



**UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL DA LUSOFONIA AFRO-
BRASILEIRA
INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO RURAL
CURSO DE AGRONOMIA**

THEREZA CRISTINA DE ASSIS BOTELHO

**ANÁLISE ESPACIAL DA INFLUÊNCIA DO RELEVO E DA TEMPERATURA NA
PRODUTIVIDADE DO CAFÉ NO MUNICÍPIO DE MULUNGU-CE**

Redenção – CE

2019

THEREZA CRISTINA DE ASSIS BOTELHO

ANÁLISE ESPACIAL DA INFLUÊNCIA DO RELEVO E DA TEMPERATURA NA
PRODUTIVIDADE DO CAFÉ NO MUNICÍPIO DE MULUNGU-CE

Trabalho de conclusão de curso – Artigo apresentado ao curso de Graduação em Agronomia do Instituto de Desenvolvimento Rural da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira - UNILAB, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Rafaella da Silva Nogueira.

Redenção – CE

2019

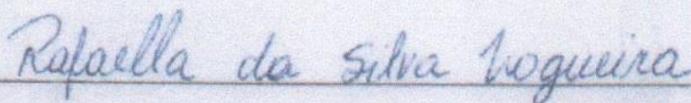
THEREZA CRISTINA DE ASSIS BOTELHO

ANÁLISE ESPACIAL DA INFLUÊNCIA DO RELEVO E DA TEMPERATURA NA
PRODUTIVIDADE DO CAFÉ NO MUNICÍPIO DE MULUNGU-CE

Trabalho de conclusão de curso - Artigo apresentado ao curso de Graduação em Agronomia do Instituto de Desenvolvimento Rural da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira - UNILAB, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

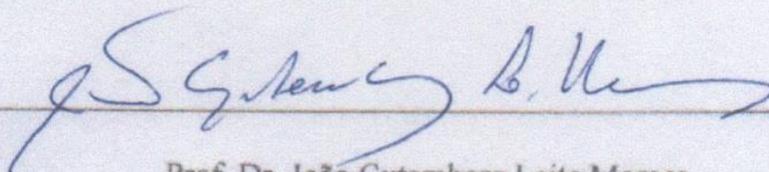
Aprovado em: 27/03/2019

Banca Examinadora



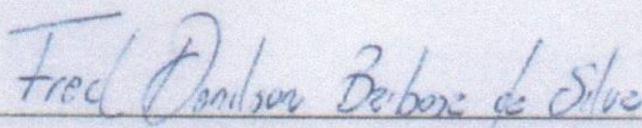
Prof.ª Dr.ª Rafaella da Silva Nogueira

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)



Prof. Dr. João Gutemberg Leite Moraes

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)



Prof. Dr. Fred Denilson Barbosa da Silva

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

**Análise espacial da influência do relevo e da temperatura na produtividade do café em
Mulungu-CE**

Spatial analysis of the influence of relief and temperature on coffee productivity in
Mulungu-CE

Thereza Cristina de Assis Botelho

RESUMO- Durante muitas décadas o café foi o principal produto das exportações nacionais, contudo esse produto ainda é muito importante para o país. O conhecimento do ambiente em que o cafeeiro está inserido permite um melhor planejamento da produção sendo o relevo um importante fator na instalação de novos cafezais. O objetivo do trabalho foi realizar uma análise espacial da influência do relevo e da temperatura na estimativa da produtividade da cultura do café no município de Mulungu-CE. O estudo foi realizado no sítio Bem-Te-Vi, Mulungu-CE, em área de 1,4 ha cultivada com *Coffea arabica* L., cv. Paraíso. A área foi dividida em três Unidades Experimentais (UEs), sendo avaliadas 10 plantas em cada UE para obtenção dos índices fenológicos de produtividade (IFP) com a aplicação de dois modelos matemáticos (IFP1 e IFP2). Foram avaliados ainda a altura das plantas, o diâmetro da copa e o diâmetro do caule. Além da temperatura na superfície do solo e nas folhas das plantas, durante os meses de setembro a dezembro de 2018. Os dados foram submetidos à análise geoestatística, para a definição do modelo de variabilidade espacial. As maiores temperaturas foram encontradas na classe de relevo forte-ondulado, apresentando índices fenológicos de produção inferiores em comparação às áreas com relevo suave-ondulado e ondulado. O estudo da variabilidade espacial por meio da geoestatística, utilizando a krigagem, mostrou-se uma importante ferramenta na compreensão da distribuição espacial da temperatura e do relevo, podendo ser utilizada na implantação e no manejo dos cafezais visando uma melhor produtividade.

Palavras-chave: *Coffea arabica* L.. Geoestatística. Variabilidade espacial.

ABSTRACT- For many decades coffee was the main product of national exports, but this product is still very important for the country. The knowledge of the environment in which the coffee is inserted allows a better planning of the production being the relief an important factor in the installation of new coffee plantations. The objective of this work was to perform a spatial analysis of the influence of relief and temperature on the estimation of productivity of the coffee crop in the municipality of Mulungu-CE. The study was carried out in the Bem-Te-Vi site, Mulungu-CE, in an area of 1.4 ha cultivated with *Coffea arabica* L., cv. Paradise. The area was divided into three experimental units (UEs). Ten plants were evaluated in each EU to obtain the phenological indexes of productivity (IFP) with the application of two mathematical models (IFP1 and IFP2). Plant height, crown diameter and stem diameter were also evaluated. Besides the temperature in the soil surface and in the leaves of the plants, during the months of September to December of 2018. The data were submitted to the geostatistical analysis, for the definition of the spatial variability model. The highest temperatures were found in the strong-wavy relief class, presenting lower phenological production indices compared to areas with smooth-wavy and wavy relief. The study of spatial variability using geostatistics using kriging proved to be an important tool in the understanding of the spatial distribution of temperature and relief, and can be used in the implantation and management of coffee plantations, aiming at a better productivity.

Key words: *Coffea arabica* L .. Geostatistics. Spatial variability.

INTRODUÇÃO

Durante muitas décadas o café foi o principal produto das exportações nacionais e apesar da perda de sua importância relativa na pauta das exportações brasileiras nas últimas três décadas, este produto ainda é muito importante para o país (SAKON *et al.*, 2012). Contudo, com o avanço das mudanças climáticas a produtividade e a qualidade do café vêm

perdendo espaço para outras culturas reduzindo as possibilidades de intensificar e restabelecer a cafeicultura no Brasil.

Devido à diversidade de fatores que influenciam a produtividade do cafeeiro, o manejo da lavoura de forma homogênea pode acarretar na redução de rentabilidade do produtor rural. Nesse sentido, análises espaciais de produtividade podem possibilitar o gerenciamento mais eficiente do processo produtivo (FERRAZ *et al.*, 2012). O conhecimento do ambiente em que o cafeeiro está inserido permite um melhor planejamento da produção, visando o desenvolvimento sustentável e a obtenção de produtos com qualidade, uma vez que os fatores ambientais exercem grande influência sobre a qualidade da bebida (ALVES *et al.*, 2011b).

Tradicionalmente, as regiões consideradas aptas ao cultivo do *Coffea arabica* L. são aquelas que apresentam temperatura média anual entre 19° C e 22° C e déficit hídrico inferior a 150 mm anuais (VENTURIN *et al.*, 2013), as temperaturas mais elevadas reduzem os ciclos entre florada e a maturação de grãos, especialmente na fase final do ciclo (ORTOLONI *et al.*, 2000). Conforme Mesquita *et al.* (2016) a condição hídrica ideal para o café arábica está entre 1.200 mm e 1.800 mm anuais, podendo suportar um déficit hídrico de até 150 mm, sem grandes prejuízos.

Apesar de existirem estudos relacionados à previsão de safra na cultura do café, ainda não se tem um consenso sobre a melhor metodologia a ser empregada. Isto é devido, basicamente às características da cultura do café, como a existência de bianualidade, a produção ser afetada pelas condições climáticas e do solo, estado fisiológico da lavoura, arquitetura das plantas, espaçamentos de plantio, bem como ao potencial produtivo das diferentes cultivares, o que dificulta o estabelecimento de um modelo de previsão de safra (ROCHA *et al.*, 2016). O relevo também é importante na instalação de novos cafezais, quando se consideram aspectos relacionados com mecanização e conservação do solo (ALVES *et al.*, 2011a).

Como existem diversos fatores que influenciam a produtividade do café, pesquisas têm utilizado tanto modelos matemáticos para a estimativa da produtividade do café (MIRANDA, 2003; FAHL *et al.*, 2005; OLIVEIRA, 2007; MIRANDA, 2014) como técnicas de geoprocessamento para verificar a variabilidade espacial de uma lavoura de café a fim de identificar a influência que os fatores climáticos e de relevo exercem na produtividade da cultura (SILVA, 2009; BURACK; SANTOS; PASSOS, 2016).

Fahl *et al.* (2005) encontrou resultados satisfatórios na utilização do modelo matemático, onde verificou-se que os valores dos índices fenológicos acompanharam estreitamente os valores das produções reais obtidas. Miranda (2014) ressalta que as regressões lineares utilizadas em seu trabalho demonstraram que o modelo matemático apresentou boa eficiência, mostrando-se aplicável para a estimativa de safra das cultivares analisadas, aproximando-se da produção real do talhão com leve tendência de superestimar a produção.

Diante do exposto o presente trabalho teve como objetivo analisar a variabilidade espacial do relevo e da temperatura bem como a influência que tais fatores exercem na produtividade da cultura do café no município de Mulungu-CE.

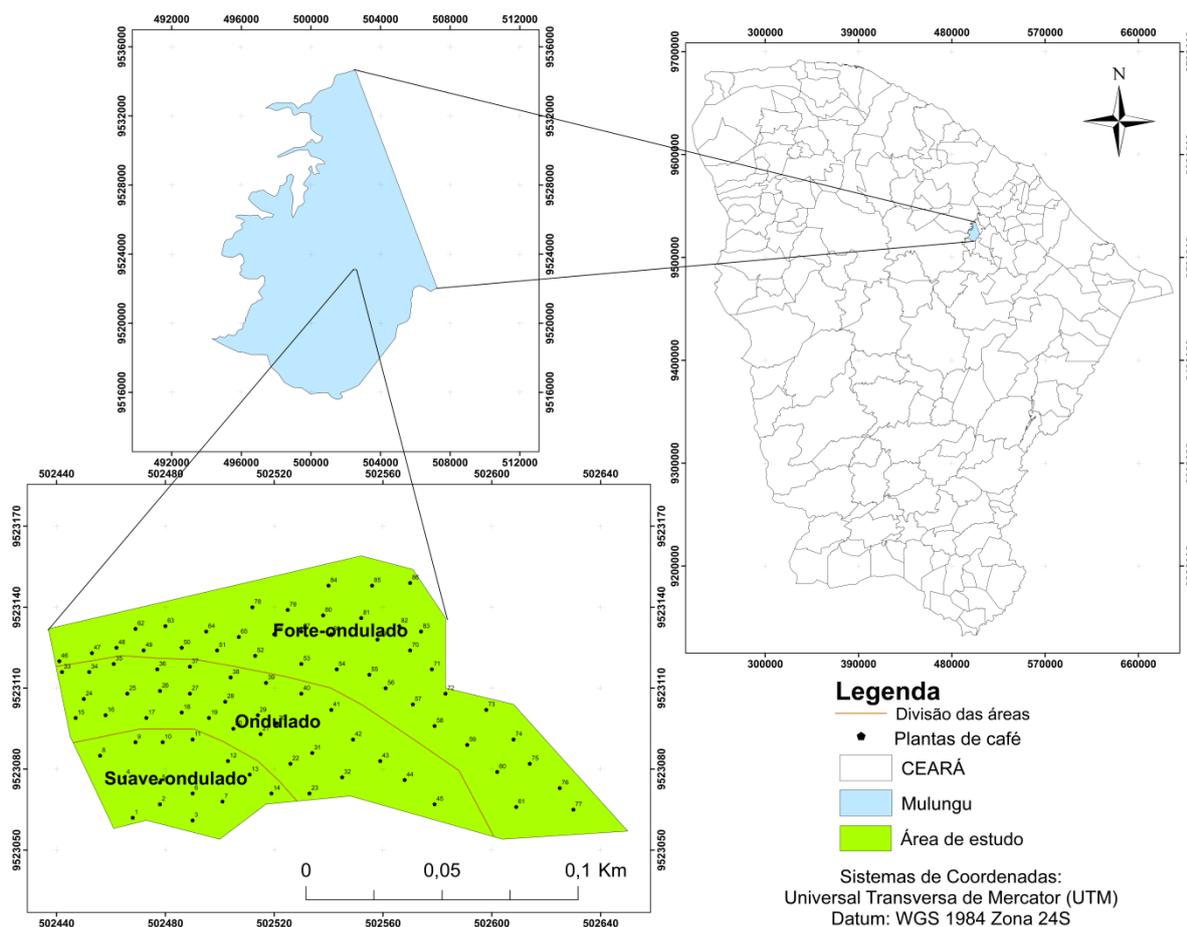
MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado no sítio Bem-Te-Vi localizado no município de Mulungu-CE situado entre as coordenadas geográficas (UTM) 052530 de latitude Sul e 9523108 de longitude Oeste (Figura 1). O município de Mulungu está situado ao Norte do estado do Ceará a uma altitude média de 790 m, com clima predominante Tropical Sub-quente Úmido, temperatura média de 22° a 24° C e vegetação composta por Floresta Subcaducifólia Tropical Pluvial e Floresta Subperenifólia Tropical Pluvio – Nebular (IPECE, 2017).

A área em estudo é de 1,4 ha cultivada com *C. arabica* L., cv. Paraíso de idade aproximada de 8 anos. As plantas de café foram cultivadas em espaçamento de 3,0 x 1,0 m totalizando 3.333 plantas ha⁻¹, conduzidas e adubadas conforme necessidade da cultura e sem utilização de sistema de irrigação (sequeiro).

Figura 1- Mapa de localização da área de estudo dividida em três Unidades Experimentais (Relevo Suave-ondulado: 1.440 m², Ondulado: 2.880 m² e Forte-ondulado: 5.400 m²).



Coleta dos dados e variáveis analisadas

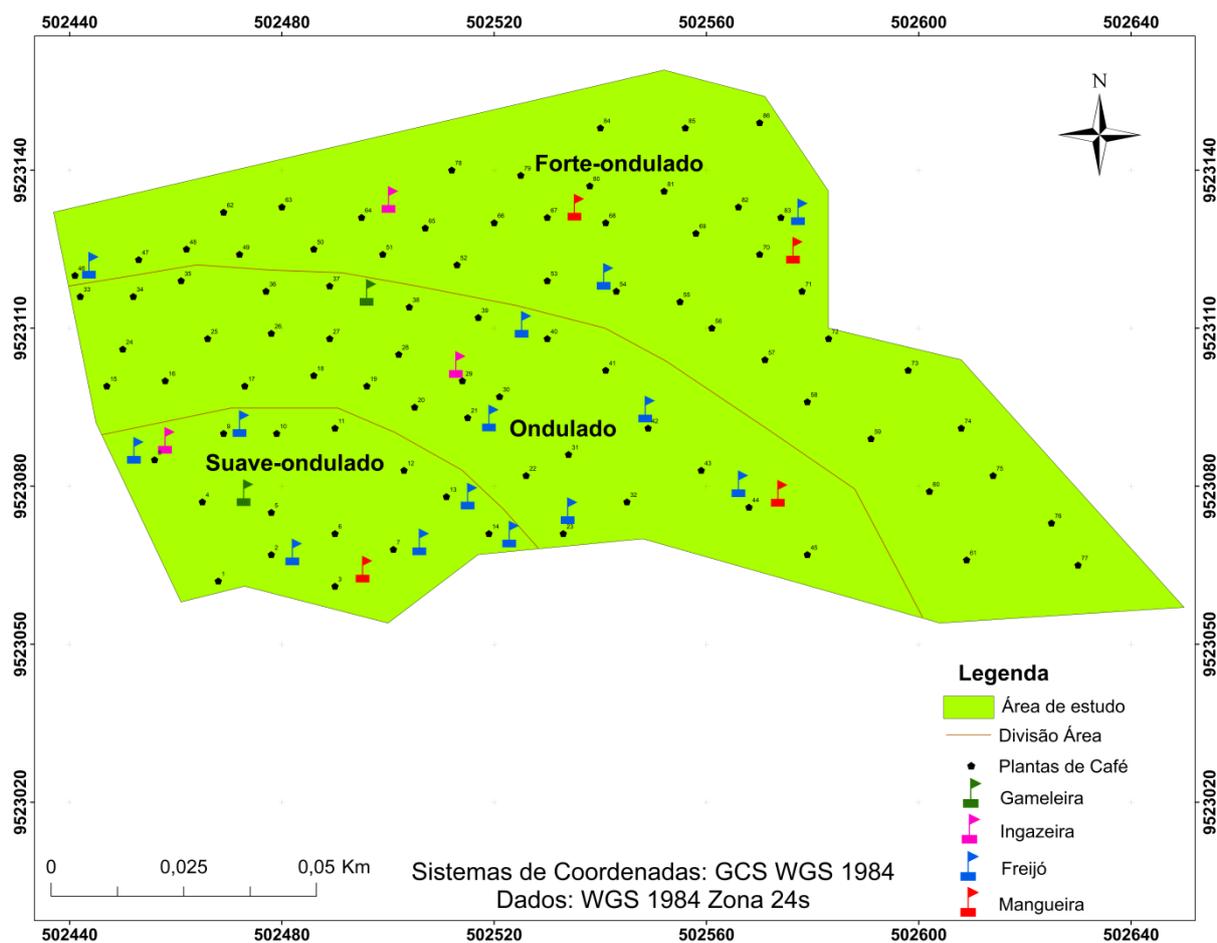
As avaliações foram realizadas nos meses de setembro, outubro, novembro e dezembro do ano de 2018. A princípio foram demarcados os pontos limites da área de café estudada, assim como também as coordenadas das plantas que foram avaliadas, utilizando o GPS (Sistema de Posicionamento Global) modelo Trimble Juno T41. A área foi dividida em 3 (três) Unidades Experimentais (UEs) levando-se em consideração a declividade do terreno:

relevo suave-ondulado (3-8% de declividade), relevo ondulado (8-20% de declividade) e relevo forte-ondulado (20-45% de declividade) (EMBRAPA, 1979). A declividade do terreno foi obtida através do levantamento planialtimétrico realizado por profissionais contratados pelo proprietário.

Dentro de cada UE foram avaliadas, aleatoriamente, 10 plantas; e selecionados em cada uma delas 6 ramos plagiotrópicos, sendo 3 ramos de cada lado da rua, situados no terço superior, central e inferior do cafeeiro, totalizando 60 ramos plagiotrópicos por UE, conforme Miranda (2014). Para a obtenção do Índice fenológico de produtividade/m² foram contabilizados os “chumbinhos” dos 4º e 5º nós produtivos dos 6 ramos de cada planta contados a partir do ápice para a base dos ramos plagiotrópicos, estando estes entre os nós que cresceram no ano anterior e a média de “chumbinho” presente nos mesmos representa praticamente a mesma quantidade de chumbinhos pertencentes aos nós produtivos que cresceram no mesmo ano (ALFONSI, 2008).

Foram avaliados ainda a temperatura (°C) na superfície do solo e nas folhas das plantas, em um espaçamento de 10 m x 12 m entre plantas e linhas, as quais foram coletadas em cada lado da rua na região do terço superior com auxílio do termômetro infravermelho com mira laser - DT -8550 (setembro, outubro e novembro). Além da altura das plantas, consistindo na distância entre o nível do solo e o ápice do ramo ortotrópico utilizando uma régua de 3,5 metros de comprimento, o diâmetro da copa na região do terço central da planta e o diâmetro do caule, a uma distância de 10 cm do nível do solo (dezembro). Na ocasião, também foram demarcadas as áreas com maiores concentrações de árvores, sendo coletadas as coordenadas geográficas das mesmas (Figura 2).

Figura 2- Áreas com maiores concentrações de árvores presentes na área de estudo.



A obtenção dos índices fenológicos de produtividade (IFP) foi realizada com a aplicação de dois modelos matemáticos os quais serão chamados, na sequência, índice fenológico de produção 1 (IFP1) e índice fenológico de produção 2 (IFP2). O IFP1 baseou-se no modelo proposto por Fahl *et al.* (2005) sendo a estimativa da produção calculada através da equação 1.

$$\text{IFP1} = \text{MF45} \times (\text{ALT} \times 2) \times \text{CML} \quad (1)$$

Onde: IFP1 - índice fenológico produtivo de um hectare de café; MF45 - média de frutos presentes nos 4º e 5º nós produtivos a partir do ápice dos ramos plagiotrópicos; ALT x 2 - dobro da altura média das plantas, em metros em cada UE; CML - comprimento (m) de linha de cafeeiro por hectare obtido pela divisão de 10.000 pelo espaçamento (m) entre linhas das plantas.

O IFP2 seguiu o modelo proposto por Miranda (2014), conforme descrito na equação 2.

$$\text{IFP2} = \frac{(\pi \times D^2) \times \text{ALT}}{2} \times \text{MF45} \times \text{CML} \quad (2)$$

Onde: IFP2 - índice fenológico produtivo de um hectare de café; π - número irracional de valor aproximado e fixo igual a 3,14; D2 - diâmetro do cafeeiro medido na altura da saia elevado ao quadrado; ALT - altura média das plantas, em metro de cada UE; MF45 - média de frutos presentes nos 4° e 5° nós produtivos a partir do ápice, dos ramos plagiotrópicos; CML - comprimento (m) de linha de cafeeiro por hectare obtido pela divisão de 10.000 pelo espaçamento (m) entre linhas das plantas.

Após a obtenção dos resultados dos Índices Fenológicos de Produção, os valores de cada índice foram divididos pelas suas áreas equivalentes obtendo assim o Índice Fenológico de Produção por metro quadrado (IFP/m²).

Os dados de temperaturas (folha e solo), altura, diâmetro do caule e da copa das plantas de café foram submetidos à análise geoestatística, para a definição do modelo de variabilidade espacial, obtendo-se assim os semivariogramas, conforme Reichardt e Timm (2012) o semivariograma é a ferramenta da geoestatística que permite verificar e modelar a dependência espacial de uma variável.

Foram testados os modelos gaussiano, esférico, exponencial e linear. Ajustou-se o modelo com o maior valor do coeficiente de correlação (R^2) e menor soma de quadrados dos resíduos (SQR) e determinou-se os parâmetros: efeito pepita (C_0), patamar ($C_0 + C$) e alcance (a).

A análise da dependência espacial foi realizada através do *software Gamma Design GS+* (versão 10). Os dados foram interpolados por meio da técnica da krigagem, a qual utiliza os parâmetros do semivariograma (SANTOS *et al.*, 2015). Na equação 3 está representada a equação da semivariância, no qual a expressão pode ser encontrada em Reichardt e Timm (2012):

$$\gamma(j) = \frac{1}{2(n-j)} \sum_{i=j}^{n-j} (x_i - x_{i+j})^2 \quad (3)$$

Em que: $\gamma(j)$ é o valor da semivariância experimental dos dados distantes entre si de um número h de vetores de espaçamento ou “lag”, x_i e x_{i+j} são os pares de valores medidos da variável x separados por um vetor jh , $n-j$ é um número de pares de valores ($x_i - x_{i+j}$) separados pelo vetor jh , e x é a variável em estudo.

Para elaboração dos mapas de distribuição espacial das variáveis avaliadas, foi utilizado o programa SURFER 8.0. Com base nos modelos e parâmetros dos variogramas foi possível estimar os valores em locais não medidos por meio da krigagem ordinária, para construção dos mapas temáticos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentados os valores da estatística descritiva das variáveis temperatura da folha e do solo ($^{\circ}\text{C}$) no período de setembro a novembro, altura (Alt), diâmetro da copa (DCopa) e do caule (Dcaule) da planta de café.

Tabela 1- Estatística descritiva para as variáveis de temperatura e parâmetros morfológicos.

Variáveis	Meses	Média	S	Variância	CV	Mín	Máx	Cs	Ck
Tf ($^{\circ}\text{C}$)	Set	28,18	3,10	9,62	11	24,70	39,05	1,58	2,35
	Out	30,36	2,11	4,43	7	26,75	38,10	1,35	2,15
	Nov	27,78	1,31	1,71	5	25,70	32,70	1,50	3,54
Ts ($^{\circ}\text{C}$)	Set	29,28	5,33	28,49	18	23,60	53,00	1,96	4,61
	Out	30,82	3,01	9,06	10	26,40	40,90	1,30	2,13
	Nov	27,14	1,88	3,56	7	23,20	35,10	0,88	3,05
Alt (m)	Dez	2,05	0,44	0,19	21	0,54	3,20	-0,22	0,83
DCopa (m)	Dez	1,26	0,24	0,06	19	0,48	1,65	-0,74	0,14
Dcaule (cm)	Dez	10,75	2,59	6,71	24	2,50	17,5	0,02	0,33

S- Desvio padrão; CV- Coeficiente de Variação (%); Mín - Mínima; Máx - Máxima; Cs- Coeficiente de assimetria; Ck - Coeficiente de curtose; Set - setembro; Out- outubro; Nov – novembro; Dez-dezembro.

A maior média encontrada para as variáveis temperatura da folha e temperatura do solo ocorreu no mês de outubro, com $30,36^{\circ}\text{C}$ e $30,82^{\circ}\text{C}$, respectivamente. A média da temperatura da folha variou de $27,78$ a $30,36^{\circ}\text{C}$, apresentando valor mínimo de $24,70^{\circ}\text{C}$ no mês de setembro e valor máximo de $39,05^{\circ}\text{C}$ em outubro, com $2,05^{\circ}\text{C}$ de amplitude térmica.

Conforme Moreira (2008) em regiões com temperatura média anual acima de 25° C e de clima seco, os cafeeiros são propensos a sofrerem o abortamento das flores, o que prejudica a frutificação. No extremo oposto, temperaturas inferiores a 17° C proporcionam baixos níveis de produtividade. Além disso, ocorre o atraso no desenvolvimento dos frutos e a maturação pode sobrepor-se ou ultrapassar a florada seguinte, prejudicando a vegetação e a produção do cafeeiro.

Para temperatura do solo, a média variou de 27,14 a 30,82° C, sendo no mês de novembro o que apresentou a menor temperatura (23,20° C) e no mês de setembro a temperatura mais elevada (53,00° C). A temperatura do solo está relacionada com a física do solo sendo esta considerada um fator de crescimento vegetal, a mesma é influenciada por vários atributos e processos que ocorrem no solo como a textura, umidade do solo, a densidade do solo, porosidade, entre outros (SOUZA *et al.*, 2016).

O coeficiente de variação teve baixa variabilidade para as variáveis de temperatura da folha e do solo nos meses de outubro e novembro, indicando uma grande parcela de homogeneidade, variabilidade média para as variáveis temperatura da folha e do solo no mês de setembro e para o diâmetro da copa. As demais variáveis (altura e diâmetro do caule) apresentaram variabilidade alta, esta alta variabilidade é um indício de que as variáveis apresentaram maiores variações. Conforme Gomes e Garcia (2002) a variabilidade é considerada baixa quando o coeficiente de variação é $\leq 10\%$, média variabilidade de 10% a 20%, alta variabilidade de 20% a 30% e variabilidade muito alta $> 30\%$.

Para a maioria das variáveis estudadas, a assimetria e a curtose apresentaram distribuição normal, ou seja, com valores próximos a zero, sendo a temperatura do solo no mês de setembro a que apresentou maior valor de curtose (4,61). De acordo com Assumpção (2014) quanto mais próximo de zero estão esses valores, mais se aproximam da normalidade.

Houve distribuição assimétrica positiva para a maioria das variáveis. A assimetria negativa foi encontrada apenas na altura das plantas e no diâmetro da copa. Conforme Reichardt e Timm (2012) a assimetria é classificada como assimétrica negativa quando $a < 0$, ou seja, a maioria dos valores avaliados são maiores ou estão localizados a direita da média, quando $a = 0$ a distribuição é classificada como simétrica, demonstrando que os valores estão distribuídos de forma uniforme em torno da média, já a distribuição assimétrica positiva é encontrada quando $a > 0$ indicando que a maioria dos valores são menores ou se encontram a esquerda da média aritmética.

O coeficiente de curtose apresentou distribuição leptocúrtica para todos os valores. Segundo Reichardt e Timm (2012) o coeficiente de curtose indica o grau de achatamento de uma distribuição, onde a mesma pode ser classificada como platicúrtica (maior achatamento) sendo $a < 0$, mesocúrtica (achatamento médio) onde $a = 0$ e leptocúrtica (menor grau de achatamento) quando $a > 0$.

Na Tabela 2 estão representados os parâmetros dos variogramas ajustados aos modelos teóricos que melhor descrevem o comportamento da variabilidade espacial dos atributos estudados. São apresentados os seguintes parâmetros: modelo; soma de quadrados do resíduo (SQR); coeficiente de determinação (R^2); proporção [$C_0/(C_0+C)$]; efeito pepita (C_0); patamar (C_0+C) e alcance (a) em metros.

Tabela 2- Parâmetros dos modelos teóricos de semivariância ajustados para os atributos analisados.

Parâmetros	Meses	Modelo	SQR	R^2	$C_0/(C_0+C)$	C_0	(C_0+C)	a (m)
Tf (°C)	Set	Linear	8,03	0,01	0,00	8,87	8,87	94,65
	Out	Gaussiano	2,04	0,76	1,00	0,01	4,60	17,15
	Nov	Gaussiano	0,42	0,64	1,00	0,00	1,68	16,45
Ts (°C)	Set	Gaussiano	56,50	0,83	0,69	16,70	54,40	223,95
	Out	Exponencial	3,00	0,84	0,73	2,49	9,35	47,70
	Nov	Esférico	1,41	0,40	0,98	0,07	3,53	15,50
Alt (m)	Dez	Esférico	0,00	0,00	0,93	0,01	0,20	8,30
DCopa (m)	Dez	Linear	0,00	0,36	0,00	0,06	0,06	94,65
Dcaule (cm)	Dez	Linear	2,41	0,00	0,00	6,90	6,90	94,65

Os semivariogramas que se ajustaram ao modelo gaussiano foram temperatura da folha nos meses de outubro e novembro e temperatura do solo no mês de setembro, sendo este o modelo teórico que apresentou melhor ajuste para a semivariância empírica das temperaturas. Segundo Bottega *et al.* (2013) o modelo gaussiano é representativo de fenômenos extremamente contínuos, indicando suave variação em pequenas distâncias de observação.

Para o modelo exponencial, apenas a temperatura do solo em outubro se ajustou a esse modelo, já a temperatura do solo em novembro e a altura se ajustaram ao modelo esférico, resultados coincidem com os obtidos por Nascimento *et al.* (2011) onde a temperatura melhor se adequou ao modelo esférico. Os parâmetros temperatura do solo em setembro, diâmetro da copa e do caule foram classificados como modelo linear, isso significa dizer que a distância entre os pontos de coleta dos dados não foram suficientes para perfeita formação dos mapas (SILVA *et al.*, 2013).

Os valores de efeito pepita (C_0) se mantiveram baixos para a maioria das variáveis, apresentando valores próximos de zero. Conforme Vieira (2000) quanto menor for o efeito pepita do semivariograma, menor será a variância da estimativa. Mais precisamente, quanto menor for a proporção do efeito pepita em relação ao patamar do semivariograma, maior a continuidade do fenômeno, menor a variância da estimativa ou maior a confiança que se pode ter na estimativa.

O alcance apresentou variação de 215,65 m entre as variáveis, onde o maior alcance observado foi para temperatura do solo em setembro (223,95 m) demonstrando que esta variável, é a que apresenta menor variabilidade espacial, já a altura das plantas apresentou menor alcance (8,30 m), indicando assim uma maior variabilidade espacial. Nesses casos, os pontos localizados numa área de raio menor ou igual ao alcance são mais similares e estão dependentes espacialmente entre si e podem ser usados para estimar valores para locais não amostrados (SILVA, 2009).

O patamar apresentou maior valor na variável temperatura do solo em setembro (54,40) e menor valor na variável diâmetro da copa (0,06). Conforme Reichardt e Timm (2012) o patamar é o valor da semivariância correspondente ao seu alcance, onde deste ponto em diante considera-se que não existe mais dependência espacial entre as observações da variável, pois a variância da diferença entre os pares de observações torna-se invariante com a distância.

Por meio dos resultados dos modelos matemáticos (IFP1 e IFP2) foi possível obter os valores de Índice Fenológico de Produção/m² das áreas divididas em relevo suave-ondulado, relevo ondulado e relevo forte-ondulado como mostra a tabela 3.

Tabela 3- Índice fenológico de produção nas áreas com diferentes declividades.

		Relevo Suave-ondulado	Relevo ondulado	Relevo Forte-ondulado
Área (m ²)		1440	2880	5400
Índice/m ²	IFP1	13,20	13,21	12,60
	IFP2	4,35	3,53	3,47

Em ambos os modelos matemáticos as áreas de relevo suave-ondulado (13,20 e 4,35) e ondulado (13,21 e 3,53) apresentaram índices superiores ao relevo forte-ondulado (12,60 e 3,47), no entanto, as três áreas apresentaram valores próximos entre si. O modelo matemático IFP1 apresentou valores superiores para os diferentes tipos de relevos em comparação com o IFP2.

A distribuição espacial da produtividade em trabalho realizado por Burack; Santos e Passos (2016) demonstrou que onde a declividade foi menor e a altitude maior, ocorreram maiores valores de produtividade. Conforme esses autores, tais resultados são associados às maiores concentrações de argila, microporosidade e umidade do solo nesses locais, o que favorece a esse aumento da produtividade.

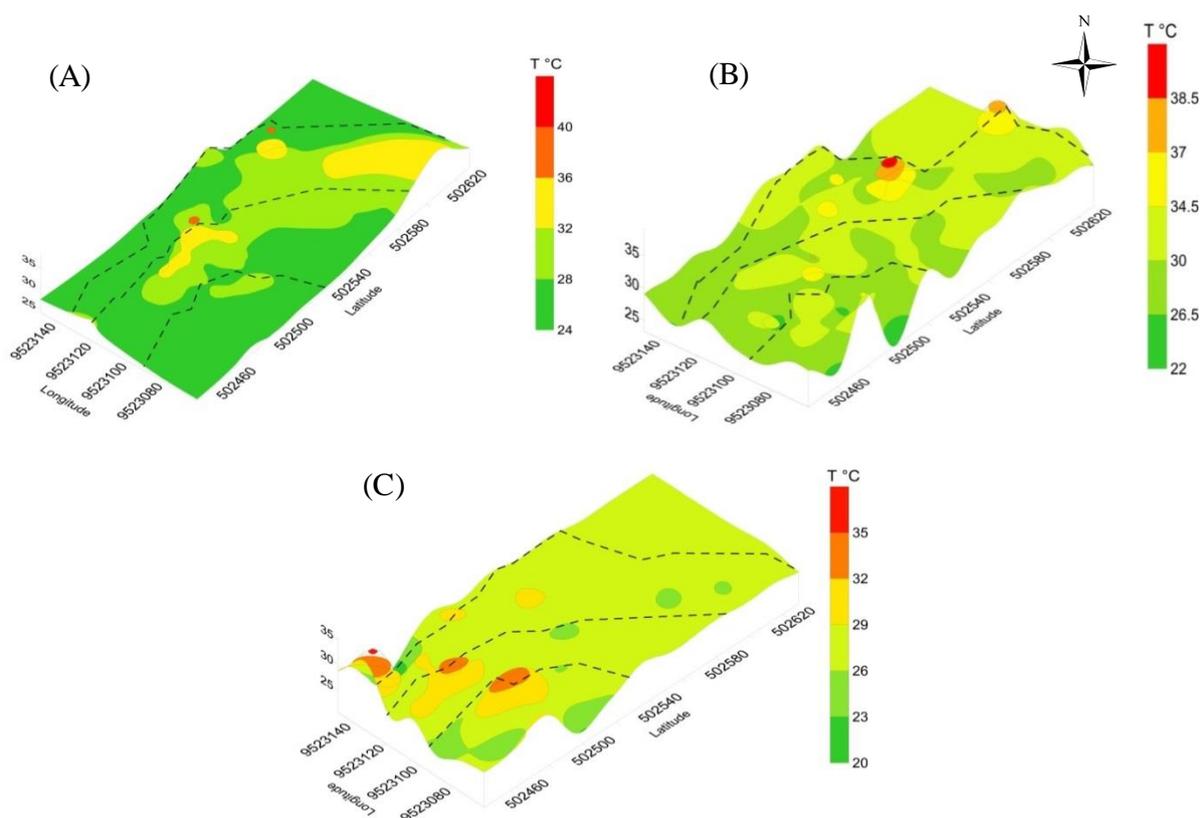
As maiores regiões com concentrações de argila podem ser originadas pelo relevo que favorece o escoamento superficial em áreas que apresentam menor declividade e maior altitude, assim como as maiores concentrações de areia grossa estão presentes onde a

declividade é maior e a altitude menor, ocasionando regiões com diferentes produtividades em uma mesma área (BURACK; SANTOS; PASSOS, 2016).

Em locais onde se tem maior altitude e menor declive em que é menos susceptível ao carreamento das partículas há um aumento da microporosidade do solo em razão dos teores de argila serem mais elevados nessas áreas, favorecendo assim a conservação da umidade do solo e contribuindo para o aumento da produtividade do cafeeiro (BURACK; SANTOS; PASSOS, 2016).

Na figura 3 estão representados os mapas referentes a temperatura da folha nos meses de setembro (A), outubro (B) e novembro (C).

Figura 3- Mapa de distribuição espacial da temperatura da folha das plantas de café nos meses de setembro (A), outubro (B) e novembro (C).

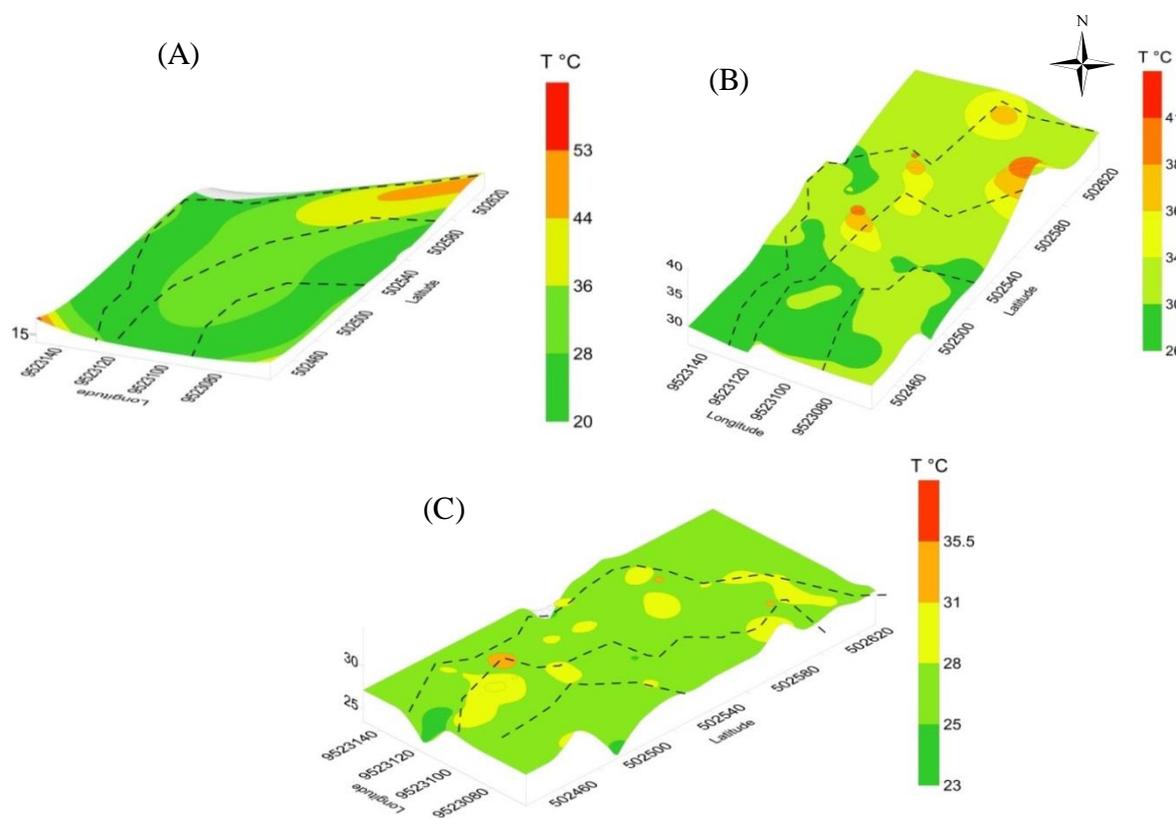


A amplitude térmica nos três meses avaliados foram de 16° C em setembro, 16,5° C em outubro e 15° C no mês de novembro. A distribuição espacial no mês de setembro indicou que as variações de temperatura na área com relevo suave-ondulado apresentou valores mais

amenos e constantes, diferentemente da área de relevo forte-ondulado em que as temperaturas se mantiveram mais elevadas apresentando picos. O mesmo pode ser observado para a temperatura no mês de outubro, onde o maior pico de temperatura da área concentrou-se no relevo forte-ondulado, porém apresentou maiores variações nos diferentes relevos. Em novembro as temperaturas se mantiveram com poucas variações em ambas as áreas analisadas, em comparação aos meses anteriores os picos de temperatura neste mês esteve presente em ambas as áreas, localizado na região Oeste da área de estudo.

Assim como nos mapas de temperatura da folha, nos mapas referentes à temperatura do solo (Figura 4) é notável a concentração de maiores temperaturas na área com relevo forte-ondulado.

Figura 4- Mapa de distribuição espacial da temperatura do solo nos meses de setembro (A), outubro (B) e novembro (C).

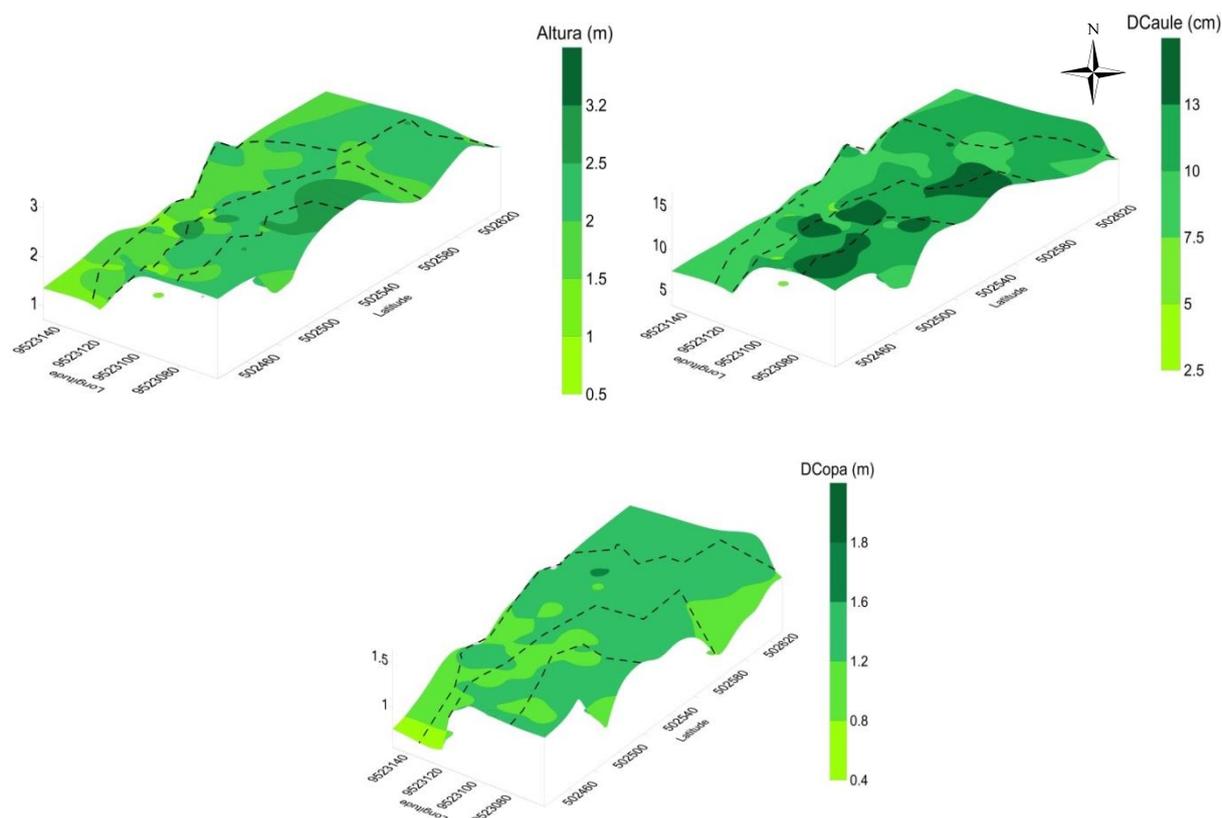


No mês de setembro a temperatura teve tendência de se manter constante em ambas as áreas, no entanto a porção Leste do relevo forte-ondulado apresentou pico de temperatura na

região onde as plantas estavam próximas de afloramentos rochosos e algumas clareiras, resultado parecido foi encontrado por Amendola *et al.* (2015) onde na superfície com vegetação as temperaturas se mantiveram mais amenas em relação a áreas com solo exposto, ilustrando a grande diferença de temperatura entre superfícies com vegetação e solo desnudo. A temperatura do solo no mês de outubro apresentou maiores quantidades de picos e variações de temperaturas na região Leste do relevo forte-ondulado (Figura 4). Já no mês de novembro as temperaturas se mantiveram mais amenas e com pequenas variações.

Os mapas da variação espacial da altura (m), diâmetro do caule (cm) e diâmetro da copa estão representados na figura 5.

Figura 5 - Altura, Diâmetro do Caule (Dcaule) e Diâmetro da Copa das plantas de café.



Através da observação dos mapas pode-se constatar que as plantas com maiores alturas e diâmetros do caule estão situadas no relevo suave-ondulado e ondulado. No relevo forte-ondulado estes valores são inferiores tendo destaque para a porção Oeste de ambos os mapas.

Esse fato também pode estar relacionado à presença de maior número de árvores (mangueira-*Mangifera indica*, gameleira- *Ficus adhatodifolia*, ingazeiras- *Ínga edulis*, freijó-*Cordia goeldiana*) e menores quantidades de clareiras nas áreas referentes aos relevos suave-ondulado e ondulado, diferentemente do relevo forte-ondulado que detinha maiores quantidades de clareiras e afloramentos rochosos. Aumentos nos valores de altura e área foliar dos cafeeiros devido ao sombreamento foram constatados por Ricci; Menezes e Costa (2008). Morais *et al.* (2003) estudando as características fisiológicas e de crescimento do cafeeiro sombreado e a pleno sol constataram que o sombreamento induziu uma maior altura das plantas, devido ao mecanismo conhecido como estiolamento o qual tende a otimizar a captação de luz.

Em estudo realizado por Ricci; Menezes e Costa (2008) o sombreamento não alterou estatisticamente o diâmetro do caule, porém sobressaiu-se numericamente em comparação ao cultivo a pleno sol, resultado contrário foi encontrado por Lunz (2006).

Com relação ao diâmetro da copa houve pequenas variações entre os diferentes tipos de relevo e nas áreas com maior passagem de luz. O mesmo foi constatado por Lunz (2006) em que o diâmetro da copa do cafeeiro não foi afetado significativamente pela disponibilidade de radiação solar.

CONCLUSÕES

1. As maiores temperaturas foram encontradas na classe de relevo forte-ondulado, apresentando índices fenológicos de produção inferiores em comparação às áreas com relevo suave-ondulado e ondulado.
2. O estudo da variabilidade espacial por meio da geoestatística, utilizando a krigagem, mostrou-se uma importante ferramenta na compreensão da distribuição espacial da temperatura e do relevo, podendo ser utilizada na implantação e no manejo dos cafezais visando uma melhor produtividade.

REFERÊNCIAS

- ALFONSI, E. L. **Uso de índices fenológicos em modelos de previsão de produtividade do cafeeiro**. 2008, 104 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia)- Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2008.
- ALVES, H. M. R. Características ambientais e qualidade da bebida dos cafés do estado de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 32, n. 261, p. 1-12, 2011a.
- ALVES, H. M. R. Geoprocessamento para determinação da distribuição de cafés com qualidade sensorial no estado de Minas Gerais no ano de 2007. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 15., 2011b, Paraná. **Anais...** Paraná: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- AMENDOLA, E. C. *et al.* Variabilidade Espacial da Temperatura Superficial de Ecossistemas Sensíveis. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, 17., 2015, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa, 2015.
- ASSUMPCÃO, H. C. P. **Modelagem geoestatística de variáveis geoquímicas em solos e sedimentos no município de Madre de Deus, BA**. 2014. 89 f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica) - Universidade Federal da Bahia, Instituto de Geociências, Salvador, 2014.
- BOTTEGA, E. L. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p. 1-9, 2013.
- BURAK, D. L.; SANTOS, D. A.; PASSOS, R. R. Variabilidade espacial de atributos físicos: relação com relevo, matéria orgânica e produtividade em café Conilon. **Coffee Science**, v. 11, n. 4, p. 455 - 466, 2016.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Súmula da 10.

Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979. 83p. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea, 1).

FAHL, J. I. *et al.* Desenvolvimento e aplicação de metodologia para estimativa da produtividade do cafeeiro, utilizando as características fenológicas determinantes do crescimento e produção. In: Simpósio de pesquisas dos cafés do Brasil, 4., 2005, Londrina. **Anais...** Brasília, 2005. CD-Rom

FERRAZ, G. A. S. *et al.* Agricultura de precisão no estudo de atributos químicos do solo e da produtividade de lavoura cafeeira. **Coffee Science**, v. 7, n. 1, p. 59-67, 2012.

GOMES, F. P.; GARCIA, C. H. A média, a variância e o desvio padrão. **Estatística aplicada a experimentos agronômicos e florestais**. 11. ed. Piracicaba: FEALQ, 2002. cap. 1, p. 11-25.

IPECE- Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Perfil básico municipal de Mulungu**. Fortaleza, CE: Governo do Estado do Ceará, 2017. Disponível em <http://www.ipece.ce.gov.br/perfil_basico_municipal/2017/Mulungu.pdf>. Acesso em: 18 set 2018.

LUNZ, A. M. P. **Crescimento e produtividade do cafeeiro sombreado e a pleno sol**. 2006. 96 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006. p. 14-17.

MANCUSO, M. A. C.; SORATTO, R. P.; PERDONÁ, M. J. Produção de café sombreado. **Coloquium Agrariae**, v. 9, n. 1, p.31-44, 2013.

MESQUITA, C. M. de. *et al.* **Manual do café: implantação de cafezais *Coffea arabica* L.** Belo Horizonte: EMATER-MG, 2016. 50 p.

MIRANDA, J. M. **Avaliação de progênies de cafeeiro quanto a herdabilidade, correlações fenotípicas, produtividade e resistências a ferrugem**. 2003. 101 f. Tese de

Doutorado- Universidade Estadual Paulista- Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2003.

MIRANDA, J. M.; REINATO, R. A. O.; SILVA A. B. da. Modelo matemático para previsão da produtividade do cafeeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.4, p.353–361, 2014.

MORAIS, H. *et al.* Características fisiológicas e de crescimento de cafeeiro sombreado com guandu e cultivado a pleno sol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 10, p. 1131-1137, 2003.

MOREIRA, A. C. **História do café no Brasil**. 1.ed. São Paulo: Magma Editora Cultural, 2008.

NASCIMENTO, E. M. S. *et al.* Variabilidade espacial da temperatura do ar, umidade relativa e luminosidade em estufa com tela antiafídica. In: Simpósio de Geoestatística em Ciências Agrárias, 2., 2011, Fortaleza. **Anais...** Botucatu, 2011.

OLIVEIRA, D. A. **Estimativa da produção de café por meio de Índices Fenológicos**. 2007. 20 f. Dissertação (mestrado em Fitotecnia)- Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

ORTOLANI, A. A. *et al.* Clima e qualidade natural de bebida do café arábica no Estado de São Paulo. In: simpósio de pesquisa dos cafés do Brasil, 1., 2000, Brasília. **Anais...** Brasília: Consórcio Pesquisa Café.

REICHARD, K.; TIMM, L. C. Variabilidade espacial e temporal de atributos do SSPA. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Manole, 2012. cap. 17, p. 357- 426.

RICCI, M. dos S. F.; MENEZES, M. B.; COSTA, J. R. Influência do sombreamento de cafeeiros manejados em sistema Orgânico na região serrana do estado do Rio de Janeiro. **Relatório de pesquisa**, Rio de Janeiro, 2008.

ROCHA, H. G. *et al.* Mapeamento da produtividade do cafeeiro a partir de modelos matemáticos de previsão de safra. **Coffee Science**, v. 11, n. 1, p. 108 – 116, 2016.

SAKON, F. M. *et al.* A Produção e Industrialização do Café no Brasil e a Economia Nacional: Simulações sob um Modelo Inter-Regional de Insumo-Produto. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 43, n. 3, p. 101-132, 2012.

SANTOS, E. O. de J. Variabilidade espacial de macronutrientes em uma lavoura de café conilon no Norte do Espírito Santo. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 46, n. 3, p. 469-476, 2015.

SILVA, E. G. da. *et al.* Variabilidade espacial das características ambientais e peso de frangos de corte em galpão de ventilação negativa. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.14, n.1, p.132-141, 2013.

SILVA, S. de A. **Variabilidade espacial de atributos de solo e folhas em lavouras de café arábica utilizando análise multivariada e geoestatística**. 2009. 105 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal)- Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias, Alegre, 2009.

SOUZA, L. da S. *et al.* Variabilidade espacial da temperatura do solo em área cultivada com mamoneira no platô de Irecê – BA. In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 20., 2016, Paraná. **Anais...** Paraná, 2016.

VENTURIN, R. P. *et al.* A pesquisa e as mudanças climáticas na cafeicultura. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 34, p. 34-43, 2013. Edição especial.

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