

## Dispersão Espacial de Atributos Químicos do Solo de um Açaizeiro na Região Amazônica

*Spatial Dispersion of Chemical Attributes of the Soil of an Açaí Tree in the Amazon Region*

Lucélia Souza de Barros<sup>1</sup> , Ewelyn Regina Rocha Silva<sup>2</sup> ,  
Maria de Nazaré Martins Maciel<sup>2</sup> , Vânia Silva de Melo<sup>2</sup> ,  
Rejane Ennes Cicerelli<sup>1</sup> , Tati de Almeida<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Universidade de Brasília, Programa de Pós-graduação em Geociências Aplicadas e Geodinâmica, Brasília, DF, Brasil

<sup>2</sup>Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, PA, Brasil

E-mails: [luceliasbarros@gmail.com](mailto:luceliasbarros@gmail.com); [ewelynrocha@gmail.com](mailto:ewelynrocha@gmail.com); [nazare.maciell@ufra.edu.br](mailto:nazare.maciell@ufra.edu.br); [vania.melo@ufra.edu.br](mailto:vania.melo@ufra.edu.br); [rejane\\_ig@unb.br](mailto:rejane_ig@unb.br); [tati\\_almeida@unb.br](mailto:tati_almeida@unb.br)

**Autor Correspondente:** Lucélia Souza de Barros; [luceliasbarros@gmail.com](mailto:luceliasbarros@gmail.com)

### Resumo

A Amazônia tem despertado a atenção dos produtores no plantio de açaizeiros, muitos deles, buscam inovar técnicas de cultivo que possam auxiliar nas tomadas de decisões na agricultura, visando desenvolver sistemas de cultivo apropriados para aumentar a produtividade. Objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo e sua interação com o cultivo do açaí (*Euterpe oleracea* Mart.), localizada na fazenda Fonte Nova no Município do Acará-PA. Os dados foram submetidos a estatísticas descritivas e teste de normalidade de Shapiro-Wilk. Para os elementos químicos do solo avaliou-se ainda a dependência espacial, geração modelos dos semivariogramas e mapas de krigagem. Por fim foi realizada uma matriz de correlação entre os atributos estudados. Os resultados mostraram que a maior parte das variáveis químicas do solo apresentou dependência espacial, indicando que o número de amostras coletadas e os pontos plotados foram suficientes para mapear área do plantio, por meio das técnicas geoestatísticas. Os modelos teóricos predominantes no estudo foram esférico, gaussiano e o exponencial. As variáveis apresentaram moderada correlação. Percebeu-se que os mapeamentos dos atributos do solo e do plantio foram importantes para identificação das áreas com diferentes níveis de fertilidades e as regiões com maiores potenciais produtivos.

**Palavras-chave:** Geoestatística; Correlação espacial; Agricultura de precisão

### Abstract

The Amazon has awakened the attention of producers in the planting of açaí trees, many of them seeking to innovate cultivation techniques that can assist in decision-making in agriculture, aiming to develop appropriate cultivation systems to increase productivity. The objective of this work was to evaluate the spatial variability of soil chemical attributes and its interaction with the cultivation of açaí (*Euterpe oleracea* Mart.). Located on the Fonte Nova farm in the Municipality of Acará-PA. The data were submitted to descriptive statistics and normality test by Shapiro-Wilk. For soil chemical elements, spatial dependence, generation of semivariograms and kriging maps were also evaluated. Finally, a correlation matrix was performed between the studied attributes. The results showed that most of the chemical variables of the soil presented spatial dependence, indicating that the number of samples collected and the plotted points were sufficient to map the planting area, using geostatistics techniques. The theoretical models predominant in the study were spherical, Gaussian and exponential. The variables showed a moderate correlation. It was noticed that the mapping of soil and planting attributes were important to identify areas with different levels of fertility and regions with greater productive potential.

**Keywords:** Geostatistics; Spatial correlation; Precision agriculture

## 1 Introdução

A floresta Amazônica é caracterizada pela sua alta diversidade biológica. Dentro dessa diversidade, destacam-se as plantas da família *Arecaceae* denominadas popularmente de “palmeiras”, no qual podem se extrair diversos produtos, tanto do fruto como em gêneros derivados da planta. O açaí é um fruto típico e popular da região amazônica, ele é comercializado e consumido pela população local nas regiões produtoras do Pará, Maranhão, Amapá, Acre e Rondônia (Menezes, Torres & Srur 2008). Com o crescimento do mercado, o açaí passou a ser consumido também nas grandes capitais brasileiras, assim como a exportação que passou a ser feita para Estados Unidos, Japão, China e alguns países da Europa (Silva 2002). Essa demanda nacional e internacional por suco de açaí tem levado a uma grande expansão do cultivo em áreas irrigadas (Lindolfo et al. 2020).

Os produtores da mesorregião do Nordeste Paraense, polo de produção de açaizeiros em terra firme, vêm desenvolvendo técnicas inovadoras de cultivo, visando aumentar a produtividade, tanto na safra como na entressafra (Homma et al. 2014). Atualmente para maior precisão na tomada de decisão na agricultura, é importante que os processos de manejo e os sistemas de produção sejam acompanhados de inovações tecnológicas, como a agricultura de precisão.

Os fundamentos da agricultura de precisão se baseiam na aplicação de tecnologias de maneira localizada de acordo com a variabilidade espacial (Grego, Oliveira & Vieira 2014). Diretamente relacionada à agricultura de precisão, está a geoestatística que possibilita compreender a variabilidade espacial, promover a interpretação dos resultados com base no fundamento da variabilidade natural dos atributos analisados e consegue representar os mais diversos tipos de variações (Souza, Marques & Pereira 2010).

Dentre os atributos que podem ser avaliados neste tipo de estudo está o solo e planta, que fornecem uma série de informações que podem ser utilizadas em conjunto, visando o aumento da produtividade, otimização no uso dos recursos, fertilizantes e redução no impacto ambiental (Dalchiavon et al. 2017).

O conhecimento da variação de atributos químicos e sua relação com a planta é importante para o manejo e planejamento de esquemas de amostragem e gerenciamento de práticas agrícolas (Li et al. 2012). As interações existentes no sistema solo são fundamentais para sua compreensão e decisivas para o desenvolvimento de culturas agrícolas. Desta forma, a avaliação da variabilidade espacial dos atributos tem se tornado importante ferramenta, na determinação de estratégias de manejo do solo que buscam aumentar a produtividade agrícola (Minasny & McBratney 2007).

O estudo do comportamento da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo com plantio, por meio da técnica de geoestatística, pode otimizar a aplicação localizada de corretivos e fertilizantes. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo e seus efeitos na área plantio de açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) na Fazenda Fonte Nova (nordeste do Pará) visando o controle do sistema de produção do açaizeiro.

## 2 Materiais e Métodos

### 2.1 Caracterização da Área de Estudo

A área de desenvolvimento desse trabalho foi no município de Acará que pertence à mesorregião do nordeste Paraense e a microrregião de Tomé-Açu, na Fazenda Fonte Nova, próximo à rodovia PA 256, km 45. O local possui cultivo de açaí (*Euterpe oleifera* Mart.) e é dividido em 4 talhões, totalizando de 16,4ha entre as coordenadas geográficas: 02° 27' 00" e 02° 27' 28,8" de latitude Sul, 48° 34' 26,4" e 48° 34' 40,8" de longitude Oeste.

A área de estudo foi destinada ao pasto em 1979, mas a partir de 2008 deu-se o início a preparação da terra para a implantação das mudas, com espaçamento 5 x 5 m. A primeira produção foi em 2012 com 5.665,98 kg/ha, e para os anos de 2013, 2014 e 2015 a produção foi de 8.909,55 kg/ha, 8.242,38 kg/ha e 10.033,78 kg/ha, respectivamente. No decorrer de cada ano, foram efetuadas três aplicações de adubação de produção e o processo de irrigação é do tipo microaspersão, com 120 litros de água/touceira/dia, ficando ligada por um período de 2 horas em cada talhão.

O solo presente na área é do tipo Latossolo amarelo, textura argilosa e média, clima Af, correspondente ao tropical úmido, com temperatura mensal superior a 18°C, precipitação acima de 60 mm, em relação às aferições mensais são equivalentes a 2.837 mm e amplitude térmica anual em torno de 5°C, segundo a classificação de Köppen, (IDESP 2014).

### 2.2 Amostragem e Análise Laboratorial do Solo

Para a coleta dos dados a área foi dividida em uma malha regular de 60 x 60 m determinando assim 38 pontos amostrados sistematicamente, sendo que em cada ponto foi implantada uma parcela medindo 30 x 30 m, totalizando 38 parcelas, ilustrada na Figura 1. No centro de cada parcela foi coletado amostragem dos atributos químicos do solo e a sua posição espacial, utilizando-se um receptor de Sistema de Posicionamento Global (GPS), configurado no sistema de coordenadas métricas UTM- SIRGAS 2000.

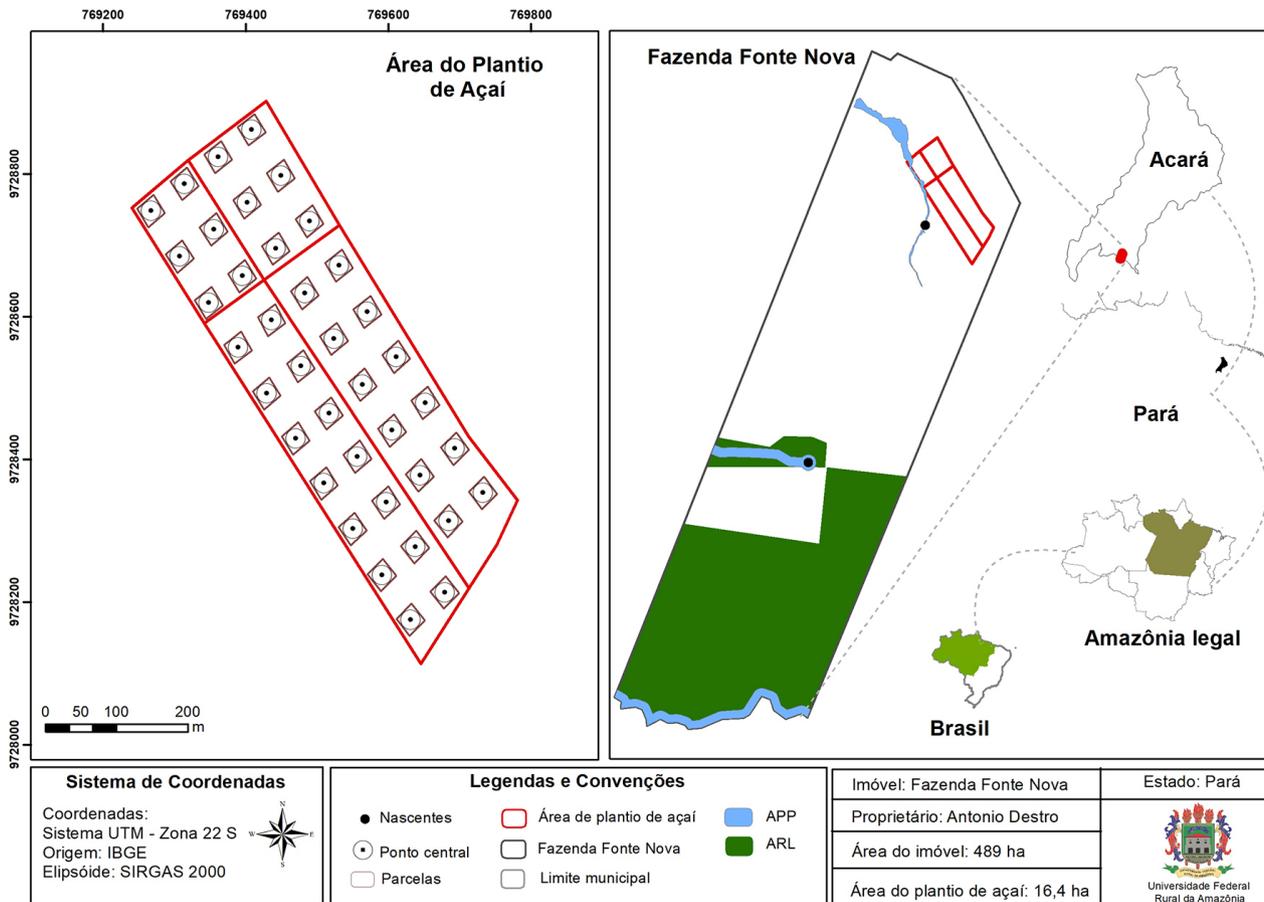


Figura 1 Mapa de localização da Fazenda Fonte Nova e da área de plantio com os pontos centrais de coleta para cada parcela.

As amostras do solo foram coletadas um mês após a adubação de produção, pois é o tempo necessário para obter um resultado mais confiável das condições químicas do solo (Borges & Accioly 2007; Brasil, Cravo & Veloso 2020). Para realização da coleta utilizou-se o trado do tipo sonda para obtenção cinco amostras simples de solo na camada de 0-20 cm de profundidade que posteriormente constituiram uma amostra composta para cada parcela. O processo de coleta foi conforme recomendação da EMBRAPA (2009) e enviada para análises no laboratório de solos da Universidade Federal Rural da Amazônia.

As análises químicas do solo foram realizadas no laboratório da Universidade Federal Rural da Amazônia e seguiram as normas do manual de métodos de análise de solos, (EMBRAPA 2009). Primeiramente as amostras foram submetidas ao processo, terra fina seca ao ar (TFSA) e posteriormente com o término do condicionamento, foi feito a extração das seguintes informações: pH em H<sub>2</sub>O (água), Potássio (K), Fósforo (P), Cálcio (Ca), Cálcio + Magnésio (Ca+Mg), Alumínio (Al), Acidez potencial

(H+Al), Carbono orgânico (C) e Matéria Orgânica (M.O). A partir desses resultados foram calculados a soma de bases (SB), Saturação de bases (V%), Saturação por alumínio (m%), Capacidade de troca de cátions efetiva (CTC<sub>efetiva</sub>) e Capacidade de troca de cátions efetiva em pH7 (CTC<sub>pH7</sub>). Conforme as equações abaixo.

$$SB = Ca + Mg + K \tag{1}$$

$$V\% = \frac{SB}{CTC_{pH7}} * 100 \tag{2}$$

$$m\% = Al * \frac{100}{(Al + SB)} \tag{3}$$

$$CTC_{efetiva} = (SB + Al) \tag{4}$$

$$CTC_{pH7} = SB + (H + Al) \tag{5}$$

### 2.3 Dados de Desenvolvimento do Plantio

Para a amostragem dos atributos da planta foram coletadas na área de estudo, informações de 10 plantas por parcela, situadas o mais próximo do ponto amostral da malha. Em cada planta foi obtida os seguintes dados: altura, circunferência (CIR), número de cachos no estipe principal (NCEP) e quantidade de frutos maduros em ponto de colheita no estipe principal (QFMEP), apresentada na Figura 2. As medidas foram feitas de forma manual, através do uso de fita métrica, uma vara métrica e anotações das observações visuais em campo. Essa metodologia é similar aos estudos de Gama (2012), Aguiar (2016) e Mendonça & Moreira (2020).

### 2.4 Análise Exploratória dos Dados

Os dados obtidos foram submetidos a uma análise exploratória pelo método da estatística descritiva, obtendo-se média, mediana, valores mínimos e máximos, desvio padrão, coeficiente de variação, curtose, assimetria e coeficiente de variação. A hipótese de normalidade foi realizada através do teste de Shapiro-Wilk a 5% de probabilidade. Para as variáveis que não apresentaram distribuição normal, procedeu-se a transformação logarítmica dos dados verificando se estes seguiam a distribuição log-normal. Para obtenção dos cálculos utilizou-se o software livre BioEstat, versão 5.0.



**Figura 2** Levantamento dos atributos das plantas e instrumentos utilizados: A. Medição da altura da planta (vara métrica); B. Medição da circunferência da planta (fita métrica); C. Contagem do número de cachos no estipe principal; D. Contagem de frutos maduros em ponto de colheita no estipe principal (QFMEP).

## 2.5 Análise Geoestatística

Os dados de atributos químicos do solo foram submetidos a análise geoestatística, no qual a dependência espacial foi analisada por meio de ajustes de semivariogramas, que realiza os cálculos das semivariâncias amostrais, expressa pela equação abaixo:

$$Y(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} \{ [z(xi) - z(xi+h)]^2 \} \quad (6)$$

Em que  $N(h)$  representa o número de pares de valores determinados,  $Z(xi)$  e  $Z(xi+h)$ , separados por uma distância estabelecida ( $h$ ). Os valores de  $Z$  podem ser qualquer um dos parâmetros analisados, enquanto os valores de  $xi$  e  $xi+h$  são determinados de acordo com as posições dos pontos amostrais no campo.

Após o cálculo do semivariograma, os valores de semivariância  $y(h)$  e da distância ( $h$ ) foram dispostos em gráficos de dispersão, tendo como valores de  $Y$  as semivariâncias, e de  $X$ , as distâncias. Ajustou-se o modelo que melhor representou a relação entre semivariância experimental e a distância  $h$ , e estabeleceu os parâmetros: efeito pepita ( $C_0$ ), patamar ( $C_0 + C$ ) e alcance ( $A$ ).

Para a análise do grau de dependência espacial das variáveis foi utilizada a classificação de (Cambardella et al. 1994), a fim de mensurar se a dependência espacial é fraca, forte ou moderada, para isso basta verificar a dependência espacial que existe entre o efeito pepita e o patamar através do índice de dependência espacial (IDE), se o  $IDE \leq 25\%$  é considerado forte dependência espacial, para o intervalo de  $25\% \leq IDE \leq 75\%$  significa que há moderada dependência e acima de  $75\%$  ocorre fraca dependência espacial.

## 2.6 Elaboração dos Mapas e Interpretação dos Dados

Os mapas de distribuição espacial dos atributos químicos do solo foram elaborados por interpolação dos dados (krigagem ordinária). Em seguida, os dados desenvolvimentos do plantio, referentes as 38 parcelas, foram convertidos do formato tabulado (Excel) para pontos geográficos vetoriais, com intuito para executar uma análise espacial. Por fim, após a obtenção das superfícies dos dados, foi aplicada uma matriz de correlação, para verificar a existência correlação entres as variáveis em estudo. Para realização dessas etapas de processamento de dados foi utilizado o software ArcGis, versão 10.1.

## 3 Resultados e Discussão

Os resultados dos dados de desenvolvimento da produção (Tabela 1) indicam que o teste de Shapiro-Wilk e a estatística descritiva confirmam a distribuição de normalidade dos dados, no qual observa-se pelo coeficiente de variação a baixa dispersão e pelos valores da média e mediana de que quase todas as variáveis são próximas entre si, caracterizando distribuição tendendo a simetria. Com exceção da altura da planta, no qual observou-se pelos valores de assimetria e curtose que tinham tendência a ser uma curva mais à esquerda e aberta que normal.

Para as variáveis químicas do solo, observou-se que os valores de média e mediana estão próximos, evidenciando a simetria, confirmado pelos valores de assimetria e curtose próximos de zero. Com exceção das variáveis: potássio (K) e Fósforo (P), que apresentam uma distribuição mais acentuada. A hipótese da normalidade pode-se confirmada pelo teste de Shapiro-Wilk (Tabela 1). Apenas algumas variáveis do solo se ajustaram à distribuição de normalidade, estes apontam que: pH em H<sub>2</sub>O, Acidez potencial (H+Al), Matéria Orgânica (M.O), Cálcio (Ca), CTC pH 7 e Saturação por alumínio (m%) apresentam distribuição normal. Entretanto, algumas variáveis não apresentaram distribuição normal, teve-se que proceder a transformação log-normal, os atributos químicos foram: Fósforo (P), Cálcio + Magnésio (Ca+Mg), Alumínio (Al), Soma de Bases (SB) e Saturação por Bases (V%). Apesar do procedimento de transformação, o elemento químico potássio (K) foi o único que não obteve normalidade. De maneira geral, as distribuições de frequência do tipo normal para os demais atributos químicos do solo ficaram, em concordância observada pelo autor (Matias et al. 2015).

Os coeficientes de variação dos elementos químicos do solo, indicam que somente o atributo químico pH em H<sub>2</sub>O apresentou baixa variação, caracterizando uma baixa variabilidade dos dados, conforme proposta feita por Gomes (1985), que classifica os valores como: baixos (menores que 10%), médios (entre 10 e 20%), representando pouca variabilidade para essas variáveis, entre 20 e 30% considerado alto, e acima de 30% muito alto, representando alta variabilidade. As demais variáveis químicas ficaram acima de 10%, indicando presença de médios ou altos valores discrepantes. Um alto coeficiente de variação (CV) é o primeiro indicador da heterogeneidade dos dados de uma variável, o que pode estar relacionado a efeitos de formação e manejo do solo (Silva et al. 2020).

Na Tabela 2, mostra-se a análise geoestatística dos atributos químicos do solo, no qual as variáveis: potássio (K), Alumínio (Al), Matéria Orgânica (M.O) e Saturação por alumínio (m%) não apresentaram dependência espacial. Para estes dados, tem-se uma distribuição completamente aleatória, não tendo sob o ponto de vista geoestatístico, uma função que descreva sua variação no espaço. Isso denota que o número de amostras utilizadas para o estudo desses parâmetros não foi suficiente para detectar dependência espacial e, nesses casos, uma maior densidade de amostras poderia ser considerada para uma reavaliação de sua dependência espacial (Silva et al. 2020).

As variáveis: P, Ca, Ca + Mg, H + Al, pH em H<sub>2</sub>O, CTC pH7, V% e SB apresentaram estrutura espacial, assim sendo, esses elementos foram ajustados aos modelos teóricos. Observou-se que Fósforo (P) se ajustou melhor ao modelo exponencial, enquanto o Ca+Mg e Soma de Bases (SB) mostram que estas variáveis têm uma melhor

adaptação ao modelo gaussiano, já as variáveis Cálcio (Ca), Acidez potencial (H+Al), pH em H<sub>2</sub>O, CTC pH7 e Saturação por Bases (V%) se ajustam melhor ao modelo teórico ajustado tipo esférico, atingindo assim uma correlação espacial adequada. Os resultados estão em concordância com Matias et al. (2015), confirmando assim, que os modelos esférico, gaussiano e exponencial têm sido os mais frequentes para estudos variabilidade espacial de atributos químicos do solo.

Com base na metodologia proposta por (Cambardella et al. 1994), variaram de moderado a forte dependência espacial (Tabela 2), o maior alcance constatado foi para o Ca + Mg com 339m, indicando maior continuidade espacial e já o menor alcance foi para o fósforo com 171 m. Os valores de alcance influenciam diretamente na estimativa. Os atributos que apresentam maior alcance de dependência espacial tendem a se apresentar mais homogêneos espacialmente (Santos et al. 2016).

**Tabela 1** Estatística descritiva das informações de desenvolvimentos da produção e atributos químicos do solo. Med.: mediana; Máx.: máximo; Mín.: mínimo; s: desvio-padrão;  $\bar{x}$ : Variância; CV(%): coeficiente de variação; Cs: assimetria; Ck: curtose; CIR: Circunferência; NCEP: Número de cachos no estipe principal; QFMEP: Quantidade de frutos maduros no estipe principal;\*: distribuição não normal pelo teste de Shapiro-Wilk's a 5%; N: distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk's a 5%.

Variáveis	Média	Med.	$\bar{x}$	DP	Ck	Cs	Mín.	Máx.	CV(%)	w
Solo										
K (cmolc dm <sup>-3</sup> )	0.09	0.04	0.01	0.11	13.67	3.38	0.02	0.60	126.44	*
P (mg dm <sup>-3</sup> )	45.64	27.56	4481.53	66.94	13.11	3.50	5.10	347.91	146.69	*
Ca (cmolc dm <sup>-3</sup> )	0.27	0.20	0.03	0.17	0.38	0.90	0.05	0.75	64.44	N
Al (cmolc dm <sup>-3</sup> )	0.27	0.18	0.06	0.25	1.44	1.43	0.00	1.02	92.44	*
Ca+Mg (cmolc dm <sup>-3</sup> )	0.44	0.35	0.08	0.27	2.07	1.38	0.10	1.35	61.79	*
MO (%)	1.58	1.49	0.12	0.35	0.76	0.76	0.97	2.61	22.06	N
C org (%)	0.91	0.87	0.04	0.20	0.76	0.76	0.56	1.52	22.06	N
pH H <sub>2</sub> O	5.25	5.26	0.14	0.38	-0.42	0.38	4.68	6.12	7.19	N
H + Al (cmolc dm <sup>-3</sup> )	5.31	5.13	1.22	1.10	0.17	0.14	2.49	7.63	20.81	N
SB	0.53	0.10	0.10	0.31	1.19	1.22	0.13	1.49	58.74	*
CTC Efetiva	1.07	0.94	0.12	0.35	3.11	1.46	0.59	2.34	32.88	*
CTCpH 7	5.87	5.75	1.06	1.03	0.78	0.18	3.21	8.46	17.55	N
V (%)	9.40	7.65	32.42	5.69	0.10	0.96	1.70	23.40	60.56	*
m (%)	50.56	20.63	425.66	20.63	-0.74	0.09	13.40	91.40	40.81	N
Desenvolvimento/Produção/Planta										
Altura	6.48	6.73	0.78	0.89	-0.58	-0.76	4.44	7.56	0.14	*
CIR	41.74	42.27	11.95	3.46	-0.72	-0.33	34.9	47.72	0.08	N
NCEP	3.19	3.1	0.41	0.64	0.46	0.27	1.8	4.9	0.2	N
QFMEP	0.63	0.6	0.07	0.26	-0.52	0.47	0.2	1.2	0.41	N

**Tabela 2** Parâmetros dos semivariogramas ajustados para os atributos químicos do solo em profundidade 0-20 cm. C0: Efeito pepita; C1: Contribuição do modelo; a (m): Alcance; C0 + C1: Patamar; E: Efeito pepita relativo; K: Razão entre efeito pepita e o patamar; GDE: Grau de dependência espacial; Exp: Exponencial; Esf: Esférico Gau: Gaussiano. EPP: Efeito pepita puro.

Variáveis	Co	C1	Co+C1	a(m)	Modelo	r <sup>2</sup>	E	K	IDE %	GDE
K (cmolc dm <sup>-3</sup> )	-	-	-	-	EPP	-	-	-	-	-
P (mg dm <sup>-3</sup> )	0.113	0.814	0.927	171	Exp.	0.98	0.13	0.12	12	Forte
Ca (cmolc dm <sup>-3</sup> )	0.004	0.031	0.034	334	Esf.	1.00	0.12	0.11	11	Forte
Al (cmolc dm <sup>-3</sup> )	-	-	-	-	EPP	-	-	-	-	-
Ca+Mg (cmolc dm <sup>-3</sup> )	0.157	0.233	0.390	339	Gau.	0.98	0.67	0.40	40	Moderado
MO%	-	-	-	-	EPP	-	-	-	-	-
pH H <sub>2</sub> O	0.012	0.093	0.105	227	Gau.	0.97	0.13	0.11	11	Forte
H +AL (cmolc dm <sup>-3</sup> )	0.016	0.134	0.150	244	Esf.	0.93	0.12	0.11	11	Forte
SB	0.155	0.202	0.357	308	Gau.	0.94	0.77	0.43	43	Moderado
CTCpH7	0.126	1.032	1.158	243	Esf.	0.96	0.12	0.11	11	Forte
V%	0.033	0.386	0.419	218	Esf.	0.99	0.09	0.08	8	Forte
m (%)	-	-	-	-	EPP	-	-	-	-	-

De todas as variáveis em estudo, o cálcio (Ca) representou melhor explicação para a variabilidade espacial, cujo melhor modelo ajustado foi o esférico, que predomina nos trabalhos em ciência do solo (Artur et al. 2014; Malvezi et al. 2019). Essa variável, apresentou um raio de 334 m (alcance), que é referente a uma área de 350.463 m<sup>2</sup>, no espaçamento de 5 x 5 m, com uma aleatoriedade de 11%, significando uma forte correlação com o espaço, ou seja, 89% da variabilidade é explicada pela correlação espacial.

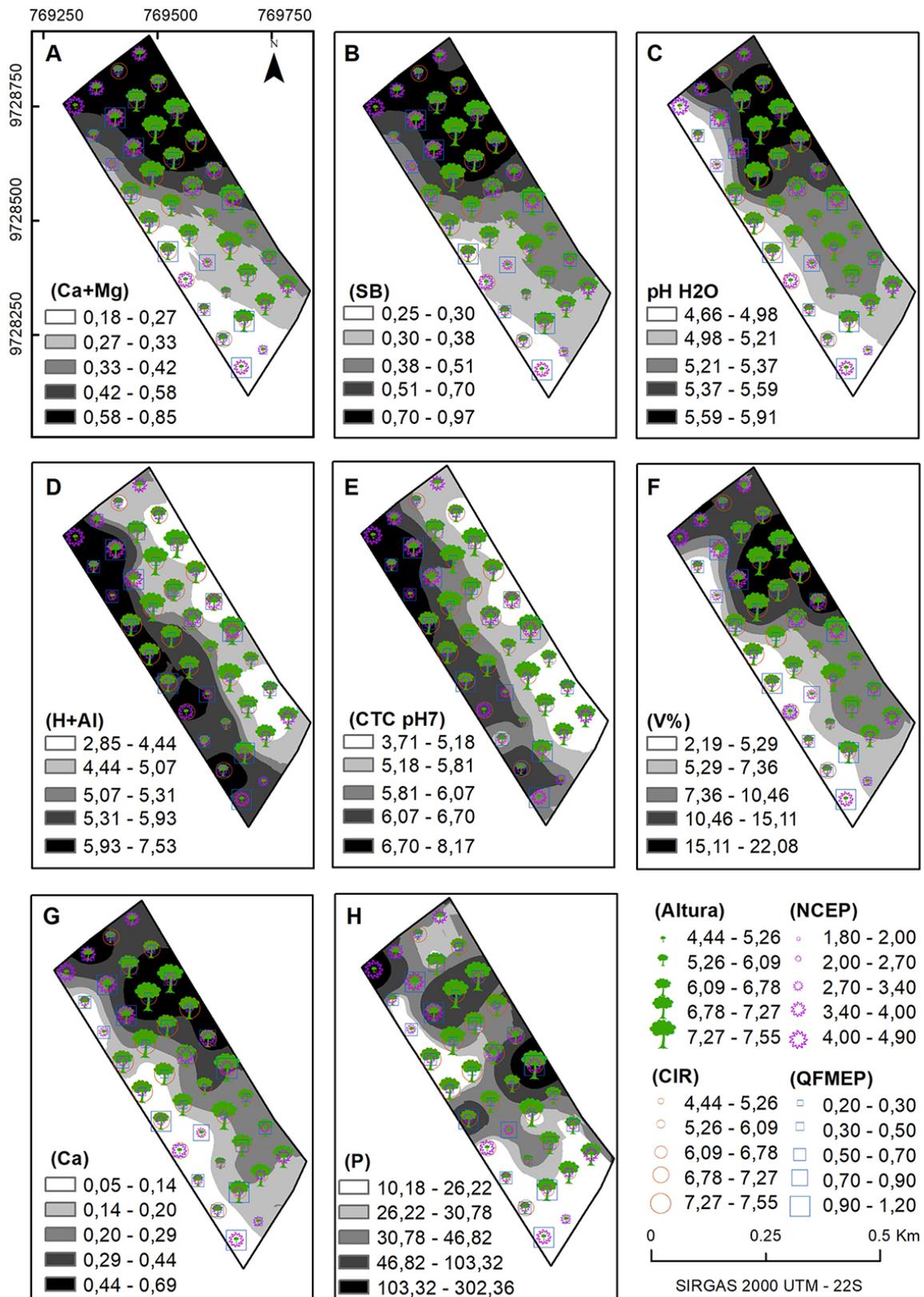
Observa-se nos mapas de krigagem (Figura 3) a distribuição dos atributos químicos do solo foi de grande variação na área, confirmando os resultados preliminares da análise descritiva (Tabela 1). Esses resultados são fundamentais, pois mostram as menores concentrações dos atributos: Cálcio + Magnésio, Fósforo (P), Cálcio (Ca) e Soma de Bases (SB) na borda inferior do plantio, mesmo após a adubação de produção, evidenciando assim a aplicação do nutriente em questão no decorrer da área de cultivo, a taxas variadas, visando à homogeneização da fertilidade do solo, minimizando as chamadas manchas de fertilidade do solo (Carneiro et al. 2017).

Essa relação do cultivo com os elementos químicos do solo pode-se observado na Figura 3, na qual mostra o crescimento e produtividade em diferentes escalas do plantio sob a distribuição dos nutrientes do solo presente na área em concentrações diferenciadas. Essa falta ou excesso dos atributos em determinadas regiões do plantio, pode interferir na produtividade total da área. Contudo, vale ressaltar que outros fatores, como: pragas, doenças,

competição por nutrientes, os atributos físicos do solo, a luminosidade, tipo de trato de manejo adotado, número de perfilhos e própria biologia da planta influenciam no desenvolvimento e na produtividade (Jardim & Anderson 1987; Gama 2012).

Essa associação das variáveis em estudo se faz necessária para entender as razões dessas variações, cujo é reflexo de vários das interações, tais como: formação do solo, manejo do solo e da cultura. A Tabela 3 apresenta a matriz de correlação entre os atributos químicos do solo e do plantio em que observou-se, que no geral, os atributos físicos da planta (Altura, Circunferência, NCEP e QFMPE), apresentaram moderada a fraca correlação com os elementos químicos do solo, o que pode ser justificado pelas manchas de baixa fertilidade do solo presente na área, apesar da adubação de produção. Além disso, o solo em questão caracterizou-se como ácido o que pode interferir na absorção de nutrientes.

Para o Cálcio (Ca), em específico, há correlação direta com a (SB) e o (V%), pelo fato do Ca fazer parte direta no cálculo da (SB) e no cálculo da (V%), uma vez que o Cálcio é o principal elemento em termos quantitativos. Observa-se, ainda, que a relação linear entre SB e V% é de 0,89, essa elevada correlação positiva entre os dois se deve ao valor de V % pois este é expresso pela relação entre SB e CTC. Outra observação feita foi o grau de associação entre o Cálcio (Ca) e o pH em H<sub>2</sub>O ser de (0,89), pelo fato do Ca ser um nutriente catiônico básico trocável, ou seja, a disponibilidade do elemento, depende de uma maior basicidade do solo.



**Figura 3** Mapa de krigagem dos atributos do solo com desenvolvimento do plantio. NCEP: Número de cachos no estipe principal; QFMPEP: Quantidade de frutos maduros no estipe principal; CIR: Circunferência.

**Tabela 3** Matriz de correlação entre os mapas dos atributos químicos do solo e do plantio. Alt.: Altura; Cir.: Circunferência; NCEP: Número de cachos no estipe principal; QFMPEP: Quantidade de frutos maduros no estipe principal.

Atributos	Físicos do plantio					Químico do solo						
	Alt.	Cir.	NCEP	QFMPEP	SB	Ca+Mg	Ca	P	H+Al	pH-H <sub>2</sub> O	CTC pH7	V%
Alt.	1	0.69	-0.52	-0.41	0.46	0.43	0.51	0.22	-0.62	0.64	-0.53	0.6
Cir.		1	-0.64	-0.28	0.38	0.33	0.34	-0.03	-0.43	0.53	-0.32	0.49
NCEP			1	0.39	0.36	0.4	0.31	0.12	0.17	0.04	0.3	0.19
QFMPEP				1	0	-0.04	-0.1	-0.04	0.5	-0.23	0.53	-0.11
SB					1	0.98	0.89	0.27	-0.26	0.86	0.05	0.9
Ca+Mg						1	0.91	0.3	-0.31	0.84	-0.02	0.88
Ca							1	0.37	-0.54	0.89	-0.27	0.93
P								1	-0.07	0.19	0.02	0.31
H+Al									1	-0.6	0.94	-0.56
pH-H <sub>2</sub> O										1	-0.34	0.93
CTCpH7											1	-0.28
V%												1

Diante disso, conhecer a distribuição espacial do elemento em estudo pode servir como importante ferramenta para saber a localização de áreas com maior e menor disponibilidade de nutrientes. A partir dessas análises da variabilidade espacial das variáveis químicas do solo de acordo com a quantidade presente no solo pode-se efetuar um melhor manejo a área do plantio de açaizeiro, como adubações, processo de calagem e aplicação de fertilizante em diferente dosagem.

## 4 Conclusões

Os modelos de semivariogramas mais indicados para os atributos químicos foram: o esférico, gaussiano e o exponencial.

Para as condições de estudo, o Cálcio (Ca) indicou grau de dependência espacial forte e o melhor coeficiente de determinação ( $R^2=1$ ), indicando assim que 89% da variabilidade é explicada pela correlação espacial.

Ao analisar os dados apurados através dos mapas, observou-se que a aplicação de adubos e corretivos, pode ser aplicada de forma localizada conforme e necessidade do solo, diminuindo assim, a perda de fertilizantes agrícolas.

## 5 Agradecimentos

Agradecemos aos proprietários da Fazenda Fonte Nova, aos técnicos do laboratório de análise química do solo da Universidade Rural da Amazônia – UFRA e a toda equipe da empresa EKOS, pelo apoio logístico, profissional e pessoal, o qual foi extremamente importante para a prática do trabalho.

## 6 Referências

- Aguiar, A.G.R. 2016, 'Manejo de população de açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) em parcelas de produção de frutos em área de várzea', Master Thesis Dissertação, Universidade Federal do Pará, Belém, visto em 08 agosto 2020, <<http://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/13391>>.
- Artur, A.G., Oliveira, D.P., Costa, M.C.G., Romero, R.E., Silva, M.V.C. & Ferreira, T.O. 2014, 'Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, associada ao microrrelevo', *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*, vol. 18, no. 2, pp. 141-9, DOI:10.1590/S1415-43662014000200003.
- Borges, A.L. & Accioly, A.M.A. 2007, *Amostragem de solo para recomendação de calagem e adubação*, Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, Cruz das Almas.
- Brasil, E.C., Cravo, M.D.S. & Veloso, A.C. 2020, 'Amostragem do solo', in E.C. Brasil, M.D.S. Cravo & I.J.M. Viegas (eds), *Recomendações de adubação e calagem para o Estado Pará*, Embrapa Amazônia Oriental, Belém, Pará, pp. 47-54.
- Camardella, C.A., Moorman, T.B., Novak, J.M., Parkin, T.B., Karlen, D.L., Turco, R.F. & Konopa, A.E. 1994, 'Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils', *Soil Science Society of America Journal*, vol. 58, no. 5, pp. 1501-11, DOI:10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x.
- Carneiro, J.S.S., Faria, Á.J.G., Fidelis, R.R., Silva Neto, S.P., Santos, A.C. & Silva, R.R. 2017, 'Diagnóstico da variabilidade espacial e manejo da fertilidade do solo no Cerrado', *Scientia Agraria*, vol. 17, no. 3, pp. 38-49, DOI:10.5380/rsa.v17i3.50096.
- Dalchiavon, F.C., Rodrigues, A.R., Lima, E.S., Lovera, L.H. & Monta, R. 2017, 'Variabilidade espacial de atributos químicos do solo cultivado com soja sob plantio direto', *Revista de Ciências Agroveterinárias*, vol. 16, no. 2, pp. 144-54, DOI:10.5965/223811711622017144.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária 2009, *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*,

- adapted by F.C. Silva, 2nd edn, Embrapa Informação Tecnológica, Brasília.
- Gama, A.S. 2012, 'Produtividade de açaí sob irrigação (Euterpe oleacea Mart.)', Master Thesis, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, visto em 29 setembro 2020, <<http://repositorio.ufra.edu.br/jspui/handle/123456789/757>>.
- Gomes, P.F. 1985, *Curso de estatística experimental*, Nobel, São Paulo.
- Grego, C.R., Oliveira, R.P. & Vieira, S.R. 2014, 'Geoestatística aplicada à agricultura de precisão', in A.C.C. Bernardi et al. (eds), *Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar*, Embrapa, Brasília, pp. 74-83, visto em 24 setembro 2020, <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1002010>>.
- Homma, A.K.O., Carvalho, J.E.U., Menezes, A.J.E.A. & Farias Neto, J.T. 2014, 'Custo operacional de açaizeiro irrigado com microaspersão no município de Tomé-Açu', in A.K.O. Homma (ed.), *Extratativismo vegetal na Amazônia: história, ecologia, economia e domesticação*, Embrapa, Brasília, pp. 157-65, visto em 09 novembro 2020, <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/124791/1/Cap9.pdf>>.
- IDESP - Instituto de Desenvolvimento Econômico, Social e Ambiental do Pará 2014, *Estatística Municipal Acará (Relatório)*, Pará.
- Jardim, M.A.G. & Anderson, A.B. 1987, 'Manejo de populações nativas de açaizeiro no estuário amazônico resultados preliminares', *Boletim de Pesquisa Florestal*, vol. 15, no. 1, pp. 1-18, visto em 06 novembro 2021, <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPF-2009-09/4995/1/jardim.pdf>>.
- Li, Y., Qin, J., Guo, Z., Wang, T. & Ao, Y. 2012, 'Spatial variability of soil quality and asparagus spear yield in an area of plastic-greenhouse cultivation on Chongming Island, China', *African Journal of Agricultural Research*, vol. 7, no. 15, pp. 2262-72, DOI:10.5897/AJAR10.052.
- Lindolfo, M.M., Matos, G.S.B., Pereira, W.V.S. & Fernandes, A.R. 2020, 'Productivity and nutrition of fertigated açaí palms according to boron fertilization', *Revista Brasileira de Fruticultura*, vol. 42, no. 2, e-601, DOI:10.1590/0100-29452020601.
- Malvezi, K.E.D., Zanão Júnior, L.A., Guimarães, E.C., Vieira, S.R. & Pereira, N. 2019, 'Soil chemical attributes variability under tillage and no-tillage in a long-term experiment in Southern Brazil', *Bioscience Journal*, vol. 35, no. 2, pp. 467-77, DOI:10.14393/BJ-v35n2a20198-41793.
- Matias, S.S.R., Nóbrega, J.C.A., Nóbrega, R.S.A., Andrade, F.R. & Baptistel, A.C. 2015, 'Variabilidade espacial de atributos químicos em Latossolo cultivado de modo convencional com soja no cerrado piauiense', *Revista Agro@ambiente*, vol. 9, no. 1, pp. 17-26, DOI:10.18227/1982-8470ragro.v9i1.2036.
- Mendonça, M.S. & Moreira, D.A. 2020, 'Desenvolvimento dos açaizeiros (euterpe oleracea mart.) Nativos submetidos ao manejo, Altamira – PA', in R.J. Oliveira (ed.), *Extensão rural em foco: apoio à agricultura familiar, empreendedorismo e inovação*, Editora Científica Digital, Guarujá, pp. 200-11, DOI:10.37885/978-65-87196-20-6.
- Menezes, E.M.S., Torres, A.T. & Srur, A.U.S. 2008, 'Valor nutricional da polpa de açaí (Euterpe oleracea Mart.) liofilizada', *Acta Amazônica*, vol. 38, no. 2, p. 311-6, DOI:10.1590/S0044-59672008000200014.
- Minasny, B. & Mcbratney, A.B. 2007, 'Spatial prediction of soil properties using EBLUP with the Matern covariance function', *Geoderma*, vol. 140, no. 4, pp. 324-36, DOI:10.1016/j.geoderma.2007.04.028.
- Santos, G.L., Pereira, M.G., Lima, S.S., Ceddia, M.B., Mendonça, V.M.M. & Delgado, R.C. 2016, 'Curvatura da superfície e seu efeito na variabilidade espacial dos atributos do solo, pinheiral - RJ / BR', *CERNE*, vol. 22, no. 4, pp. 431-8, DOI: 10.1590/01047760201622042184.
- Silva, E.R.O., Barros, M.M., Pereira, M.G., Gomes, J.H.G. & Soares, S.C. 2020, 'Effects of spatial variability of soil chemical parameters on tifton 85 grass yield<sup>1</sup>', *Revista Caatinga*, vol. 33, no. 1, pp. 236-45, DOI:10.1590/1983-21252020v33n125rc.
- Silva, P.R. 2002, 'Novidades na Fruticultura Paraense', *Fruticultura em Revista*, pp. 27-31.
- Souza, Z.M., Marques Júnior, J. & Pereira, G.T. 2010, 'Geoestatística e atributos do solo em áreas cultivadas com cana de açúcar', *Ciência Rural*, vol. 40, no. 1, pp. 48-56, DOI:10.1590/S0103-84782009005000243.

### Contribuições dos Autores

**Lucélia Souza de Barros:** conceituação; análise formal; metodologia; redação – rascunho original; redação – revisão e edição. **Evelyn Regina Rocha Silva:** conceituação; análise formal; metodologia; redação – rascunho original; redação – revisão e edição. **Maria de Nazaré Martins Maciel:** conceituação; análise formal; metodologia; redação – rascunho original; supervisão. **Vânia Silva de Melo:** conceituação; análise formal; metodologia; redação – rascunho original; supervisão. **Rejane Ennes Cicerelli:** conceituação; análise formal; metodologia; validação; redação – revisão e edição; supervisão; visualização. **Tati Almeida:** conceituação; análise formal; metodologia; validação; redação – revisão e edição; supervisão; visualização.

### Conflito de interesse

Os autores não possuem potenciais conflitos de interesse.

### Como citar:

Barros, L.S., Silva, E.R.R., Maciel, M.N.M., Melo, V.S., Cicerelli, R.E. & Almeida, T. 2022, 'Dispersão Espacial de Atributos Químicos do Solo de um Açaizeiro na Região Amazônica', *Anuário do Instituto de Geociências*, 45:40848. [https://doi.org/10.11137/1982-3908\\_45\\_40848](https://doi.org/10.11137/1982-3908_45_40848)

### Declaração de disponibilidade de dados

Todos os dados incluídos neste estudo estão disponibilizados publicamente na literatura.

### Financiamento

Não aplicado.

### Editora chefe

Dra. Claudine Dereczynski

### Editor Associado

Dr. Gustavo Mota de Sousa.