

ANÁLISE ESPACIAL DO DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS DE CAFÉ ARÁBICA SOB SISTEMA AGROFLORESTAL

Francisco Bruno Souza Silva¹

Rafaella da Silva Nogueira²

RESUMO

A adoção de sistemas agroflorestais é uma opção para mitigar o impacto das mudanças climáticas na produção de café no Brasil. O objetivo deste estudo foi quantificar a variabilidade espacial do desenvolvimento de cafeeiros da espécie arábica sob sistema agroflorestal no Maciço de Baturité-CE. O estudo foi conduzido em um sistema agroflorestal implantado com café (*Coffea arabica* L.), na Fazenda Experimental Piroás localizada no município de Redenção-CE. O grid amostral foi do tipo regular, em espaçamento de 8x8 m, totalizando 20 pontos georreferenciados. Em cada ponto do grid foram analisadas as seguintes variáveis: diâmetro do caule, comprimento dos ramos plagiotrópicos, altura de plantas e luminosidade. Os dados foram submetidos à análise geoestatística para determinação da análise espacial. A variável diâmetro do caule obteve melhor ajuste com os modelos gaussiano e esférico, para o comprimento de ramos plagiotrópicos foram os modelos esférico e exponencial enquanto que a altura de planta e luminosidade se ajustaram aos modelos gaussiano, exponencial e esférico. Observou-se forte grau de dependência espacial para diâmetro do caule e altura de planta enquanto para o comprimento de ramos e luminosidade a presença do efeito pepita puro, relação efeito pepita-patamar igual a 100%, ocasionou independência espacial para estas variáveis. Conclui-se por fim que as variáveis ligadas à planta apresentam uma forte correlação com a luminosidade nesse sistema. Os blocos que apresentaram maior luminosidade (Bloco 3 e 4) favoreceram o desenvolvimento das plantas, que apresentaram melhores valores médios nestes blocos e menores valores médios em blocos com índice de luminosidade menor (Bloco 1 e 2).

PALAVRAS CHAVES: *Coffea arabica*. Geoestatística. Mudanças climáticas. Sustentabilidade.

ABSTRACT

¹Discente do curso de Bacharelado em Agronomia pela Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira - UNILAB

²Orientadora. Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Viçosa - UFV.

Data de submissão e aprovação: 14/07/2023

The adoption of agroforestry systems is an option to mitigate the impact of climate change on coffee production in Brazil. The objective of this study was to quantify the spatial variability of the development of Arabica coffee trees under an agroforestry system in the Maciço de Baturité-CE. The study was conducted in an agroforestry system implanted with coffee (*Coffea arabica* L.), at the Piroás Experimental Farm located in the municipality of Redenção-CE. The sample grid was of the regular type, spaced 8x8 m, totaling 20 georeferenced points. At each grid point, the following variables were analyzed: stem diameter, length of plagiotropic branches, plant height and luminosity. The data were submitted to geostatistical analysis to determine the spatial analysis. The stem diameter variable obtained a better fit with the Gaussian and spherical models, for the length of plagiotropic branches the spherical and exponential models were used, while plant height and luminosity fitted the Gaussian, exponential and spherical models. A strong degree of spatial dependence was observed for stem diameter and plant height, while for branch length and luminosity the presence of the pure nugget effect, nugget effect-land ratio equal to 100%, caused spatial independence for these variables. Finally, it is concluded that the variables related to the plant present a strong correlation with the luminosity in this system. Blocks with higher luminosity (Block 3 and 4) favored the development of plants, which showed better mean values in these blocks and lower mean values in blocks with lower luminosity index (Block 1 and 2).

KEYWORDS: *Coffea arabica*. Geostatistics. Climate change. Sustainability.

INTRODUÇÃO

A cafeicultura é uma importante atividade agrícola que possui contexto histórico e econômico marcante no Brasil. Essa cultura fez com que o país retomasse o crescimento econômico a partir da sua consolidação no mercado devido à crescente demanda comercial por café (MEDEIROS; RODRIGUES, 2017).

Atualmente o Brasil é o país com a maior produção de café no mundo, com uma área que abrange 2,26 milhões de hectares e produtividade média estimada para 2023 de 28,9 sacas de 60 kg por hectare (CONAB, 2023). Dentre as espécies cultivadas de café, destaca-se a *Coffea arabica* e a *Coffea canephora*. No Brasil a principal produção é da primeira espécie, assumindo 81% das áreas destinadas à produção de café em 2022 (CONAB, 2022).

No Estado do Ceará a região serrana do Maciço de Baturité é reconhecida pela produção desta cultura (RIBEIRO; RUFINO, 2018). Entretanto, o cultivo do cafeeiro necessita de alguns parâmetros para uma adequada produção e produtividade, dentre estas destacam-se a temperatura média que deve estar entre 18 a 22° C, precipitações médias entre 1200 a 1800 mm, baixa incidência de ventos e altitude de 600 a 1200 m (MESQUITA et al., 2016). Esses parâmetros podem ser bastante alterados com as mudanças climáticas, pois de acordo com o relatório do *Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC* (2020) o aumento da temperatura global (cerca de 1,5° C na média do planeta) e a emissão de gases de efeito estufa - GEE, são alarmantes e as causas destas mudanças são diversas, como por exemplo as atividades da agricultura, floresta e outros usos da terra de modo convencional.

Os fatores climáticos e do solo exercem grande influência nos processos fisiológicos do cafeeiro, logo, as atuais mudanças climáticas oferecem riscos à produção do grão de café, o que pode ocasionar perda na produção e na qualidade do fruto nas regiões produtoras (PINHO et al. 2021). Assim, os sistemas agroflorestais surgem como uma resposta sustentável que visa mitigar os impactos ocasionados por essas mudanças (EMBRAPA, 2023). Os benefícios do SAF são descritos por diversos autores, como a redução e controle da temperatura, a melhoria da umidade relativa do ar, promoção de qualidade para o solo e o controle de pragas, além da preservação ambiental (RIBASKI et al., 2001; JONSSON et al., 2015; MEYLAN et al., 2017;).

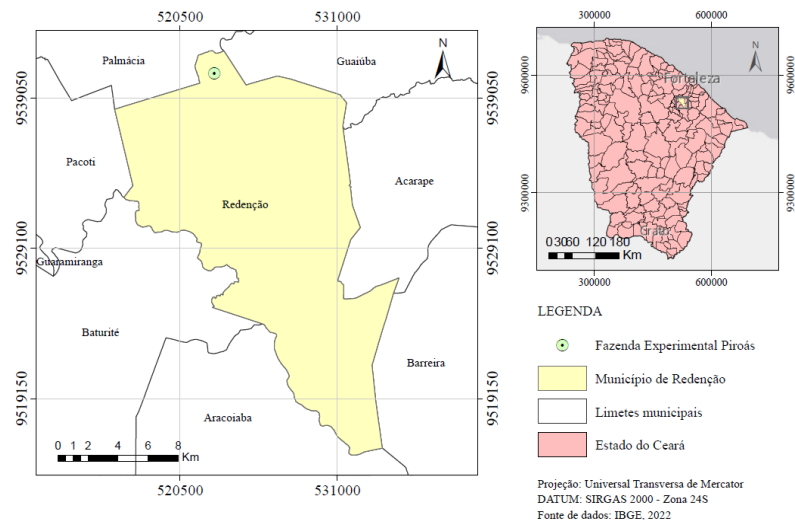
Uma das alternativas utilizadas para auxiliar na mitigação dos impactos das mudanças climáticas é a adoção de geotecnologias que contribui para a realização do monitoramento das culturas (FORMAGGIO; SANCHES, 2017). Atualmente, vários estudos têm adotado a

variabilidade espacial em culturas agrícolas para melhor compreender a dinâmica de desenvolvimento, produtividade e nutrição das culturas (BOTELHO et al., 2018; ALEXANDRE et al., 2021; MATTOS et al., 2022). A cafeicultura combinada com a geotecnologia é comumente utilizada no estudo da variabilidade espacial do solo e então na determinação da aplicação de adubos de forma adequada de acordo com a necessidade do solo, auxiliando na obtenção de informações mais precisas, no gerenciamento e monitoramento da lavoura (FERRAZ et al., 2017). Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi quantificar a variabilidade espacial do desenvolvimento de cafeeiros da espécie arábica sob sistema agroflorestal no Maciço de Baturité-CE.

METODOLOGIA

A presente pesquisa foi conduzida em um sistema agroflorestal implementado com *Coffea arabica* L., nas dependências da Fazenda Experimental Piroás (FEP) localizado entre as coordenadas geográficas 9537928 S e 521172 W no distrito de Barra Nova no município de Redenção no estado do Ceará (Figura 1). A FEP localiza-se a 15 km do centro da cidade e pertence à Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira que está inserida na microrregião do Maciço de Baturité.

Figura 1 - Localização da Fazenda Experimental Piroás no município de Redenção - CE.



Fonte: Francisco Bruno Souza Silva (2023).

A cidade de Redenção possui características do bioma Caatinga que de acordo com a classificação climatológica de Köppen-Geiger, possui clima tropical com inverno seco (Aw) com uma estação chuvosa no verão que ocorre entre janeiro a abril e estação seca no inverno

entre os meses de maio a dezembro com temperaturas médias de 26° a 28° C (IPECE, 2017) e segundo a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (2023) a pluviosidade média anual no município durante os anos de 1974 a 2016 foi de 1118.5 mm.

O sistema agroflorestal estudado possui uma área de 33,5 m x 33,0 m e foi implantado entre os meses de dezembro de 2018 a janeiro de 2019. Anteriormente essa área era cultivada com plantas ornamentais em sistema convencional de produção e estava em pousio desde o ano de 2012. Atualmente o sistema agroflorestal é consorciado com cafeeiros da espécie arábica e as seguintes espécies arbóreas: *Mimosa ceasalpiniaefolia* (Sabiá), *Piptadenia macrocarpa* (Angico) e *Cordia trichotoma* (Frei-Jorge).

A análise da variabilidade espacial foi realizada a partir de um grid regular com espaçamento de 8 x 8m totalizando 20 pontos amostrais. Esses pontos foram georreferenciados com o auxílio de um GPS modelo GPSMAP 96c e correspondem às plantas de café analisadas.

Para avaliar o desenvolvimento das plantas de café foram avaliadas as seguintes variáveis: diâmetro do caule, tamanho de ramos plagiotrópicos, altura da planta e luminosidade nos pontos amostrais. Para a coleta dos dados referentes aos diâmetros do caule das plantas foi utilizado um paquímetro da marca STAINLESS modelo Hardened e uma trena, e medidos a 5 cm de distância do solo (Figura 2). Os dados sobre o tamanho dos ramos plagiotrópicos foram coletados por meio de uma trena, no qual foram divididos os ramos em ramo terço inferior, médio e superior e medidos dois ramos (ramos opostos) em cada terço.

Figura 2 - Coleta de dados referente ao diâmetro do caule de plantas.



Fonte: Francisco Bruno Souza Silva (2023).

A altura das plantas foi medida com auxílio de uma trena, obtendo assim o comprimento desde sua base até seu ápice. A luminosidade foi medida em cada planta por meio de um luxímetro digital da marca INSTRUTHERM modelo LD-400 a uma altura de 1,30 metros próximo a planta nos horários de 8 a 9 horas e de 11 às 12 horas.

As coletas foram realizadas no período de janeiro de 2021 a junho de 2023, sendo feita uma coleta por ano. Os atributos foram identificados da seguinte forma: diâmetro do caule de plantas, DCP1 diâmetro do caule de planta mensurado em 2021, DCP2 diâmetro do caule de planta medido em 2022, DCP3 diâmetro do caule para a coleta realizada no ano de 2023; para a altura de plantas foram realizadas duas coletas, sendo a AP1 altura de planta para o ano de 2021 e AP2 altura de planta para o ano de 2023.

Para as variáveis comprimento de ramos plagiotrópicos e luminosidade foram realizadas uma única coleta no ano de 2023, atribuindo aos ramos a identificação de RTI1 (ramo do terço inferior um) e RTI2 (ramo do terço inferior dois) para os ramos do terço inferior, RTM1 (ramo do terço médio um) e RTM2 (ramo do terço médio dois) para os ramos do terço médio e RTS1 (ramo do terço superior um) e RTS2 (ramo do terço superior dois) para os ramos do terço superior. Em relação a luminosidade foi atribuída L1 para a coleta realizada no horário de 8 a 9 horas e L2 para a coleta realizada no horário de 11 às 12 horas.

As variáveis estudadas foram submetidas a estatística descritiva para a determinação dos valores de média, mediana, valor máximo, valor mínimo, coeficiente de variação, desvio padrão, assimetria e curtose utilizando o software Surfer 25. Estas variáveis também foram submetidas ao teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov (KS) e Shapiro-Wilk (SW) ao nível de 5% de significância.

A classificação da variabilidade dos atributos foi medida com base no coeficiente de variação (CV) por meio da metodologia descrita por Warrick e Nielsen (1980), na qual $CV < 12\%$ (baixa variabilidade espacial); $CV 12\%$ a 60% (moderada variabilidade espacial); e $CV > 60\%$ (alta variabilidade espacial).

Os semivariogramas foram modelados no software ArcGIS 10.8 a fim de verificar a continuidade ou dependência espacial dos dados. Definiu-se os parâmetros do semivariograma por meio do cálculo da semivariância estimada pela equação a seguir:

Equação 1:

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

Sendo $\gamma(h)$ a semivariância experimental para uma determinada distância de separação (h), $N(h)$ o número de pares em observações $Z(x_i) - Z(x_i + h)$ separados por uma distância (h), Z o atributo observado (variável) e x_i a posição georreferenciada de Z .

Na modelagem do semivariograma aplicou-se o teste dos três modelos matemáticos, ou seja, o modelo esférico, modelo exponencial e modelo gaussiano. Após realizados os testes escolheu-se o modelo que melhor representou o semivariograma por meio da raiz quadrada do erro médio (RMSE). A partir disso, definiu-se os parâmetros de efeito pepita (C_0), patamar ($C_0 + C_1$) e alcance (A_0).

O grau de dependência espacial (GDE) foi determinado segundo Cambardella et al. (1994) que utiliza a relação entre o efeito pepita e patamar por meio da seguinte expressão:

Equação 2:

$$GDE = \left(\frac{C_0}{C_0 + C_1} \right) \times 100$$

Onde GDE é o grau de dependência espacial, C_0 é o efeito pepita da semivariância e $C_0 + C_1$ é o patamar que consiste na semivariância total. Os resultados do parâmetro de comparação GDE são classificados como: dependência espacial forte quando $GDE < 25\%$; dependência espacial moderada com resultado entre 35% e 75% e dependência espacial fraca quando $GDE > 75\%$.

Os dados foram interpolados por meio da técnica de Krigagem que utiliza os parâmetros do semivariograma para detecção da variabilidade espacial. Os mapas de isolinhas foram elaborados com auxílio do software ArcGIS 10.8.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O diâmetro do caule aumentou ao longo do tempo com um crescimento de 2,07cm para 3,33cm representando um aumento de 38% em 2022, enquanto que em 2023 esse aumento foi 16%. Essa variável é uma das que mais influenciam na produtividade do cafeeiro, devido a atividade cambial está ligada a esse parâmetro (SILVA et al., 2023). Valores de diâmetro do caule maiores indicam melhor crescimento da parte aérea de plantas, desta forma melhor produtividade (GOMES; PAIVA, 2012).

Tabela 1 - Parâmetros da estatística descritiva dos atributos estudados.

Variáveis	Unidade	Média	Mediana	Máximo	Mínimo	CV ⁽¹⁾	DP ⁽²⁾	Assimetria	Curtose	K-S ⁽⁴⁾
DCP1	cm	2,07	1,97	3,37	0,99	28%	0,58	0,48	0,13	0,08*
DCP2	cm	3,33	3,38	4,84	1,67	22%	0,74	-0,13	0,22	0,20*
DCP3	cm	3,85	3,79	5,71	1,80	23%	0,90	0,00	0,68	0,20*
RTI1	cm	77,10	68,50	130,00	40,00	29%	22,61	0,91	0,55	0,11*
RTI2	cm	77,35	80,00	135,00	23,00	37%	28,78	-0,05	-0,26	0,20*
RTM1	cm	80,75	81,50	114,00	34,00	24%	19,75	-0,50	0,43	0,20*
RTM2	cm	82,45	85,50	120,00	23,00	31%	25,90	-0,60	0,24	0,20*
RTS1	cm	65,00	68,00	90,00	33,00	23%	15,59	-0,43	-0,72	0,14*
RTS2	cm	62,30	61,50	85,00	40,00	22%	13,86	-0,05	-0,65	0,20*
AP1	cm	128,60	129,50	190,00	59,00	26%	33,54	-0,09	0,08	0,20*
AP2	cm	232,75	231,50	340,00	125,00	22%	52,08	0,04	-0,00	0,20*
L1	lx	15,00	13,00	39,00	7,00	61%	9,21	1,94	3,03	0,00*
L2	lx	28,80	19,00	100,00	11,00	81%	23,33	1,97	3,78	<0,00*

DCP1= diâmetro do caule de planta em 2021; DCP2= diâmetro do caule de planta em 2022; DCP3= diâmetro do caule de planta em 2023; RTI1= ramo do terço inferior um; RTI2= ramo do terço inferior dois; RTM1= ramo do terço médio um; RTM2= ramo do terço médio dois; RTS1= ramo do terço superior um; RTS2= ramo do terço superior dois; AP1= altura de planta em 2021; AP2= altura de planta em 2023; L1= luminosidade um (9 às 10 horas); L2= luminosidade dois (11 às 12 horas); (1) CV= coeficiente de variação (%); (2) DP= Desvio padrão; (3) As= Assimetria; (4) C= Curtose; (5) KS= Teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov significativo a 5% de probabilidade. Fonte: Autor (2023).

O diâmetro do caule apresentou valores de média e mediana próximos indicando que estes possuem uma tendência de distribuição normal ou simétrica dos dados, de acordo com valores encontrados por Terra et al. (2014) em estudo realizado com pessegueiros, que apresentaram resultados de média e mediana também próximos. Esses parâmetros quando próximos indicam uma tendência de distribuição normal dos dados (OLIVEIRA et al., 2013).

De acordo com os parâmetros de Warrick e Nielsen (1980) os valores de DCP1, DCP2 e DCP3 apresentaram uma moderada variabilidade espacial com CV variando de 23 a 28%. Para as medidas de simetria o DCP3 apresentou simetria unimodal o que indica uma distribuição de dados simétrica, enquanto o DCP1 apresentou assimetria positiva e DCP2 assimetria negativa. O coeficiente de curtose indicou que DCP1 e DCP2 apresentaram uma distribuição dos dados leptocúrtica (0,13 e 0,22) e o DCP3 uma distribuição platicúrtica (0,68) segundo classificação de Reichardt e Timm (2012).

Examinando os valores de média para RTI1 (77,10cm), RTI2 (77,35cm), RTM1 (80,75 cm), RTM2 (82,45cm), RTS1 (65,00cm) e RTS2 (62,30cm), o crescimento dos ramos foram próximos entre o terço inferior e médio com uma diminuição nos ramos do terço superior, isso se dá devido a estes serem ramos novos. O comprimento dos ramos plagiotrópicos, altura de planta e diâmetro do caule estão intimamente ligados à produtividade do cafeeiro, logo quanto maior for o comprimento dos ramos plagiotrópicos, maior o número de entrenós, tendendo assim ser mais produtivo (TERCEIRO et al., 2019; SILVA et al., 2023).

Os valores de RTM1 e RTS2 apresentaram valores de média e mediana próximos, indicando uma tendência de distribuição normal dos dados, no entanto RTI1, RTI2, RTM2, RTS1, apresentaram tendência de distribuição não normal dos dados (Tabela 1). O CV do RTI1, RTI2, RTM1, RTM2, RTS1 e RTS2 apresentaram moderada variabilidade espacial com valores de CV de 29, 37, 24, 31, 23, e 22%, respectivamente. Em estudo realizado em uma lavoura cafeeira, Ferraz et al. (2017) observou considerável variabilidade dos dados. O RTI1 uma distribuição dos dados assimétrica positiva (0,91), enquanto que RTI2, TRM1, RTM2, RTS1 e RTS2 apresentaram assimetria negativa. Os atributos RTI2, RTM2, RTS1 e RTS2 apresentaram uma distribuição leptocúrtica indicando uma maior concentração dos dados próximo da média, desta forma, os valores de comprimento do ramo são próximos da média. Já o RTI1 e RTM1 o coeficiente de curtose indicou uma curva de distribuição mais achatada dos dados., apresentando valores mais dispersos em relação a média.

Os testes de normalidade de Shapiro-Wilk e Kolmogorov-Smirnov para as variáveis estudadas, indicaram normalidade nos dados relacionados às plantas, ou seja, diâmetro do caule, altura de plantas e comprimento de ramos plagiotrópicos a significância de 5%, porém, os testes KS e SW para luminosidade indicaram a não normalidade destes a significância de 5%. Ambos os testes apresentaram a mesma classificação para as variáveis estudadas.

As médias de AP1 e AP2 foram de 128,60 cm e 232,75 cm respectivamente, indicando um aumento de 80% no ano de 2023 em relação ao ano de 2021, corroborando com valores encontrados por Ferraz et al. (2017), Lunz et al. (2009) e Silva et al., (2023) para altura média de plantas de cafeeiro.

Os valores de AP1 e AP2 apresentaram moderada variabilidade espacial com CV de 26% e 22% respectivamente. O AP2 apresentou uma distribuição assimétrica positiva enquanto que o

atributo AP1 apresentou assimetria negativa. Em relação ao coeficiente de curtose observou-se que ambos apresentaram uma distribuição leptocúrtica dos dados.

A luminosidade apresentou valores de média e mediana mais distantes uma da outra com um coeficiente de variação classificado como de alta variabilidade (61 e 81%). Essa variabilidade pode ser atribuída a cobertura irregular das copas das árvores no grid amostral, apresentando pontos com alto sombreamento e outros com baixo sombreamento, o que ocasionou um índice de luminosidade muito alto ou muito baixo nos diferentes pontos de coleta. Com assimetria positiva e uma distribuição platicúrtica dos dados, a luminosidade não apresentou uma distribuição normal a 5% segundo o teste KS. Embora a variação seja alta, a geoestatística pode ser aplicada, não sendo necessário que os mesmos sigam uma distribuição normal (LIMA et al., 2015).

O diâmetro do caule no período de 2021 e 2022 foi melhor ajustado ao modelo gaussiano, enquanto que em 2023 o modelo esférico promoveu o melhor ajuste (Tabela 2). O alcance para DCP1, DCP2 e DCP3 foi de 18,49, 15,85 e 16,17 m respectivamente, demonstrando que a malha amostral foi suficiente para demonstrar a variabilidade espacial dos atributos. Quanto à dependência espacial observou que o diâmetro do caule apresentou forte dependência espacial. A forte dependência espacial indica que a variável estudada está ligada a características espaciais como o solo, e a temperatura (LIMA et al., 2015). Terra et al., (2014) observaram GDE moderado, para o diâmetro do tronco em pessegueiro, indicado que esta variável está ligada a características espaciais.

Tabela 2 - Parâmetros da análise semivariográfica dos atributos estudados.

Atributo	Modelo	$C_0^{(1)}$	$C_0 + C_1^{(2)}$	$A_0^{(3)}$	$[C_0/(C_0 + C_1)]^{(4)}$	RMSE ⁽⁵⁾	GDE ⁽⁶⁾
DCP1	Gaussiano	4,01	40,26	18,49	0,09	4,08	9,96
DCP2	Gaussiano	3,02	74,97	15,85	0,04	4,59	4,02
DCP3	Esférico	1,47	99,23	16,17	0,01	7,64	1,48
RTI1	Exponencial	246,25	312,03	24,32	0,78	21,34	78,91
RTI2	Gaussiano	1,17	1176,12	15,23	0,00	19,26	0,09
RTM1	Esférico	390,40	0,00	31,77	0,00	20,86	0,00
RTM2	Esférico	687,83	0,00	16,72	0,00	25,06	0,00
RTS1	Esférico	247,51	0,00	23,52	0,00	16,62	0,00
RTS2	Esférico	193,83	0,00	23,52	0,00	14,37	0,00
AP1	Esférico	222,83	1117,88	15,23	0,19	31,15	19,93
AP2	Gaussiano	663,31	2717,66	15,23	0,24	46,49	24,40
L1	Exponencial	0,00	76,69	16,72	0,00	9,29	0,00

L2	Esférico	447,49	42,70	16,83	10,47	22,12	1047,98
----	----------	--------	-------	-------	-------	-------	---------

DCP1= diâmetro do caule de planta em 2021; DCP2= diâmetro do caule de planta em 2022; DCP3= diâmetro do caule de planta em 2023; RTI1= ramo do terço inferior um; RTI2= ramo do terço inferior dois; RTM1= ramo do terço médio um; RTM2= ramo do terço médio dois; RTS1= ramo do terço superior um; RTS2= ramo do terço superior dois; AP1= altura de planta em 2021; AP2= altura de planta em 2023; L1= luminosidade um (9 às 10 horas); L2= luminosidade dois (11 às 12 horas); (1) C0= Efeito pepita; (2) C0 + C1= Patamar; (3) A0= Alcance; (4) $[C0/(C0 + C1)]$ = Relação efeito pepita-patamar; (5) RMSE= Erro da raiz quadrada média; (6) GDE= Grau de dependência espacial em %. Fonte: Autor (2023).

As medições de ramo da planta (RTI1 e RTI2) ajustaram-se aos modelos exponencial e gaussiano, para RTM2, RTM1, RTS1 e RTS2 ajustaram-se ao modelo esférico. Os alcances para RTI1, RTI2, RTM1, RTM2, RTS1 e RTS2 foram de 24, 15, 32, 17 e 24 m, portanto, a malha amostral foi suficiente para demonstrar a variabilidade espacial dos atributos. Apenas o atributo RTI1 apresentou grau de dependência espacial classificado como fraco, indicando que possui menos dependência a características espaciais (LIMA et al., 205). O RTI2, RTM1, RTM2, RTS1 e RTS2 apresentaram grau de dependência nulo devido à presença do efeito pepita puro. Esse efeito corresponde a relação entre a pepita e o patamar que equivale a 100% indicando a independência espacial, ou seja, a variável não apresenta variabilidade ligada ao espaço (SEIDEL; OLIVEIRA, 2014).

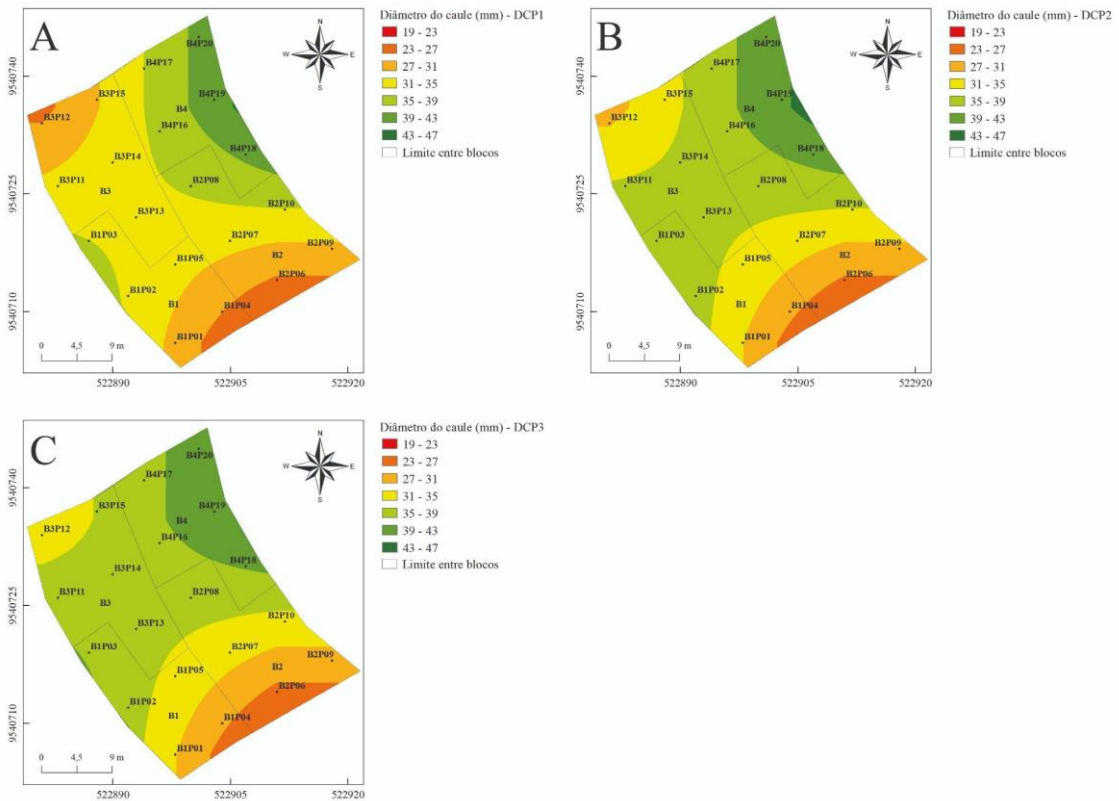
Com relação aos atributos AP1 e AP2 os melhores modelos para o ajuste do semivariograma foram respectivamente o esférico e o gaussiano. O alcance observado para os modelos ajustados para AP1 e AP2 foi de 15,23 m para ambos. O grau de dependência espacial dos dois atributos foi classificado como forte, o mesmo resultado foi encontrado por Ferraz et al. (2017) para altura de plantas.

A luminosidade foi melhor ajustada ao modelo exponencial para L1 e esférico para L2. Os alcances observados foram de 16,72 m para L1 e 16,83 m para L2. Para o atributo L1 o grau de dependência foi classificado como nulo devido a presença do efeito pepita puro e o atributo L2 apresentou grau de dependência espacial fraco. Segundo Cajazeira e Assis Júnior (2011) o efeito pepita puro torna o alcance estimado nulo indicando a não dependência espacial dos atributos tornando a estatística clássica possível para determinação dos parâmetros analisados.

A distribuição espacial dos valores de diâmetro do caule de planta foi semelhante para os três anos estudados sendo os maiores valores (43 a 47 mm) distribuídos na direção norte e oeste dos mapas e menores valores (19 a 23 cm) distribuídos na direção sudeste e noroeste (Figuras 3A, 3B e 3C). Observou-se que ocorreu um aumento no tamanho dos diâmetros durante os três anos

observados na direção oeste e noroeste. Os blocos com maiores valores de diâmetro do caule foram o bloco 4 e o bloco 3, correspondendo com a maior incidência de luminosidade que atinge esses blocos de 11 às 12 horas (Figura 4B). Em estudos realizados comparando o desenvolvimento do cafeeiro em SAF e plantio a pleno sol, estes apresentaram maiores valores de altura (TINTORI et al., 2023).

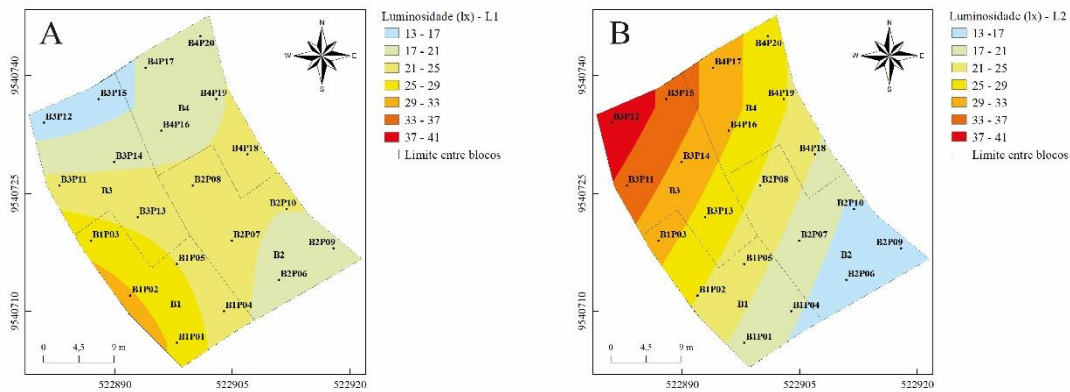
Figura 3 - Mapas de isolinhas dos atributos de diâmetro do caule de plantas.



Fonte: Francisco Bruno Souza Silva (2023).

Na luminosidade, os atributos L1 (Figura 4L), L2 (Figura 4M) apresentaram valores mínimos de 13,50 lx, 19,64 lx e máximos de 24,40 lx, 41,03 lx respectivamente. Os valores mínimos para o máximo seguiram uma distribuição norte a sul para L1 e sudeste a noroeste para L2. Quanto ao atributo L1 o bloco 1 teve os maiores valores e para o atributo L2 foram os blocos 3 e 4.

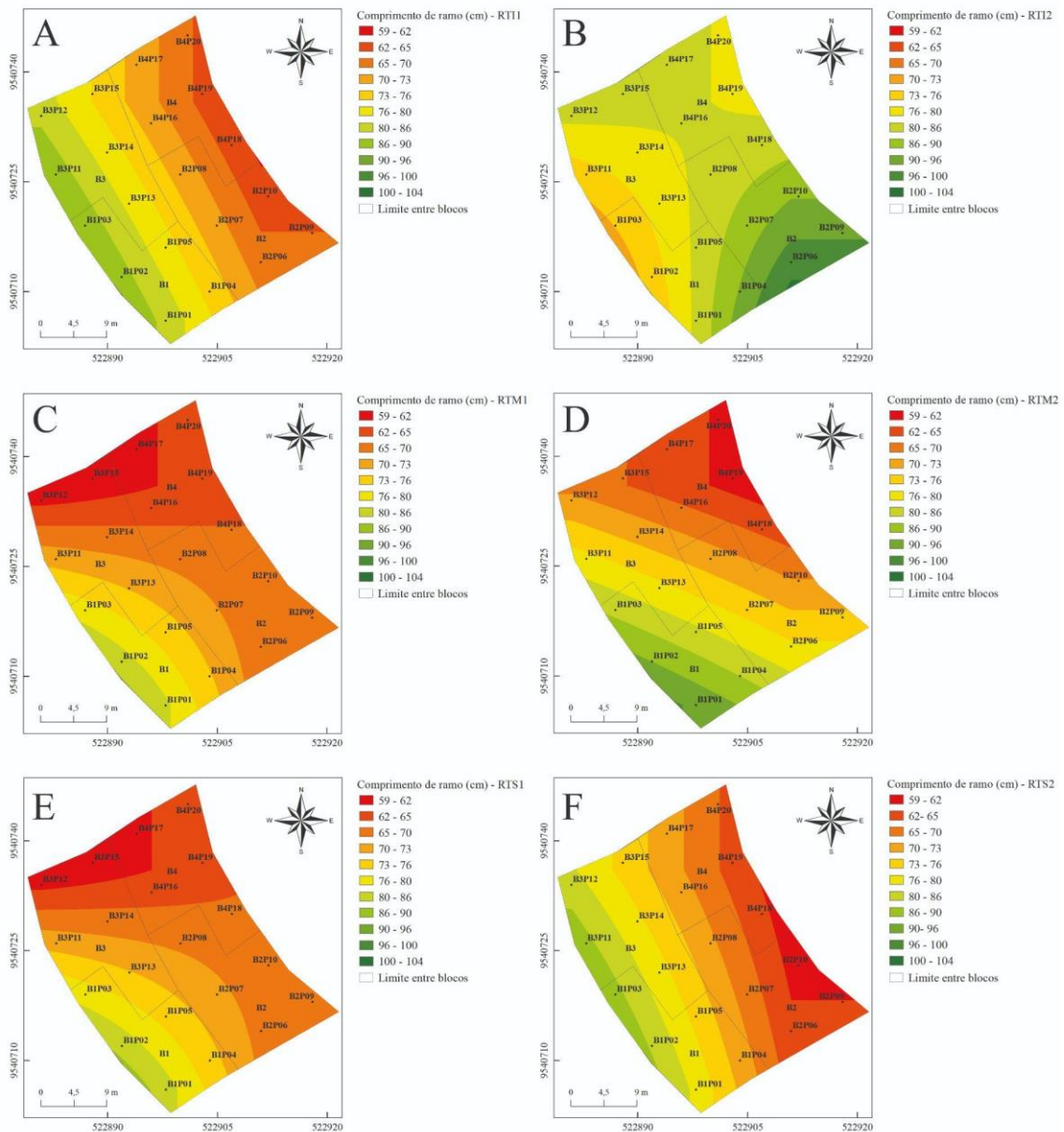
Figura 4 - Mapas de isolinhas dos atributos referentes a luminosidade.



Fonte: Francisco Bruno Souza Silva (2023).

O RTI1 apresentou menores valores (59 a 62 cm) a nordeste do mapa e os maiores (100 a 104 cm) a sudoeste (Figura 5A), já o RTI2 os maiores valores foram distribuídos ao leste e menores a sudoeste (Figura 5B). Nos ramos do terço médio os atributos RTM1 e RTM2 do menor valor de comprimento para o maior valor seguiram a direção norte a sul (Figuras 5C e 5D), nos ramos do terço superior os menores valores para os maiores valores seguiram a direção norte a sul, para o atributo RTS1 e leste a oeste para o atributo RTS2 (Figuras 5E e 5F). No atributo RTI1 os maiores valores foram presentes nos blocos 1 e 3, para o RTI2 foram os blocos 2 e 4, RTM1, RTM2 e RTS1 o bloco 1, já o RTS2 os blocos 3 e 1 concentraram os maiores valores. O desenvolvimento dos ramos plagiotrópicos seguiu os maiores valores de luminosidade assim como a variável diâmetro do caule, desta forma é possível compreender que o comprimento de ramos é favorecido por luminosidade superiores.

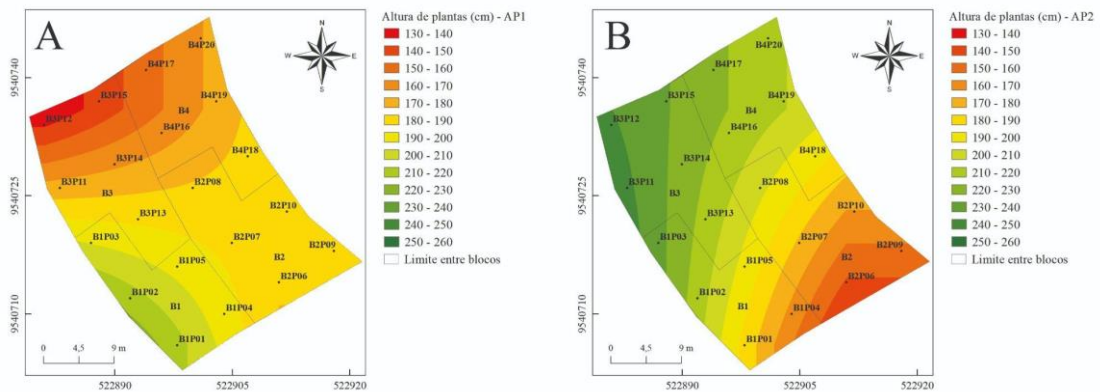
Figura 5 - Mapas de isolinhas de atributos do comprimento dos ramos plagiotrópicos.



Fonte: Francisco Bruno Souza Silva (2023).

Para a variável altura de plantas, os atributos AP1, AP2 (Figuras 6A e 6B) apresentaram valores mínimos de 130,50 cm, 194,10 cm e máximos de 140,20 cm, 263,50 cm respectivamente. Os valores mínimos para o máximo seguiram uma distribuição norte a sul para AP1 e leste a oeste para AP2. Para AP1 o bloco 1 concentrou os valores mais elevados e o AP2 foram os blocos 3 e 4, indicando que esta variável também é favorecida por luminosidade mais elevadas Tintori et al., (2023) também observaram o mesmo acontecimento onde a altura de plantas foi favorecida quando cultivada a pleno sol apresentando maiores alturas em relação ao SAF.

Figura 6 - Mapas de isolinhas dos atributos da altura de plantas.



Fonte: Francisco Bruno Souza Silva (2023).

CONCLUSÕES

Com base nos dados analisados, observou-se um aumento nos valores médios do diâmetro do caule e altura da planta. Isso se deve ao crescimento significativo durante esse período de 2021 a 2023, que foram influenciados por fatores como a luminosidade nesse sistema.

Quanto ao ajuste do semivariograma, o modelo esférico mostrou o melhor ajuste para as variáveis estudadas quando comparado com os modelos exponenciais e gaussianos. A análise da variabilidade espacial demonstrou que as variáveis diâmetro do caule e altura de plantas apresentaram um forte grau de dependência enquanto comprimento de ramos e luminosidade apresentam dependência espacial nula ou fraca dependência espacial.

Conclui-se por fim que as variáveis ligadas à planta apresentam uma forte correlação com a luminosidade nesse sistema. Os blocos que apresentaram maior luminosidade (Bloco 3 e 4) favoreceram o desenvolvimento das plantas, que apresentaram melhores valores médios nestes blocos e menores valores médios em blocos com índice de luminosidade menor (Bloco 1 e 2).

REFERÊNCIAS

ALXEDRANDRE, Luana Martins; BRITO, Antonio Patrick Meneses de; SANTOS, Ítalo Magno de Melo; SILVA, Fred Denilson Barbosa da; SOUSA, Geocleber Gomes de; NOGUEIRA, Rafaella da Silva. Espacialização da qualidade da água subterrânea destinada a irrigação na comunidade agrícola de Barreiros, Aratuba-CE. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 15, p. 36-47, abr. 2021. DOI: <https://doi.org/10.7127/rbai.v1501198>. Disponível em <https://www.inovagri.org.br/revista/index.php/rbai/article/view/1198>. Acesso em: 03 abr. 2023.

BOTELHO, Thereza Cristina de Assis; OLIVEIRA, Francisco Ivan Carlos de; ALEXANDRE, Luana Martins da Silva; SILVA, Fred Denilson Barbosa da; NOGUEIRA, Rafaella da Silva. Distribuição Espacial da Temperatura e diâmetro do grão de café (*Coffea arabica*) em Aratuba-CE. In: SEMINÁRIO BRASILEIRO WINOTEC: REALIDADES E PERSPECTIVAS, 5., 2018, SOBRAL, CE. **Anais...** Sobral: INOVAGRI, 2018. Disponível em: <http://www.besthub.com.br/anais/TC1320131.pdf>. Acesso em: 03 abr. 2023.

CAJAZEIRA, João Paulo; ASSIS JÚNIOR, Raimundo Nonato de. Variabilidade espacial das frações primárias e agregados de um Argissolo no estado do Ceará. **Revista Ciência Agronômica**. v. 42, n. 2, p. 258-267, jan. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902011000200002>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rca/a/ZzbbHydJGyRZ7jtpQrQfsfz/?lang=pt#>. Acesso em: 03 abr. 2023.

CAMBARDELLA, Cynthia; MOORMAN, Thomas; NOVAK, Jeffrey; PARKIN, Timothy; KARLEN, Douglas; TURCO, Ronald; KONOPKA Allan. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil science society of America journal**, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994. DOI: <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rca/a/ZzbbHydJGyRZ7jtpQrQfsfz/?lang=pt#>. Acesso em: 03 abr. 2023.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de café**. Brasília, DF, v. 10, n. 1, janeiro de 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe>. Acesso em: 03 abr. 2023.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de café**. Brasília, DF, v. 9, n. 4, dezembro de 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe>. Acesso em: 03 abr. 2023.

EMBRAPA. Código Florestal: Adequação ambiental da paisagem rural. **Estratégia de recuperação: sistemas agroflorestais - SAF's**. Brasília, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/codigo-florestal/sistemas-agroflorestais-safs>. Acesso em: 8 de maio de 2023.

FERRAZ, Gabriel Araújo e Silva; SILVA, Fábio Moreira da; OLIVEIRA, Marcelo Silva de; CUSTÓDIO, Adriano Augusto Paiva; FERRAZ, Patrícia Ferreira Ponciano. Spatial variability of plant attributes in a coffee plantation. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 48, n. 1, p. 81-91, jan. 2017. Trimestral. DOI: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20170009>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rca/a/Wq8589vByJbVNkHVgnD8R5b/abstract/?lang=pt#>. Acesso em: 8 de maio de 2023.

FRANCO, Thiago Cruz Rodrigues; FERRAZ, Gabriel Araújo e Silva; CARVALHO, Luís Carlos Cirilo; SILVA, Fábio Moreira da; ALVES, Marcelo De Carvalho; MARIN, Diego Bedin. Spatial variability of soil physical properties in longitudinal profiles. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 94, n. 2, p. 1-17, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/0001-3765202220200411>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aabc/a/JbYxDrgPXZ8VwVtCGsfbkLq/abstract/?lang=en#>. Acesso em: 8 de maio de 2023.

FUNCEME – FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. **Índices de aridez do estado do Ceará**. Fortaleza, 2023. Disponível em: http://www.funceme.br/?page_id=5826. Acesso em: 8 de maio de 2023.

GOMES, José Mouro; PAIVA, Haroldo Nogueira de. **Viveiros Florestais: propagação sexuada** série didática. Viçosa: 1 ed. Editora UFV, 2011. 116 p.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção agrícola municipal**. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/pesquisa/15/11902>. Acesso em: 7 de maio de 2023.

IPECE - INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. **Perfil municipal 2017**: Redenção. Fortaleza, CE, jan. de 2018. Disponível em:

https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Redencao_2017.pdf.

Acesso em: 13 de maio de 2023.

JONSSON, Mattias; RAPHAEL, Ijala Anthony; EKBOM, Barbara; KYAMANYWA, Samuel; KARUNGI, Jeninah. Contrasting effects of shade level and altitude on two important coffee pests. **Journal of Pest Science**, v. 88, n. 2, p. 281-287, 2015. Disponível em: <https://nru.uncst.go.ug/handle/123456789/3480>. Acesso em: 13 de maio de 2023.

LIMA, Franciezer Vicente de; SILVINO, Guttemberg da Silva; MELO, Richardson Soares de Souza; LIRA, Elder Cunha; RIBEIRO, Thiago de Souza. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em área de encosta sob processo de degradação. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, p. 53-63, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252015v28n406rc>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rcaat/a/zpLqvdvJDszSxDrQX6wmZKw/abstract/?lang=pt#>. Acesso em: 13 de maio de 2023.

MEDEIROS, Rodrigo de Vasconcellos Viana; RODRIGUES, Patrícia Mattos Amato. A economia cafeeira no Brasil e a importância das inovações para essa cadeia. **A Economia em Revista**, Maringá, v. 25, n. 1, p. 1-12, jun. 2017. Quadrimestral. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/EconRev/article/view/59013/pdf>. Acesso em: 13 de maio de 2023.

MEYLAN, Louise; GARY, Christian; ALLINNE, Clémentine; ORTIZ, Jorge; JACKSON, Louise; RAPIDEL, Bruno. Evaluating the effect of shade trees on provision of ecosystem services in intensively managed coffee plantations. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 245, p. 32-42, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167880917301986>. Acesso em: 13 de maio de 2023.

MONTANARI, Rafael; PANACHUKI, Elói; LOVERA, Lenon Henrique; CORREA, Adriany Rodrigues; OLIVEIRA, Israel Souza; QUEIROZ, Hernandes Andrade; TOMAZ, Pamela Kerlyane. Variabilidade espacial da produtividade de sorgo e de atributos do solo na região do ecótono Cerrado-Pantanal, MS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 2, p. 385-396, abr. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140215>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/vwjvVxvqrYpgyZBFTtrxmzj/?lang=pt>. Acesso em: 13 de maio de 2023.

OLIVEIRA, Ivanildo Amorim de; CAMPOS, Milton César Costa; SOARES, Marcelo Dayron Rodrigues; AQUINO, Renato Eleotério de; MARQUES JÚNIOR, José; NASCIMENTO, Ediana Pereira do. Variabilidade espacial de atributos físicos em um cambissolo háplico, sob diferentes usos na região sul do Amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 4, p. 1103-1112, ago. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0100-06832013000400027>. Disponível em: <https://www.rbcjournal.org/pt-br/article/variabilidade-espacial-de-atributos-fisicos-em-um-cambissolo-haplico-sob-diferentes-usos-na-regiao-sul-do-amazonas/>. Acesso em: 13 de maio de 2023.

REGHINI, Fernando Lucas; CAVICHIOLI, Fábio Alexandre. Utilização de geoprocessamento na agricultura de precisão. **Revista Interface Tecnológica**, Taquaritinga, v. 17, n. 1, p. 329–339, 2020. DOI: <https://doi.org/10.31510/infa.v17i1.750>. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/750>. Acesso em: 12 maio. 2023.

REICHARDT, Klaus; TIMM, Luís Carlos. Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações. 2. ed. São Paulo: Manole, 2012, cap. 17, p. 357- 426.

RIBASKI, Jorge; MONTOYA, Luciano Javier; RODIGHERI, Honorino Roque. Sistemas Agroflorestais: aspectos ambientais e socioeconômicos. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 212, p. 61-67, outubro de 2001. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/305995/1/Sistemasagroflorestais.pdf>. Acesso em: 12 maio. 2023.

RIBEIRO, Sofia Regina Paiva; RUFINO, Maria do Socorro Moura. The agroecological café produced in the serrana region of Baturité, Ceará, Brazil. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 13, n. 4, p. 521–530, 2018. DOI: <https://doi.org/10.18378/rvads.v13i4.5779>. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/5779>. Acesso em: 7 de maio de 2023.

SILVA, Gerson João da; ROMÃO, Ana Paula Soares; BARRETO, Paulo César Carneiro; BARRETO, Laís Leite; ARAUJO, Alexandre Eduardo de. Desenvolvimento do café (*Coffea arabica* L.) sob sistema agroflorestal em brejo de altitude na região semiárida. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 18, n. 1, p. 112-128, 2023. ISSN: 1980-9735. DOI: <https://doi.org/10.33240/rba.v18i1.23736>. Disponível em: <https://revistas.aba-agroecologia.org.br/rbagroecologia/article/view/23736>. Acesso em: 7 de maio de 2023.

TERCEIRO, Matheus Grossi; MEIRELLES, Flávia Constantino; LEMOS, Adailza Guilherme; MINGOTTE, Fábio Luiz Checchio; LEMOS, Leandro Borges. Caracteres morfológicos de cafeeiro de porte baixo no primeiro ano de formação em Jaboticabal-SP. **Revista Ciências Agrárias**: Amazonian Journal Of Agricultural And Environmental Sciences, Belém, v. 62, n. 1, p. 1-7, mai. 2019. Disponível em: <https://ajaes.ufra.edu.br/index.php/ajaes/article/view/3051>. Acesso em: 7 de maio de 2023.

TRABAQUINI, Kleber; MIGLIORANZA, Édison; FRANÇA, Valmir de; PEREIRA NETO, Osvaldo Coelho. Caracterização de lavouras cafeeiras, utilizando técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, no município de Umuarama – PR. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 1, p. 35-44, fev. 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/SFVRyrZwWyDKzR7RyjXKPsh/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 7 de maio de 2023.

WARRICK, Arthur; NIELSEN, Douglas. Spatial variability of soil physical properties in the field. *In*: Hillel, D. **Applications of soil physics**. New York, USA. p. 319-344, 1980. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-348580-9.50018-3>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780123485809500183?via%3Dihub>. Acesso em: 7 de maio de 2023.