

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
CAMPUS DE CHAPADÃO DO SUL  
CURSO DE BACHARELADO EM AGRONOMIA

JOÃO PEDRO DE OLIVEIRA RAMPAZZO

**VARIABILIDADE ESPACIAL DA RESISTÊNCIA A  
PENETRAÇÃO EM ÁREA DE ALGODÃO**

CHAPADÃO DO SUL – MS

2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
CAMPUS DE CHAPADÃO DO SUL  
CURSO DE BACHARELADO EM AGRONOMIA

JOÃO PEDRO DE OLIVEIRA RAMPAZZO

**VARIABILIDADE ESPACIAL DA RESISTÊNCIA A  
PENETRAÇÃO EM ÁREA DE ALGODÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Universidade Federal de Mato  
Grosso do Sul, como requisito parcial para a  
obtenção do título de Engenheiro  
Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Job Teixeira de  
Oliveira

CHAPADÃO DO SUL – MS

2023

DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho à Deus, minha  
família e meus amigos.*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus

Ao meu orientador Professor Dr. Job Teixeira de Oliveira, pelas várias oportunidades concedidas, pelo apoio e orientação.

A minha família que sempre me apoiou e foi meu alicerce durante a minha trajetória.

Aos meus amigos que me apoiaram e me ajudaram na conclusão deste trabalho.

A Universidade Federal do Mato Grosso do Sul por possibilitar minha formação.

A todos os professores que compartilharam seus conhecimentos.

Ao Professor Dr. Cassiano Garcia Roque e ao Agrônomo Mestrando Túlio Russino Castro por aceitarem participar da banca de aprovação.

E a todas aquelas pessoas que contribuíram para minha formação.

## EPÍGRAFE

*“O ser humano é aquilo que a educação faz dele”*

*Immanuel Kant*

**SUMÁRIO**

Resumo .....	7
Abstract .....	8
Introdução .....	9
Material e Métodos.....	10
Resultados e Discussão .....	13
Conclusão .....	19
Referências .....	19

## VARIABILIDADE ESPACIAL DA RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO EM ÁREA DE ALGODÃO

**Resumo:** A resistência a penetração do solo é uma problemática em áreas de cultivo de algodão, prejudicando o desenvolvimento vegetal e a produtividade da cultura. A análise da variabilidade espacial permite estudar a variabilidade dos atributos físicos do solo, especialmente aqueles relacionados a compactação, como a resistência a penetração. A hipótese deste trabalho se baseou na possibilidade de avaliar a compactação do solo em áreas cultivadas com a cultura do algodão por meio da análise da variabilidade espacial. Assim, o objetivo do trabalho foi avaliar a variabilidade espacial da resistência a penetração em área de algodão. O trabalho foi desenvolvido em Paraíso das Águas, Mato Grosso do Sul, Brasil, em área agricultável pertencente a Fazenda Indaiá II. A área experimental consistiu de talhão com área de 60 hectares, onde realizou-se o plantio de sementes de algodão da cultivar FM 978 6LTP. Foram definidas direções x e y do sistema de coordenadas cartesianas e realizado o estaqueamento da malha experimental, espaçadas de 9,9 m entre elas. Foram avaliados a produtividade do algodão, em arroba  $ha^{-1}$ , a umidade gravimétrica do solo na profundidade de 0 a 0,20 m e a resistência mecânica à penetração nas camadas: de 0 a 0,10 m (RP1), 0,10 a 0,20 m (RP2), 0,20 a 0,30 m (RP3), 0,30 a 0,40 m (RP4), 0,40 a 0,50 m (RP5), 0,50 a 0,60 m (RP6) e média da resistência a penetração (RPM). Para cada atributo estudado efetuou-se análise descritiva clássica e análise da variabilidade espacial, com construção de mapas de krigagem e de cokrigagem, para análise da dependência e da interdependência espacial entre os atributos. Os resultados demonstram que a resistência a penetração do solo apresenta variabilidade espacial em áreas de algodão e que existe uma relação inversamente proporcional entre a produtividade do algodão e a resistência a penetração do solo, onde quando menor a resistência a penetração, maior a produtividade do algodão.

**Palavras-chave:** Compactação. Geoestatística. *Gossypium hirsutum*. Krigagem. Solo.

## SPATIAL VARIABILITY OF PENETRATION RESISTANCE IN COTTON AREA

**Abstract:** Resistance to soil penetration is a problem in cotton growing areas, harming plant development and crop productivity. The analysis of spatial variability allows studying the variability of soil physical attributes, especially those related to compaction, such as resistance to penetration. The hypothesis of this work is based on the possibility of evaluating soil compaction in areas cultivated with cotton crops through the analysis of spatial variability. Thus, the objective of the work is to evaluate the spatial variability of resistance to penetration in a cotton area. The work was carried out in Paraíso das Águas, Mato Grosso do Sul, Brazil, in an agricultural area belonging to Fazenda Indaiá II. The experimental area consisted of a plot with an area of 60 hectares, where cotton seeds of the FM 978 6LTP cultivar were planted. The x and y definitions of the Cartesian coordinate system were defined and the experimental mesh was staked, spaced 9.9 m apart. Cotton productivity was evaluated, in at sign  $\text{ha}^{-1}$ , gravimetric soil moisture at a depth of 1 to 0.20 m and mechanical resistance to penetration in the layers: 0 to 0.10 m (RP1), 0,10 to 0,20 m (RP2), 0,20 to 0,30 m (RP3), 0,30 to 0,40 m (RP4), 0,40 to 0,50 m (RP5), 0,50 to 0,60 m (RP6) and average penetration resistance (RPM). For each trained attribute, classical descriptive analysis and analysis of spatial variability were carried out, with the construction of kriging and cokriging maps, to analyze the dependence and spatial interdependence between the attributes. The results demonstrate that resistance to soil opening presents spatial variability in cotton areas and that there is an inversely proportional relationship between cotton productivity and resistance to soil opening, where the lower the penetration resistance, the higher the cotton productivity.

**Keywords:** Compaction. Geostatistics. *Gossypium hirsutum*. Kriging. Ground.

## **Introdução**

O algodão (*Gossypium hirsutum* L.) possui importância econômica e social para a agricultura brasileira, sendo cultivada para obtenção de caroço e pluma, muito utilizados na produção de ração e indústria têxtil (INDEA, 2023). Na safra 2022/23 a produção ultrapassou 3.150,1 milhões de toneladas, com previsão de aumento da área plantada na safra 2023/24 (CONAB, 2023).

A expansão da cultura do algodão no Brasil ocorreu no início da década de 1990, estendendo-se pelo Cerrado com alta aplicação de tecnologia para obtenção de resultados (SARI et al., 2023). O conhecimento dos fatores que afetam a produção do algodão é importante para definição de regiões com potencial para produção de caroço e fibra com qualidade superior, uma vez que as diferenças na produção estão associadas a cultivares e qualidade física do solo (RAMOS et al., 2022).

O manejo do solo inclui suas características físicas, químicas e biológicas, visando práticas para a produção agrícola em acordo com suas potencialidades e limitações (SILVA et al., 2020). A compactação do solo é um fator limitante a produção agrícola, por gerar impacto na reorganização de partículas e agregados, limitando a adsorção e absorção de nutrientes, infiltração e redistribuição de água e trocas gasosas, limitando a produtividade agrícola (MORAES et al., 2020).

A resistência a penetração do solo é um indicativo da qualidade física dos solos, propriedade relacionada a compactação e que quantifica mecanicamente o impedimento do crescimento das raízes (JAMALI et al., 2021). A resistência a penetração é um parâmetro prático e completo, relacionado a textura, densidade do solo e teor de água, utilizado para o monitoramento do estado de compactação do solo, com valores críticos variando entre 1,5 a 4,0 Mpa (CORTEZ et al., 2018). Em resposta a resistência a penetração, as plantas reduzem sua área foliar para que fotoassimilados sejam redirecionados ao sistema radicular, buscando mitigar os efeitos da resistência e prejudicando a produtividade das plantas de algodão (NIKKEL & LIMA, 2020).

A resistência a penetração do solo é realizada através do emprego de penetrômetro, equipamento que mede a resistências das camadas de solo e que se caracteriza como um dos principais indicadores para diagnóstico e avaliação da compactação do solo (VOGEL et al., 2017). Todavia, a utilização de tecnologias de agricultura de precisão promove o monitoramento intensivo da área de cultivo, gerando um grande número de informações que podem ser correlacionadas a dados de difícil obtenção (MACHADO et al., 2015).

A análise da variabilidade espacial da resistência a penetração permite o estudo dos atributos físicos do solo pela geoestatística, detectando a variação e distribuição espacial dos atributos do solo, especialmente aqueles relacionados a compactação (CORTEZ et al., 2018). A utilização da variabilidade espacial promove o monitoramento recorrente do estado de compactação do solo de forma prática, caracterizando a compactação provocada pelo uso e manejo do solo em áreas de cultivo agrícola (MACHADO et al., 2015).

Diante do exposto, a hipótese deste trabalho baseia-se na possibilidade de avaliar a compactação do solo em áreas cultivadas com a cultura do algodão por meio da análise da variabilidade espacial. Assim, o objetivo do trabalho é avaliar a variabilidade espacial da resistência a penetração, umidade volumétrica e produtividade em área de algodão.

### Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido em Paraíso das Águas, Mato Grosso do Sul, Brasil, em área agricultável pertencente a Fazenda Indaiá II, nas proximidades das coordenadas geográficas: latitude 19°1'33" S, longitude 53°0'37" O e altitude de 608 m. De acordo com a Köppen e Geiger o clima é classificado como tropical úmido (Cfa), caracterizado com temperatura média variando entre 14 e 31 °C. A pluviosidade média anual é de 1303 mm.

O solo no qual as malhas experimentais foram instaladas, foi classificado como um Neossolo Quartzarênico com textura arenosa, contendo 12% de argila. As Tabelas 1 e 2 apresentam as características físico-hídricas e químicas do solo da área experimental.

**Tabela 1.** Características físico-hídricas do solo da área experimental

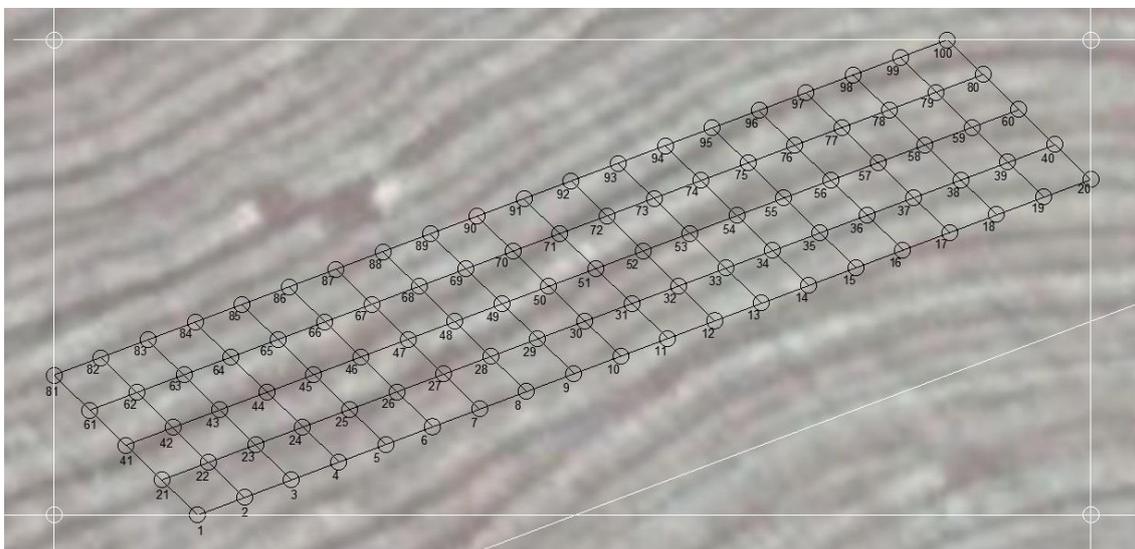
Camada (cm)	Distribuição granulométrica (%)			Teor de água (g g <sup>-1</sup> )		Densidade (g cm <sup>-3</sup> )
	Argila	Silte	Areia	Cc	Pm	
0-20	12	5	83	0,088	0,053	1,3

**Tabela 2** – Características químicas do solo da área experimental

Camada (cm)	pH	P	K	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB	t	T	V	P-rem	MO
	H <sub>2</sub> O	mg dm <sup>-3</sup>								%	mg L <sup>-1</sup>	dag kg <sup>-1</sup>	
0-20	5,02	10,19	0,06	1,54	0,71	0,00	3,18	1,65	1,79	7,72	43,02	10,18	5,71

A área experimental consistiu em talhão com área de 60 hectares, onde realizou-se o plantio de sementes de algodão da cultivar FM 978 6LTP. O plantio foi realizado em 20 de novembro de 2022, com espaçamento de 90 centímetros, totalizando uma população de 95 mil plantas  $\text{ha}^{-1}$ .

Foram definidas direções  $x$  e  $y$  do sistema de coordenadas cartesianas e realizado o estaqueamento da malha experimental, espaçadas de 9,9 m entre elas (Figura 1). Cada malha experimental foi constituída de três transeções de 49,5 m x 198 m. Portanto, as transeções foram espaçadas de 9,9 m, com pontos amostrais esquadrejados em 9,9 m x 9,9 m, contendo 100 deles. A área referente a malha experimental foi de 0,98ha.



**Figura 1.** Malha amostral com 100 pontos, da área experimental na Fazenda Indaiá II, localizada no município de Paraíso das Águas, MS.

A resistência mecânica à penetração (RP1, RP2, RP3, RP4, RP5, RP6 e RPM), onde, o número que acompanha o atributo refere-se à profundidade, sendo: 1- profundidade de 0 a 0,10 m; 2- profundidade de 0,10 a 0,20 m; 3- profundidade de 0,20 a 0,30 m; 4- profundidade de 0,30 a 0,40 m; 5- profundidade de 0,40 a 0,50 m; 6- profundidade de 0,50 a 0,60 m; exceto RPM que se refere à resistência à penetração na camada de 0 a 0,60 m calculada pela média de todas as leituras feitas a cada 0,005 m de profundidade.

Para a determinação da resistência do solo à penetração, utilizou-se um penetrômetro digital Falker modelo PenetroLOG–PLG 1020, configurado para registrar leituras em velocidade de penetração constante com a unidade em kPa.

Para a determinação da umidade gravimétrica (UG) foram coletadas amostras de solo e levadas para o laboratório, as amostras foram colocadas em capsulas e pesadas, obtendo a Massa de Solo Úmido (MSU), em seguida colocadas na estufa a 105°C por 24 horas para a obtenção da Massa de Solo Seco (MSS), por fim, a umidade gravimétrica foi determinada através da fórmula  $UG = \left[ \frac{MSU - MSS}{MSS} \right] \times 100$ .

A produtividade do algodão foi determinada através da colheita de todos os capulhos (pluma e caroço) de três plantas colhidas aleatoriamente, em cada ponto amostral. Foi pesado o material em uma balança de precisão, determinado a média de uma planta, em gramas. Posteriormente o valor foi transformado de gramas por planta para arroba (@). Multiplicou-se o resultado pelo número de plantas por hectare e chegou-se a produtividade do algodão em @ ha<sup>-1</sup>.

Para cada atributo estudado, efetuou-se a análise descritiva clássica, com auxílio do programa estatístico Rbio (biometria no R) versão 17, em que foram calculados a média, mediana, valores mínimos e máximos, desvio-padrão, coeficiente de variação, curtose, assimetria e efetuada a análise da distribuição de frequência dos dados. Desta forma, para testar a hipótese de normalidade, ou de lognormalidade dos componentes produtivos (x), foi utilizado o teste de Shapiro e Wilk (1965) a 5%. Nele a estatística testa a hipótese nula, a qual julga ser a amostra proveniente de uma população com distribuição normal.

A análise de correlação espacial foi realizada utilizando software livre e de código aberto. Isoladamente, para cada atributo, foi analisada sua dependência espacial, pelo cálculo do semivariograma simples. Contudo, para aqueles que apresentaram interdependência espacial, calcularam-se também seus semivariogramas cruzados, com base nos pressupostos de estacionaridade da hipótese intrínseca, pelo uso do pacote Gamma Design Software (GS+, 2004). Para cada atributo, foram relacionados o efeito pepita (C<sub>0</sub>), o alcance (A<sub>0</sub>) e o patamar (C<sub>0</sub> + C) (GS+, 2004).

Trabalhando-se na obtenção do número ideal de vizinhos, foram obtidos, por meio da interpolação, os mapas de krigagem e de cokrigagem, para análise da dependência e da interdependência espacial entre os atributos.

## Resultados e Discussão

A Tabela 1 apresenta a matriz de correlação entre a produtividade e umidade gravimétrica e a resistência a penetração. Correlações positivas foram verificadas entre RP1xRP2, RP2xRP3, RP3xRP4, RP5xRP6, indicando que em diferentes profundidades a resistência a penetração nesse solo seguiu um padrão. Segundo Oliveira et al 2020, estudando resistência a penetração em Latossolo verificou mesmo comportamento.

**Tabela 1.** Matriz de correlação entre a produtividade do algodão, umidade gravimétrica e resistência a penetração do solo em cultivo de algodão no município de Paraíso das Águas, MS.

<b>S</b>	<b>PA</b>	<b>RP1</b>	<b>RP2</b>	<b>RP3</b>
<b>PA</b>	1	-	-	-
<b>RP1</b>	-0.09569	1	-	-
<b>RP2</b>	-0.1082	0.505739	1	-
<b>RP3</b>	-0.04177	0.122195	0.556013	1
<b>RP4</b>	0.041515	0.155172	0.335068	0.69075
<b>RP5</b>	0.151291	0.018519	-0.2003	-0.09878
<b>RP6</b>	0.181353	-0.06882	-0.20975	-0.06757
<b>RPM</b>	0.012963	0.450774	0.686972	0.795785
<b>UG</b>	0.041752	-0.14348	0.024256	0.021651
<b>S</b>	<b>RP4</b>	<b>RP5</b>	<b>RP6</b>	<b>RPM</b>
<b>RP1</b>	-	-	-	-
<b>RP2</b>	-	-	-	-
<b>RP3</b>	-	-	-	-
<b>RP4</b>	1	-	-	-
<b>RP5</b>	0.196537	1	-	-
<b>-RP6</b>	0.069927	0.499544	1	-
<b>-RPM</b>	0.78524	0.277994	0.23912	1
<b>UG</b>	-0.07042	-0.1478	-0.03235	-0.06883

PA: Produtividade do algodão; RP1: Resistência a penetração 0,0-0,10 m; RP2: Resistência a penetração 0,10-0,20 m; RP3: Resistência a penetração 0,20-0,30 m; RP4: Resistência a penetração 0,30-0,40 m; RP5: Resistência a penetração 0,40-0,50 m; RP6: Resistência a penetração 0,50-0,60 m; RPM: Resistência a penetração média; UG: Umidade gravimétrica.

A matriz de correlação apresenta ainda correlação negativa e significativa entre a produtividade do algodão e RP1 e RP2. Isso indica que quanto maior a compactação do solo, ou seja, a resistência a penetração, menor a produtividade do algodão. Segundo Cortez et al. (2018), a produtividade de culturas agrícolas é afetada pela compactação do solo. Todavia, o algodão é uma cultura com menor capacidade de incorporação de restos vegetais e estruturar o solo, resultando em maior susceptibilidade a compactação (NOURI et al., 2019).

A Tabela 2 apresenta a análise descritiva dos atributos do solo. A partir destas análises, é possível observar uma variação considerável em relação a resistência a penetração. Através da Tabela 2, é possível observar que a Produtividade apresentou um alto Desvio Padrão devido a dispersão dos dados, evidenciando uma menor regularidade dos dados do conjunto.

**Tabela 2.** Análise descritiva dos atributos do solo entre a produtividade do algodão, umidade gravimétrica e resistência a penetração do solo em cultivo de algodão no município de Paraíso das Águas, MS.

<b>Atributos</b>	<b>Média</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Curtose</b>	<b>Assimetria</b>
<b>PA</b>	250.35878	87.40000	594.91111	93.94066	1.15448	0.88989
<b>RP1</b>	0.64438	0.06900	1.75650	0.38008	0.14570	0.65645
<b>RP2</b>	2.25070	0.48600	4.30200	0.76276	-0.36773	0.09003
<b>RP3</b>	2.66523	0.54250	4.24450	0.84567	-0.47564	-0.49061
<b>RP4</b>	3.03567	1.26850	4.33550	0.63786	0.17930	-0.39482
<b>RP5</b>	3.06132	1.90650	4.02350	0.45118	-0.46200	-0.24653
<b>RP6</b>	2.62211	1.64600	3.89650	0.47791	0.19742	0.58613
<b>RPM</b>	2.34351	1.46900	3.03100	0.34636	-0.39201	-0.26891
<b>UG</b>	2.33843	1.01400	3.77900	0.59713	-0.77874	0.02111

PA: Produtividade do algodão; RP1: Resistência a penetração 0,0-0,10 m; RP2: Resistência a penetração 0,10-0,20 m; RP3: Resistência a penetração 0,20-0,30 m; RP4: Resistência a penetração 0,30-0,40 m; RP5: Resistência a penetração 0,40-0,50 m; RP6: Resistência a penetração 0,50-0,60 m; RPM: Resistência a penetração média; UG: Umidade gravimétrica.

A resistência do solo à penetração é o principal sintoma decorrente da compactação do solo, criando um impedimento para o crescimento radicular, disponibilidade de água e nutrientes para a cultura do algodão (Anghinoni et al., 2019). Segundo Aime et al. (2019), em situações de solo compactado na camada de 0,0 – 0,25 m, o volume de raízes do algodoeiro é maior na superfície, independente da cultivar utilizada, decorrente da limitação do crescimento radicular em camadas profundas.

A análise geoestatística evidenciou a ocorrência de correlação espacial negativa entre a produtividade e RP1 (Tabela 3). Esse resultado demonstra relação inversamente proporcional entre a resistência a penetração e a produtividade do algodão, onde quando menor a resistência a penetração, maior a produtividade da cultura.

**Tabela 3.** Parâmetros estimados para o semivariograma simples e cruzados dos componentes em relação a produtividade, umidade gravimétrica e resistência a penetração do solo em cultivo de algodão no município de Paraíso das Águas, MS.

Atributo	DAL	Intervalo	Ajuste	Efeito Pepita	Patamar	Alcance (m)	r <sup>2</sup>
PA	228	22.8	Exp	2900	9300	38	0.592
RP1	109	10.9	Gau	0.035	0.15	15	0.785
RP2	x	x	EPP	x	x	x	X
RP3	x	x	EPP	x	x	x	X
RP4	122	11.72	Exp	0.16	0.425	25	0.541
RP5	198	17.8	Exp	0.085	0.205	27	0.418
RP6	136	11.6	Esf	0.14	0.228	34	0.36
RPM	109	10.9	Gau	0.063	0.125	17	0.622
UG	x	x	EPP	x	x	x	X
PAxRP1	111	11	Gau	-0.33	-5	35	0.541

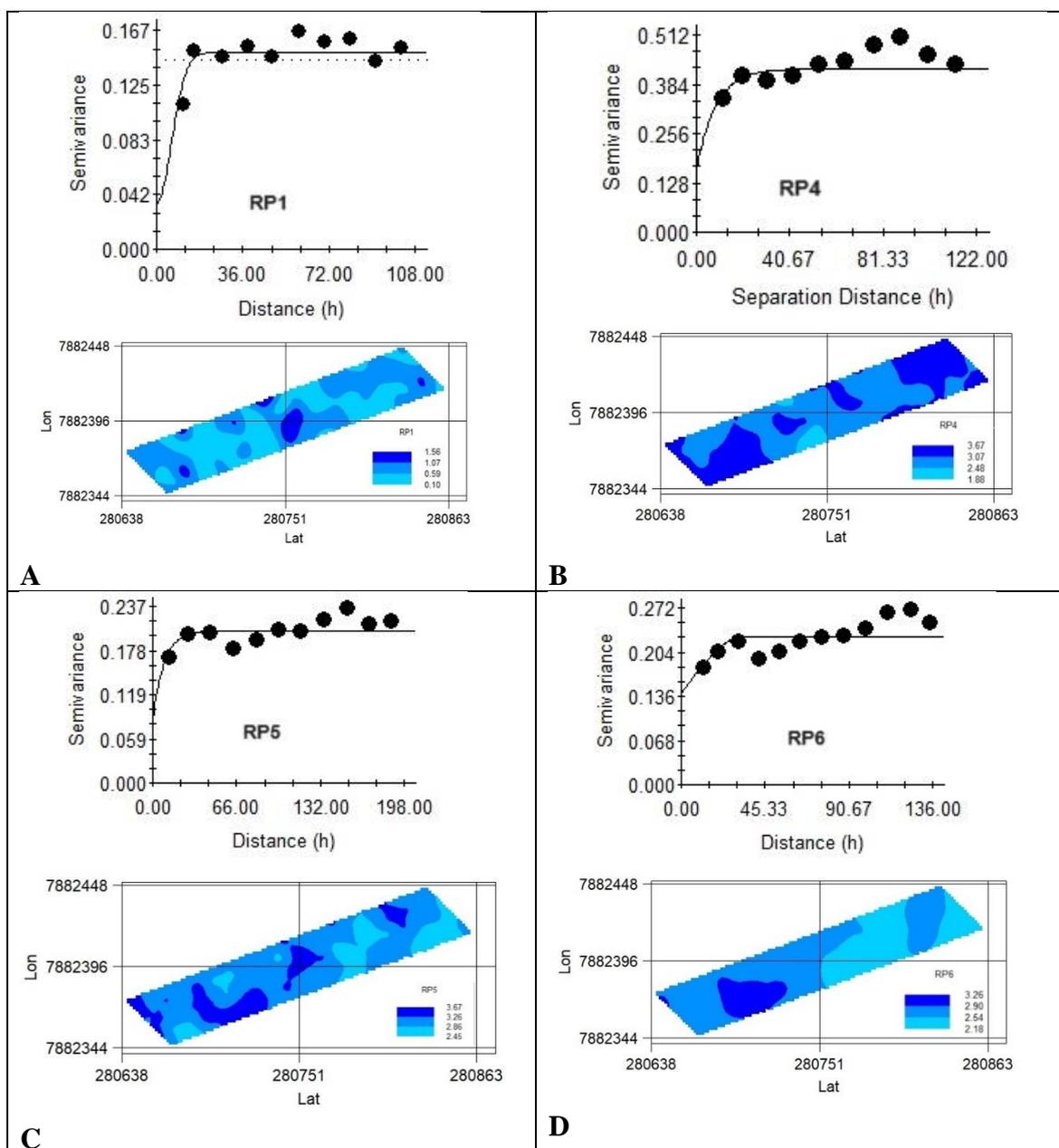
  

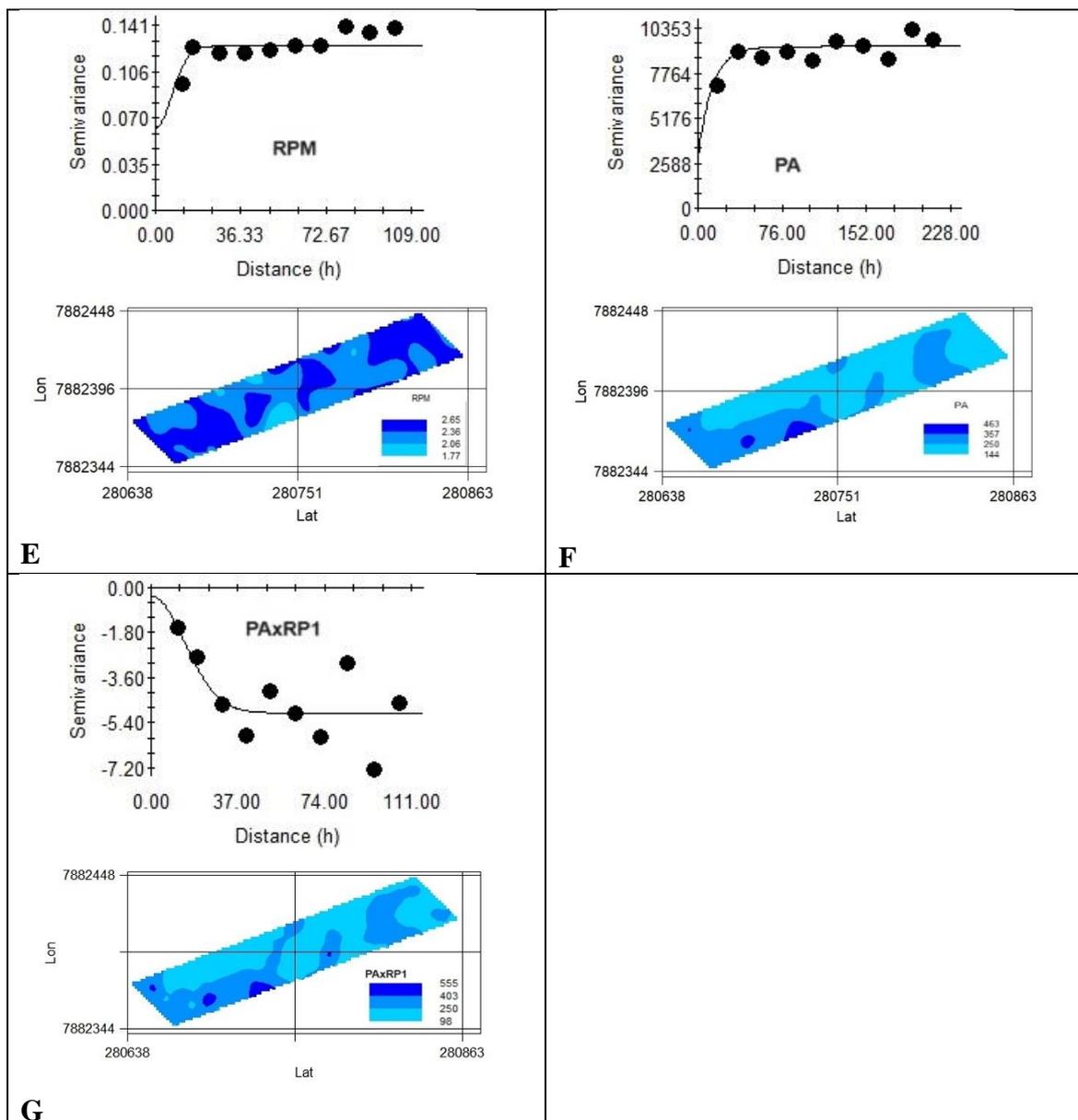
Atributo	SQR	ADE (%)	Classe	Nº vizinhos	a	b	r <sup>2</sup> (validação cruzada)
PA	2911235	0.688	Moderado	64	52.67	0.788	0.123
RP1	8.74E-04	0.767	Forte	41	-0.169	0.75	0.002
RP2	x	x	x	x	x	x	X
RP3	x	x	x	x	x	x	X
RP4	0.0158	0.624	Moderado	27	1.06	0.652	0.054
RP5	2.25E-03	0.585	Moderado	64	0.44	0.858	0.073
RP6	5.70E-03	0.386	Moderado	56	0.37	0.859	0.147
RPM	7.60E-04	0.496	Moderado	62	2.78	0.19	0.003
UG	x	x	x	x	x	x	X
PAxRP1	1.19E+01	0.934	Forte	42	129.6	0.48	0.105

PA: Produtividade do algodão; RP1: Resistência a penetração 0,0-0,10 m; RP2: Resistência a penetração 0,10-0,20 m; RP3: Resistência a penetração 0,20-0,30 m; RP4: Resistência a penetração 0,30-0,40 m; RP5: Resistência a penetração 0,40-0,50 m; RP6: Resistência a penetração 0,50-0,60 m; RPM: Resistência a penetração média; UG: Umidade gravimétrica; Correlação entre Produtividade Algodão e Resistência a penetração 0-0,10m (PAxRP1). SQR – Soma do quadrado do resíduo, ADE – Avaliador da dependência espacial. Exp = exponencial, Gau = gaussiano, Sph = esférico e EPP = efeito pepita puro.

O solo em condições ideais para o desenvolvimento radicular é explorado de forma homogênea pelas raízes das plantas e o volume do solo é relativamente maior do que em solos com problema de compactação, uma vez que solos em estado de compactação apresentam densidade aumentada, diminuindo a porosidade total e aumentando a resistência a penetração das raízes (CORTEZ et al., 2018). Dessa forma, a formação de camadas superficiais compactadas, principalmente em relação ao tráfego contínuo de máquinas agrícolas afeta a formação de raízes, prejudicando o desenvolvimento vegetal e produtividade do algodão (RAMOS et al., 2022).

A Figura 2 apresenta os semivariogramas cruzados e os mapas de krigagem e cokrigagem da produtividade do algodão. Analisando os mapas é possível observar que a parte central apresenta maiores valores de resistência a penetração na camada de 0-0.10m (RP1), já a região sudoeste apresentou os menores valores (Figura 2A).





**Figura 2.** Semivariogramas cruzados e mapas de krigagem da produtividade do algodão e cokrigagem da correlação entre a produtividade e a resistência a penetração. (A) RP1: Resistência a penetração 0,0-0,10 m; (B) RP4: Resistência a penetração 0,30-0,40 m; (C) RP5: Resistência a penetração 0,40-0,50 m; (D) RP6: Resistência a penetração 0,50-0,60 m; (E) RPM: Resistência a penetração média; (F) PA: Produtividade do algodão; (G) PAXRP1: Correlação entre Produtividade Algodão e Resistencia a penetração 0-0,10m.

No mapa que representa o atributo RP4, nota-se que na região nordeste há maiores valores de resistência a penetração, enquanto na parte sudoeste os valores são menores (Figura 2B). Em RP5 a região nordeste foi a que apresentou os menores valores para resistência a penetração na camada de 0-0,50 m, enquanto a região central e sudoeste apresentaram os valores mais elevados (Figura 2C).

O atributo RP6 apresentou os menores valores de resistência a penetração na região nordeste e sudeste, já a região sudoeste obteve os maiores valores (Figura 2D). O mapa de krigagem que representa a resistência a penetração média de todos os atributos, apresentou os menores próximo a parte central, enquanto as regiões nordeste e sudoeste apresentaram os valores mais elevados (Figura 2E).

Em relação a produtividade, é possível observar que os menores valores foram observados na parte central, norte e nordeste, enquanto a região sudoeste obteve os maiores valores (Figura 2F). Por fim, no mapa de cokrigagem entre PAXRP1 há a demonstração dos locais onde foi observado os maiores valores de resistência a penetração e assim, os melhores valores de produtividade (Figura 2G).

A resistência a penetração do solo é uma característica negativa e indesejada que diz respeito a compactação, influenciando negativamente o crescimento das raízes de plantas (SILVA et al., 2021). A principal problemática da resistência a penetração se encontra no fato de danificar o sistema radicular e assim, diminuir o número de folhas, altura de plantas e matéria seca (GUBIANI et al., 2017).

Os solos que apresentam resistência a penetração concentram suas raízes nas camadas superficiais do solo, visando maximizar a absorção de água e nutrientes pela impossibilidade de explorar camadas mais profundas (GABRIEL et al., 2021). Todavia, a camada superficial do solo perde água facilmente pela evaporação, levando as plantas à déficit hídrico (NOURI et al., 2019). Adicionalmente, solos compactados apresentam menores taxas de infiltração, levando ao encharcamento do solo, prejudicial a culturas como o algodão que apresentam baixa tolerância ao encharcamento (AIME et al., 2021).

Assim, neste estudo observou-se a variabilidade da resistência a penetração do solo em áreas cultivadas com algodão e sua influência na produtividade, onde quando maior a resistência a penetração, menor a produtividade do algodão. Perspectivas futuras se baseiam na possibilidade de continuar o estudo nas mesmas áreas, observando o aumento ou diminuição da resistência a penetração através do emprego de métodos para minimizar a compactação do solo.

## Conclusão

A resistência a penetração do solo RP1, RP4, RP5, RP6 e RPM apresentaram variabilidade espacial em áreas de algodão.

Existe uma relação inversamente proporcional entre a produtividade do algodão e a resistência a penetração do solo, onde quando menor a resistência a penetração, maior a produtividade do algodão.

## Referências

Aime, R., Rhodes, G., Jones, M., Campbell, B. T., & Narayanan, S. Evaluation of root traits and water use efficiency of different cotton genotypes in the presence or absence of a soil-hardpan. **The Crop Journal**, v. 9, n. 4, p. 945-953, 2021.

Anghinoni, G., Tormena, C. A., Lal, R., Zancanaro, L., & Kappes, C. Enhancing soil physical quality and cotton yields through diversification of agricultural practices in central Brazil. **Land Degradation & Development**, v. 30, n. 7, p. 788-798, 2019.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Brasília, DF: Conab, v. 11, safra 2023/24, n. 1, primeiro levantamento, out. 2023.

Cortez, J. W., Matos, W. P. D. S., Arcoverde, S. N., Cavassini, V. H., & Valente, I. Q. Spatial variability of soil resistance to penetration in no tillage system. **Engenharia Agrícola**, v. 38, n. 5, p. 697-704. 2018.

Gabriel, J. L., García-González, I., Quemada, M., Martin-Lammerding, D., Alonso-Ayuso, M., & Hontoria, C. Cover crops reduce soil resistance to penetration by preserving soil surface water content. **Geoderma**, v. 386, e114911, 2021.

Gubiani, P. I, Reichert, J. M. & Reinert, D. Interação entre disponibilidade de água e compactação do solo no crescimento e na produção de feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 3, p. 765-773, 2014.

INDEA. Instituto de Defesa Agropecuária de Mato Grosso. **Algodão**. 2023. Disponível em: < <https://www.indea.mt.gov.br/-/8523374-algodao#:~:text=O%20algodoeiro%20%C3%A9%20uma%20planta,cuja%20esp%C3%A9cie%20Gossypium%20hirsutum%20L.>>. Acesso em: 1 nov. 2023.

Jamali H., Nachimuthu, G., Palmer, B., & Hodgson, D. Soil compaction in a new light: Know the cost of doing nothing – A cotton case study. **Soil and Tillage Research**, v. 213, e105158, 2021.

Machado, F. C., Montanari, R., Shiratsuchi, L. S., Lovera, L. H., & Lima, E. D. S. Spatial dependence of electrical conductivity and chemical properties of the soil by electromagnetic induction. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 39(4), 1112-1120. 2015.

Nouri, A., Lee, J., Yin, X., Tyler, D. D., & Saxton, A. M. Thirty-four years of no-tillage and cover crops improve soil quality and increase cotton yield in Alfisols, Southeastern USA. **Geoderma**, v. 337, p. 998-1008, 2019.

Moraes, M. T.; DebiasI, H.; Franchini, J. C.; Mastroberti, A. A.; Levien, R.; Leitner, D.; Schnepf, A. Soil compaction impacts soybean root growth in an Oxisol from subtropical Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 200, p. 1-14, 2020.

Oliveira, J. T., Oliveira, R. A., Valente, D. S. M., Ribeiro, I. S & Teodoro, P. E. Relações espaciais dos atributos físicos do solo com a produtividade e o crescimento lateral de brotos de alho. **HortScience**, v. 55, n. 7, p. 1053-1054, 2020.

Nikkel, M., & Lima, S. O. Crescimento inicial de algodão cultivado em plintossolo pétrico concrecionário. **Energia na Agricultura**, v. 35, n. 3, p. 360-369, 2020.

Ramos, P. N. F., Silveira, O. R., & Maia, J. Determinação da análise de regressão linear simples para explicar a influência dos atributos físicos do solo na produção do algodão. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 8, e28411830591, 2022.

Sari, F. A., Bianchi, A., Berchol, A. R., Sfredo, M. V. D. P., & Ferreira, M. R. Avaliação da compactação e produtividade do algodoeiro sob três tipos de pneus agrícolas. **Revista Foco**, v. 16, n. 1, p. 1-7, 2023.

Silva, G. J., Maia, J. C. S., Bianchi, A., Espinosa, M. M., Valadão Júnior, D. D., & Valadão, F. C. A. Análise multivariada da resistência à penetração em solo sob pastagem degradada. **Cienc. suelo**, v. 38, n. 2, p. 236-248, 2020.

Silva, S. M. A., Locatelli, M., Nunes, C. P., Sampaio, F. A. R., Mandu, T. S. & Silva, C. A. **Brazilian Journal of development**, v. 7, n. 1, p. 5629-5647, 2021.

Vogel, G. F., Martinkoski, L., Grillo, J. F., & Michalovicz, L. Avaliação dos penetrômetro de impacto e eletrônico na determinação da resistência mecânica a penetração do solo. **Scientia agraria**, v. 18, n. 3, p. 30-36, 2017.