

VARIABILIDADE ESPACIAL DA TEMPERATURA E DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM SISTEMA AGROFLORESTAL EM REDENÇÃO-CE

Resumo: As atividades industriais e agrícolas são indicadas como fatores que influenciam nas mudanças climáticas que ocorrem no planeta, pois liberam gases tóxicos para a atmosfera. O presente trabalho objetiva quantificar a variabilidade espacial da temperatura do solo e de plantas de café, e dos atributos químicos do solo em sistema agroflorestal em Redenção-CE. O estudo foi conduzido em um sistema agroflorestal implantado com café (*Coffea arabica L.*), na Fazenda Experimental Piroás (FEP), propriedade pertencente à Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira. As variáveis escolhidas foram submetidas a estatística descritiva dos dados. Em seguida, os dados de temperatura de plantas, temperatura do solo, carbono e fósforo do solo foram submetidos à análise geoestatística por meio da qual foram definidos os modelos da variabilidade espacial para cada variável através do semivariograma. É possível observar que as variáveis de temperatura se ajustaram aos modelos Esférico, Exponencial e Gaussiano, com predominância do modelo esférico e exponencial. Não é possível informar qual modelo matemático melhor se ajustou às variáveis carbono e fósforo devido a presença de efeito pepita puro. Houve dependência espacial apenas para carbono no solo para área de sistema agroflorestal, as demais variáveis apresentaram efeito pepita puro, ou seja, relação efeito pepita-patamar é igual a 100%. O estudo da variabilidade espacial da temperatura do solo, temperatura de plantas, carbono e fósforo do solo por meio da geoestatística, por meio das técnicas de krigagem, se mostrou uma ferramenta efetiva na compreensão da distribuição espacial das variáveis estudadas e pode ser usada como instrumento auxiliador nas tomadas de decisões para a implementação de modelos de manejo do solo e plantas dentro do sistema agroflorestal.

Palavras-chaves: Geoestatística; manejo do solo; sustentabilidade.

SPATIAL VARIABILITY OF SOIL TEMPERATURE AND CHEMICAL ATTRIBUTES IN AGROFORESTRY SYSTEM IN REDENÇÃO-CE

Abstract: Industrial and agricultural activities are indicated as factors that influence climate changes that occur on the planet, as they release toxic gases into the atmosphere. The present work aims to quantify the spatial variability of soil temperature and coffee plants, and soil chemical attributes in an agroforestry system in Redenção-CE. The study was carried out in an agroforestry system implanted with coffee (*Coffea arabica L.*), at Fazenda Experimental Piroás (FEP), a property belonging to the University of International Integration of Afro-Brazilian Lusophony. The chosen variables were submitted to descriptive statistics of the data. Then, data on plant temperature, soil temperature, soil carbon and phosphorus were subjected to geostatistical analysis through which spatial variability models were defined for each variable through the semivariogram. It is possible to observe that the temperature variables adjusted to the Spherical, Exponential and Gaussian models, with a predominance of the spherical and exponential model. It is not possible to inform which mathematical model best fitted the carbon and phosphorus variables due to the presence of pure nugget effect. There was spatial dependence only for soil carbon for the agroforestry system area, the other variables showed pure nugget effect, that is, nugget-level effect ratio is equal to 100%. The study of the spatial variability of soil temperature, plant temperature, carbon and soil phosphorus through geostatistics, using kriging techniques, proved to be an effective tool in understanding the spatial distribution of the variables studied and can be used as an instrument aid in decision making for the implementation of soil and plant management models within the agroforestry system.

Keywords: Geostatistics; soil management; sustainability.

INTRODUÇÃO

As ações antrópicas como as atividades industriais e agrícolas são indicadas como fatores que influenciam nas mudanças climáticas que ocorrem no planeta, pois liberam gases tóxicos para a atmosfera (OLIVEIRA et al., 2015). Logo, essas atividades acima citadas liberam gases nocivos na atmosfera como

metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O). Além disso, promovem modificações no clima, na paisagem e nas características químicas, físicas e biológicas dos solos (MIRANDA et al., 2018a).

Com a conversão de sistemas naturais em sistemas agrícolas convencionais de forma descontrolada e não planejada, essa alteração pode contribuir para uma série de impactos negativos nos ecossistemas (MAGALHÃES et al., 2013a). A diminuição no regime hídrico, desertificação, o aumento da incidência de pragas e doenças nas lavouras, a existências de longos períodos de estiagem e veranicos em várias regiões do mundo são algumas das consequências da mudança de sistema naturais em sistemas agrícolas convencionais favorecem as emissões dos gases do efeito estufa (GEEs) que vem comprometendo as atividades agrícolas aos longos dos anos (MIRANDA et al., 2018b).

Nesse contexto sistemas agroflorestais ganham espaço por serem eficientes na diminuição das temperaturas, no armazenamento e sequestro de carbono, ciclagem de nutrientes e deposição de matéria orgânica no solo, sendo uma alternativa no uso da terra, uma vez que os sistemas agroflorestais provocam uma menor degradação do solo e pressão sobre as espécies vegetais arbóreas, além de possibilitar o cultivos de culturas de clima ameno em regiões de clima semi-árido, como o café árabica (*Coffea arabica L.*) (MAGALHÃES et al., 2013b).

Fatores como a elevação das temperaturas e luminosidade podem ser limitantes ao desenvolvimento das plantas de café, pois esses fatores anteriormente citados afetam a cultura do cafeeiro em todas as suas fases fenológicas, diminuindo assim a produtividade da cultura e a qualidade da bebida. Assim o cultivo do café em sistema agroflorestal pode ser uma alternativa a produção na região do Maciço de Baturité, levando em consideração as médias de temperaturas registradas para a região e o histórico da produção nessa região do estado do Ceará (BOTELHO., 2019).

Como forma de manejar um recurso finito, o solo é parte vital dos sistemas de produção sustentáveis pois é visto como um reservatório de nutrientes, dentre eles o carbono (C), um dos elementos que quando liberados a atmosfera passa na forma de metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂) (FINZI et al., 2015). Isso ocorre devido ao carbono ser um elemento móvel no solo e nos tecidos das plantas, podendo ser facilmente removido para a atmosfera por modificações na estrutura do solo e pelos processos de decomposição da matéria orgânica mais acelerados em zonas tropicais (OLIVEIRA et al., 2020).

A caracterização química do solo, como parte de identificação de mudanças vinculadas aos sistemas de produção, sofre variabilidade em função do tempo e espaço. Logo, os fatores de formação do solo, tipo sistema agrícola adotado e aos manejos utilizados conduzem a uma maior ou menor variabilidade (LIMA et al., 2015). Dessa forma, as análises de elementos como o carbono, utilizando ferramentas da geoestatística, são formas de sugestão alternativas de manejo do solo com o objetivo de aumentar a produtividade das culturas implantadas no sistema e diminuir os efeitos da variabilidade espacial sob as culturas, além de estimar respostar fisiológicas das plantas as condições impostas pelo agricultor. (BARROS et al., 2018a).

Portanto, a geoestatística é uma ferramenta que vem sendo utilizada nos estudos da dependência espacial da temperatura e da variabilidade dos atributos físico-químicos dos solos. Os métodos da geoestatística permitem o estudo dos atributos do solo baseado na estrutura da variabilidade espacial podendo também quantificar o tamanho dessa variabilidade (BARROS et al 2018b) A dependência espacial é estudada com o objetivo de estimar valores para locais não amostrados, isso porque o número de amostras e a densidade das mesmas distribuídas de formas regular em um grid amostral, pode tornar a análises da dependência espacial inviável economicamente, principalmente em pequenas propriedades rurais (LOPES et al., 2020)

Visto a grande importância do estudo da variabilidade espacial dos atributos físico-químicos do solo e como a geoestatística pode auxiliar na tomada de decisões quanto ao manejo de sistemas agrícolas, o presente trabalho objetiva quantificar a variabilidade espacial da temperatura do solo e de plantas de café, e dos atributos químicos e do solo em sistema agroflorestal em Redenção-CE.

METODOLOGIA

O presente estudo foi conduzido em um sistema agroflorestal implantado com café (*Coffea arabica* L.), na Fazenda Experimental Piroás (FEP), propriedade pertencente a Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira. A Fazenda Experimental fica situada no distrito de Barra Nova em Redenção-CE (9537928 S e 521172 W), município que pertence a região do Maciço de Baturité.

Segundo a classificação climatológica de Köppen-Geiger a cidade de Redenção possui clima tropical com inverno seco (AW), com estação chuvosa no verão, sendo a quadra chuvosa nos meses de janeiro a abril, e estação seca no inverno, dos meses de maio a dezembro. Segundo dados do IPECE (2017) a pluviosidade média para Redenção é de 1.062,0 mm e a temperatura média com máxima de 28° e mínima de 26°C (figura 01).

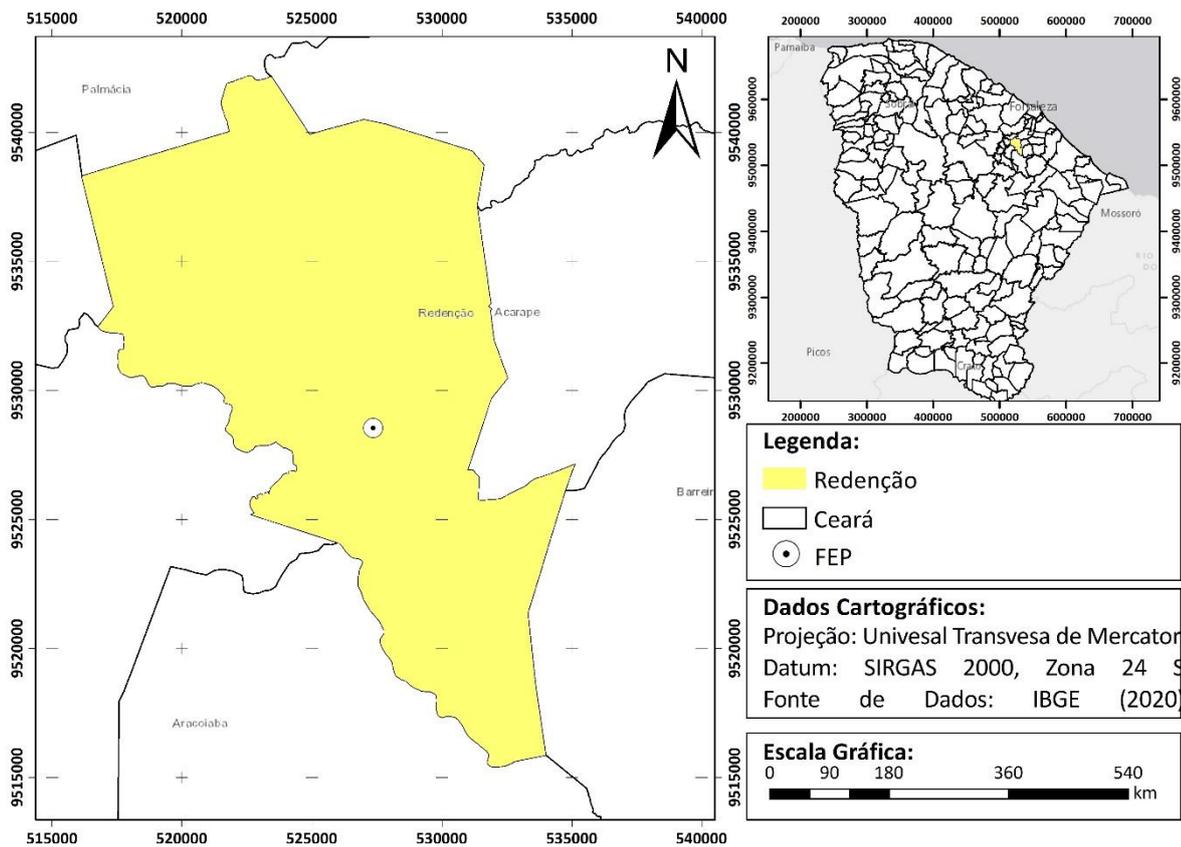


Figura 1: Mapa de localização do município de Redenção – CE. Fonte: Autoral, 2022

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 (figura 2). Para contraste foi escolhida uma parcela de mata nativa vizinha ao sistema agroflorestal com as dimensões 14,0 m x 20,0 m (figura 3). Anteriormente toda a área era cultivada com flores ornamentais e estava em pousio desde 2012 onde em 2018 sofreu novas intervenções antrópicas. Tanto o sistema agroflorestal como a área de mata nativa possuem características do bioma caatinga, sendo classificada como floresta úmida semi-caducifolia, com predominância de espécies arbóreas como a Angico (*Piptadenia macrocarpa*), Frei-Jorge (*Cordia trichotoma*) e Sabiá (*Mimosa caesalpinifolia*) (COSTA, 2008).



Figura 2: Sistema agroflorestal implantado com café. Fonte: Autoral, 2022.



Figura 3: Parcela de mata nativa escolhida como contrates ao sistema agroflorestal. Fonte: Autoral,2022.

Para avaliar a variabilidade espacial foi construído um grid regular com espaçamento de 8 x 8m totalizando 20 pontos amostrais para o sistema agroflorestal (SAF) e 6 x 6m com 12 pontos amostrais na área de mata nativa (MAT). Foram coletadas amostras deformadas de solo com o auxílio de um trado holandês nas profundidades de 0-0,10 m e 0,10-0,20 m. As amostras foram enviadas ao laboratório de Ciência dos Solos da Universidade Federal do Ceará e submetidas a análise dos atributos químicos carbono e fósforo do solo.

Para coleta dos dados de temperatura do solo e de plantas, foram georreferenciadas 20 plantas de café com o auxílio de um GPS modelo GARMIM GPSMAP 96c. As variáveis de temperatura foram avaliadas nos períodos de outubro a dezembro de 2020 entre os horários de 08:00 às 09:30 da manhã. A temperatura do solo foi coletada na saia das plantas de café a 50 cm do caule, seguindo a grade regular para área de SAF.

Para medição da temperatura na planta selecionou-se três ramos plagiotrópicos (um ramo do terço inferior, um ramo terço médio e um ramo terço superior das plantas) e medida a temperatura do quinto par de folhas do ramo escolhido, em seguida os resultados das temperaturas dos três ramos foi somada e dividida por 3, obtendo-se a média da temperatura das plantas de café. As temperaturas de solo e de plantas foram coletadas utilizando um termômetro a laser modelo Infrared DT -8380. Foram realizadas 6 coletas com o intervalo de tempo de 15 dias entre cada coleta e são descritas na sequência TS1, TS2, TS3, TS4, TS5 e TS6 para temperatura do solo; e TP1, TP2, TP3, TP4, TP5 e TP6 para temperatura de plantas.

As variáveis escolhidas foram submetidas a estatística descritiva dos dados calculando se os valores os valores de média, mediana, valor máximo e mínimo, coeficiente de variação, desvio padrão, assimetria, curtose e submetidos ao teste de normalidade de kolmogorov-Smirnov (KS) a 0,05 de probabilidade utilizando o programa Surfer 9. Foi utilizada a metodologia descrita por Warrick e Nielsen (1980), para classificação da variabilidade dos atributos com base no coeficiente de variação (CV) onde: $CV < 12\%$ (baixa variabilidade); $CV 12\%$ a 60% (moderada variabilidade); e $CV > 60\%$ (alta variabilidade).

Após análise da estatística descritiva, os dados de temperatura de plantas, temperatura do solo, carbono e fósforo do solo foram submetidas a análise geoestatística por meio da qual foi definido os modelos

da variabilidade espacial para cada variável através do semivariograma. Os parâmetros do semivariograma foram definidos através do cálculo da semivariância que é dada pela equação a seguir:

Equação 1:
$$\gamma(h) = \frac{1}{2(n-h)} \sum_{i=h}^{n-h} (x_i - x_{i+h})^2$$

Onde $\gamma(h)$ é a semivariância experimental para uma distância de separação (h), x_i x_{i+h} são os pares de valores medidos da variável separados um vetor h , $n - h$ é o número de pares de valores separados pelo vetor h e x é a variável em estudo.

Testou-se três modelos matemáticos para ajuste do semivariograma, são eles: modelo esférico, exponencial e gaussiano. Para a escolha do modelo que melhor representou o semivariograma foi utilizado o menor valor para a raiz quadrada do erro médio (RMSE) e em seguida foi definidos os parâmetros efeito pepita (C_0), patamar ($C_0 + C$) e alcance (A). Em seguida definiu se o grau de dependência espacial (GDE) utilizando a metodologia de Cambardella et al., (1994) que utiliza a relação entre o efeito pepita e patamar por meio da seguinte equação:

Equação 2:
$$GDE = \frac{y(h) \text{ pepita}}{y(h) \text{ total}} * 100$$

Onde: GDE = grau de dependência espacial, $y(H)$ pepita – semivariância do efeito pepita e $y(h)$ total – semivariância total ou patamar. Os resultados do parâmetro de comparação GDE podem ser classificados como: dependência espacial forte < 25%; dependência espacial moderada entre 35% e 75% e dependência espacial fraca > 75%.

A análise da dependência espacial foi realizada através do programa ArcGis[®]. Os dados foram submetidos a krigagem ordinária, que utiliza os parâmetros do semivariograma para sua determinação. Logo em seguida foram elaborados mapas temáticos.

RESULTADOS E DISCUSÃO

O resultado da estatística descritiva dos dados de temperatura do solo (TS) e temperatura de plantas (TP) apresentaram valores de média e mediana aproximados, indicando que as variáveis estudadas seguem uma tendência de distribuição normal ou simétrica dos dados (Tabelas 1 e 2). Segundo Cambardella et al. (1994) valores de média e mediana próximos é um indicativo que os dados em questão se aproximam de uma distribuição normal, de forma que as medidas de tendência central são influenciadas por valores intrínsecos ligados a distribuição espacial dos dados.

Com base nos critérios apresentados por Warrick e Nielsen (1980) para a classificação do coeficiente de variação (CV) para TS e TP os valores foram classificados como baixo (<12%) indicando que existe baixa variabilidade para os dados de temperatura. Lima et al. (2015) afirma que o CV pode ser usado como uma

ferramenta de comparação na análise das variáveis, uma vez que o CV baixo indica baixa variação dos dados em relação à média dos valores obtidos.

Tabela 1. Análise da estatística descritiva dos dados de temperatura do solo em sistema agroflorestal.

Medidas	Temperatura do solo					
	TS1	TS2	TS3	TS4	TS5	TS6
	Temperatura do Solo (°C)					
Média	24,45	24,30	24,32	24,55	24,52	24,28
Mediana	24,70	24,30	24,40	24,60	24,50	24,30
Máximo	25,70	24,70	25,00	24,90	24,90	25,30
Mínimo	22,30	23,80	23,40	24,20	24,20	23,10
CV ⁽¹⁾	3,47	0,99	1,97	0,79	0,88	2,16
DP ⁽²⁾	0,84	0,24	0,48	0,19	0,22	0,52
Assimetria	-1,03	-0,30	-0,53	-0,37	0,16	-0,47
Curtose	0,80	-0,46	-0,79	-0,59	-0,99	0,84
K-S ⁽³⁾	0,22*	0,15*	0,17*	0,20*	0,15*	0,19*

(1) CV: Coeficiente de variação (%); (2) DP: Desvio padrão; (3) K-S: * significativo pelo Teste de Kolmogorov-Smirnov (0,05)

Tabela 2. Análise da estatística descritiva dos dados de temperatura de plantas de café em sistema agroflorestal.

Medidas	Temperatura de Plantas					
	TP1	TP2	TP3	TP4	TP5	TP6
	Temperatura de folhas (°C)					
Média	25,97	24,98	25,17	26,00	25,21	25,91
Mediana	25,73	24,92	25,13	26,29	25,07	26,10
Máximo	27,47	26,23	25,62	27,07	26,47	27,28
Mínimo	24,87	24,63	24,88	24,90	24,85	24,77
CV ⁽¹⁾	3,23	1,30	0,62	2,75	1,55	3,26
DP ⁽²⁾	0,84	0,32	0,16	0,72	0,39	0,84
Assimetria	0,52	3,22	1,26	-0,32	2,14	0,09
Curtose	-1,05	12,62	2,99	-1,25	5,07	-1,44
K-S ⁽³⁾	0,21*	0,33	0,21*	0,19*	0,31	0,16*

(1) CV: Coeficiente de variação (%); (2) DP: Desvio padrão; (3) K-S: * significativo pelo Teste de Kolmogorov-Smirnov (0,05)

As curvas de assimetria e curtose para a variável de temperatura do solo apresentaram valores próximos a zero. Segundo Campos et al., (2013) valores de assimetria e curtose próximos a zero indicam uma distribuição simétrica dos dados, sendo possível o uso da geoestatística sem que ocorram problemas no processo de Krigagem. Em contraste a temperatura do solo, os dados de temperatura de plantas evidenciando as medidas TP1, TP2 e TP5 apresentaram assimetria e curtose > 1, indicando que a curva de distribuição dos dados se apresenta mais alongada do que as demais medidas realizadas.

Em relação a temperatura do solo (tabela 1) os dados apresentaram uma distribuição normal segundo o teste de Kolmogorov-Smirnov a 5% de probabilidade, diferente de temperatura de plantas onde as medidas TP2 (0,33) e TP5 (0,31) foram não significativas quando submetidas ao teste de normalidade. Segundo Lima et al., (2015) não é necessário que os dados sigam normalidade para a aplicação da geoestatística, porém valores elevados de assimetria e curtose como os encontrados para temperatura de

plantas apresentam curvas alongadas, o que pode comprometer o processo de estimativa pela krigagem, a qual utiliza-se dos valores médios para realizar os cálculos.

O carbono no solo da área de SAF apresentou variações nas médias conforme as profundidades das camadas avaliadas, apresentando decréscimo em seu teor, sendo 12,67 g Kg⁻¹ (SAF 0-10) e 11,23 g Kg⁻¹ (SAF 10-20). Para MAT o conteúdo de carbono no solo teve comportamento semelhante, apresentando redução no teor do nutriente conforme o aumento da profundidade, sendo 12,82 g Kg⁻¹ (MAT 0-10) e 11,94 g Kg⁻¹ (SAF 0-10). Resultados semelhantes foram encontrados OLIVEIRA et al. (2020), que observaram que o teor de carbono do solo sofreu decréscimo conforme o aumento da profundidade. O acúmulo de carbono nas camadas mais superficiais do solo pode ser explicado pela maior deposição de matéria orgânica nessa camada.

Os valores de média e mediana foram semelhantes para carbono no solo em sistema agroflorestal e em mata nativa (tabela 3), indicando que os dados seguem uma distribuição simétrica. As curvas de assimetria e curtose confirmam a distribuição simétrica dos dados para carbono no solo em SAF (0-10cm) e MAT (10-20). Com base na classificação de Warrick e Nielsen (1980) os coeficientes de variação foram classificados como médios para ambos os sistemas estudados e ambas as profundidades do solo sendo CV = 12,70% (SAF 0-10cm), 15,41% (SAF 10-20cm) e CV= 16,02% (MAT 0-10cm), 12,25% (MAT 10-20cm). Segundo Azevedo et al. (2015) as elevações nos valores de CV podem estar relacionadas a variações do relevo, composição da serrapilheira e tipo de solo.

Com base no teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov (0,05) os valores de carbono no solo em SAF e em MAT apresentaram normalidade dos dados. Foi encontrada curva assimétrica positiva para os dados de carbono no solo nos dois sistemas de estudo. Para o coeficiente de curtose a distribuição foi classificada como leptocúrtica e platicúrtica. Segundo Reichard e Timm (2012) O valor de assimetria positiva, indica que os valores da curva de distribuição são menores ou se encontram a esquerda da média aritmética, ou seja, assimetria>0. Ainda segundo o mesmo autor a classificação do coeficiente de curtose pode ser platicúrtica (maior achatamento da curva) sendo o coeficiente de curtose<0, mesocúrtica (achatamento médio) quando o coeficiente de curtose=0 e leptocúrtica (menor grau de achatamento) quando coeficiente de curtose>0.

Tabela 3. Análise da estatística descritiva dos dados de Carbono no solo em sistema agroflorestal e em mata nativa.

Medidas	CARBONO DO SOLO (g kg ⁻¹)			
	SAF 0-10	SAF 10-20	MAT 0-10	MAT 10-20
Média	12,67	11,23	12,82	11,94
Mediana	12,33	10,41	11,85	12,06
Mínimo	9,91	9,20	10,62	9,62
Máximo	15,81	15,39	17,34	14,51
CV ⁽¹⁾	12,70	15,41	16,03	12,25
DP ⁽²⁾	1,62	1,73	2,05	1,46
Assimetria	0,32	1,02	1,08	0,06

Curtose	-0,39	0,05	0,52	-0,72
K-S ⁽²⁾	0,15*	0,26*0	0,24*	0,11*

(1) CV: Coeficiente de variação (%); (2) DP: Desvio padrão; (3) K-S: * significativo pelo Teste de Kolmogorov-Smirnov (0,05)

Os valores das médias e medianas para P do solo foram semelhantes, indicando uma distribuição normal dos dados para ambas as áreas analisadas (SAF e MAT) nas profundidades de 0-10cm e 10-20cm. Os valores dos coeficientes de variação foram maiores que 12% para área de SAF e maiores que 60 % para área MAT, sendo classificados como médio e alto seguindo a metodologia de Warrick e Nielsen (1980) (Tabela 4).

Assim como o carbono, houve redução no teor de fósforo do solo conforme o aumento da profundidade amostrada para SAF e para MAT. Silva et al. (2019) analisando a variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob pastagem verificou a redução de P conforme a profundidade corroborando com o presente estudo. Tokura et al. (2002) explica que essa redução no teor de fósforo do solo pode ser causada pela absorção do P pelas plantas e sua deposição nas camadas superficiais através da decomposição dos seus tecidos vegetais, deposição de material orgânicos pelas espécies arbóreas componentes do SAF e da MAT e pela baixa mobilidade de P no solo.

As curvas de assimetria e curtose apresentaram tendencia a normalidade (próximas a zero) para SAF e MAT. Quanto ao teste de K-S apenas para a área mata nativa os dados não apresentaram uma distribuição normal. Resultados semelhantes foram encontrados por Soares et al. (2018) estudando atributos de um Argissolo Vermelho Alítico plúntico sob agrofloresta.

Tabela 4. Análise da estatística descritiva dos dados de Fósforo do solo

Medidas	Fósforo do solo (mg kg ⁻¹)			
	SAF 0-10	SAF 10-20	MAT 0-10	MAT 10-20
Média	11,80	7,00	13,92	9,11
Mediana	11,00	7,00	9,00	7,50
Mínimo	2,00	2,00	4,00	4,00
Máximo	23,00	12,00	58,00	32,00
CV ⁽¹⁾	48,77	43,47	105,14	82,79
DP ⁽²⁾	5,75	3,04	14,63	7,58
Assimetria	0,36	0,10	2,89	2,85
Curtose	-0,23	-1,23	9,04	8,98
KS ⁽²⁾	0,12*	0,14*	0,30*	0,32*

(1) CV: Coeficiente de variação (%); (2) DP: Desvio padrão; (3) K-S: * significativo pelo Teste de Kolmogorov-Smirnov (0,05)

É possível observar que as variáveis de temperatura se ajustaram aos modelos Esférico, Exponencial e Gaussiano, com predominância do modelo esférico e exponencial (Tabela 5). Apenas a medida PS2 para temperatura do solo apresentou efeito pepita puro diferindo das demais medidas onde apresentaram dependência espacial. Resultados semelhantes foram encontrados por Silva et al. (2019), estudando emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo em área de pastagem em período seco e período chuvoso.

A variáveis TS e TP apresentaram GDE classificado como forte. Segundo Lima et al. (2015) quanto mais forte o grau de dependência espacial existe uma possibilidade de afirmar que a variável em questão

está sendo influenciada por variáveis como densidade, porosidade, umidade do solo e outras características intrínsecas da formação dos solos.

Tabela 5. Modelos matemáticos ajustado ao semivariograma para as variáveis de temperatura solo e temperatura de plantas em sistema agroflorestal.

Parâmetros	Tratamentos					
	Temperatura do solo °C (SAF)					
	TS1	TS2	TS3	TS4	TS5	TS6
Modelo	ESFÉRICO	ESFÉRICO	EXPONENCIAL	EXPONENCIAL	ESFÉRICO	EXPONENCIAL
C_0 ⁽¹⁾	0,21	0,06	0,00	0,00	0,04	0,24
$C_0 + C_1$ ⁽²⁾	0,43	0,00	0,25	0,05	0,02	0,04
Alcance	15,23	20,99	19,77	23,99	15,66	31,99
$[C_0/(C_0 + C_1)]$ ⁽³⁾	0,49	0,00	0,00	0,00	1,75	5,62
RMSE ⁽⁴⁾	1,00	0,97	1,00	0,82	0,96	0,91
GDE ⁽⁵⁾	Moderada	Forte	Forte	Forte	Fraca	Fraca
	Temperatura de plantas °C (SAF)					
	TP1	TP2	TP3	TP4	TP5	TP6
Modelo	GAUSSIANO	ESFÉRICO	GAUSSIANO	GAUSSIANO	ESFÉRICO	EXPONENCIAL
C_0 ⁽¹⁾	0,06	0,08	0,02	0,00	0,07	0,00
$C_0 + C_1$ ⁽²⁾	1,18	0,01	0,01	0,51	0,04	0,62
Alcance	35,84	17,527	18,002	15,23	15,23	15,85
$[C_0/(C_0 + C_1)]$ ⁽³⁾	0,05	6,769	2,00	0,00	1,83	0,00
RMSE ⁽⁴⁾	1,27	1,02	0,96	0,79	1,10	0,91
GDE ⁽⁵⁾	Forte	Fraca	Fraca	Forte	Fraca	Forte

(1) Efeito pepita; (2) Patamar; (3) Relação efeito pepita patamar; (4) Erro da raiz quadrada média (5) Grau de dependência espacial.

O modelo que melhor se ajustou as variáveis carbono e fósforo foi o modelo Esférico (tabela 6). Houve dependência espacial apenas para carbono no solo para área de sistema agroflorestal, as demais variáveis apresentaram efeito pepita puro, ou seja, relação efeito pepita-patamar é igual a 100%. Segundo Cajazeira et al (2011), quando os dados apresentam efeito pepita puro o alcance estimado se torna nulo e não existe dependência espacial entre os pontos amostrados, atendendo os requisitos para aplicação da estatística clássica.

O maior alcance para C do solo foi de 35,84, indicando que a malha amostral foi suficiente, mas pode ser ajustada pra estudos futuros podendo cobrir melhor a área amostral. Já para as variáveis de carbono em sistema agroflorestal e fósforo em sistema agroflorestal e em mata nativa, o alcance não foi suficiente para estimar a variabilidade dos atributos, sendo necessário à definição de uma nova grade de amostragem. O GDE foi classificado como fraco para C no sistema agroflorestal, as demais variáveis apresentaram grau de dependência espacial nulo devido a presença do efeito pepita puro.

Tabela 6. Modelos matemáticos ajustado ao semivariograma para as variáveis do solo.

Parâmetros	Tratamentos			
	SAF: 0 – 10 cm	SAF: 10 - 20	MAT: 0 - 10	MAT: 10 - 20
	C no Solo			
Modelo	ESFÉRICO	ESFÉRICO	ESFÉRICO	ESFÉRICO
C_0 ⁽¹⁾	1,85	1,76	4,22	2,11
$C_0 + C_1$ ⁽²⁾	0,93	2,23	0,00	0,00

Alcance	25,48	16,84	23,94	13,34
$[C_0/(C_0 + C_1)]^{(3)}$	1,99	0,78	0,00	0,00
RMSE ⁽⁴⁾	1,01	1,85	1,05	0,95
GDE ⁽⁵⁾	Fraca	Fraca	Nulo	Nulo
		P no Solo		
Modelo	ESFÉRICO	ESFÉRICO	ESFÉRICO	ESFÉRICO
C_0 ⁽¹⁾	33,38	9,84	214,08	57,61
$C_0 + C_1$ ⁽²⁾	0,00	0,00	0,00	0,00
Alcance	25,32	19,64	24,33	23,94
$[C_0/(C_0 + C_1)]^{(3)}$	0,00	0,00	0,00	0,00
RMSE ⁽⁴⁾	0,93	0,90	1,03	1,01
GDE ⁽⁵⁾	Nulo	Nulo	Nulo	Nulo

(1) Efeito pepita; (2) Patamar; (3) Relação efeito pepita patamar; (4) Erro da raiz quadrada média (5) Grau de dependência espacial.

Na figura 5 estão representados os mapas referentes as seis amostras temperatura do solo em sistema agroflorestal.

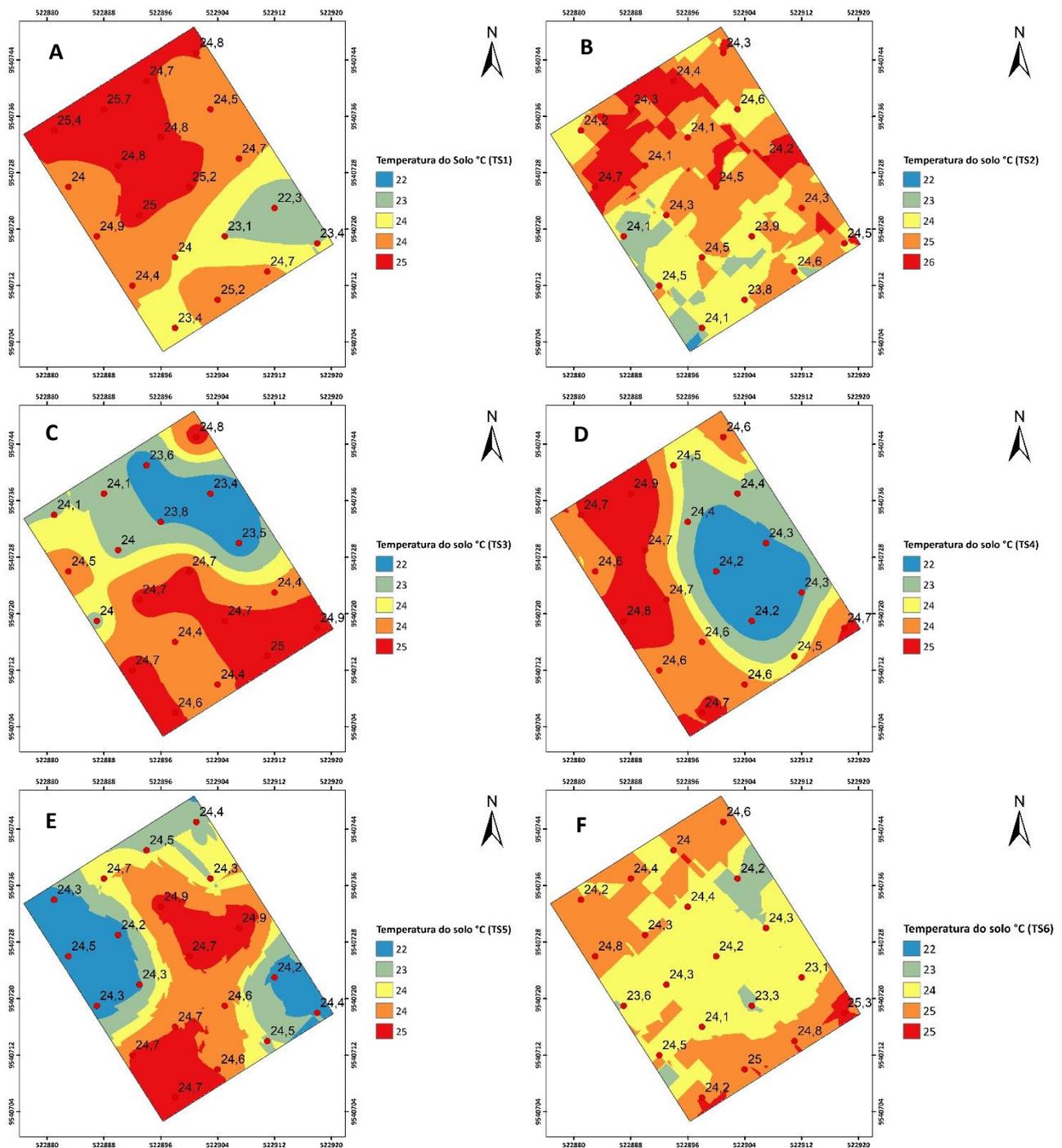


Figura 5: Mapas da variabilidade espacial para temperatura do solo em sistema agroflorestal.

A amplitude térmica para a variável de temperatura do solo apresentou valor de 22,30°C para a temperatura mínima e 25,70°C para temperatura máxima registrada, variação de 3,40°C entre mínima e máxima. A distribuição espacial da temperatura do solo apresentou maiores zonas de calor ao Sul dos mapas (figura 5c, figura 5d, figura 5e), com a máxima registra de 24,7°C, apenas o mapa a representado pela figura 5a apresentou maior concentração de calor no solo a Noroeste do mapa. Apesar de ter sido registrados picos de calor, a maioria dos mapas apresentaram baixa variação na temperatura do solo com concentração das maiores médias registradas ao sul do mapa e as mínimas a Norte e a Oeste.

Os mapas para a variável temperatura de folhas estão apresentados na figura 6. A temperaturas máximas registradas tiveram maior concentração ao Norte e ao Sul dos mapas (figura 6a, figura 6d, figura 6f). Apenas o mapa representado pela figura 6e mostrou maior concentração de calor a Sudeste. As maiores zonas de concentração de calor para temperatura de folhas foram registradas nos limites da área do sistema agroflorestal, isso pode ser explicado pela presença de clareiras onde existe maior incidência dos raios solares nas superfícies das folhas e consequentemente aumento da temperatura média das plantas.

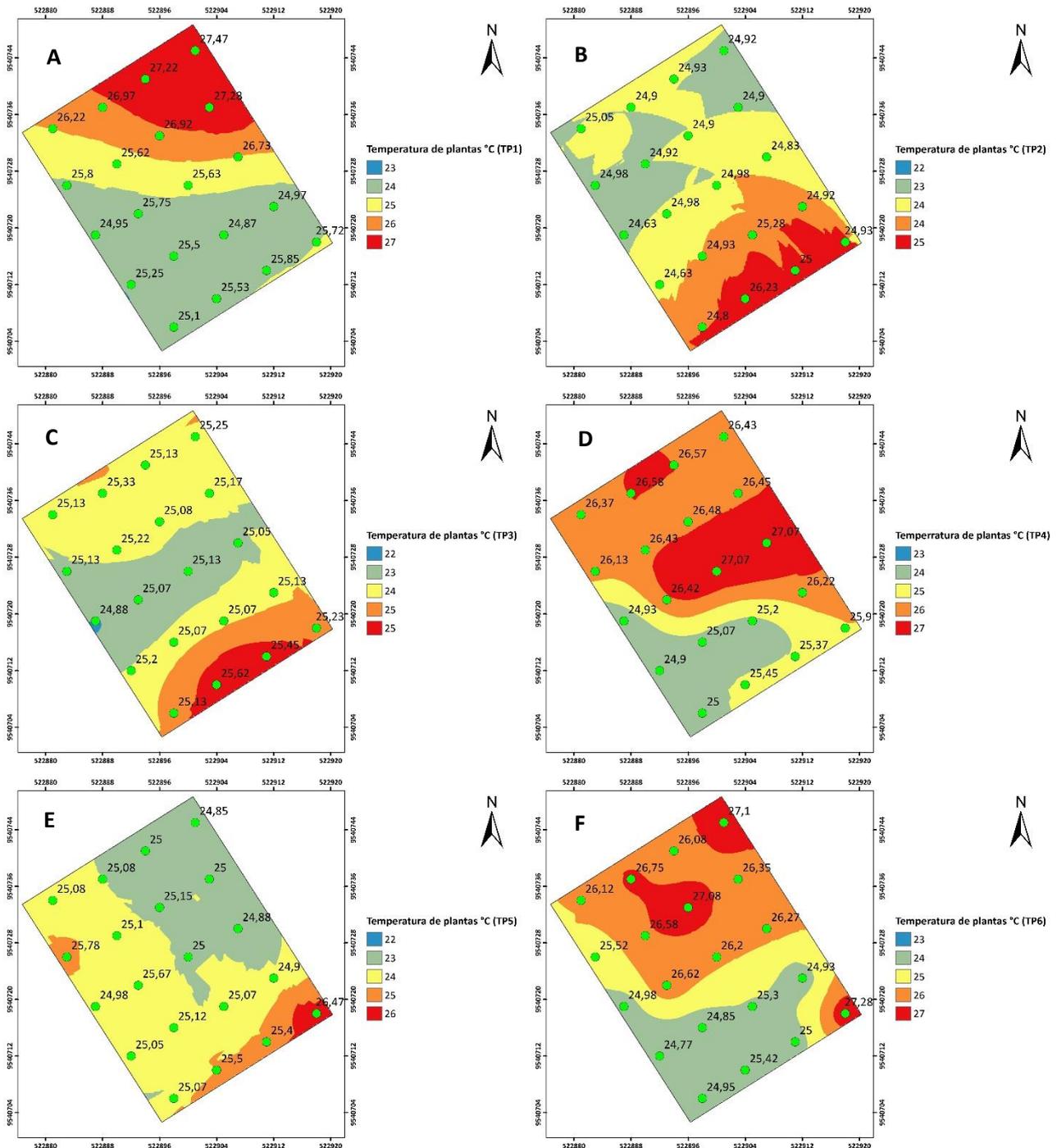


Figura 6: Mapas da variabilidade espacial da temperatura de plantas de café em sistema agroflorestal.

Os mapas da variação espacial de carbono no solo para o sistema agroflorestal e mata nativa estão representados na figura 7.

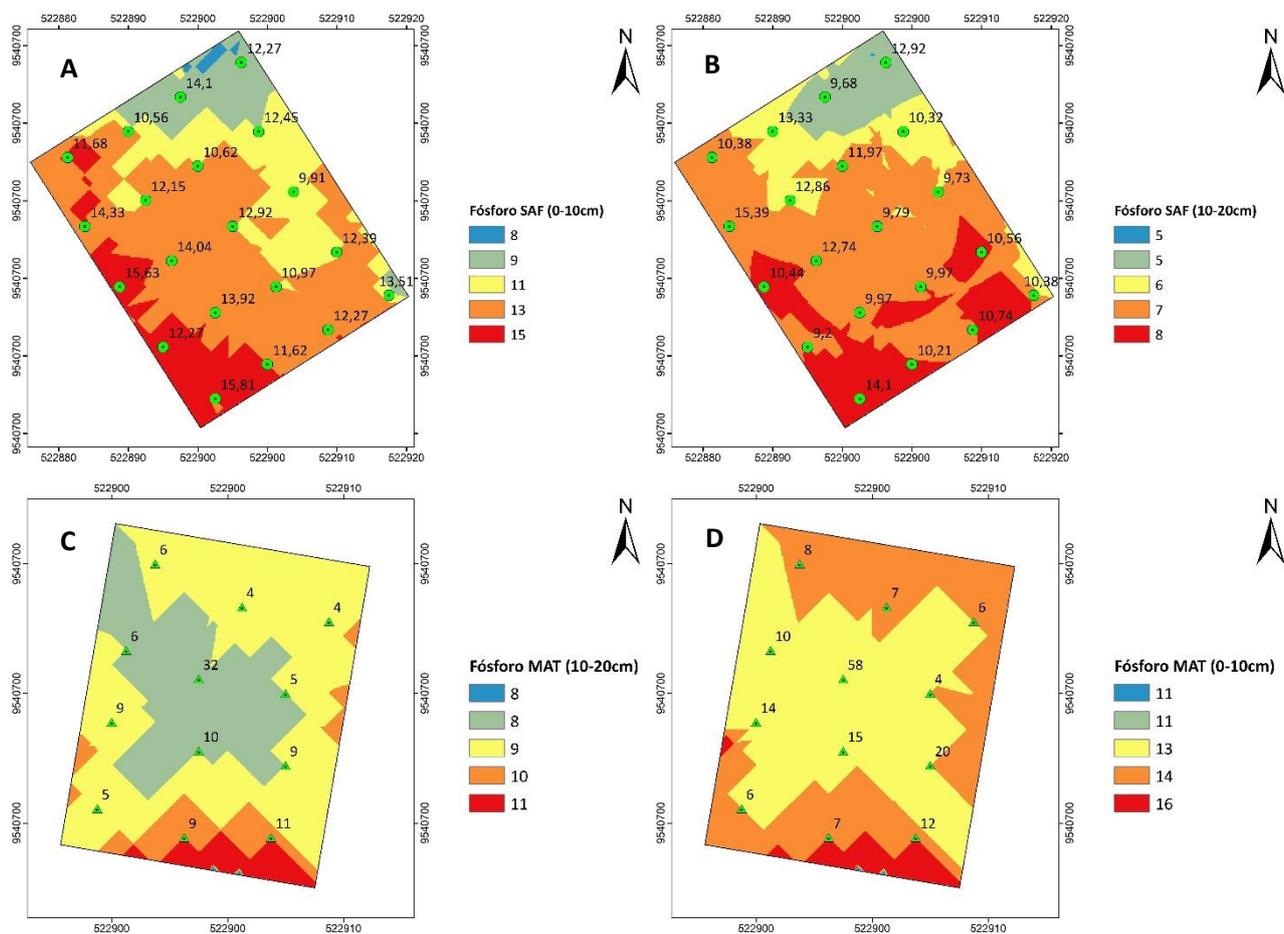


Figura 8: Mapas da variabilidade espacial de fósforo no solo em sistema agroflorestal e em mata nativa.

É possível observar que existem picos nos teores de fósforo ao sul dos mapas da variabilidade do fósforo em sistema agroflorestal (figura 8a, figura 8b) e ao centro dos mapas para mata nativa (figura 8c, figura 8d). Valores discrepantes na distribuição dos dados podem alterar as medidas de tendência central como a média e mediana, que é confirmado pelo alongamento das curvas de assimetria e curtose, que por sua vez geram problemas no processo de modelagem dos dados por meio da Krigagem. Outro fator que pode contribuir para a ocorrência de efeito pepita pura para a variável fósforo do solo é a amostragem insuficiente dos dados, isso se aplica a área de mata nativa, onde a malha amostral foi reduzida para 12 pontos amostrais.

CONCLUSÕES

1. O sistema agroflorestal se mostrou semelhante quando aos teores desses nutrientes quando comparados a camada mais superficial do solo. Com esses resultados pode se concluir que os sistemas agroflorestais muito se assemelham aos ecossistemas naturais, preservando as características químicas do solo, sendo uma alternativa no uso de agroecossistemas sustentáveis.

2. O estudo da variabilidade espacial da temperatura do solo, temperatura de plantas, carbono e fósforo do solo por meio da geoestatística, por meio das técnicas de krigagem, se mostrou uma ferramenta efetiva na compreensão da distribuição espacial das variáveis estudadas e pode ser usada como instrumento auxiliar

nas tomadas de decisões para a implementação de modelos de manejo do solo e plantas dentro do sistema agroflorestal.

REFERÊNCIAS

- AZEVEDO, J. R.; BUENO, C. R. P.; PREIRA, G. T.. Spatyal variability of soil properties in na agrarian reform settlement. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. Viçosa-MG, v. 39, p. 1755-1763, 2015.
- BARROS, T N.; FILHO, J. F. M.; PEIXOTO, D. S.; BRANDÃO, V. F.; QUEIROZ, M. Q.; MACHADO, W. P. . Variabilidade espacial dos atributos químicos de latossolo amarelo distrocoeso sob sistema de plantio direto no recôncavo da Bahia. **Revista Pensar Acadêmico**. Manhaçu, v. 16, n. 1, p. 138-147, 2018.
- BOTELHO, T C A.. **Análise espacial da influência do relevo e da temperatura na produtividade do café no município de Mulungu-CE**. Monografia (Bacharelado em Agronomia) – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção-CE, 2019.
- CAJAZEIRA, J. P.; ASSIS JÚNIOR, R. N. 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, 2011)
- CAMBARDELLA, C.V; MOORMAN, T. B; PARKIN, T. B; KARLEN, D. L; NOVAK, J. M; TURCO, R. F; KONOPKA, A. E. Variabilidade em escala de campo das propriedades do solo em solos centrais de Iowa. **Revista Soil Science Society of America**, 58, 1501-151, (1994). Doi: 10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x.
- CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; SANTOS, L. A. C.; OLIVEIRA, I. A.; DE AQUINO, R. E.; BERGAMIN, A. C.. Variabilidade espacial dos atributos físicos em um Argissolo Vermelho sob floresta. **Revista Comunicata Scientiae**, v. 4, n. 2, p. 168-178, 2013.
- COSTA, F. G. R. **Geotecnologias Aplicadas ao Monitoramento da Cobertura Vegetal do Maciço de Baturité-CE**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Ceará, Ceará, 2008.
- FINZI, A. C., ABRAMOFF, R. Z., SPILLER, K. S., BRZOSTEK, E. R., DARBY, B. A., KRAMER, M. A., & PHILLIPS, R. P. Rhizosphere processes are quantitatively important components of terrestrial carbon and nutrient cycles. **Global change biology**, v. 21, n. 5, p. 2082-2094, 2015.
- IPECE- Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Perfil básico municipal de Redenção**. Fortaleza, CE: Governo do Estado do Ceará, 2017. Disponível em https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Redencao_2017.pdf . Acesso em: 18 set 2022.
- LIMA F; SILVINO G; MELO R; LIRA E; RIBEIRO, T. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em área de encosta sob processo de degradação. *Revista Caatinga*, v. 28, p.53-63, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1590/1983-21252015v28n406rc>.
- LOPES, K. A. L.; AGUIAR, F. I. S.; OLIVEIRA, I. R.; DANTAS, J. S.. Variabilidade espacial de atributos químicos de um argissolo amarelo distrocoeso em diferentes densidades de amostragem. **Revista Científica Rural**. Bage-RS, v. 22, n. 2, p. 29-42, 2020.
- MAGALHÃES, S; WEBBER, O; SANTOS, C; VALADÃO, F. (2013) Estoques de Nutrientes sob Diferentes Sistemas de Uso do Solo de Colorado do Oeste-RO. **ACTA Amazonica**, Online, v. 43, n. 1, p. 63-72, 2013. DOI <https://doi.org/10.1590/S0044-59672013000100008>.
- MIRANDA, S; MATA, C; FONSECA, K; DE-CARVALHO, P. (2018) Apontamentos Sobre Mudanças Climáticas na Agricultura Brasileira. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v. 15, n. 27, p. 95-106. DOI: https://doi.org/10.18677/EnciBio_2018A9.
- OLIVEIRA, E; REATTO, A; ROIG, H.. Estoques de Carbono do Solo Segundo os Componentes da Paisagem. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, Brasília, v. 32, p. 71-93, 2015.
- OLIVEIRA L; SAOUSA A; PINHEIRO J; SILVA, V. Manejo do Solo Como Fonte de Alteração na Dinâmica do Carbono do Orgânico. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v.17, n. 31, p.155-162, 2020. Doi: https://doi.org/10.18677/EnciBio_2020A14.

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.

SILVA, D; CAMPOS, M; MANTOVANELLI, B; SANTOS, L; SOARES, M; CUNHA, J. Variabilidade Espacial das Emissões de CO₂, Temperatura e Umidade do Solo em Área de Pastagem na Região Amazônica, Brasil. **Ciências agroveterinárias**, Lages, v. 18, n. 1, p. 119-126, 2019. Doi: [https://doi.org/ 10.5965/223811711812019119](https://doi.org/10.5965/223811711812019119).

SOARES, M; CAMPOS, M; OLIVEIRA, I; CUNHA, J; SOUZA, Z; AQUINO, R; SILVA D; SILVA, J. Variabilidade Espacial dos Atributos do Solo sob Agrofloresta na Região de Humaitá, AM. **Gaia Scientia**. Online, 12(1). 33-41, 2018. <https://doi.org/10.22478/ufpb.1981-1268.2018v12n1.34353>.

WARRICK, A. W. Spatial variability of soil physical properties in the field. **Application of soil physics**., p. 319-344, 1980.