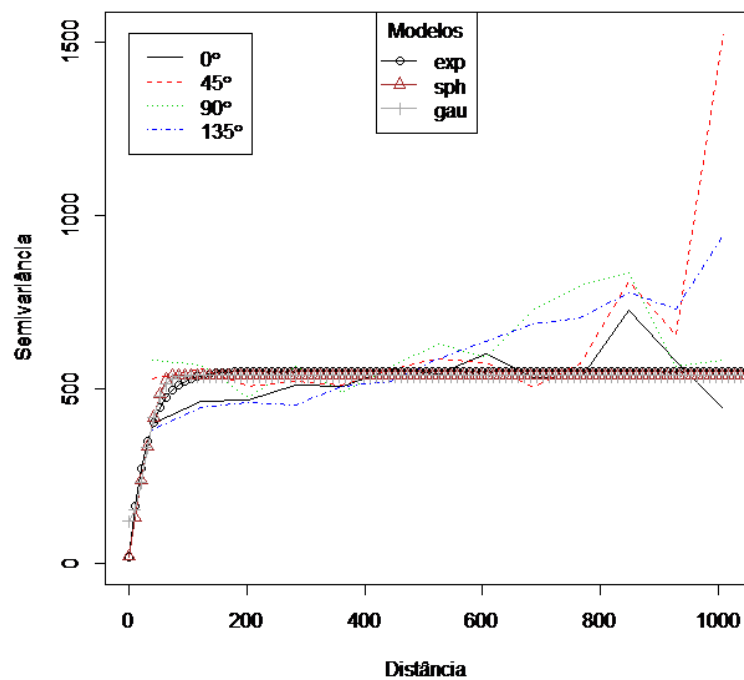
24

1 **Tabela 2.** Escolha de modelo empírico para produtividade do cafeeiro.

| Parâmetro                    | Esférico | Exponencial | Gaussiano |
|------------------------------|----------|-------------|-----------|
| Estimador                    | 56,01    | 57,14       | 56,06     |
| Pepita ( $C_0$ )             | 17,78    | 17,66       | 120,4     |
| Patamar ( $C_0+C_1$ )        | 521,9    | 535,2       | 419,2     |
| Alcance (a)                  | 72,62    | 32,46       | 37,57     |
| Alcance assintótico          | 72,61    | 97,24       | 65,03     |
| Contribuição                 | 504,12   | 517,54      | 298,8     |
| $^1[C_0/C_0+C_1] \times 100$ | 3,29     | 3,19        | 22,31     |
| $^2R^2$                      | 0,82     | 0,81        | 0,82      |
| $^3AIC$                      | 1575     | 1574        | 1574      |
| $^4BIC$                      | 1587     | 1586        | 1587      |

2  $^1[C_0/C_0+C_1] \times 100 =$  Índice de dependência espacial dado pela Classificação de  
3 Cambardella;  $^2R^2 =$  Coeficiente de determinação;  $^3AIC =$  Critério de informação  
4 de Akaike;  $^4BIC =$  Critério de informação Bayesiana.

5

6 **Figura 1.** Semivariograma para produtividade do cafeeiro.

1 Na média das seis Classes de colheita na menor vibração (700 rpm) o  
 2 aumento da velocidade operacional não alterou a quantidade de café caído.  
 3 Para 800 e 900 rpm, o aumento da velocidade operacional elevou a quantidade  
 4 de café caído. Isto ocorreu pois quanto maior a velocidade operacional mais  
 5 frequente é a abertura e fechamento dos recolhedores, possibilitando maior  
 6 queda de café.

7 Além disto, quando a colhedora opera em velocidade elevadas, o tempo  
 8 que o fruto derriçado demanda para cair e entrar em contato com a colhedora  
 9 fica restrito, e muitas vezes quando ele chega à altura da colhedora a mesma  
 10 já encontra-se em um posicionamento adiantado, elevando a quantidade de  
 11 café caído (Tabela 20). Isto já foi observado por outros pesquisadores como  
 12 OLIVEIRA et al., (2007) testando velocidades de 1.000 a 2.800 m h<sup>-1</sup>.

13

14 **Tabela 2.** Porcentagem de café caído em função dos tratamentos estudados  
 15 na média das seis Classes estudadas.

| Frequência de<br>vibração (rpm) | Velocidade (m h <sup>-1</sup> ) |          |           |
|---------------------------------|---------------------------------|----------|-----------|
|                                 | 1.000                           | 1.300    | 1.600     |
| 700                             | 10,17 aA                        | 10,99 aA | 10,01 aB  |
| 800                             | 8,12 bA                         | 8,9 abA  | 12,75 aAB |
| 900                             | 8,49 bA                         | 9,27 bA  | 14,57 aA  |
| CV (%)                          | 57,8                            |          |           |

16 \*Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas, não  
 17 diferem de si pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade.

18

19 Quanto maior a velocidade operacional maior foi a quantidade de café  
 20 remanescente, inversamente proporcional à quantidade de café colhido. A  
 21 maior vibração reduziu a quantidade de café remanescente (900 rpm), no  
 22 entanto a vibração intermediária (800 rpm) não obteve menor quantidade de  
 23 café remanescente que a menor vibração (700 rpm), do contrário do que se era  
 24 esperado, visto muitos trabalhos na bibliografia (OLIVEIRA et al., 2007;  
 25 SANTINATO et al., 2014) (Tabelas 3 e 4).

26 A maior vibração promove maiores impactos à planta, mas nem sempre  
 27 será o fator essencial para reduzir a quantidade de café remanescente e café  
 28 colhido. Isto pôde ser observado neste trabalho pois estudou-se seis Classes

1 com características vegetativas e produtivas distintas. No trabalho de Santinato  
 2 et al., (2015a) Notou-se por exemplo que o excesso no número de operações  
 3 não eleva linearmente a quantidade de café derriçado. Isto ocorre pois na  
 4 planta existem cafés fortemente aderidos aos ramos, notadamente os verdes,  
 5 que se situam próximos do tronco, distantes da ponta das hastes vibratórias  
 6 exigindo a colocação de hastes mais compridas ou ainda extensores de  
 7 borracha (SANTINATO et al., 2016). Dessa forma pode-se afirmar que a  
 8 velocidade operacional é mais importante que a vibração das hastes na tomada  
 9 de decisão das regulagens (Tabelas 3 e 4).

10

11 **Tabela 3.** Porcentagem de café remanescente em função dos tratamentos  
 12 estudados na média das seis Classes estudadas.

| Frequência de<br>vibração (rpm) | Velocidade (m h <sup>-1</sup> ) |          |         |
|---------------------------------|---------------------------------|----------|---------|
|                                 | 1.000                           | 1.300    | 1.600   |
| 700                             | 13,13 abB                       | 10,53 bB | 19,9 aB |
| 800                             | 20,8 bA                         | 21,72 bA | 35,8 aA |
| 900                             | 6,85 bB                         | 8,7 bB   | 15,9 aB |
| CV (%)                          | 59,04                           |          |         |

13 \*Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas, não  
 14 diferem de si pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade.

15

16 **Tabela 4.** Porcentagem de café colhido em função dos tratamentos estudados  
 17 na média das seis Classes estudadas.

| Frequência de<br>vibração (rpm) | Velocidade (m h <sup>-1</sup> ) |          |          |
|---------------------------------|---------------------------------|----------|----------|
|                                 | 1.000                           | 1.300    | 1.600    |
| 700                             | 76,68 abAB                      | 78,47 aA | 69,9 bA  |
| 800                             | 71,07 aB                        | 69,36 aB | 51,4 bB  |
| 900                             | 84,65 aA                        | 82,01 aA | 69,48 bA |
| CV (%)                          | 16,18                           |          |          |

18 \*Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas, não  
 19 diferem de si pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade.

20

21 O padrão adotado na Fazenda para colher a lavoura, 1.300 m h<sup>-1</sup> e 800  
 22 rpm, obteve eficiência de colheita satisfatória, com 69,9% (OLIVEIRA et al.,

1 2007). Apesar da grande variabilidade espacial da produtividade, a regulagem  
2 adotada obteve resultado adequado para a colheita plena (apenas uma  
3 operação da colhedora) (Tabela 5).

4 No entanto, quando foram utilizadas as regulagens selecionadas pela  
5 Agricultura de Precisão (melhor tratamento obtido em cada Classe de colheita)  
6 a eficiência foi de 87,1%, 17,2% superior, permitindo que apenas 5,03% da  
7 produção permanecesse nos pés, utilizando apenas uma passada da  
8 colhedora. A redução na quantidade de café remanescente reduz  
9 acentuadamente os custos do processo de colheita, já que demanda menor  
10 quantidade de mão-de-obra para proceder o repasse manual, ou ainda a  
11 necessidade de outra operação da colhedora (SANTINATO et al., 2015a)  
12 (Tabela 5).

13 Comparando, em todas as Classes de Colheita, o tratamento Agricultura  
14 de Precisão com o Padrão da Fazenda, obteve-se acréscimos de 0,9; 25,6; 6,3;  
15 9,26; 8,65 e 17,7% na eficiência de colheita. Na média das seis Classes de  
16 Colheita, o acréscimo foi de 22,04%. Tal fato indica que na maioria das  
17 situações pode-se elevar a eficiência de colheita quando utiliza-se de critérios  
18 mais apurados para a determinação das regulagens (Tabela 5).

19 As regulagens adotadas pela Agricultura de Precisão não foram  
20 suficientemente capazes de reduzir a quantidade de café caído da operação.  
21 Tal fato evidencia o conhecimento na bibliografia em elevar a eficiência de  
22 colheita, no entanto não consegue reduzir as perdas de café caído (Tabela 5).

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

33

1 **Tabela 5.** Porcentagens de café caído, remanescente e colhido em função dos  
 2 tratamentos estudados.

| Tratamentos             | Café caído | Café remanescente | Café colhido (EF%) |
|-------------------------|------------|-------------------|--------------------|
|                         | %          |                   |                    |
| Agricultura de Precisão | 7,88 a     | 5,03 a            | 87,1 a             |
| Padrão Fazenda          | 10,01 a    | 19,9 b            | 69,9 b             |
| CV (%)                  | 71,21      | 30,89             | 9,7                |

3 \* Médias seguidas das mesmas letras nas colunas não diferem de si pelo teste de Tukey à 5%  
 4 de probabilidade.

5

#### 6 **Conclusões:**

7

8 1 – O método de avaliação da produtividade utilizando ferramentas da  
 9 Agricultura de Precisão verifica áreas na lavoura com produtividades distintas  
 10 da média geral obtida pela avaliação convencional tornando o diagnóstico da  
 11 área mais eficiente.

12

13 2 – Atribuir a cada classe de colheita uma velocidade operacional e vibração  
 14 das hastes julgada como ideal, ao invés de colher toda a área com a mesma  
 15 combinação dessas duas regulagens eleva a eficiência de colheita

16

#### 17 **Referências:**

18

19 CAMBARDELLA, C. A. et al. Field scale variability of soil properties in Central  
 20 Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58,  
 21 n. 5, p. 1501-1511, May 1994.

22

23 EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema**  
 24 **Brasileiro de classificação de solos**. 2. 103d. Brasília, DF, 2006 Rio de  
 25 Janeiro. 412 p.

- 1  
2 ESRI – Environmental Systems Research Institute. **Help manual** (ArcGIS  
3 version). [Software]. ESRI, 2010.  
4
- 5 FERRAZ, G.A.S.; SILVA, F.M.; COSTA, P.A.N.; SILVA, A.C.; CARVALHO, F.M.  
6 Agricultura de precisão no estudo de atributos químicos do solo e da  
7 produtividade de lavoura cafeeira. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n.1, p. 59-67,  
8 2012.  
9
- 10 ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied**  
11 **geostatistics**. New York: Oxford University, 1989. 561 p.  
12
- 13 KÖEPPEN, W. **Climatologia: con um estúdio de los climas de la Tierra**.  
14 México: Fondo de Cultura Economica, 1948. 478p.  
15
- 16 LANNA, G.B.M.; REIS, P.R. Influência da mecanização da colheita na  
17 viabilidade econômico-financeira da cafeicultura no sul de Minas Gerais.  
18 **Coffee Science**, Lavras, v.7, n. 2, p. 110-121, 2012.  
19
- 20 MATIELLO, J.B.; SANTINATO, R.; ALMEIDA, S.R.; GARCIA, A.W.R. **Cultura**  
21 **de café no Brasil: Manual de recomendações**: ed. 2015/ editor Futurama,  
22 585 p.  
23
- 24 McBRATNEY, A. B.; WEBSTER, R. Choosing functions for semi-variograms of  
25 soil properties and fitting them to sampling estimates. **Journal of Soil Science**,  
26 Oxford, v. 37, n. 3, p. 617-639, May 1986.  
27
- 28 OLIVEIRA, E.; SILVA, F. M.; SALVADOR, N.; FIGUEIREDO, C. A. P. Influência  
29 da vibração das hastes e da velocidade de deslocamento da colhedora no  
30 processo de colheita mecanizada do café. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal,  
31 v. 27, n. 3, p. 714-21, 2007.  
32



- 1 PEZZOPANE, C.G.; FAVARIN, J.L.; MALUF, M.P.; PEZZOPANE, J.R.M.;  
2 GUERREIRO FILHO, O. Atributos fenológicos e agronômicos em cultivares de  
3 cafeeiro arábica. **Ciência Rural**, v.39, n.3, p.711-717, 2009.  
4
- 5 REIS, T.H.P.; SOARES, T.L.; GUIMARÃES, GONTIJO, P.T. Informações úteis  
6 no planejamento e no gerenciamento da atividade cafeeira. **Informe**  
7 **Agropecuário**, Belo Horizonte, v.29, n. 247, p. 112-27, 2008.  
8
- 9 SANCHEZ, R.B.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T.; SOUZA, Z.M.  
10 Variabilidade espacial de propriedades de Latossolo e da produção de café em  
11 diferentes superfícies geomórficas. **Revista Brasileira de Engenharia**  
12 **Agrícola e Ambiental**, v.9, n.4, p.489-495, 2005.  
13
- 14 SANTINATO, F.; RUAS, R.A.A.; SILVA, R.P.; CARVALHO FILHO, A.;  
15 SANTINATO, R. Número de operações mecanizadas na colheita do café.  
16 **Ciência Rural**, v.45, n.10, p.1809-1814, 2015a.  
17
- 18 SANTINATO, F.; RUAS, R.A.A.; SILVA, R.P.; DUARTE, A.; SANTINATO, R.  
19 Análise econômica da colheita mecanizada do café utilizando repetidas  
20 operações da colhedora **Coffee Science**, v.10, n.3, p.402-411, 2015b.  
21
- 22 SANTINATO, F.; SILVA, R. P.; CASSIA, M. T.; SANTINATO, R. Análise quali-  
23 quantitativa da operação de colheita mecanizada de café em duas safras.  
24 **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 4, p. 495-505, 2014.  
25
- 26 SANTINATO; F.; COSTA, T.M.; SILVA, R.P.; TAVARES, T.O.; ALCANTARA,  
27 A.S. Uso de extensores flexíveis na derraça em lavouras de café de primeira  
28 safra. **Coffee Science**, v.11, n.2, p. 187-194, 2016.  
29
- 30 SILVA, F. M. et al. Variabilidade espacial de atributos químicos e de  
31 produtividade na cultura do café. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 2, p.  
32 401-407, mar./abr. 2007.  
33

- 1 SILVA, F.C.; SILVA, F.M.; SILVA, A.C.; BARROS, M.M.; PALMA, M.A.Z.  
2 Desempenho operacional da colheita mecanizada e seletiva do café em função  
3 da força de desprendimento dos frutos. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 1, p.  
4 53 - 60, 2013.  
5
- 6 VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In:  
7 NOVAIS, R. F. de; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.). Tópicos em  
8 ciência do solo. Viçosa, MG: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2000.  
9 v. 1, p. 1-54.  
10
- 11 WANG, S.; LUO, K.; LIU, Y. Spatio-temporal distribution of human lifespan in  
12 China. **Scientific Reports**, 5:13844, 2015. DOI: 10.1038/srep13844.  
13  
14

1 **CAPÍTULO 8 - Variabilidade espacial da operação da colheita mecanizada**  
2 **do café**

3  
4 **CHAPTER 8 - Spatial variability of operation harvest coffee mechanized**

5  
6 **RESUMO:** Estudar a dependência espacial de parâmetros ligados à operação  
7 da colheita mecanizada do café podem evidenciar ao cafeicultor o  
8 comportamento da operação, ressaltando possíveis falhas, e gerando mapas  
9 de isolinhas de café remanescente e caído, servindo de orientações para as  
10 futuras operações. Diante disto objetivou-se no presente trabalho avaliar a  
11 dependência espacial de parâmetro da operação da colheita mecanizada do  
12 café. O estudo foi realizado em lavoura de 30 ha, com gride amostral de 50 x  
13 100 m (0,5 ha), coletando-se os frutos de dez plantas de cada ponto. Os dados  
14 foram submetidos à análise geoestatística e tiveram os modelos empíricos de  
15 semivariograma escolhidos conforme critério proposto na metodologia. Obteve-  
16 se que foi possível identificar a dependência espacial da quantidade de café  
17 derrizado e desfolha operacional operacional, permitindo a orientação para o  
18 repasse da colheita. Não foi possível identificar a dependência espacial dos  
19 parâmetros de eficiência de colheita e café caído, em decorrência da elevada  
20 variabilidade, sugerindo a utilização de grades mais adensados ou  
21 segmentação da área.

22  
23 **Palavras-chave:** dependência espacial, cafeeiro, mecanização

24  
25 **ABSTRACT:** To study the spatial dependence of parameters related to the  
26 operation of mechanized harvesting of coffee can show to the coffee grower the  
27 behavior of the operation, highlighting possible faults, and generating maps of  
28 remaining and fallen coffee isolines, serving as guidelines for future operations.  
29 In view of this, the objective of this study was to evaluate the spatial  
30 dependence of the parameter of the mechanized coffee harvesting operation.  
31 The study was carried out in a field of 30 ha, with a sampling grid of 50 x 100 m  
32 (0.5 ha), and the fruits of ten plants of each point were collected. The data were  
33 submitted to geostatistical analysis and the empirical models of semivariogram  
34 were chosen according to the criteria proposed in the methodology. It was

1 possible to identify the spatial dependence of the amount of melted coffee and  
2 operational defoliation, allowing the orientation for the transfer of the crop. It  
3 was not possible to identify the spatial dependence of the efficiency parameters  
4 of harvest and fallen coffee.

5

6 **Key-words:** spatial dependence, coffee, mechanization

7

8 **Introdução:**

9

10 Estudos recentes tem sido realizados com a finalidade de caracterizar a  
11 variabilidade espacial de parâmetros ligados à cafeicultura, fertilidade do solo,  
12 produtividade (FERRAZ et al., 2012), estágio de maturação, infestação de  
13 pragas (COSTA et al., 2015), entre outros. Tudo isto tem colaborado para a  
14 melhoria nos acertos das recomendações agronômicas.

15 A colheita mecanizada do café possui cinco parâmetros fundamentais:  
16 Quantidade de café caído, remanescente, colhido, eficiência de colheita e  
17 desfolha operacional operacional (SANTINATO et al., 2014; SANTINATO et al.,  
18 2015; SANTINATO et al., 2016). Esses parâmetros são influenciados por vários  
19 fatores da planta, solo, clima e etc. (SILVA et al., 2013).

20 Conhecer e mapear locais de um talhão em que houveram baixas  
21 eficiências de colheita, ou ainda elevadas desfolha operacional operacionais,  
22 podem ser informações relevantes para apontar falhas na operação, propor  
23 correções, e otimiza-las nas próximas oportunidades. Outro ponto é a  
24 possibilidade de gerar mapas de distribuição espacial das quantidades de café  
25 caído e remanescente, orientando as regulagens e necessidades das  
26 operações de repasse mecanizado ou manual e recolhimento mecanizado.

27 Alguns estudos analisaram estes parâmetros por meio do controle  
28 estatístico de processo (CASSIA et al., 2013; SANTINATO et al., 2014),  
29 chegando a conclusões que evidenciaram a elevada influência da  
30 produtividade e da exposição solar na eficiência da colheita mecanizada do  
31 café. Entretanto essa ferramenta, apesar de muito completa, não situa os  
32 pontos geoespacialmente e não afirma a existência de dependência espacial.  
33 O presente estudo objetivou avaliar a variabilidade e a existência de

1 dependência espacial dos principais parâmetros ligados à operação da colheita  
2 mecanizada do café.

3

#### 4 **Material e métodos:**

5 O presente trabalho foi realizado no Campo Experimental Francisco  
6 Pinheiro Campos, pertencente à Fazenda AUMA, de Claudio Nasser, situada  
7 no município de Patos de Minas, MG. O solo foi classificado como Latossolo  
8 Vermelho distrófico (EMBRAPA, 2006), textura argilo-arenosa. O clima, do tipo  
9 mesotérmico com inverno seco (Cwa) (KOOPEN, 1948). Utilizou-se uma  
10 lavoura de café de 30 ha, da cultivar Catuaí Vermelho IAC 144, plantada em  
11 linha e irrigada via pivô circular. A lavoura apresentava 2,5 ano de idade e  
12 produtividade estimada de 40,0 sacas de café ben. ha<sup>-1</sup>. Utilizou-se toda a  
13 lavoura plantada no Pivô de café, de 30 ha (300.000 m<sup>2</sup>) com 60 pontos,  
14 amostrados a uma distância mínima de 50 m (gride de 0,5 ha); Para o  
15 georreferenciamento do experimento utilizou-se um par de receptores GNSS  
16 R8 dotado de posicionamento relativo cinético em tempo real, RTK (*Real Time*  
17 *Kinematic*)

18 Em cada um dos pontos avaliou-se a produtividade do cafeeiro de forma  
19 manual colocando-se panos de derrça, dos dois lados do cafeeiro, sob a copa  
20 de 10 plantas. Após a derrça manual mediu-se a produtividade em recipiente  
21 graduado de 20 L. Uma amostra de 0,5 L de cada ponto foi retirada,  
22 acomodada em sacolas teladas, secadas em terreiro de café durante quatro  
23 dias, até atingirem 11% de umidade. Posteriormente foram beneficiadas. Com  
24 base na quantidade de café em litros e na conversão de café da “roça” para  
25 café beneficiado, estimou-se a produtividade do cafeeiro em sacas de café ben.  
26 ha<sup>-1</sup> (REIS et al., 2008).

27

#### 28 **Análise exploratória dos dados espaciais:**

29

30 Nesta pesquisa optou-se primeiramente por verificar o grau de  
31 associação espacial do conjunto de dados em etapa anterior à modelagem  
32 espacial dos mesmos. Para isso submeteu-se os dados à avaliação de auto  
33 correlação espacial utilizando o Índice de Moran Global (IMG) e em seguida, do

1 padrão de agrupamento por meio do Índice de Moran Local (IML) (WANG,  
2 2015).

3 Utilizou-se o software ArcGIS versão 10.1 para a análise exploratória  
4 dos dados (ESRI, 2010):

5 Os parâmetros avaliados neste processo foram z-score, p-valor e do  
6 próprio índice de Moran. Apenas os parâmetros que foram identificados pelo  
7 Índice de Moran Global como sendo agrupados com significância estatística  
8 seguiram com as demais análises.

9 As demais análises compreenderam a auto correlação espacial das  
10 amostras, caracterizada pela dependência espacial detectada pelo  
11 semivariograma (ISAAKS e SRIVASTAVA, 1989), ao qual pode ser ajustado  
12 um modelo matemático, conforme descrito por McBratney e Webster (1986).

13 Após a obtenção do semivariograma de cada parâmetro escolheu-se o  
14 modelo matemático que melhor se ajustou segundo os critérios de avaliação.  
15 Os parâmetros de escolha foram a Classificação de Cambardella, que avalia  
16 como fraca, moderada e forte, a dependência espacial, e o coeficiente de  
17 determinação ( $R^2$ ) que avalia a assertividade do modelo, bem como os  
18 Critérios de Informação de Akayke (AIC) e Bayesiano (BIC) utilizados para a  
19 seleção de modelos.

20 Por último, e apenas para os dados que atenderam as premissas pré-  
21 estabelecidas, gerou-se os mapas de isolinhas, os quais permitem visualizar a  
22 variabilidade espacial de um determinado parâmetro (VIEIRA, 2000).

23

## 24 **Resultados e discussão:**

25 De todos os parâmetros avaliados somente a quantidade de café  
26 remanescente e a desfolha operacional apresentam auto correlação espacial,  
27 segundo o Índice Global de Moran. Não foi possível identificar auto correlação  
28 e conseqüentemente dependência espacial dos parâmetros produtividade,  
29 quantidade de café caído e eficiência de colheita, sendo estes, dados  
30 distribuídos aleatoriamente na área do pivô, sem qualquer dependência entre  
31 os pontos. Tal fato sugere que a operação gera dados com valores aleatórios,  
32 que sofrem interferências tamanhas ao longo da área que se tornam  
33 extremamente variáveis (Tabela 1).

34

1 **Tabela 1.** Índice de Moran para os parâmetros avaliados

| Parâmetro e respectivo raio de busca     | Índice de Moran | Z-score | p-valor |
|------------------------------------------|-----------------|---------|---------|
| Produtividade com raio de 300 m          | -0,0131         | 0,15    | 0,8788  |
| Café caído no solo com raio de 300 m     | 0,0027          | 0,81    | 0,4162  |
| Café remanescente com raio de 300 m      | 0,2434          | 10,32   | 0,0     |
| Eficiência de colheita com raio de 300 m | -0,0312         | -0,57   | 0,5658  |
| Desfolha operacional com raio de 300 m   | 0,0631          | 3,21    | 0,0013  |

2

3 Para a quantidade de café remanescente, nos modelos esférico e  
 4 exponencial a dependência espacial foi classificada como forte, e para o  
 5 modelo gaussiano, como moderado. O modelo foi escolhido com base no maior  
 6  $R^2$ , sendo 0,57, o do modelo esférico (Tabela 2).

7

8 **Tabela 2.** Escolha de modelo empírico para café remanescente após a  
 9 operação da colhedora.

| Parâmetro                    | Esférico | Exponencial | Gaussiano |
|------------------------------|----------|-------------|-----------|
| Estimador                    | 22,42    | 22,88       | 23,3      |
| Pepita ( $C_0$ )             | 23,36    | 24,96       | 48,55     |
| Patamar ( $C_0+C_1$ )        | 59,46    | 62,98       | 40,69     |
| Alcance (a)                  | 177,5    | 129,7       | 225,3     |
| Alcance assintótico          | 177,5    | 388,57      | 389,89    |
| Contribuição                 | 36,1     | 38,02       | -7,86     |
| $^1[C_0/C_0+C_1] \times 100$ | 28,21    | 28,38       | 54,4      |
| $^2R^2$                      | 0,57     | 0,55        | 0,56      |
| $^3AIC$                      | 424,8    | 424,9       | 425,7     |
| $^4BIC$                      | 433,2    | 433,3       | 434,1     |

10  $^1[C_0/C_0+C_1] \times 100$  = Índice de dependência espacial dado pela Classificação de  
 11 Cambardella;  $^2R^2$  = Coeficiente de determinação;  $^3AIC$  = Critério de informação  
 12 de Akayke;  $^4BIC$  = Critério de informação *Bayesiana*.

13

1 Para desfolha operacional, em todos os modelos testados obteve-se o  
 2 efeito pepita puro para o parâmetro desfolha operacional, dessa forma não  
 3 havendo dependência espacial. O efeito pepita puro significa que um ponto que  
 4 esteja mais próximo ao ponto amostral não tem necessariamente maior  
 5 influência no valor estimado, o que se resume em desconsiderar a correlação  
 6 espacial, ou seja, não há vantagem em se utilizar a ferramenta da  
 7 geoestatística para o estudo do parâmetro (ANDRIOTTI, 2002), já que pode-se  
 8 fazer a interpolação pelo método. Quando isto ocorre há possibilidades do  
 9 modelo escolhido apresentar inconsistências quanto aos mapas de isolinhas  
 10 elaborados posteriormente (Tabela 3). De qualquer forma, escolheu-se o  
 11 modelo exponencial para representar este parâmetro devido ao maior  
 12 coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

13

14 **Tabela 3.** Escolha de modelo empírico para desfolha operacional após a  
 15 operação da colhedora.

| Parâmetro                    | Esférico | Exponencial | Gaussiano |
|------------------------------|----------|-------------|-----------|
| Estimador                    | 1,58     | 1,59        | 1,57      |
| Pepita ( $C_0$ )             | 0,0      | 0,0         | 0,0       |
| Patamar ( $C_0+C_1$ )        | 0,11     | 0,123       | 0,127     |
| Alcance (a)                  | 115,4    | 54,08       | 57,22     |
| Alcance<br>assintótico       | 115,4    | 161,99      | 99,03     |
| Contribuição                 | 0,12     | 0,12        | 0,13      |
| $^1[C_0/C_0+C_1] \times 100$ | 0,0      | 0,0         | 0,0       |
| $^2R^2$                      | 0,69     | 0,73        | 0,55      |
| $^3AIC$                      | 37,61    | 40,36       | 36,02     |
| $^4BIC$                      | 45,99    | 48,74       | 44,4      |

16  $^1[C_0/C_0+C_1] \times 100 =$  Índice de dependência espacial dado pela Classificação de  
 17 Cambardella;  $^2R^2 =$  Coeficiente de determinação;  $^3AIC =$  Critério de informação  
 18 de Akayke;  $^4BIC =$  Critério de informação *Bayesiana*.

19

20 Para a quantidade de café remanescente o alcance obtido foi de 177,5  
 21 m. Para a desfolha operacional o alcance foi de 54,08 m. O alcance da

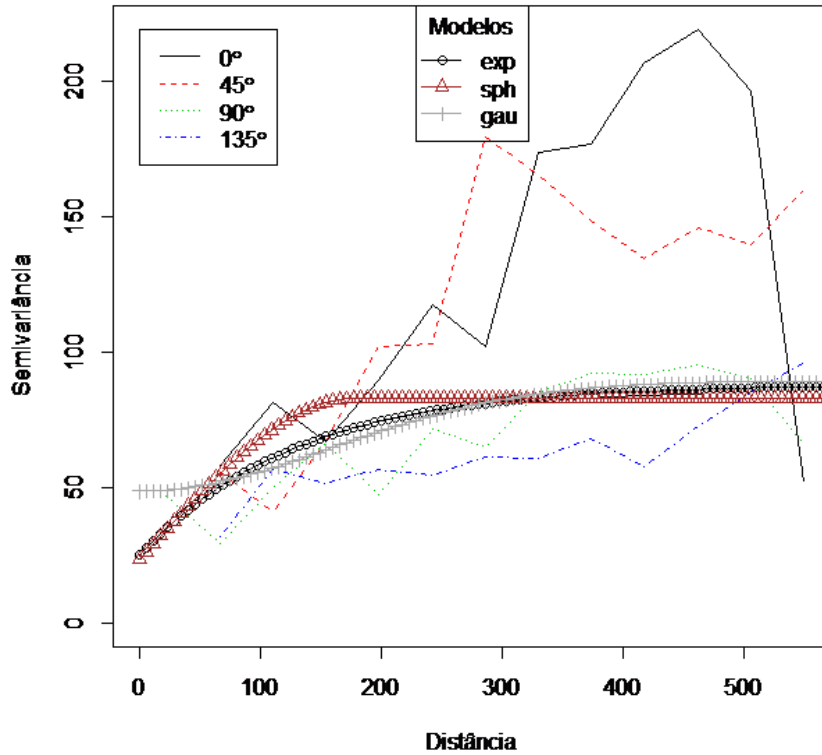


1 dependência espacial é um atributo importante no estudo dos  
2 semivariogramas, pois representa a distância máxima em que os pontos  
3 amostrais estão correlacionados espacialmente entre si (CHAVES e FARIAS,  
4 2009), ou seja, os pontos localizados numa área de raio igual ou inferior ao  
5 alcance do parâmetro são mais homogêneos. Os pontos localizados fora deste  
6 raio são bem distintos e não exercem entre si dependência espacial. Tal fato  
7 nos mostra que a desfolha operacional, na ocasião, teve menor variabilidade  
8 espacial que o café remanescente.

9 Com relação aos semivariogramas, nos dois parâmetros estudados  
10 houveram grandes inconformidades com os modelos, onde as semivariância  
11 nas direções 0, 45, 90, 135° e omnidirecional não seguiram corretamente o  
12 semivariograma, sendo muito variáveis. Isso ocorreu provavelmente devido ao  
13 baixo valor do coeficiente de determinação encontrado, 0,55 e 0,73,  
14 respectivamente para café remanescente e desfolha operacional (Figuras 1 e  
15 2).

16 A produtividade e os estádios de maturação dos frutos do cafeeiro são  
17 extremamente variáveis e por conta disto os parâmetros da colhedora, que são  
18 intimamente ligados a eles, também serão. A quantidade de café remanescente  
19 é inversamente proporcional à eficiência de derriça (capacidade que a  
20 colhedora tem de remover os frutos das plantas), intimamente ligada a  
21 eficiência de colheita (capacidade que a colhedora tem de remover os frutos  
22 das plantas e encaminha-los ao reservatório). A eficiência de colheita por sua  
23 vez esta ligada principalmente à produtividade e aos estádios de maturação  
24 dos frutos do cafeeiro (SILVA et al. 2013; SANTINATO et al., 2014, 2015).

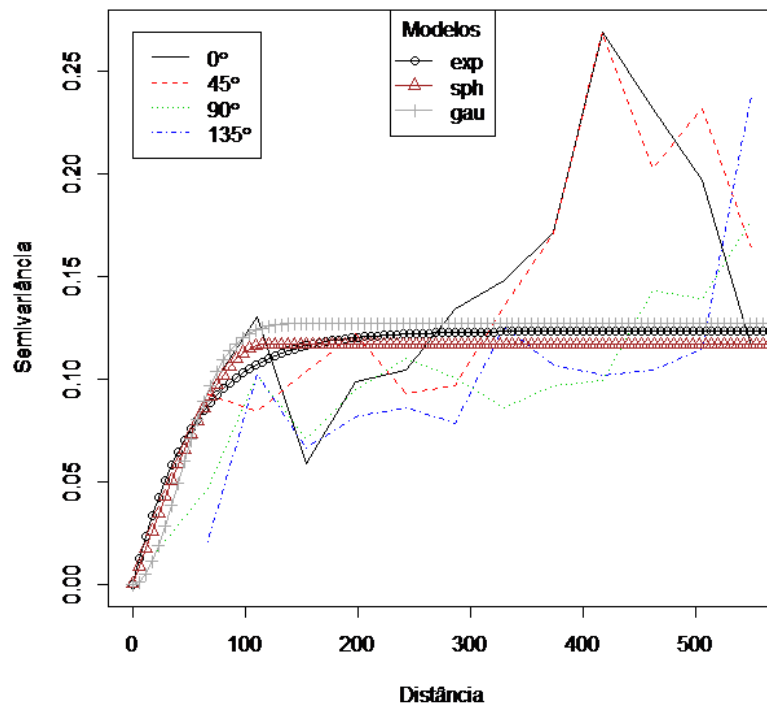
25



**Figura 1.** Semivariograma para café remanescente após a passagem da colhedora

1

2



**Figura 2.** Semivariograma para desfolha operacional após a passagem da

colhedora

1

2

Notou-se uma segmentação da área bem definida, com manchas bem extensas de pequena quantidade de café remanescente ao sul e sudoeste e manchas de elevada quantidade de café remanescente ao norte (Figura 3).

3

4

A quantidade de café remanescente é inversamente proporcional à eficiência de colheita. Normalmente quanto maior é a eficiência de colheita maior é a desfolha operacional, por conta da “energia” da máquina aplicada na planta. Este fato pôde ser visualizado nos dois mapas de isolinhas obtidos no estudo, com os pontos e manchas de maior desfolha operacional coincidindo com os pontos e manchas de menor quantidade de café remanescente (Figuras 3 e 4).

5

6

7

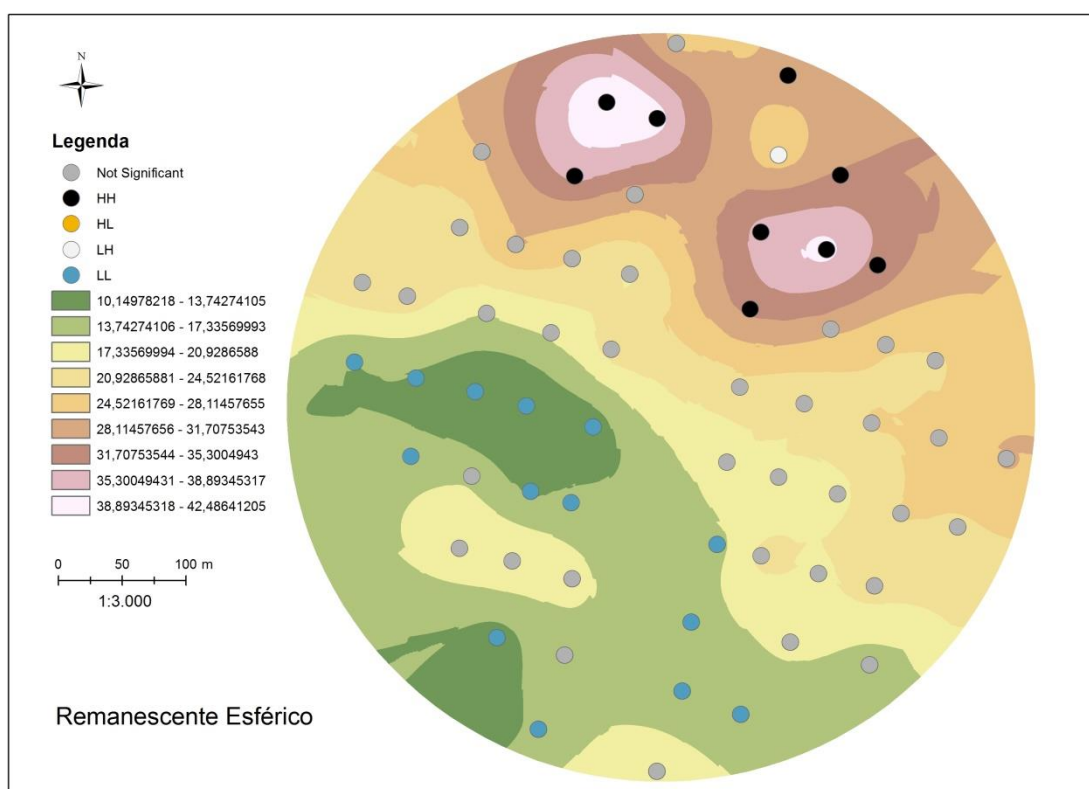
8

9

10

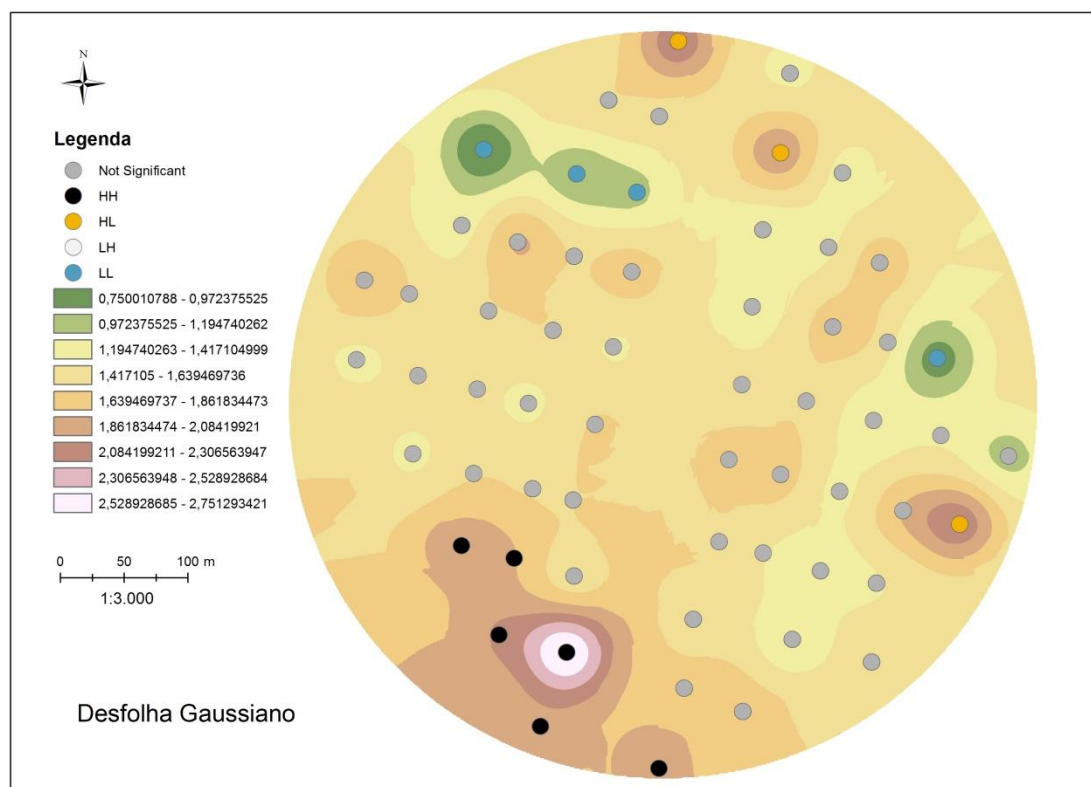
11

12



**Figura 3.** Mapa de distribuição para café remanescente após a passagem da colhedora

13



**Figura 4.** Mapa de distribuição para desfolha operacional após a passagem da colhedora

1

## 2 **Conclusões:**

3 1 – Foi possível estudar a variabilidade espacial de parâmetros ligados à  
 4 operação da colheita mecanizado do café, como café remanescente e desfolha  
 5 operacional, gerando mapas de isolinhas capazes de auxiliar nas  
 6 recomendações agrônômicas.

7 2 – Alguns parâmetros, como eficiência de colheita e café caído não tiveram a  
 8 dependência espacial reconhecida, em decorrência da elevada variabilidade  
 9 dos dados da cultura e da operação.

10

## 11 **Referências bibliográficas:**

12

13 CASSIA, M. T.; SILVA, R. P.; CHIODEROLLI, R. H. F. N.; SANTOS, E. P.  
 14 Quality of mechanized coffee harvesting in circular planting system. **Ciência**  
 15 **Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 1, p. 28-34, 2013.

16

- 1 CHAVES, L. H. G.; FARIAS, C. H. A. Variabilidade espacial de cobre e  
2 manganês em Argissolo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Ciência**  
3 **Agrônômica**, v.40, p.211-218, 2009.
- 4
- 5 COSTA, F.M.; ALVES, G.F.; SCALON, J.D.; ZACARIAS, M.S Análise  
6 estatística das distribuições espaciais do bicho-mineiro do cafeeiro e das  
7 vespas predadoras.. **Coffee Science**, v.10, n.2, p.149-157, 2015.
- 8
- 9 EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema**  
10 **Brasileiro de classificação de solos**. 2. 117d. Brasília, DF, 2006 Rio de  
11 Janeiro. 412 p.
- 12
- 13 ESRI – Environmental Systems Research Institute. **Help manual** (ArcGIS  
14 version). [Software]. ESRI.
- 15
- 16 FERRAZ, G.A.S.; SILVA, F.M.; COSTA, P.A.N.; SILVA, A.C.; CARVALHO, F.M.  
17 Agricultura de precisão no estudo de atributos químicos do solo e da  
18 produtividade de lavoura cafeeira. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n.1, p. 59-67,  
19 2012.
- 20
- 21 ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied**  
22 **geostatistics**. New York: Oxford University, 1989. 561 p.
- 23
- 24 KÖEPPEN, W. **Climatologia: con um estúdio de los climas de la Tierra**.  
25 México: Fondo de Cultura Economica, 1948. 478p.
- 26
- 27 McBRATNEY, A. B.; WEBSTER, R. Choosing functions for semi-variograms of  
28 soil properties and fitting them to sampling estimates. **Journal of Soil Science**,  
29 Oxford, v. 37, n. 3, p. 617-639, May 1986.
- 30
- 31 REIS, T.H.P.; SOARES, T.L.; GUIMARÃES, GONTIJO, P.T. Informações úteis  
32 no planejamento e no gerenciamento da atividade cafeeira. **Informe**  
33 **Agropecuário**, Belo Horizonte,v.29, n. 247, p. 112-27, 2008.
- 34

- 1 SANTINATO, F.; RUAS, R.A.A.; SILVA, R.P.; CARVALHO FILHO, A.;  
2 SANTINATO, R. Número de operações mecanizadas na colheita do café.  
3 **Ciência Rural**, v.45, n.10, p.1809-1814, 2015.  
4
- 5 SANTINATO, F.; SILVA, R. P.; CASSIA, M. T.; SANTINATO, R. Análise quali-  
6 quantitativa da operação de colheita mecanizada de café em duas safras.  
7 **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 4, p. 495-505, 2014.  
8
- 9 SANTINATO; F.; COSTA, T.M.; SILVA, R.P.; TAVARES, T.O.; ALCANTARA,  
10 A.S. Uso de extensores flexíveis na derriça em lavouras de café de primeira  
11 safra. **Coffee Science**, v.11, n.2, p. 187-194, 2016.  
12
- 13 SILVA, F.C.; SILVA, F.M.; SILVA, A.C.; BARROS, M.M.; PALMA, M.A.Z.  
14 Desempenho operacional da colheita mecanizada e seletiva do café em função  
15 da força de desprendimento dos frutos. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 1, p.  
16 53 - 60, 2013.  
17
- 18 VIEIRA, S. R. **Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo**.  
19 In: NOVAIS, R. F. de; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.). Tópicos  
20 em ciência do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo,  
21 2000. v. 1, p. 1-54.  
22
- 23 WANG, S.; LUO, K.; LIU, Y. Spatio-temporal distribution of human lifespan in  
24 China. **Scientific Reports**, 5:13844, 2015. DOI: 10.1038/srep13844.  
25

## 1 **CAPÍTULO 9 – Considerações finais**

2

3 O trabalho mostrou a importância, a viabilidade e a possibilidade de  
4 amplas utilizações das ferramentas da Agricultura de Precisão na cafeicultura.  
5 Primeiramente propôs-se métodos de avaliação de produtividade e do estágio  
6 de maturação dos frutos utilizando ferramentas da AP, evidenciando a  
7 necessidade de utilização destes métodos, pois foram capazes de exibir  
8 detalhes das plantas que anteriormente não eram observados, contribuindo  
9 para o correto manejo da lavoura.

10 Depois estudou-se a variabilidade espacial da produtividade, dos  
11 estágios de maturação dos frutos, de atributos do solo e da operação da  
12 colheita mecanizada, evidenciando sua elevada variabilidade, a necessidade  
13 de se utilizar metodologia específica e confiável para trabalhar com  
14 interpolação de dados e geração de mapas de isolinhas, alertando o cafeicultor  
15 para que tenha critérios na adoção do sistema de Agricultura de Precisão em  
16 suas lavouras.

17 Fez-se também um estudo sobre a influência dos grids na dependência  
18 espacial da produtividade do cafeeiro concluindo que existem parâmetros que  
19 são tão variáveis que não se pode proceder à interpolação de dados, ficando a  
20 utilização da AP restrita apenas à amostragem de dados.

21 Por fim, procurou-se novas aplicabilidades da AP no café, como a  
22 utilização de regulagens da colhedora na colheita mecanizada do café,  
23 elevando em 17% a eficiência de colheita. Desta forma, acreditamos ter  
24 colaborado, por meio deste trabalho, de alguma forma, com o desenvolvimento  
25 da cafeicultura, apontando caminhos para a adoção da Agricultura de Precisão  
26 nesta cultura.

27

28