

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE AGRONOMIA**

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DO  
SOLO E SUA INTERFERÊNCIA NA DEFINIÇÃO DE ZONAS DE  
MANEJO**

**UBERLÂNDIA - MG**

**2024**

**JOÃO PEDRO CARRIJO OLIVEIRA**

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DO  
SOLO E SUA INTERFERÊNCIA NA DEFINIÇÃO DE ZONAS DE  
MANEJO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado  
ao curso de Agronomia, da Universidade  
Federal de Uberlândia, para obtenção do grau  
de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Sandro Manuel  
Carmelino Hurtado

Uberlândia – MG

2024

**JOÃO PEDRO CARRIJO OLIVEIRA**

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DO  
SOLO E SUA INTERFERÊNCIA NA DEFINIÇÃO DE ZONAS DE  
MANEJO**

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado ao curso de Agronomia, da  
Universidade Federal de Uberlândia, para  
obtenção do grau de Engenheiro  
Agrônomo.

Aprovado pela Banca Examinadora em 20 de setembro de 2024.

---

Prof. Dr. Sandro Manuel Carmelino Hurtado (ICIAG-UFU)

---

Prof. Dra. Araújo Hulmann Batista (ICIAG-UFU)

---

Eng.º. Agrônomo Igor Araujo Menezes Avila (ICIAG-UFU)

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pelas bênçãos e oportunidades recebidas em toda minha caminhada.

Aos meus pais pelo suporte, tanto financeiro como emocional, em todas as etapas de minha vida.

Aos professores do Curso de Graduação pela orientação durante toda minha formação.

Enfim, a todos que fizeram parte dessa formação, tornando essa vitória possível.

**Obrigado!**

## RESUMO

A agricultura brasileira e mundial tem apresentado um grande aumento na produtividade nos últimos anos. Nesse contexto o uso da agricultura de precisão trouxe vários avanços tecnológicos que permitiram produzir cada vez mais e investir de forma mais eficiente. A variabilidade da fertilidade do solo tem recebido atenção especial por parte de produtores e pesquisadores, pelos efeitos diretos que impõe sobre a produtividade. Entre as maneiras de avaliar essa variabilidade e os atributos do solo tem sido dada especial importância a leitura da condutividade elétrica do solo (CE). Portanto, este trabalho teve como objetivo avaliar a variabilidade espacial da condutividade elétrica do solo e sua influência na definição de zonas de manejo. O trabalho foi conduzido na Fazenda Experimental Capim Branco, no município de Uberlândia, em área de 25 hectares cultivada com grãos sob sequeiro. Uma malha de 50 pontos georreferenciados foi gerada para amostragem de atributos do solo e localizados a campo por meio de aparelho GNSS de navegação. Foram levantados dados de altitude, textura, matéria orgânica, capacidade de troca de cátions (CTC) e condutividade elétrica (CE), todas na profundidade 0 - 0,2 m. Os resultados foram tratados através de estatística descritiva, correlação de Pearson e geoestatística, esta última a partir do plug-in Smart Map, no ambiente Qgis. Com os resultados foi possível perceber que a condutividade elétrica passou por alterações no período de cinco anos e se relacionou com a CTC, indicando uma boa correlação entre esses atributos. Além disso, no período de 2017 a 2022 houve alteração das zonas de manejo no local de estudo, passando de três em 2017, para duas zonas em 2022. A mudança guarda correspondência com a atividade de subsolagem e com a variação dos atributos do solo originada a partir desta. Foi possível concluir que há variação na definição das zonas de manejo quando direcionadas por alterações na estrutura do solo. Além disso, a condutividade elétrica interfere diretamente na definição de zonas de manejo e possivelmente serve como indicador de mudanças na química do solo.

**Palavras-chave:** Agricultura de precisão; zonas de gestão diferenciada; Qgis.

## ABSTRACT

Brazilian and global agriculture has shown a significant increase in productivity in recent years. The use of precision agriculture has brought several technological advances that have allowed for increasingly higher production and more efficient investment. Soil fertility variability has received special attention from producers and researchers due to the direct effects it has on productivity. Among soil attributes, special importance has been given to reading soil electrical conductivity (EC). This study aimed to evaluate the spatial variability of soil electrical conductivity and its influence on the definition of management zones. The study was conducted at the Capim Branco Experimental Farm, in the city of Uberlândia, in a 25 hectares area cultivated with grains under dry land. A grid of 50 georeferenced points was generated for sampling soil attributes. The samples were located in the field using a GNSS navigation device. Data on altitude, texture, organic matter, cation exchange capacity (CEC) and electrical conductivity (EC) were collected, all at a depth of 0 - 0.2 m. The results were analyzed using descriptive statistics, Pearson correlation, and geostatistics, the latter using the Smart Map plug-in in the QGIS environment. The results showed that electrical conductivity changed over a five-year period and was related to CTC, indicating a good relationship between these attributes. In addition, from 2017 to 2022 there was a change in the management zones at the study site, from three in 2017 to two in 2022. This change is related to the subsoiling activity and the variation in soil attributes resulting from this. It was concluded that there is variation in the definition of management zones when driven by changes in soil structure. In addition, electrical conductivity directly interferes with the definition of management zones and serves as an indicator of changes in soil chemistry.

**Keywords:** Precision agriculture; differentiated management zones; Qgis.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>8</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>9</b>
2.1 Coleta do solo .....	9
2.2 Matéria Orgânica .....	10
2.3 Argila .....	11
2.4 Condutividade elétrica .....	11
2.5 Capacidade de Troca Catiônica .....	11
2.6 Definição de zonas de manejo .....	11
2.7 Análises estatísticas .....	12
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>4. CONCLUSÃO.....</b>	<b>17</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>18</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Os avanços tecnológicos permitem aumento da produção, sem necessariamente abrir novas áreas, o que é fundamental para preservação do meio ambiente. Nesse cenário, o Brasil tem importante papel, com incremento produtivo de grãos a uma taxa de 4,6% anual e de 1,7% na área plantada nos últimos 30 anos (MARTHA JÚNIOR *et al.*, 2010).

Para tornar possível esse aumento na produtividade, surgiram tecnologias como a melhoria da fertilidade do solo e a agricultura de precisão (AP). A AP é um conjunto de técnicas que visa caracterizar a variabilidade espacial de certo local, incluindo a parte química, física e biológica do solo (GEBBERS; ADAMCHUK, 2010). Algumas ferramentas que auxiliam nessa caracterização, são o uso de sensores para medidas indireta de atributos do solo e tecidos (ADAMCHUK *et al.*, 2004), como o sensor de condutividade elétrica do solo (CE). O sensor mensura a capacidade de condução de corrente elétrica dos materiais (MOLIN & RABELLO, 2011) de forma rápida e com baixo custo (BRANDÃO & LIMA, 2002; SUDDUTH *et al.*, 2005), o que é importante para uma análise mais prática da área, e correlaciona diretamente com os teores de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^{+}$ .

Esses sensores de CE sofrem influência de uma série de aspectos. Entre os fatores químicos e físicos do solo que interferem na CE (RABELLO *et al.*, 2014), estão a salinidade do solo, porcentagem de saturação, teor de argila, capacidade de troca de cátions, matéria orgânica e temperatura do solo. A CE do solo permite integrar esses fatores que a condicionam, por exemplo textura e umidade do solo, parâmetros que influenciam a produtividade agrícola (MACHADO *et al.*, 2006; RABELLO *et al.*, 2014), sendo que provavelmente onde houver maior teor de argila terá maior umidade e produtividade.

A produtividade das culturas pode ser beneficiada a partir da definição de zonas de manejo (ZM), visando adequar o manejo às especificidades ambientais de cada subárea (SANCHEZ *et al.* 2009). Por definição, as ZM apresentam semelhanças entre fatores que limitam a produtividade das culturas (VALENTE, 2012) e na definição das ZM o atributo CE tem sido utilizado (PERALTA; COSTA, 2013). Flores *et al.* (2018), ao correlacionar a CE com a produtividade do algodão observaram maior produtividade em locais com maior CE. Além disso, os adubos apresentam sais, sendo necessário monitorar a CE do solo para o manejo das adubações em fertirrigações de cultivos intensivos (OLIVEIRA *et al.*, 2015; NUNES JÚNIOR *et al.*, 2017). No Brasil, a utilização da condutividade elétrica para análise do solo ainda não é intensa, porém apresenta potencial para auxiliar no manejo localizado. Portanto, o trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento

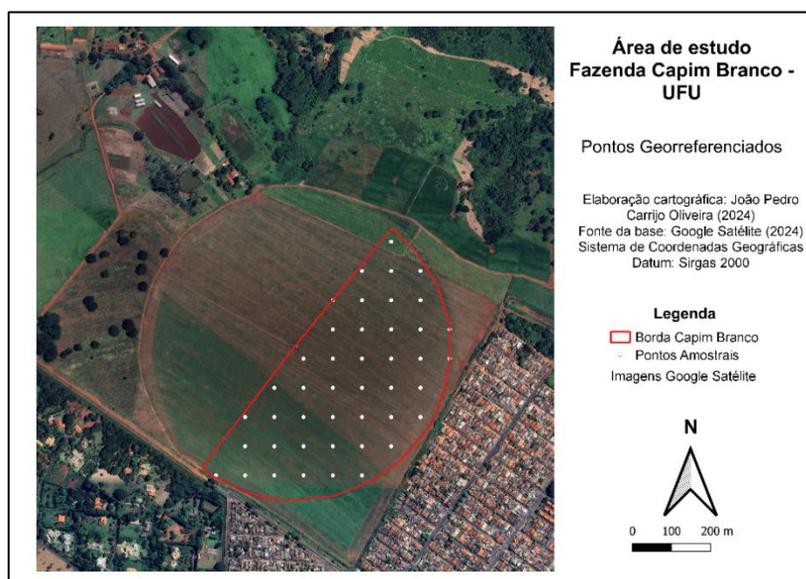
espacial da condutividade elétrica do solo e a sua influência na definição de zonas de manejo.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido na Fazenda Experimental Capim Branco, da Universidade Federal de Uberlândia, em Uberlândia – MG ( $18^{\circ}53'11''$  S e  $48^{\circ}20'19''$  W), o local é caracterizado com altitude de 825m. O clima da região é tropical com estação seca no inverno (Aw), de acordo com a classificação de Köppen-Geiger (Köppen, W; & Geiger, R. 1928. *Klimate der Erde*). O tipo de solo na área é Latossolo Vermelho e é cultivada em sequeiro sobre plantio direto com a sucessão soja-milho/sorgo.

### 2.1 Coleta do solo

Visando a coleta de informações especializadas, no talhão de 25 ha foi delimitada uma grade regular sistematicamente aleatorizada com 50 pontos com uso do software Qgis (Figura 1). A campo, os pontos foram identificados com auxílio do GNSS de navegação Garmin E-trex Vista, munido com barômetro, a partir do qual foi possível extrair os dados de altitude para os pontos.



**Figura 1:** Área de estudo e grade de pontos amostrais.

A coleta de solo para avaliação espacial do atributos físico-químicos consistiu na retirada de 10 subamostras simples para compor cada um dos 50 pontos da grade amostral, a uma

profundidade de 0-0,2 m. Após coleta do solo, as amostras foram secas ao ar e passadas em peneiras de 2 mm e direcionadas para análise e determinação dos teores de argila, matéria orgânica (MOS), capacidade de troca catiônica (CTC) e condutividade elétrica (CE), nos anos de 2017 e 2022.



**Figura 2.** Coleta de amostras de solo para os anos de 2017 (A) e 2022 (B).

## 2.2 Matéria Orgânica

Primeiro se adiciona 10 mL da solução de  $K_2Cr_2O_7$   $0,0667 \text{ mol L}^{-1}$  em Erlenmeyer de 250 mL. Em seguida, colocar na boca do Erlenmeyer o dedo frio (funciona como condensador). Aquecer em chapa aquecedora (no máximo  $150^\circ\text{C}$ ) até a fervura branda ou durante 5 minutos, visualizando a cor amarelo-castanha. Deixar esfriar e juntar 80 mL de água destilada medida com proveta. Adicionar 2,0 mL de ácido ortofosfórico e três gotas do indicador. Titular com solução de sulfato ferroso amoniacal  $0,05 \text{ mol L}^{-1}$  e anotar o volume gasto.

Em seguida realiza a oxidação da matéria orgânica. Para isso, utiliza aproximadamente 20 g de terra fina seca em estufa (TFSE), triturada em gral e passada em peneira de 80 mesh. Em seguida, pesar 0,5 g da terra peneirada e colocar em Erlenmeyer de 250 mL. Adicionar 10,00 mL de solução de  $K_2Cr_2O_7$   $0,0667 \text{ mol L}^{-1}$ . Colocar na boca do Erlenmeyer o dedo frio (funciona como condensador). Aquecer em chapa aquecedora (no máximo  $150^\circ\text{C}$ ) até a fervura branda e/ou durante 5 minutos, visualizando a cor amarelo-castanha. Deixar esfriar e juntar 80 mL de água destilada medida com proveta. Adicionar 2 mL de ácido ortofosfórico e três gotas do indicador. Titular com solução de sulfato ferroso amoniacal  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$  e anotar o volume gasto.

$$\text{Corg} = \frac{0,003 \cdot Vd \cdot (40 - Va) \cdot \frac{40}{Vb} \cdot 10}{m}$$

Onde: Corg – concentração de carbono orgânico no solo, em g kg<sup>-1</sup> .

Vd – volume total da solução de dicromato de potássio adicionado na digestão da amostra, em mL.

Va – volume da solução de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da amostra, em mL.

Vb – volume da solução de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação do branco aquecido, em mL.

m – massa da amostra de solo, em g.

### **2.3 Argila**

Foram pesadas 20g de amostra de solo (TFSA) em béquer de 50 mL e transferidas as amostras para o agitador onde foram adicionados 300 mL de água deionizada. No agitador tipo Wagner as amostras foram agitadas por 16 horas a 50 rpm. Após sedimentação do material foram pipetados 25 mL da suspensão de argila. O material foi transferido em béquers de 50 mL, levado a estufa a 105°C, por 24 horas e pesado em balança analítica.

### **2.4 Condutividade elétrica**

Na determinação da CE utilizou-se a relação solo/água de 1:2,5 sendo 10 cm<sup>3</sup> de solo e 25 ml de água deionizada (CARMO; SILVA, 2016). A mistura solo-água foi agitada por 30 min, mantida em repouso por 30 minutos e agitada novamente por 30 segundos manualmente. Em seguida, procedeu-se à leitura da CE em condutivímetro.

### **2.5 Capacidade de Troca Catiônica**

O valor da CTC total (T) é o total de cargas negativas que o solo pode adsorver, e é calculado a partir do valor da soma de bases (cálcio, magnésio, potássio e sódio, em cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>) e a acidez potencial (H + Al) (Teixeira et al., 2017).

### **2.6 Definição de zonas de manejo**

O mapa de zonas de manejo (ZM) foi realizado utilizando os dados de altitude, argila, matéria orgânica, CTC e condutividade elétrica do solo, com uso do plugin Smart Map (SMP), no ambiente Qgis. A geração das ZM foi seguindo a sequência: seleção dos atributos para análise, interpolação de dados, definição do número ideal de classes e geração do mapa de zonas (LEPESQUEUR, 2022).

## 2.7 Análises estatísticas

Foram realizadas análises estatísticas descritivas para obtenção de valores mínimo, máximo, amplitude, média e coeficiente de variação (%) e a análise de correlação linear de Pearson, todas elas com auxílio de programa Excel® (EXCEL, 2010). Como passo posterior foi realizada a verificação do comportamento espacial dos dados, por meio da análise de semivariogramas e interpolação por krigagem (VIEIRA, 2000), e gerados mapas com uso do programa Surfer (2011). Posteriormente, foram geradas as zonas de manejo com uso do plugin Smart Map (SMP), no ambiente Qgis (QGIS Development Team, 2010). Para isso foram interpolados os mapas de altitude, argila, matéria orgânica, CTC e condutividade elétrica.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da análise descritiva dos dados é possível observar redução de 43%, 51% e 58% para os teores médios de MOS, CTC e CE, respectivamente, quando avaliada a amostragem realizada em 2022 em relação à realizada em 2017 (Tabela 1).

Os valores de coeficiente de variação (CV) foram superiores na segunda amostragem (2022) quando comparada à primeira amostragem (2017). O aumento nos valores de CV (%) para esses atributos foi devido, possivelmente, à subsolagem realizada em metade da área em 2019, visando resolver o problema de compactação presente na área de estudo (REIS, 2019; CRUZ, 2021). Esse processo fez um revolvimento do solo, deixando a matéria orgânica mais exposta e levando a sua maior decomposição. Com isso os teores de matéria orgânica reduziram, fazendo com que a CTC e condutividade elétrica também tenham diminuído.

**Tabela 1.** Análises estatísticas descritivas para os dados altitude, argila, matéria orgânica do solo, capacidade de troca de cátions e condutividade elétrica do solo.

Atributos	Mínimo	Máximo	Amplitude	Média	CV (%)
Altitude (m)	804,8	840,3	35,5	824,2	1,2
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	209,0	413,0	204,0	312,4	15,1
MOS_2017 (g dm <sup>-3</sup> )	1,7	2,8	1,1	2,3	10,5
MOS_2022 (g dm <sup>-3</sup> )	0,8	1,8	0,94	1,3	16,3
CTC_2017 (cmolc.dm <sup>-3</sup> )	5,8	10,4	4,6	8,5	11,8

CTC_2022 (cmolc.dm <sup>-3</sup> )	1,9	6,3	4,3	4,1	23,4
CE_2017 (mS.m <sup>-1</sup> )	138,5	293,5	155,0	199,5	14,1
CE_2022 (mS.m <sup>-1</sup> )	53,9	131,9	78,1	82,9	22,9

MOS: matéria orgânica do solo; CE: condutividade elétrica; CTC: capacidade de troca de cátions.

A mudança provocada por efeito da subsolagem pode ser evidenciada também a partir dos valores de correlação encontrados entre os atributos. Quando observada a correlação de um mesmo atributo para ambas épocas de avaliação, os dados permitem evidenciar menor variação para a MOS ( $r=0,87$ ), moderada para a CTC ( $r=0,54$ ) e maior para a CE ( $r= -0,47$ ). Este último atributo, com presença de correlação negativa (Tabela 2).

**Tabela 2.** Tabela de correlações para os atributos de solo avaliados nos anos de 2017 e 2022.

	Altitude	Argila	CE_2017	MOS_2017	CTC_2017	CE_2022	MOS_2022
Argila	0,14						
CE_2017	-0,35	-0,06					
MOS_2017	-0,61	-0,32	0,71				
CTC_2017	-0,64	-0,25	0,76	0,94			
CE_2022	0,19	0,70	-0,47	-0,58	-0,58		
MOS_2022	-0,59	-0,55	0,52	0,87	0,81	-0,62	
CTC_2022	-0,83	0,25	0,35	0,49	0,54	0,05	0,38

CE: Condutividade elétrica do solo; MOS: matéria orgânica do solo; CTC: capacidade de troca catiónica.

Em 2017 a CE apresentou correlação muito baixa com a argila (-0,06). Isso provavelmente aconteceu porque nesse ano parte da área que possui significativa presença de argila estava compactada, com isso não houve uma boa infiltração de água no solo, fazendo com que tivessem menor presença de sais na solução e baixa condutividade elétrica. Com a subsolagem em 2019 esse local foi descompactado. Assim, em 2022 houve uma maior infiltração de água no local, permitindo mais sais na solução do solo e uma maior condutividade elétrica. Com isso a correlação da CE e argila foi elevada (0,70).

A CTC se correlacionou fortemente com a MOS ( $r=0,94$ ), como evidenciado por Ciotta *et al.* (2003), assim como com a condutividade elétrica ( $r=0,76$ ). Isso aconteceu porque a matéria orgânica mantém uma maior agregação do solo, além de fornecer alguns nutrientes através da sua mineralização. Assim, ela aumenta a CTC e a CE na área.

A correlação entre a CE do solo e os atributos MOS e CTC é descrita na literatura (RABELLO *et al.*, 2014). Quando avaliada a correlação entre estes atributos para o ano de 2017

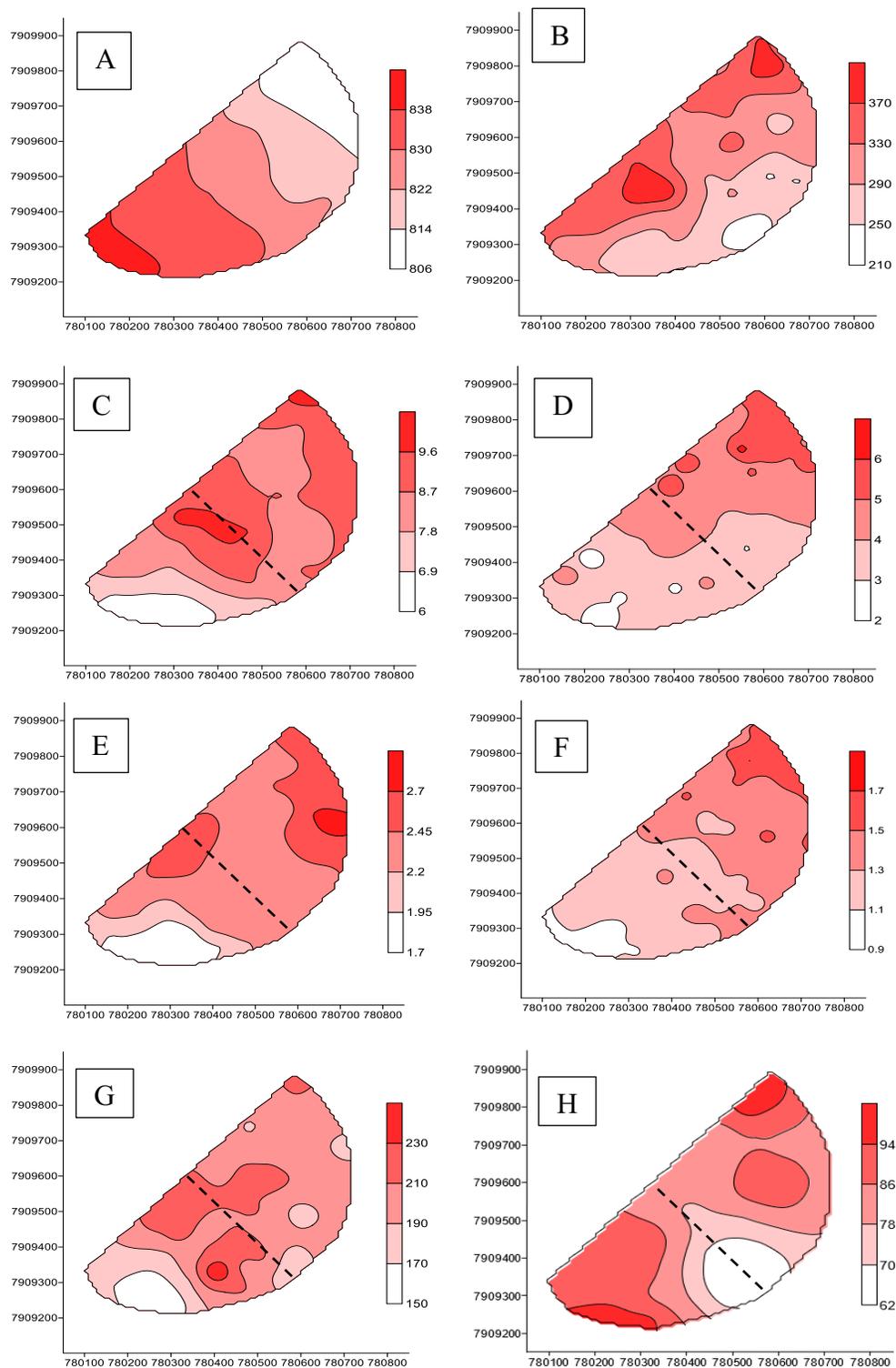
(prévio a intervenção com subsolagem na metade da área), é possível evidenciar correlações de  $r=0,71$  e  $r= 0,76$  entre a CE e os atributos MOS e CTC, respectivamente. Para o ano de 2022 (3 anos após a subsolagem da área), as correlações da CE com a MOS e CTC foram de  $r= -0,62$  e  $r= 0,05$ , respectivamente. Isso aconteceu devido o processo de subsolagem que acabou revolvendo o solo e gerando maior decomposição da matéria orgânica. Assim, os valores de MOS e consequentemente CTC foram reduzidos naqueles pontos, fazendo com que a correlação fosse menor. As correlações encontradas entre os atributos de solo podem ser verificadas a partir da análise espacial dos mapas interpolados por krigagem (Figura 3).

Na figura (Figura 1A) pode-se apreciar que as maiores cotas de altitude estão localizadas na parte inferior e parecem guardar relação com os menores teores dos atributos CTC, MOS e CE, na análise realizada em 2017. Já a variabilidade espacial dos teores de argila (Figura 1B) parece não guardar relação com a observada para os demais atributos de solo (Figura 1).

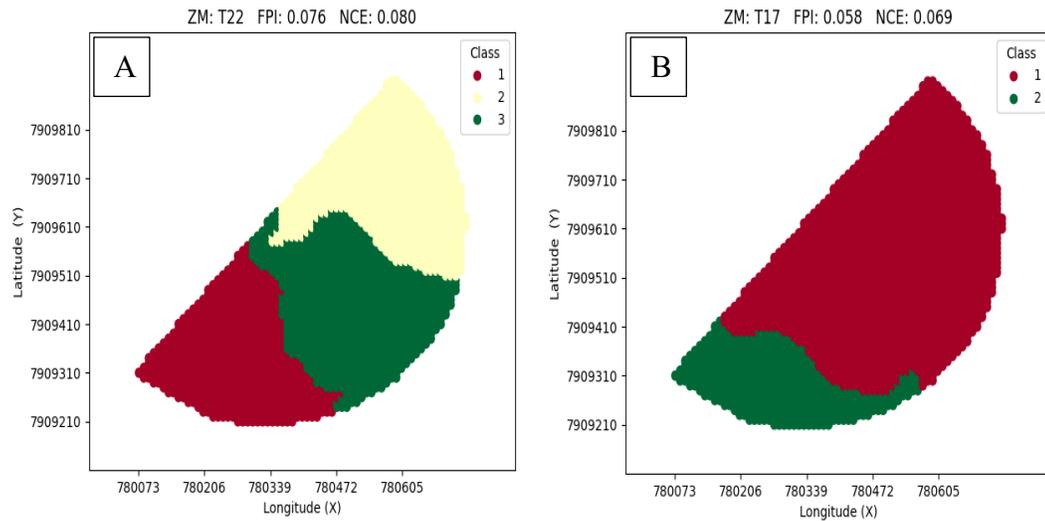
Apesar da queda nos valores dos atributos no tempo (Tabela 1), percebe-se que as variações espaciais e temporais na região com os menores teores em 2017, ficou dissipada em 2022, mostrando uma relação inversa para a CE. Isto evidencia o resultado da subsolagem, que em parte ameniza os efeitos negativos da sua presença, e por outro lado, desestrutura temporariamente o solo, causando queda nos teores da CTC, MOS, e por consequência na CE. A compactação afeta a densidade aparente do solo ( $D_s$ ), e com isto é reduzida a capacidade do solo em infiltrar água, a disponibilidade de sais e a produtividade das culturas (LUND *et al.* 2000).

A partir dos mapas da altitude, argila CTC, MOS e CE foram gerados mapas de zonas de manejo (ZM) (Figura 4). Esses atributos foram escolhidos por denotar uma reduzida variação temporal e uma alta correlação com a produtividade. Quando observado o mapa de ZM gerado em 2017 (Figura 4A), é possível reconhecer a divisão da área em 3 subáreas. Já ao avaliar a geração das ZM para o ano de 2022 (Figura 4B), é possível visualizar somente 2 subáreas.

As zonas de manejo são definidas através de diferentes camadas de informações com base em características do local. Ao juntar esses atributos o mapa mostra diferentes subáreas, sendo que dentro de cada uma as características são semelhantes e permitem fazer um mesmo manejo. Já entre subáreas diferentes o manejo deve ser distinto, visto que as características não são as mesmas.

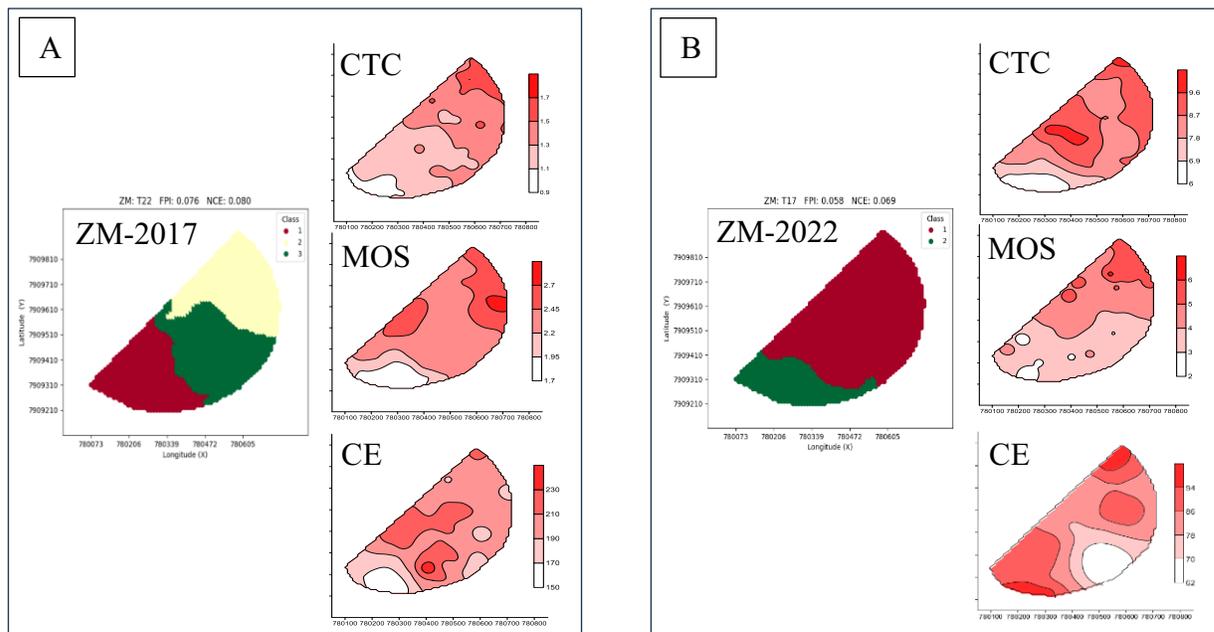


**Figura 3.** Mapas interpolados por krigagem para altitude (A); argila (B); CTC, 2017 (C); CTC, 2022 (D); matéria orgânica, 2017 (E); matéria orgânica, 2022 (F); CE, 2017 (G) e CE, 2022 (H). Linha tracejada indica o limite superior da operação de subsolagem realizada em 2019.



**Figura 4.** Mapas de zonas de manejo para os anos de 2017 (A) e 2022 (B)

Sendo que os atributos utilizados para a definição das ZM apresentam reduzida variabilidade temporal, a mudança encontrada após 5 anos de avaliação pode ser fortemente explicada pela desestruturação do solo com motivo da subsolagem. O fato pode ser observado a partir dos mapas resumo apresentados (Figura 5).



**Figura 5.** Mapas resumo dos atributos capacidade de troca catiônica (CTC), matéria orgânica do solo (MOS), condutividade elétrica do solo (CE) e da definição de zonas de manejo (ZM) para os anos de 2017 (A) e 2022 (B).

A partir da figura, destaca o atributo CE pela inversão dos teores para o mapa de CE e como um dos atributos que pode ter direcionado as maiores mudanças entre os mapas de ZM. De forma prática, a partir dos mapas de ZM podem ser direcionadas estratégias que visem aprimorar a resposta produtiva para cada uma das zonas.

#### **4. CONCLUSÃO**

No presente estudo é possível concluir que há variação na definição das zonas de manejo quando direcionadas por alterações na agregação do solo, como a criada a partir da subsolagem.

A condutividade elétrica interfere na definição de zonas de manejo e possivelmente serve como indicador de mudanças na química do solo.

## REFERÊNCIAS

- ADAMCHUK, V. I.; HUMMEL, J. W.; MORGAN, M. T.; UPADHYAYA, S. K. On-the go soil sensors for precision agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 44, p. 71-91, 2004.
- AMADO, T.J.C., SANTI, A.L. **Agricultura de precisão aplicada ao aprimoramento do manejo do solo**. In: FIORIN, J.E. (ed.) Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. Passo Fundo, Berthier, 2007. p.99-144.
- ANDRADE, C.L.T.; COELHO, E.F.; COUTO, L.; SILVA, E.L. **Parâmetros de solo água para a engenharia de irrigação e ambiental**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 27, Poços de Caldas, 1998. Anais. Lavras: UFLA/SBEA, 1998. p. 1-132.
- BABALOLA, O. Spatial variability of soil water properties in tropical soils of Nigeria. **Soil Science**, v. 126, n. 5, p.269-279, 1978.
- BORBA, M. Z.; FREDDI, O. S.; TREVISAN, R. G.; MOLIN, J.P.; EITELWEIN, M. T. **Condutividade elétrica aparente no mapeamento da textura do solo**. XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Natal. RN. 2015.
- BRANDÃO, S. L.; LIMA, S. C. pH e condutividade elétrica em solução do solo, em áreas de pinus e cerrado na chapada em Uberlândia (MG). **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 3, p. 46-56, 2002.
- BRITO, M. D. **Condutividade elétrica aparente no solo como ferramenta à silvicultura de precisão**. Trabalho de Conclusão de Curso. UFV. Viçosa. 2014.
- CARMO, D.L.; SILVA, C. A. Condutividade elétrica e crescimento do milho em solos contrastantes sob aplicação de diversos níveis de calagem. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.51, n.10, p.1762-1772, 2016.
- CIOTTA, M. et al. Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. **Cienc. Rural**, v.33, n.6, 2003.  
<https://doi.org/10.1590/S0103-84782003000600026>.
- CRUZ, Matheus Costa. **Metodologia para análise espacial da resistência do solo à penetração**. 2021. 16 f. TCC (Graduação) - Curso de Agronomia, Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021.
- DOERGE, T.; KITCHEN, N.R.; LUND, E.D. Soil electrical conductivity Mapping. **Site-Specific Management Guidelines**. n. 30. 2004. <http://www.ppifar.org/ssmg>.
- DOMSCH, H.; GIEBEL, A. **Electrical conductivity of soils typical for the state of Brandenburg in Germany**. In: European conference on precision agriculture, 3., Montpellier, 2001.
- FLORES, J. P. M.; DALMOLIN, R. S. D.; HORST, T. Z.; BUENO, J. M. M.; ROSIN, N. A. **Condutividade elétrica aparente do solo correlacionada com a produtividade de culturas**. In: XII REUNIÃO SUL BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO; 2018; Xanxerê. Anais... SBCS, Xanxerê, 2018.
- FRITZ, R.M.; MAIO, D.D.; SCHUMACHER, T.E.; CLAY, D.E.; CARLSON, C.G.; ELLSBURY, M.M.; DALSTED, K.J. **Field comparison of two soil electrical conductivity measurement systems**. In: International conference on precision Agriculture, 4., St. Paul, 1998.

- GEBBERS, R.; ADAMCHUK, V. I. Precision agriculture and food security. **Science**, v. 327, n. 5967, p. 828-31, 2010.
- GIÚDICE M. P. Del QUEIROZ D. M. MANTOVANI E. C. FERREIRA L. R. VALLE F. X. R. GOMIDE R.L. BORÉM, A. **Agricultura de precisão**. v.500:467p, 2000.
- LEITE, L. F. C. **Matéria orgânica do solo**. Teresina: Embrapa Meio-Norte. 2004 (Embrapa Meio-Norte. Documentos: 971).
- LEPESQUEUR, Túlio Naves. **Zonas homogêneas na validação de atributos biofísicos na cultura do sorgo granífero**. 2022. 20 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2022.
- LUND, E.D.; COLIN, P.E.; CHRISTY, D.; DRUMMOND, P.E. **Using yield and soil electrical conductivity maps to derive crop production performance information**. In: International conference on precision agriculture, 5., Madison, 2000.
- MACHADO, P.L.O.A.; et al. **Técnicas de agricultura de precisão no diagnóstico de uma cultura de soja sob plantio direto em Carambeí, PR**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 29p. Embrapa Solos, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento; n. 18. Disponível em: <http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/conhecimentos.html>.
- MACHADO, P. L. O. A.; BERNARDI, A. C. C.; ALENCIA, L. I. O.; MOLIN, J. P.; GIMENEZ, L. M.; SILVA, C. A.; ANDRADE, A. G. A.; MADARI, B. E.; MEIRELLES, M. S. P. M. Mapeamento da condutividade elétrica e relação com a argila de Latossolo sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 1023-1031, 2006.
- MANTOVANI, E.C.; QUEIROZ D.M. GOMIDE, R.L. **Estratégias da pesquisa e da indústria para utilização de agricultura de precisão na região centro-oeste do Brasil**. XXIII Congresso Nacional de Milho e Sorgo, Uberlândia, MG, 21 a 25 de maio, page pp. 16, 2000.
- MARTHA JÚNIOR, G. B.; ALVES, E.; CONTINI, E.; RAMOS, S. Y. Estilo de desenvolvimento da agropecuária brasileira. **Revista de Política Agrícola**, v. 19, p. 93-106, 2010.
- MOLIN, J.P. & RABELLO, L.M. Estudos sobre a mensuração da condutividade elétrica do solo. ESALQ. **Engenharia Agrícola**. v. 31, n. 1, p. 90-101, 2011.
- NADLER, A.; FRENKEL, H. Determination of soil solution electrical conductivity from bulk soil electrical conductivity measurements by the four electrode method. **Soil Science Society of American Journal**, v.44, n.5, p. 1216-1221, 1980.
- NUNES JÚNIOR, E. S.; MEDEIROS; J. F., OLIVEIRA; F. A.; LIMA, L. A.; BEZERRA, F. M. S.; ALVES, R. C. Nitrogen and potassium fertigation in bell pepper cultivated in greenhouse using fertigation managements. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 3, p. 186-190, 2017. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n3p186-190>
- OLIVEIRA, F. A.; DUARTE, S. N.; MEDEIROS, J.F.; DIAS, N. S.; OLIVEIRA, M. K. T.; SILVA, R. C. P.; LIMA, K. S. 2015. Nutrição mineral do pimentão submetido a diferentes manejos de fertirrigação. **Horticultura Brasileira**, v. 33, n.2, p. 216- 223. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-053620150000200013>
- PERALTA, N. R.; COSTA, J.L. **Delineamento de zonas de manejo com condutividade elétrica aparente do solo para melhorar o manejo de nutrientes**. 2013. DOI: 10.1016

- PIERCE, F.J. E P. NOWAK, P. Aspectos da Agricultura de Precisão. **Advances in Agronomy**, Vol. 67, 1999, pp. doi:10.1016/S0065-2113(08)60513-1.
- RABELLO, L. M.; BERNARDI, A. C. C.; INAMASU, R. Y. **Condutividade elétrica aparente do solo**. In: BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (Ed.). Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 48-57.
- REIS, N. C. **Resistência do solo à penetração na análise espacializada da produtividade de soja**. 2019. 14 f. TCC (Graduação) - Curso de Agronomia, Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020.
- SANCHEZ, R. B. *et al.* Variabilidade espacial de atributos do solo e de fatores de erosão em diferentes pedofomas. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 4, p. 1095-1103, 2009.
- SUDDUTH, K.A.; KITCHEN, N.R.; DRUMMOND, S.T. **Soil conductivity sensing on claypan soils: comparison of electromagnetic induction and direct methods**. In: International Conference on precision agriculture, 4., St. Paul, 1998.
- SUDDUTH, K. A.; KITCHEN, N. R.; WIEBOLD, W. J.; BATCHELOR, W. D.; BOLLERO, G. A.; BULLOCK, D. G. CLAY, D. E.; PALM, H. L. PIERCE, F. J.; SCHULER, R. T.; THELEN, K. D. Relating apparent electrical conductivity to soil properties across the north- -central USA. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 46, p. 263-283, 2005.
- TEIXEIRA, P. C. *et al.* **Manual de Métodos de Análise de Solo**: terceira edição revista e ampliada. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2017. 574 p.
- VIEIRA, S.R. **Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo**. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H. & SCHAEFER, G.R., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1, p.1-54.
- VALENTE, D. S. M. **Desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão para definir zonas de manejo em cafeicultura de precisão**. Trabalho de conclusão de curso. UFV. Viçosa. 2010.