

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

TULIO RUSSINO CASTRO

**RELAÇÃO DE ÍNDICES FENOLÓGICOS E RESISTÊNCIA A
PENETRAÇÃO DO SOLO COM A PRODUTIVIDADE DE ALGODÃO
EM PLUMA**

CHAPADÃO DO SUL – MS

2024

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

TULIO RUSSINO CASTRO

**RELAÇÃO DE ÍNDICES FENOLÓGICOS E RESISTÊNCIA A
PENETRAÇÃO DO SOLO COM A PRODUTIVIDADE DE ALGODÃO
EM PLUMA**

Orientador: Prof. Dr. Job Teixeira de Oliveira

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração: Produção Vegetal.



Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

DISCENTE: Tulio Russino Castro

ORIENTADOR: Dr. Job Teixeira de Oliveira

TÍTULO: Relação de índices fenológicos e resistência a penetração do solo com a produtividade de algodão.

AVALIADORES:

Prof. Dr. Job Teixeira de Oliveira

Prof. Dr. Fernando Franca da Cunha

Prof. Dr. Paulo Eduardo Teodoro

Chapadão do Sul, 04 de Abril de 2024.

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Paulo Eduardo Teodoro, Professor do Magisterio Superior**, em 04/04/2024, às 15:18, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Fernando França da Cunha, Usuário Externo**, em 04/04/2024, às 17:36, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Job Teixeira de Oliveira, Professor do Magisterio Superior**, em 04/04/2024, às 20:11, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufms.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **4750841** e o código CRC **53B5DD8E**.

COLEGIADO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

Rod MS 306, Km 105, Caixa Postal 112

Fone: (67)3562-6351

CEP 79560-000 - Chapadão do Sul - MS

Referência: Processo nº 23455.000150/2024-56

SEI nº 4750841

DEDICATÓRIA

Aos meus queridos pais Laudenir Carboni Castro e Paula Izabel Russino Castro, que nunca mediram amor e esforços para me educar.

À Deus, por estar sempre me guiando nessa estrada da vida e por nunca ter me abandonado. Grato a ELE por toda sua generosidade sempre!

À toda minha família, meus pais, avôs e avós, tios e tias por todo suporte, amor, calma, compreensão e força para que eu nunca desistisse dos meus objetivos.

AGRADECIMENTOS

À UFMS/CPCS, uma grande escola formadora de profissionais que alavancam o crescimento deste país!

Ao meu orientador, professor Dr. Job Teixeira de Oliveira, pelos valiosos ensinamentos acadêmicos e de vida, paciência e amizade.

Ao Professor Dr. Cassiano Garcia Roque, pelo carinho e pelas longas e valiosas conversas e instruções.

A Doutora Izabela Cristina de Oliveira, pelo carinho, paciência e todo o suporte durante a minha trajetória.

Aos professores Dr. Fábio Henrique Rojo Baio e Dr Rafael Ferreira Barreto, pelas correções importantes na qualificação.

À todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da UFMS, que foram indispensáveis para meu crescimento profissional e intelectual.

Aos colegas de Graduação e Pós-graduação da UFMS Patrick Henrique Rugiano, João Pedro de Oliveira Rampazzo, Matheus Weber Ramos, Gabriel Guzzi Silva, Rafael Vitor Ruffo, Guilherme Antonio Chanfrone, Nicola Webber Sponchiado e Lucas Platero Cabreira. Grato por toda ajuda na minha trajetória na UFMS e na minha vida.

Ao senhor Darci Boff, em nome das Fazendas Indaiá que disponibilizou a área do experimento para que eu pudesse desenvolver este trabalho.

À Associação Sul-Mato-Grossense do Produtores de Algodão (AMPASUL), pela disponibilidade, suporte e serviços prestados de boa-fé nas análises laboratoriais do conteúdo de campo coletado.

À Fundação de Apoio à Pesquisa e Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul (FUNDECT) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa.

EPÍGRAFE

*“Preocupação é um dividendo pago ao
desastre antes do tempo”*

Ian Fleming

*“We have all the time in the world
Time enough for life to unfold
All the precious things love has in store
We have all the love in the world”*

Louis Armstrong

RESUMO

O algodão é uma cultura de grande importância econômica no mundo, motivo pelos quais muitas pesquisas e tecnologias são aplicadas para garantir sua máxima produção. Este estudo buscou avaliar como a análise de trilha e a geoestatística podem ser aplicadas em área de algodão para conhecer e identificar características agronômicas que contribuem de forma direta ou indireta na produtividade do algodoeiro. O Capítulo 1 busca relacionar a produtividade do algodão em pluma e índices fenológicos de plantas de algodão, por meio da rede de correlação e análise de trilha. O Capítulo 2 tem a finalidade de avaliar os índices fenológicos do algodoeiro em áreas de cultivo por meio da análise da variabilidade espacial. E o Capítulo 3 tem a finalidade de analisar a variabilidade espacial da resistência a penetração do solo em área de algodão. Os resultados obtidos indicam que análise de trilha é capaz de evidenciar a correlação entre produtividade do algodão em pluma, e índices fenológicos de planta do algodão, sendo que os índices fenológicos número de capulhos e massa total fresca da planta de algodão são os principais índices fenológicos que influenciam positivamente a produtividade do algodão em pluma. Além disso, o mapeamento de áreas produtoras de algodão permite avaliar a correlação existente entre a produtividade e variáveis da planta, onde a produtividade do algodão em pluma, está diretamente relacionada, de forma positiva, ao número de capulhos, de forma negativa, à altura de inserção do primeiro capulho em plantas de algodão. E ainda existe uma relação inversamente proporcional entre a produtividade do algodão em pluma e a resistência a penetração do solo, onde quanto menor a resistência a penetração, maior a produtividade do algodão. Dessa forma, a geoestatística deve ser utilizada para identificação de características do algodão, sendo aplicada como ferramenta para aumentar a produtividade de áreas de cultivo.

Palavras-chave: *Gossypium hirsutum* L. Agricultura de precisão. Produtividade.

ABSTRACT

Cotton is a crop of great economic importance in Brazil and around the world, which is why a lot of research and technologies are applied to ensure its maximum development. This study sought to evaluate how trail analysis and geostatistics can be applied in commercial cotton areas to understand and identify characteristics that contribute directly or indirectly to cotton lint productivity. Chapter 1 seeks to relate cotton lint productivity and phenological indices of cotton plants, through the correlation network and trail analysis. Chapter 2 aims to evaluate the phenological indices of cotton in cultivation areas through the analysis of spatial variability. Chapter 3 aims to analyze the spatial variability of soil's resistance penetration in a cotton area. The results obtained indicate that trail analysis can highlight the correlation between cotton lint productivity and phenological indices of cotton plants, with the phenological indices number of bolls and total fresh mass of the cotton plant being the main phenological indices that positively influence productivity. of cotton. Furthermore, mapping cotton-producing areas allows for evaluating the correlation between productivity and plant variables, where cotton productivity is directly positively related to the number of bolls and negatively to the insertion height of the first boll in cotton plants. Although there is an inversely proportional correlation between cotton lint productivity and soil penetration resistance, the lower the penetration resistance, the greater the cotton productivity. Therefore, geostatistics should be used to identify cotton characteristics, being applied as a tool to increase the productivity of cultivation areas.

Keywords: *Gossypium hirsutum* L. Precision agriculture. Productivity.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - ANÁLISE DE TRILHA DOS ÍNDICES FENOLÓGICOS SOBRE A PRODUTIVIDADE DE FIBRA DO ALGODÃO.	12
RESUMO:	12
INTRODUÇÃO	12
MATERIAL E MÉTODOS	13
Produtividade do algodão em pluma(PA)	15
Massa total fresca (MT)	15
Altura (ALT)	15
Largura (LA)	15
Número de ramos (NR)	15
Diâmetro do caule (DC)	15
Número de capulhos (NC)	16
Altura da inserção do primeiro capulho (AI)	16
RESULTADOS	16
DISCUSSÃO	20
CONCLUSÃO	22
REFERÊNCIAS	22
CAPÍTULO 2 - VARIABILIDADE ESPACIAL DOS ÍNDICES FENOLÓGICOS DE PLANTA DE ALGODÃO.	24
RESUMO:	24
INTRODUÇÃO	24
MATERIAL E MÉTODOS	25
Produtividade do algodão em pluma (PA)	27
Massa total fresca da planta de algodão (MT)	27
Altura da planta de algodão (ALT)	27
Largura da planta de algodão (LA)	28
Número de ramos na planta de algodão (NR)	28
Diâmetro do caule da planta de algodão (DC)	28
Número de capulhos na planta de algodão (NC)	28
Altura da inserção do primeiro capulho na planta de algodão (AI)	28
Análise dos dados	29
RESULTADOS	29
DISCUSSÃO	32

CONCLUSÃO	34
REFERÊNCIAS	35
CAPÍTULO 3 - VARIABILIDADE ESPACIAL DA RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO EM ÁREA DE ALGODÃO	37
RESUMO:	37
INTRODUÇÃO	37
MATERIAL E MÉTODOS.....	39
RESULTADOS.....	41
DISCUSSÃO	47
CONCLUSÃO	49
REFERÊNCIAS	49
APÊNDICE	51

CAPÍTULO 1 - ANÁLISE DE TRILHA DOS ÍNDICES FENOLÓGICOS SOBRE A PRODUTIVIDADE DE FIBRA DO ALGODÃO.

RESUMO:

A importância no algodão para o mercado mundial eleva a necessidade de encontrar ferramentas que possibilitem o isolamento de variáveis que prejudicam sua produtividade. A análise de trilha permite a identificação de variáveis que contribuem de forma direta ou indireta na produtividade do algodoeiro. O objetivo deste trabalho é relacionar a produtividade do algodão em pluma e índices fenológicos de plantas de algodão, por meio da rede de correlação e análise de trilha. O estudo foi realizado no Município de Paraíso das Águas, Mato Grosso do Sul, Brasil, onde talhões de 60 ha foram semeados com algodão da cultivar FM 978 6LTP. Foram definidas direções x e y do sistema de coordenadas cartesianas e realizado o estaqueamento de uma malha experimental geoestatística. A coleta dos dados foi realizada manualmente, com a seleção de três plantas aleatórias por ponto amostral. Foram cortadas rente ao solo e avaliados: produtividade do algodão em pluma, massa total fresca, altura, largura, número de ramos, diâmetro do caule, número de capulhos e altura de inserção do primeiro capulho. Para associações entre as diferentes variáveis e exclusão de multicolinearidades e foi construída uma rede de correlação e rodado análise de trilha dos índices fenológicos avaliados, onde a produtividade do algodão em pluma foi a variável principal. Os resultados encontrados evidenciam que a análise de trilha é capaz de mostrar correlação entre a produtividade do algodão em pluma e os índices fenológicos de planta. Os índices fenológicos número de capulhos e massa total fresca da planta, são os principais índices fenológicos que influenciam positivamente a produtividade do algodão, enquanto a altura de inserção do primeiro capulho é o atributo que mais influencia negativamente a produtividade do algodoeiro.

Palavras-chave: Capulhos. Correlação. Fibras de algodão. *Gossypium hirsutum*. Massa verde.

INTRODUÇÃO

A cultura do algodão (*Gossypium hirsutum* L.) é uma commodity de grande importância para o mercado mundial. O algodoeiro é uma planta dicotiledônea, herbácea, anual ou perene, pertencente à família Malvaceae, gênero *Gossypium*. Estima-se que 90% da produção mundial de fibras são oriundas da espécie *G. hirsutum* (JAMALI et al., 2021).

Segundo à Associação Brasileira dos Produtores de Algodão, pela primeira vez, na safra 2022/2023, o Brasil alcançou o terceiro lugar no ranking de maiores produtores, superando os Estados Unidos. Referente as exportações, no mesmo levantamento, os Estados Unidos ainda se mantiveram na liderança, com 2,7 milhões de toneladas de pluma, enquanto o Brasil embarcou 2,6 do milhões de toneladas (ABRAPA, 2023).

A cultura do algodão, mesmo em condições edáficas e climáticas adversas, apresenta maior rentabilidade quando comparada a outras commodities (ARAÚJO et al., 2022). Entretanto a cotonicultura é de grande complexibilidade em seu manejo e produção onde várias condições e problemáticas fazem com que o seu cultivo exija altos níveis de conhecimento agrônomo e de investimento. A principal preocupação para o cultivo do algodão nas regiões semiáridas é o estresse hídrico e a suscetibilidade a ataques de pragas e infestações de doenças. Preocupações essas que podem ser revertidas por meio de análise antecipadas sobre a lavoura.

O conhecimento dos índices fenológicos do algodão fornece informações para a gestão de recursos e controle de adversidades que prejudiquem a produtividade final da cultura (JAMALI et al., 2021). Além disso, o conhecimento dos índices fenológicos possibilita identificação de diferenças de respostas em relação a cultivar utilizada de acordo com as condições submetidas (ARAÚJO et al., 2022).

A partir da análise de trilha é possível compreender correlações diretas e indiretas de uma variável principal e outras determinadas pelo estudo em questão. Referindo-se ao mesmo tipo de análise De Oliveira et al. (2022) ressaltam que a partir de uma compreensão técnica e estatística e por meio de um coeficiente de correlação entre os índices fenológicos, são geradas estimativas que visam compreender melhor a relação entre os índices fenológicos. Verma et al. (2020) concluíram que essas mesmas se proporcionam grande utilidade para identificar as características dos componentes que podem ser usados para melhorar a produtividade.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho é relacionar a produtividade do algodão em pluma e índices fenológicos das plantas, por meio da rede de correlação e análise de trilha.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido no Município de 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. O clima, segundo Köppen e Geiger foi classificado como tropical úmido (Cfa), caracterizado com temperatura média variando entre 14 e 31 °C. A pluviosidade média anual é de 1303 mm. Na Figura 1 está

apresentada a temperatura média mensal do ar e a precipitação mensal durante o período de condução do experimento.

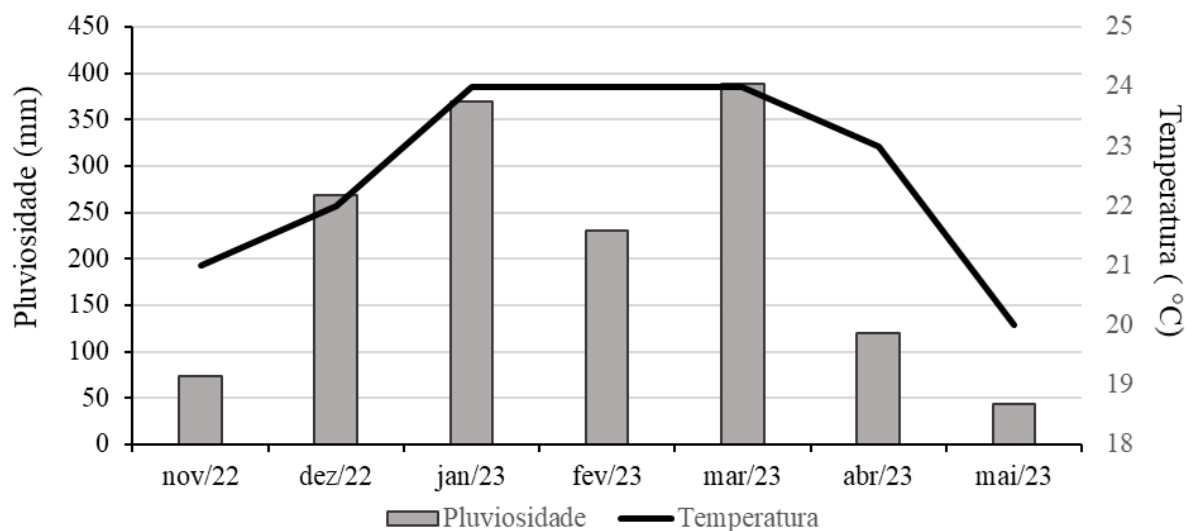


Figura 1. Temperatura média mensal do ar e pluviosidade mensal da área de estudo durante a safra 2022/23.

A escolha da área experimental se baseou na região do talhão onde se observou maior declividade e variações no terreno, com a finalidade de obter maior discrepância de valores dos dados coletados. A área experimental utilizada apresentava solo classificado como Neossolo Quartzarênico com textura arenosa (SANTOS et al., 2018), contendo 12% de argila. Consistiu-se em talhão com área de 60 hectares, onde realizou a semeadura do algodão da cultivar FM 978 6LTP. A semeadura foi realizada em 20 de novembro de 2022, com espaçamento de 90 cm entre linhas, totalizando uma população de 95 mil plantas ha⁻¹.

Foram definidas direções x e y do sistema de coordenadas cartesianas e realizado o estaqueamento de uma malha experimental geoestatística. Os pontos amostrais foram distanciados em 9,9 m, igualmente esquadrejados entre todos os 100 pontos constituintes. A área referente a malha experimental foi de 0,98 ha.

A colheita ocorreu no dia 26 de maio de 2023, totalizando o ciclo da cultivar em 187 dias. A coleta dos dados para o estudo científico foi realizada manualmente seguindo alguns parâmetros para a padronização das análises. Foram colhidas três plantas aleatórias por ponto amostral, cortadas todas rente ao solo. Neste presente estudo oito índices fenológicos foram determinados, sendo eles:

Produtividade do algodão em pluma(PA)

Determinada através da colheita de todos os capulhos (pluma e caroço) de três plantas colhidas aleatoriamente, em cada ponto amostral. O material foi beneficiado, sendo utilizado após esse processo apenas a quantidade de pluma coletada por ponto. Foi pesado o material em uma balança de precisão, determinando 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 à produtividade do algodão em @ ha⁻¹.

Massa total fresca (MT)

Definida pela coleta de três plantas aleatórias por pontos da malha. Foram pesadas com balança de precisão e estabelecida a massa total fresca por ponto em gramas.

Altura (ALT)

Determinada através da colheita aleatória de três plantas em cada ponto amostral. Mediu-se com uma fita métrica da extremidade do corte de coleta da planta até o seu ponto mais distante em relação ao solo. Posteriormente foi somado as medidas e feito uma média aritmética simples das plantas resultando um valor médio por ponto determinado em centímetros.

Largura (LA)

Definida pela coleta de três plantas aleatórias por pontos da malha. Mensurada com uma fita métrica a largura das duas extremidades longitudinais da planta em relação ao solo. Posteriormente foi somado as medidas e feito uma média aritmética simples das plantas resultando um valor médio por ponto determinado em centímetros.

Número de ramos (NR)

Contagem da quantidade de ramos de cada uma das três plantas coleadas por ponto e em seguida realizada uma média aritmética simples para obtenção da quantidade média de ramos por ponto, adimensional.

Diâmetro do caule (DC)

Padronizando a coleta das três plantas constituintes da malha amostral de maneira que a remoção da planta aconteceu rente ao solo, mediu-se com um paquímetro digital o diâmetro

de cada uma das plantas logo na incisão do corte de coleta. Em seguida, foi realizada uma média aritmética simples para obtenção do diâmetro médio do caule, por ponto, em milímetros.

Número de capulhos (NC)

Contagem da quantidade de capulhos de cada uma das três plantas coletadas por ponto e em seguida realizada uma média aritmética simples para obtenção da quantidade média de capulhos por ponto, adimensional.

Altura da inserção do primeiro capulho (AI)

Com uma fita métrica foi mensurado do corte de coleta até o primeiro perfilho onde se desenvolveu, por completo, o primeiro capulho da planta. A coleta do dado foi realizada nas três plantas da malha amostral. Após os aferimentos foi realizado uma média aritmética simples e determinada a altura da inserção do primeiro capulho médio em centímetros.

A rede de correlações, diagnóstico de multicolinearidade entre os índices fenológicos estudados, foram processados no Software RBio (Bhering, 2017). A análise de trilha utilizada neste trabalho foi construída por meio do software GENES (Cruz, 2013). Dessa forma busca-se associações entre diferentes variáveis, excluir possíveis multicolinearidades, aplicando-se um coeficiente $k = 0.05$ ao rodar as análises.

RESULTADOS

Na Tabela 1 está apresentada a análise descritiva dos índices fenológicos de plantas de algodão. A partir destas análises, é possível observar uma variação considerável em relação aos índices fenológicos estudados.

Tabela 1. Análise descritiva dos atributos de plantas de algodão cultivado no município de Paraíso das Águas, MS.

Índices Fenológicos	Médio	Mínimo	Máximo	Desvio padrão
PA	250,36	87,40	594,91	93,9407
MT	882,65	415,00	2330,00	343,0268
ALT	128,72	72,60	165,60	17,4614
LA	74,37	46,30	106,00	13,1790
NR	17,89	12,00	40,30	3,3387
DC	14,42	10,30	38,40	3,2489
NC	21,16	10,30	44,70	6,7169
AI	16,07	4,00	27,80	4,2266
Índices Fenológicos	Variação (%)	Curtose	Assimetria	Pr<w
PA	37,5224	0,9578	0,8634	1,28E-03

MT	38,8633	2,7515	1,4643	3,44E-07
ALT	13,5655	-0,2102	-0,1475	5,51E-02
LA	17,7203	-0,5071	0,2872	2,38E-01
NR	18,6664	18,0679	2,8788	1,19E-10
DC	22,5333	27,2390	4,1004	3,03E-13
NC	31,7480	0,8540	0,9199	3,54E-04
AI	26,2980	0,2345	0,2077	4,86E-01

PA: produtividade do algodão em pluma (@ ha⁻¹.); MT: massa total fresca (g); ALT: altura (cm); LA: largura (cm); NR: número de ramos; DC: diâmetro do caule (mm); NC: número de capulhos; AI: altura de inserção do primeiro capulho (cm). Pr<w: Probabilidade do teste de normalidade de Shapiro & Wilk ao nível de 5% de probabilidade.

Os índices fenológicos de plantas e sua relação com a produtividade do algodão em pluma, foram analisados pela rede de correlação apresentada na Figura 2. Linhas verdes representam correlações positivas. Linhas vermelhas representam correlações negativas. A espessura da linha mede a intensidade da correlação, ou seja, linhas mais grossas possuem correlação forte. Observa-se que a produtividade do algodão em pluma, (PA) apresenta forte correlação, positiva, com número de capulhos (NC) e massa total fresca (MT). Os índices fenológicos NC e MT também apresentam correlação positiva entre si e com a variável largura (LA).

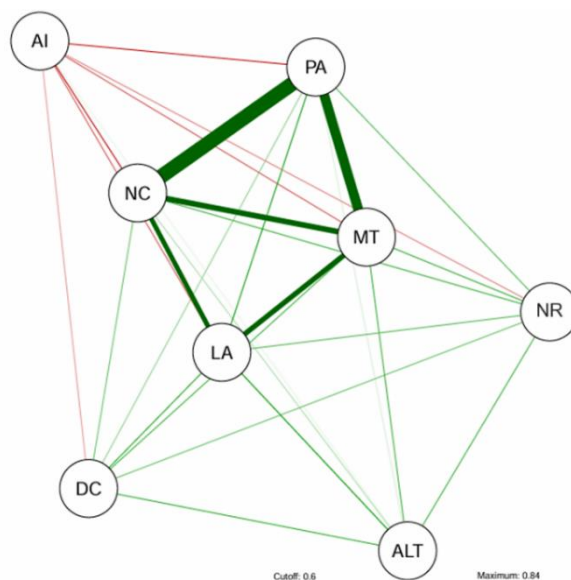


Figura 2. Rede de correlação entre índices fenológicos de planta e produtividade do algodão em pluma. PA: produtividade do algodão em pluma; MT: massa total fresca; ALT: altura; LA: largura; NR: número de ramos; DC: diâmetro do caule; NC: número de capulhos; AI: altura de inserção do primeiro capulho.

A variável produtividade do algodão em pluma (PA) apresenta ainda correlação positiva de baixa magnitude com os índices fenológicos largura (LA), número de ramos (NR) e diâmetro do caule (DC). Porém, a única variável que a PA apresentou correlação negativa foi a altura de inserção do primeiro capulho (AI). Essa verificação indica que, quanto maior a produtividade do algodão, menor a altura de inserção do primeiro capulho. Outro ponto em destaque da Figura 2 é que a variável AI apresentou correlação negativa de baixa magnitude com todos os índices fenológicos estudados, exceto altura (ALT).

Na Figura 3 é apresentado por intermédio de um diagrama, a análise de trilha. Foi feito diagnóstico de multicolinearidade, onde se verificou alto coeficiente. Ao aplicar um fator $k = 0.05$ ao rodar a análise de trilha, a multicolinearidade entre os atributos foi eliminada e evidenciou-se que PA apresenta correlação direta e positiva com NC (0,581) e MT (0,296). A variável PA apresenta ainda correlação direta e negativa com LA (-0,656) e AI (-0,209).

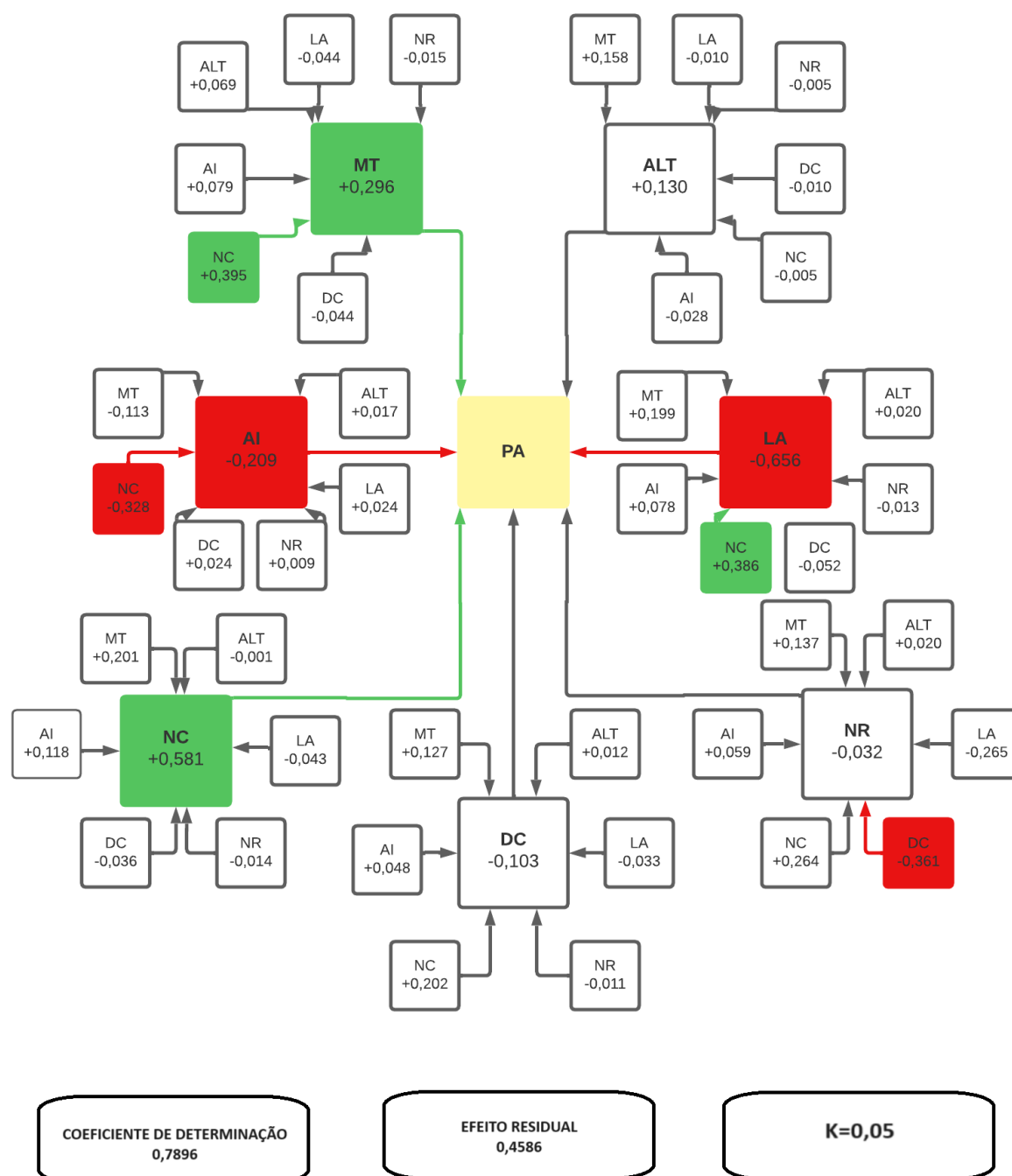


Figura 3. Análise de trilha entre índices fenológicos de planta e produtividade do algodão em pluma. PA: produtividade do algodão em pluma; MT: massa total fresca; ALT: altura; LA: largura; NR: número de ramos; DC: diâmetro do caule; NC: número de capulhos; AI: altura de inserção do primeiro capulho.

Em relação as correlações indiretas, observa-se que PA apresenta correlação indireta positiva com NC, contribuindo para as variáveis MT (0,395) e LA (0,389). Além disso, PA apresenta correlação indireta negativa com DC (-0,381).

O coeficiente de determinação encontrado na análise de trilha (0,7896) indica que a maior parte da variação na variável PA é explicada pelos índices fenológicos NC e MT, fato que se consolida com o baixo efeito residual (0,4586). Dessa forma, entende-se que os resultados encontrados neste trabalho evidenciam que NC e MT são os principais responsáveis pela produtividade do algodão, quando a análise ocorre mediante aos índices fenológicos apresentados pela planta. O NC especificamente, apresenta ainda influência indireta sobre outros índices fenológicos, demonstrando sua íntima relação com a produtividade do algodão.

DISCUSSÃO

A rede de correlação apresentada na Figura 2, demonstra que a produtividade do algodão em pluma, (PA) apresenta forte correlação positiva com número de capulhos (NC) e massa total fresca (MT), sendo que esses índices fenológicos também apresentam correlação positiva com largura (LA). O NC e a MT possuem relação direta com a produtividade porque são os principais produtos obtidos da cotonicultura, uma vez que quanto maior o número de capulhos, maior a produtividade de pluma e quanto maior a massa total fresca das plantas, maior o peso que nelas se encontram, por conta dos capulhos (SINGH et al., 2023).

O capulho é a unidade básica da produtividade do algodão, portanto, aumentar massa dos capulhos é uma forma importante de promover a produtividade do algodoeiro (NIE et al., 2019). A formação das flores e capulhos ocorre por meio do desenvolvimento da planta em resposta as taxas fotossintéticas que promovem o aumento do peso dos capulhos e das plantas através da translocação de fotoassimilados (WANG et al., 2021). Dessa forma, entende-se que a relação entre PA, NC e MT é benéfica e requerida, contribuindo para a produtividade final da cotonicultura.

A correlação negativa entre altura de inserção do primeiro capulho (AI) com PA, NC e MT pode estar relacionada ao fato de, quanto maior AI, menor número de capulhos a planta irá apresentar e consequentemente, menor valor de MT e PA. A altura de inserção do primeiro capulho está diretamente relacionada com o desenvolvimento da cultura em relação a população de plantas escolhida, visto que o adensamento do cultivo altera o desenvolvimento do algodão, gerando alterações na altura de plantas e inserção do primeiro ramo frutífero (PEREIRA et al., 2021).

Neste quesito, é importante fazermos uma reflexão em relação à colheita do algodão. Plantas mais produtivas, apresentam inserção do primeiro capulho mais baixo. Porém a máquina colhedora de algodão possui limitações de altura de colheita, pois a plataforma de colheita muito baixa, pode encostar no chão e contaminar o algodão colhido com impurezas de

terra, pedras, matéria orgânica, entre outros. Souza et al. (2021) descrevem que a colheita é um dos processos mais importantes dentro da cadeia produtiva algodoeira, sendo o período de maior exposição a intempéries climáticas, poeira e deposição de partículas de folhas e outros materiais, que podem provocar a redução da qualidade da fibra e favorecer a perda de pluma.

A resposta das plantas ao adensamento é o estiolamento pela busca de luminosidade, onde destaca-se a importância do uso de reguladores de crescimento para minimizar o crescimento exagerado e abortamento de botões florais que prejudicam a produtividade (WANG et al., 2023). Segundo Rossi et al. (2020) a utilização de reguladores de crescimento inibe a biossíntese de ácido giberélico, proporcionando redução no porte das plantas e maior manipulação da arquitetura para obtenção de condições adequadas de cultivo e de colheita. Todavia, a aplicação no momento inadequado pelas condições de cultivo, pode proporcionar menor eficiência na utilização do regulador de crescimento, ocasionando aumento na altura de plantas e aumento na altura de inserção do primeiro capulho e assim, reduzindo a produtividade esperada, como observado nos resultados deste trabalho.

A análise de trilha mensura a influência direta e indireta de variável sobre outra variável, independente das demais (Figura 3). Os índices fenológicos NC e MT influenciam diretamente a PA de forma positiva, enquanto os índices fenológicos AI e LA influenciam PA diretamente de forma negativa. A variável NC apresenta maior correlação com PA, o que é esperado, uma vez que o número de capulhos está diretamente relacionado com a quantidade de fibras e PA. A variável NC influencia indiretamente a variável MT, que por sua vez influencia diretamente PA. Essa correlação também é esperada, visto que o número de capulhos influencia a massa total fresca das plantas. A quantidade e massa dos capulhos influenciam a produtividade, resultado que corrobora com o encontrado por Wang et al. (2023), onde o autor relacionou o fato ao avanço de técnicas de cultivo e ao melhoramento genético, que melhoram o ganho genético e contribuem para o aumento da produtividade.

O atributo AI influencia negativamente a PA. Todavia, o atributo NC exerce influência indireta sobre AI, o que indica que esses índices fenológicos estão relacionados. Apesar da variável largura (LA) influenciar negativamente PA, os resultados indicam que LA sofre influência indireta da variável NC, resultado que é esperado, uma vez que quando maior LA, maior NC. O índice fenológico PA não foi influenciado por NR. Porém, PA sofre influência indireta do diâmetro do caule (DC), resultado que pode ser relacionado ao fato de, quanto menor DC, menor NR e NC, prejudicando PA.

As correlações negativas indicam que o ambiente favorece uma característica em relação a outra, assim como correlações positivas evidenciam a obtenção de ganho ao selecionar

uma determinada característica (CRUZ et al., 2013). Ou seja, é possível obter ganhos na produtividade ao selecionar NC e MT, por possuírem correlação direta e positiva com PA e indireta positiva entre eles.

Portanto, a principal resultado deste trabalho se encontra na utilização da análise de trilha para identificar a correlação entre os índices fenológicos de planta NC e MT como os principais influenciadores sobre a produtividade do algodão. Da mesma forma que AI e LA exercem influência negativa sobre a produtividade. Perspectivas futuras se baseiam na possibilidade de analisar como os índices fenológicos das fibras podem estar relacionados com a produtividade do algodão.

CONCLUSÃO

Os índices fenológicos número de capulhos e massa total fresca da planta de algodão são os principais índices fenológicos que influenciam positivamente a produtividade do algodão em pluma.

A altura de inserção do primeiro capulho é o principal atributo que influencia negativamente a produtividade do algodão em pluma.

REFERÊNCIAS

- ABRAPA. Associação Brasileira dos Produtores de Algodão. **Abrapa elevou a estimativa da produção da safra de algodão 2022/2023**. Out. 2023. Disponível em: <<https://abrapa.com.br/2023/10/04/abrapa-elevou-a-estimativa-de-producao-da-safra-de-algodao-2022-2023/>>. Acesso em: 15 jan. 2024.
- ARAÚJO, A. F. B.; CAVALCANTE, E. S.; LACERDA, C. F.; DE ALBUQUERQUE, F. A.; DA SILVA SALES, J. R.; LOPES, F. B.; GHEYI, H. R. Fiber quality, yield, and profitability of cotton in response to supplemental irrigation with treated wastewater and NPK fertilization. **Agronomy**, v. 12, n. 10, p. 2527, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12102527>
- BHERING, L. L. Rbio: A Tool For Biometric And Statistical Analysis Using The R Platform. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, p. 187-190, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1984-70332017v17n2s29>
- CONAB. Companhia Nacional De Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos 2023/24**. 4 levantamento. 2024. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>. Acesso em: 15 jan. 2024.
- CRUZ, C. D. Genes: A Software Package for Analysis in Experimental Statistics and Quantitative Genetics. **Acta Scientiarum: Agronomy**, v. 35, p. 271 -276, 2013. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v35i3.21251>
- JAMALI, H. NACHIMUTHU, G.; PALMER, B.; HODGSON, D.; HUNDT, A.; NUNN, C.; BRAUNACK, M. Soil compaction in a new light: Know the cost of doing nothing – A cotton

- case study. **Soil and Tillage Research**, v. 213, e105158, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105158>
- MOURA, L.; LANDAU, E. C.; DA SILVA, G. A. Evolução da produção de algodão herbáceo (*Gossypium hirsutum*, Malvaceae). 2020. In: LANDAU, E. C.; SILVA, G. A. da; MOURA, L.; HIRSCH, A.; GUIMARAES, D. P. (Ed.). **Dinâmica da produção agropecuária e da paisagem natural no Brasil nas últimas décadas**: produtos de origem vegetal. Brasília, DF: Embrapa, 2020. v. 2, cap. 10, p. 265-294. ISBN 978-65-87380-03-2 v.2
- NIE, J. J.; YUAN, Y. C.; QIN, D. L.; LIU, Y. H.; WANG, S. L.; LI, J. P.; SUN, X. Z. Spatial distribution of bolls affects yield formation in different genotypes of Bt cotton varieties. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 18, n. 11, p. 2492-2504, 2019. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(19\)62617-1](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(19)62617-1)
- OLIVEIRA, J. T. D. D.; OLIVEIRA, R. A. D.; CUNHA, F. F. D.; SILVA, P. A.; TEODORO, P. E. Commercial classification of peanuts based on pod physical characteristics. **Engenharia Agrícola**, v. 2, n. 5, e20220018, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v42n5e20220018/2022>
- OLIVEIRA, R. M.; OLIVEIRA, R. A.; CASTRO, T. R.; BOTELHO, M. E.; RODRIGUES, R. D.; PLAZAS, G. M. R.; OLIVEIRA, J. Analise de trilha do teor de fósforo nos diferentes constituintes do milho irrigado. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 2, e16811225568, 2022. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i2.25568>
- PEREIRA, C. S.; CARNELUTTI, H. L.; FIORINI, I. V.; PEREIRA, H. D.; SILVA, A. A. Development of cotton crop in diferentes populations of plants. **Scientific Electronic Archives**, v. 14, n. 12, p. 24-31, 2021. DOI: <https://doi.org/10.36560/141220211427>
- ROSSI, A. C. M.; SOUZA, E. R. C.; SILVA, M. G. Plant growth regulator in cotton crop (*Gossypium hirsutum* L.). **Research, Society and Development**, v. 9, e821997951, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i9.7951>
- SANTOS, H. D.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; DE OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed., ver. e ampl. Brasília, DF: EMBRAPA, 2018. 355 p. ISBN: 13, 978-8570358004
- SINGH, N.; TEWARI, V. K.; BISWAS, P. K.; DHURUW, L. K. Lightweight convolutional neural network models for semantic segmentation of in-field cotton bolls. **Artificial Intelligence in Agriculture**, v. 8, p. 1-19, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2023.03.001>
- SOUZA, E. C. M.; DE SOUZA, Í. P.; RUFFATO, S. Perdas quantitativas e qualidade do algodão: influência do atraso na colheita e inserção do capulho na planta. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 10, e423101018781-e423101018781. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i10.18781>
- VERMA, V.; YADAV, M. S.; KUMAR, A.; GATHIYE, G. S. Correlation and path analysis for seed yield and components traits in maize (*Zea mays* L.). **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 9, n. 1, p. 2278-2280, 2020. E-ISSN: 2278-4136
- WANG, Y.; CHEN, M.; LIANG, F.; TIAN, J.; ZHANG, Y.; JIANG, C.; ZHANG, W. Photosynthates competition within the boll–leaf system is alleviated with the improvement of photosynthetic performance during the succession of Xinjiang cotton cultivars. **Industrial Crops and Products**, v. 160, p. 113121, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.113121>
- WANG, Y.; LV, Q.; TIAN, J.; ZHANG, Y.; JIANG, C.; ZHANG, W. The high genetic yield of Xinjiang cotton is associated with improvements in boll-leaf system photosynthesis. **Field Crops Research**, v. 304, p. 109176, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.109176>

CAPÍTULO 2 - VARIABILIDADE ESPACIAL DOS ÍNDICES FENOLÓGICOS DE PLANTA DE ALGODÃO.

RESUMO:

A cultura do algodão sobre uma análise internacional é a commodity com maior importância no mercado. O objetivo do trabalho é realizar o mapeamento e avaliar a correlação existente entre a produtividade do algodão em pluma e as características da planta. Uma malha geoestatística regular foi acomodada no talhão cultivado com algodão. A partir de coordenadas cartesianas 100 pontos foram distribuídos por cinco sessões de 20 pontos, esquadrejados em 9,9 m x 9,9 m. Suas dimensões detinham uma área total de 0,98 ha. Os índices fenológicos estudados foram: produtividade do algodão em pluma (PA); massa total fresca da planta de algodão (MT); altura da planta de algodão (ALT); largura da planta de algodão (LA); número de ramos na planta de algodão (NR); diâmetro do caule da planta de algodão (DC); número de capulhos na planta de algodão (NC); altura da inserção do primeiro capulho na planta de algodão (AI). O mapeamento de áreas produtoras de algodão permite avaliar a correlação existente entre a produtividade e variáveis da planta. A produtividade do algodão em pluma está diretamente relacionada, de forma positiva, ao número de capulhos e, de forma negativa, à altura de inserção do primeiro capulho em plantas de algodão.

Palavras-chave: Correlação espacial, geoestatística, *Gossypium hirsutum* L., malha amostral, ponto amostral.

INTRODUÇÃO

A cultura do algodão (*Gossypium hirsutum* L.), sobre uma análise internacional é a commodity com maior importância no mercado. Sua utilização é ampla desde o papel na indústria têxtil pela sua fibra até pelos seus derivados com óleo e caroço que, por exemplo, podem ser utilizados na alimentação animal. Para Dias e Santos (2023) o algodoeiro é a planta com maior aproveitamento.

Segundo dados da Conab (2024) para a safra 2023-2024 o Brasil possui uma área plantada de 1.766 mil hectares, um aumento de 6,2% em relação à safra anterior. Em contrapartida a este dado acrescido, tanto a produtividade quanto a produção detêm de projeções negativas para essa safra, respectivamente de -8,0% e -2,3%. Entende-se que fatores naturais tendem a serem atribuídos a essas quedas nas projeções.

O principal precedente analisado é a chegada do fenômeno natural El Niño. Segundo Moura et al. (2019) é um fenômeno atmosférico-oceânico sazonal em que o aquecimento ocorre além das

temperaturas normais das águas superficiais na posição equatorial do Oceano Pacífico, alterando os padrões de vento, precipitação e temperaturas médias da América do Sul. Lin e Qian (2019) explicam que esse fenômeno provoca falta de chuvas na região subtropical brasileira e excesso de chuvas nas regiões tropicais e equatoriais brasileiras. Sobre todos esses fatores os estudos científicos conseguem prever ou explicar essas alterações no percurso da safra, na maioria das vezes, a partir de ferramentas de análises computacionais.

A geoestatística é uma ferramenta da agricultura de precisão (AP), que juntamente com boas práticas de manejo, permite o melhoramento dos sistemas produtivos (OLIVEIRA et al., 2024). Esta ferramenta permite um melhor entendimento sobre as características e propriedades de determinado local, auxiliando na tomada de decisão por meio do diagnóstico e aperfeiçoamento do que ocorre na área estudada (MONTANARI et al., 2015).

Compreender e analisar características de uma planta e relacioná-las com o seu desenvolvimento geram dados consideráveis durante toda uma safra. Por exemplo, atributos físicos coletados próximos a data de colheita podem dar explicações a eventos ocorridos que compuseram o ciclo de uma cultura. Sousa et al. (2020) explicam que a geração e difusão do conhecimento são componentes de um processo, que começa com o produtor, diagnosticando os problemas a serem pesquisados, posteriormente, passa pela experimentação; prossegue com teste da tecnologia gerada e conclui-se com a incorporação de tecnologia aos sistemas de produção em uso pelos produtores rurais.

Com base em técnicas e análises provenientes da agricultura de precisão é possível compreender uma lavoura de uma forma multiespectral proporcionada pela geoestatística. Montanari et al. (2015) e Oliveira et al. (2024) explicam que através da interpolação simples de dados (krigagem) e a interpolação cruzada (cokrigagem) entre características da planta vs. qualquer outra característica servem de base para estimar a variabilidade espacial de uma determinada variável por meio de outra facilmente mensurável. Variabilidade essa que pode induzir a resultados correlativos entre a produtividade e determinados índices fenológicos do algodão.

Assim, o objetivo do trabalho é realizar o mapeamento e avaliar a correlação existente entre a produtividade do algodão e as características da planta por meio da interpretação de semivariogramas simples e cruzados e seus respectivos mapas de krigagem e possíveis cokrigagens.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em um talhão pertencente a área agricultável da Fazenda Indaiá II. Propriedade localizada no Município de Paraíso das Águas, Mato Grosso do Sul com coordenadas geográficas: latitude 19°1'33" S, longitude 53°0'37" O e altitude de 608 m. Na determinada região as temperaturas médias apresentam variação entre 14 e 31 °C, sendo classificado o clima, segundo

Köppen e Geiger, como tropical úmido (Cfa). A pluviosidade média anual é de 1303 mm. A Figura 1 apresenta a pluviosidade e precipitação durante o período da condução do experimento.

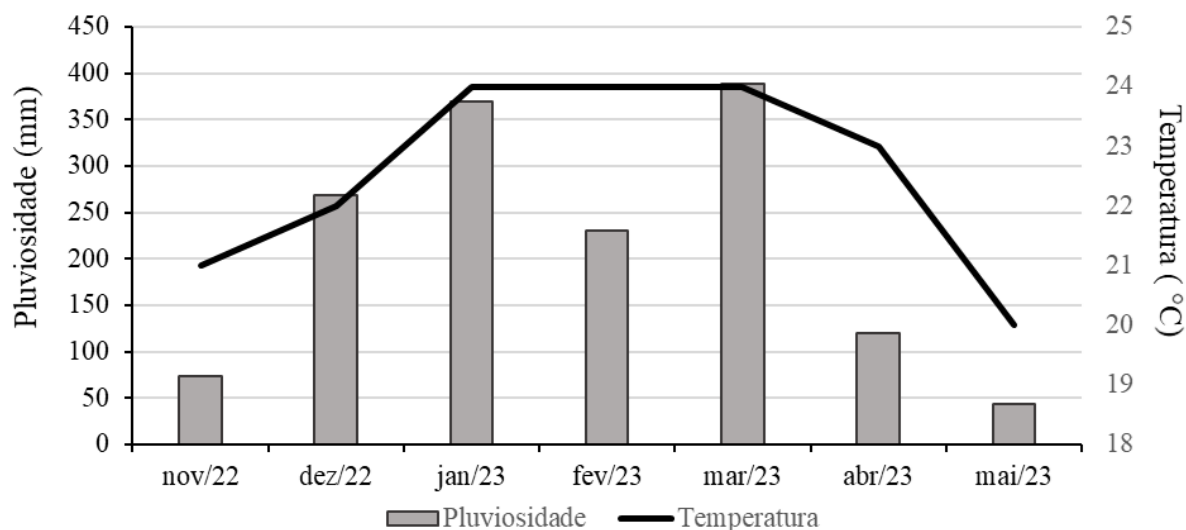


Figura 1. Temperatura e pluviosidade média da área de estudo durante a safra 2022/23.

Sobre o talhão (denominado de número 41) com área total de 61,22 hectares o experimento foi instalado. O solo, de textura arenosa, foi classificado como Neossolo Quartzarênico (Santos et al., 2018) e as informações sobre as características físico-hídricas do solo estão apresentados na Tabela 1.

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

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

Cc: capacidade de campo; PM: Ponto de murcha permanente de planta.

Uma malha geoestatística regular foi acomodada no talhão designado. A partir de coordenadas cartesianas 100 pontos foram distribuídos por cinco sessões de 20 pontos, esquadrejados em 9,90 m x 9,90 m. Suas dimensões detinham uma área total de 0,98 ha.

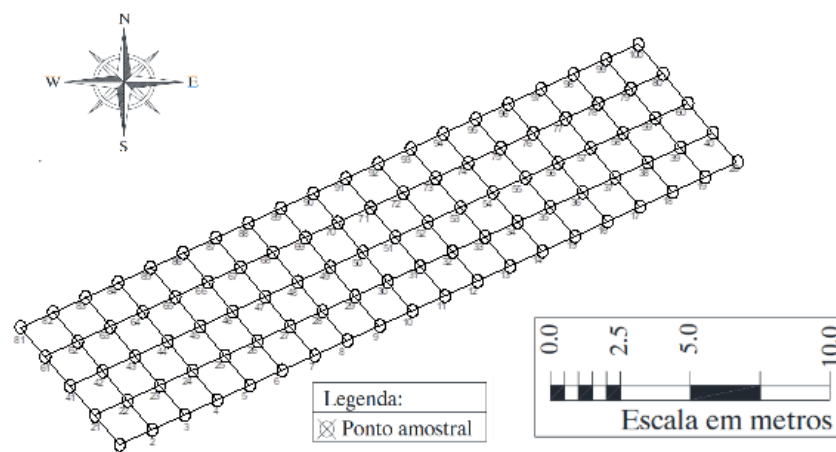


Figura 2. Malha amostral com 100 pontos, da área experimental na Fazenda Indaiá II, localizada no município de Paraíso das Águas, MS.

A semeadura foi realizada em 20 de novembro de 2022, com espaçamento entre linhas de 90 cm, totalizando uma população de 95 mil plantas ha^{-1} de sementes de algodão A cultivar utilizada foi a FM 978 6LTP (rendimento de fibra de 40 a 43% e 4,4 g de peso de capulho), denominada de ciclo longo. A colheita para retirada dos dados ocorreu dia 26 de maio de 2023 totalizando o ciclo com 187 dias. Foram retiradas três plantas aleatoriamente ao redor de cada ponto designado e posteriormente a partir das mesmas foram retirados os dados para o estudo. Totalizados em oito, os índices fenológicos descritos abaixo compõem o presente estudo:

Produtividade do algodão em pluma (PA)

A partir da colheita aleatória de três plantas por ponto retirou-se a composição de pluma caroço e sujeira. O conteúdo da amostra total foi pesado em balança de precisão e posteriormente convertidos de gramas por planta para arroba (@). Finalmente o resultado foi multiplicado por hectares, determinando a produtividade em $@ \text{ha}^{-1}$.

Massa total fresca da planta de algodão (MT)

Coletadas três plantas por ponto amostral, posteriormente pesadas em balança de precisão. Unidade de medida do atributo determinada em gramas.

Altura da planta de algodão (ALT)

Três plantas colhidas por ponto foram mensuradas, com auxílio de uma fita métrica, da sua extremidade do corte de coleta até seu ponto mais distante em relação ao solo. Seus

respectivos valores foram somados e divididos em uma simples média aritmética. Unidade de medida do atributo determinada em centímetros.

Largura da planta de algodão (LA)

Analizada a largura das duas extremidades longitudinais em relação ao solo de cada uma das três plantas coletadas. Posterior a mensuração os valores foram somados e divididos a partir de uma média aritmética simples. Unidade de medida do atributo médio por ponto determinada em centímetros.

Número de ramos na planta de algodão (NR)

Realizada uma contagem do número de ramos das três plantas coletadas por amostra seguida de uma soma e média aritmética simples para a determinação adimensional do número de ramos por ponto.

Diâmetro do caule da planta de algodão (DC)

Padronizando a coleta rente ao solo das três plantas por ponto, foi mensurado com o auxílio de um paquímetro digital o diâmetro respectivo de cada uma. Os valores já somados foram divididos aritmeticamente obtendo, em milímetros, o diâmetro médio do caule por ponto.

Número de capulhos na planta de algodão (NC)

Contagem do número de capulhos de cada uma das três plantas pertencentes a cada ponto. Posteriormente uma média aritmética simples foi realizada para obtenção da quantidade média de capulhos por ponto, adimensional.

Altura da inserção do primeiro capulho na planta de algodão (AI)

Mensurado com o auxílio de uma fita métrica, a distância do corte de coleta (padronizado rente ao solo) até o perfilho que se deu o desenvolvimento do primeiro capulho da planta. Uma média aritmética simples dos dados das três plantas analisadas por ponto proporcionou valores da altura em centímetros.

Análise dos dados

Os mapas de classes foram gerados por krigagem e cokrigagem no software GS+ versão 7.0. A correlação entre mapas ou correlação espacial foi realizada após construção do padrão espacial das variáveis de estudo. Utilizou-se o arquivo de saída do software sem a perda da posição espacial dos dados.

RESULTADOS

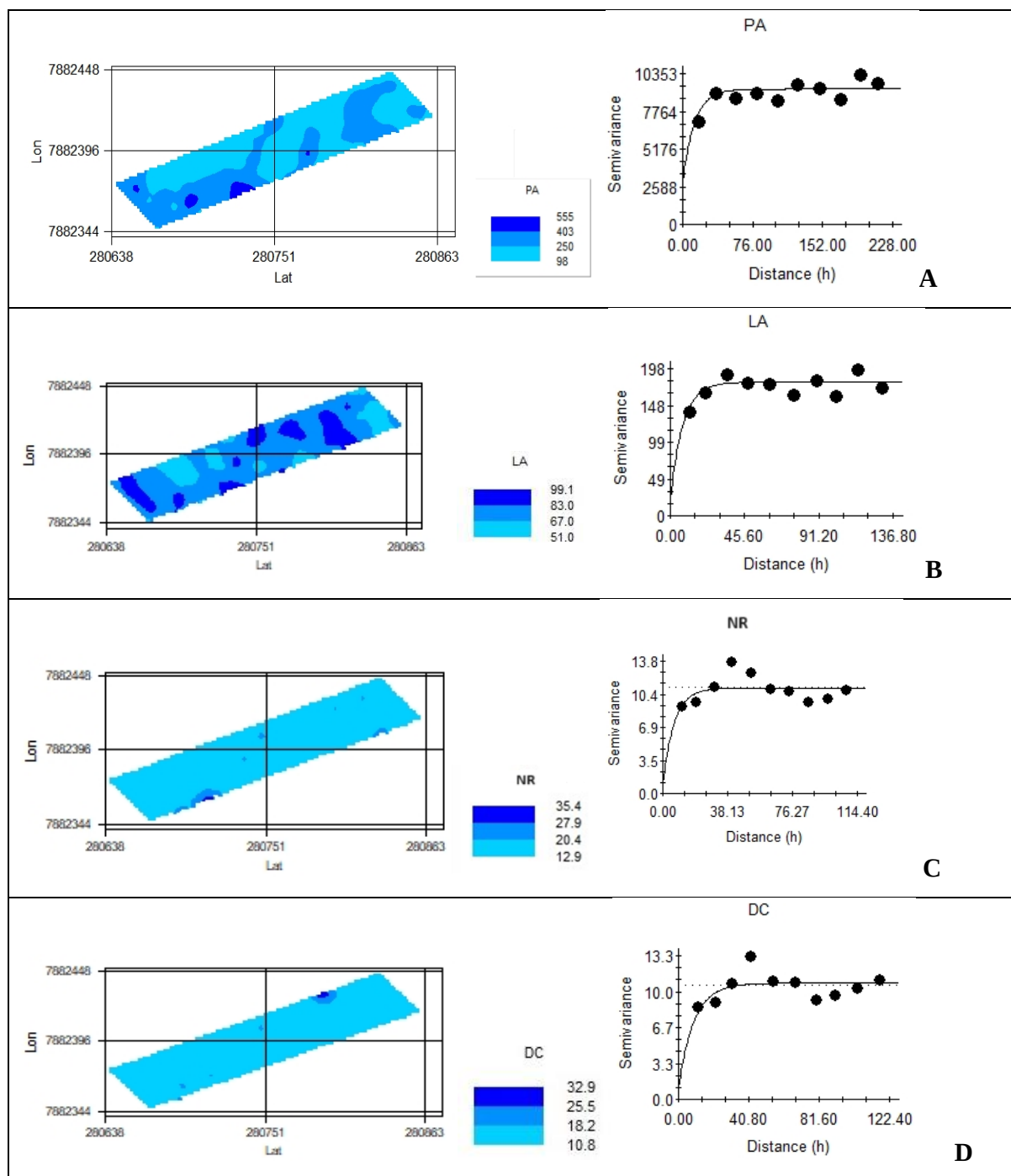
A Tabela 2 apresenta as análises geoestatísticas dos semivariogramas simples dos índices fenológicos e dos semivariogramas cruzados, evidenciando a correlação positiva entre a produtividade do algodão em função do número de capulhos ($PA = f(NC)$) e correlação negativa entre produtividade do algodão em função da altura de inserção do primeiro capulho ($PA = f(AI)$).

Tabela 2. Parâmetros estimados para o semivariograma simples e cruzados dos componentes em relação as variáveis produtividade do algodão em pluma (PA), massa total fresca (MT), altura (ALT), largura (LA), número de ramos (NR), diâmetro do caule (DC), número de capulhos (NC), altura de inserção do primeiro capulho (AI) em plantas de algodão cultivadas no município de Paraíso das Águas, MS.

Atributo	DAL	Intervalo	Ajuste	Efeito Pepita	Patamar	Alcance (m)	r^2
PA	228	22.8	Exp	2900	9300	38	0.592
MT	x	x	EPP	x	x	x	x
ALT	x	x	EPP	x	x	x	x
LA	136,8	13,6	Exp	2200	18000	23	0,537
NR	114,4	11,4	Exp	1000	11000	20	0,238
DC	122,4	12,2	Exp	1100	10800	27	0,299
NC	114,4	11,4	Esf	20000	45000	33	0,577
AI	109,0	10,9	Gau	1,5	18	23	0,824
PA=f(NC)	127,4	12,7	Esf	248	530	37	0,667
PA=f(AI)	180,0	18,0	Esf	-145	-280	150	0,820

Atributo	SQR	ADE (%)	Classe	Nº vizinhos	a	b	r^2 (validação cruzada)
PA	2911235	0.688	Moderado	64	52.67	0.79	0.123
MT	x	x	x	x	x	x	x
ALT	x	x	x	x	x	x	x
LA	1140	0,878	Forte	64	0,257	2,58	0,141
NR	14,7	0,909	Forte	26	0,504	8,88	0,027
DC	11,8	0,898	Forte	16	0,329	9,66	0,019
NC	110	0,556	Moderado	20	0,879	2,48	0,198
AI	29	0,917	Forte	64	0,398	9,63	0,096
PA=f(NC)	11716	0,532	Moderado	42	0,48	129,00	0,105
PA=f(AI)	3761	0,482	Moderado	40	0,48	129,47	0,105

Observa-se na Tabela 2 que os índices fenológicos MT e ALT apresentaram efeito pepita puro, ou seja, não apresentaram dependência espacial entre os pontos amostrados. A Figura 3 apresenta os semivariograma simples, além dos mapas de krigagem das variáveis estudadas em relação a produtividade do algodão.



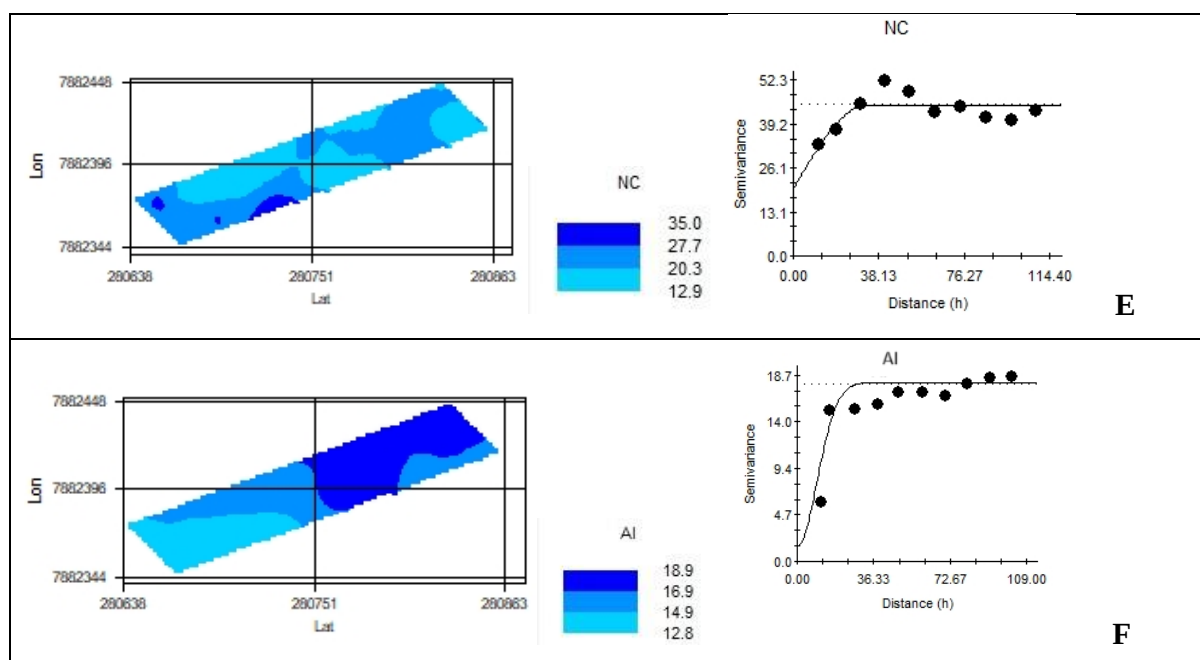


Figura 3. Mapas de krigagem e semivariogramas simples. (A) Produtividade do algodão em pluma (@ ha^{-1}), (B) Largura da plantas de algodão (cm), (C) Número de ramos na planta de algodão, (D) Diâmetro de caule da planta de algodão (mm), (E) Número de capulhos na planta de algodão, (F) Altura de inserção do primeiro capulho na planta de algodão (cm), em plantas cultivadas no município de Paraíso das Águas, MS.

As variáveis número de ramos (NR) e diâmetro do caule (DC) apresentam baixa variabilidade na área estudada (Figura 3C e 2D). O número de capulhos (NC) (Figura 3E) apresenta variabilidade na área estudada, com maior parte dos valores variando entre 20.3 e 35 capulhos. Observa-se ainda que a área de maior quantificação de capulhos é similar a área de maior produtividade encontrada na Figura 3A, o que pode estar relacionado a correlação entre ambas as variáveis.

A variável altura de inserção do primeiro capulho (AI) (Figura 3F) apresenta áreas de maior altura de inserção à noroeste do mapa apresentado, que coincidem com os locais de média e baixa produtividade da Figura 3A, motivo pelos quais as variáveis se encontram correlacionadas.

A Figura 4 apresenta os semivariogramas cruzados, além dos mapas de cokrigagem da produtividade do algodão em pluma sobre função do NC e AI. Em relação a variável produtividade, observa-se que a maior parte das áreas apresentou produtividade entre 144 e 357 @ ha^{-1} , com locais pontuais alcançando produtividade de 467 @ ha^{-1} (Figura 3A e Figuras 4A e 4B).

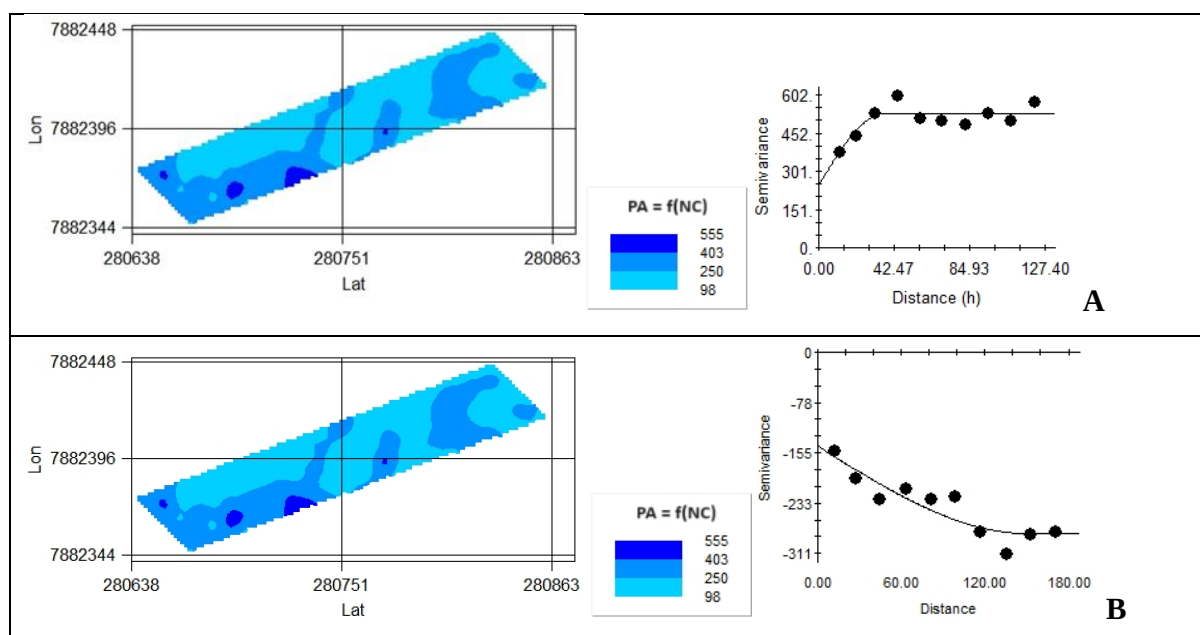


Figura 4. Mapas de cokrigagem e semivariogramas cruzados da produtividade do algodão em pluma (@ ha⁻¹) em função do número de capulhos (A) e da altura de inserção do primeiro capulho na planta de algodão (B), em plantas cultivadas no município de Paraíso das Águas, MS.

As Figuras 4A e 4B apresentam a correlação entre a produtividade do algodão em função de número de capulhos ($PA = f(NC)$) e produtividade do algodão em pluma em função da altura de inserção do primeiro capulho ($PA = f(AI)$), respectivamente. Nas figuras é possível observar a correlação positiva entre PA e NC, e negativa entre PA e AI. Essa correlação relaciona-se ao fato de o número de capulhos ser uma variável utilizada para estimar a produtividade, enquanto a altura de inserção relaciona-se a produção de capulhos e quando maior a altura de inserção do primeiro capulho, menor o número de capulhos na planta e consequentemente, menor a produtividade da área.

Dessa forma, observa-se que é possível realizar o mapeamento de áreas produtoras de algodão e avaliar a relação entre a produtividade e as variáveis da planta.

DISCUSSÃO

A agricultura de precisão tem grande potencial para contribuir com a análise de variáveis do algodão. A partir do mapeamento de áreas produtoras é possível estimar a produtividade da cultura a partir da análise de seus índices fenológicos (TREVISAN et al., 2021).

A análise dos índices fenológicos de forma isolada permite conhecer os locais onde há maior e menor quantificação (Figura 3). Ao observar a largura de plantas de algodão (LA)

observa-se o efeito pepita puro, onde essa variável apresenta ausência de dependência espacial, onde observa-se diferença entre amostras com maior proximidade em microrregiões (YAMAMOTO; LANDIM, 2013). Aliado a isso, os índices fenológicos arquitetônicos da planta, como LA, são de grande importância agrônoma porque influenciam a colheita e o potencial de rendimento do algodão, uma vez que o algodão é uma planta perene indeterminada cultivada como cultura anual (ASIIMWE et al., 2013).

Ao observar as variáveis número de ramos (NR) e diâmetro de caule da planta de algodão (DC) (Figura 3C e 3D), nota-se que ambas as variáveis também estão relacionadas a arquitetura da planta e sua influência no desenvolvimento e produtividade. Segundo Asiimwe et al. (2013), a arquitetura pode afetar significativamente a distribuição e penetração de luz na copa e assim, alterar o crescimento das plantas, o crescimento lateral e biomassa, a distribuição de capulhos e potencial de rendimento. Nas últimas décadas, o melhoramento genético desenvolveu genótipos com processos substanciais no desenvolvimento da cultura, tanto em relação ao rendimento, como altura de plantas e facilidade de manejo (ADAMS et al., 2019). Todavia, além do material genético utilizado, o ambiente também exerce influência sobre as plantas, o que pode explicar os resultados encontrados em relação a LA, NR e DC.

Ao analisar os índices fenológicos isolados em relação a produtividade, observa-se a existência de coincidência entre locais do mapa de krigagem (Figura 3A, 2E e 3F). A variável número de capulhos (NC) apresenta pontos de maior ocorrência de alto número de capulhos (Figura 3E), que coincidem com pontos de maior produtividade (Figura 3A), relação que posteriormente é apresentada na Figura 4A. A quantidade de capulhos produzidos por plantas de algodão sofre influência do manejo e sistema de produção, mas estão fortemente relacionados a cultivar utilizada, visto que as cultivares mesmo apresentando seu máximo potencial genético, sofrem influência do ambiente em que se encontram (GOMES et al., 2020).

O algodão é uma importante cultura de fibras, utilizada em diversos segmentos da indústria pela diversa gama de produtos e subprodutos obtidos (ABBAS et al., 2023). A produtividade do algodão é obtida a partir de diversos parâmetros observados, como o número de capulhos (SHAH et al., 2020). Todavia, o número de capulhos é resultado da cultivar utilizada e do manejo realizado durante a produção agrícola, que são fatores que influenciam significativamente tanto o crescimento das plantas, quanto a produtividade obtida no final do cultivo (GOMES et al., 2020).

A altura do algodão (AL) é uma variável controlada ao longo do ciclo por meio das aplicações de fitormônios, visando minimizar o crescimento exagerado da cultura, sendo essas aplicações planejadas para minimizar a dosagem excessiva ou insuficiente de reguladores de

crescimento (ANDREA et al., 2023). Oliveira et al. (2023) estudando a distribuição espacial de índices fenológicos físicos do solo e correlacionando com a produtividade, observaram que plantas com maiores alturas tendem a ter maior produtividade. A altura de inserção do primeiro capulho (AI) por sua vez, é uma variável estudada para estimar a produtividade da cultura, de forma que, quando maior a altura de inserção do primeiro capulho, menor a produtividade observada, conforme Figura 3F e 3A. Essa relação inversamente proporcional ocorre devido a diminuição do número de capulhos na planta, diminuindo o rendimento e produtividade (ABBAS et al., 2023). Além disso, a altura de inserção do primeiro capulho em plantas de algodão afeta o manejo agrônomo e a mecanização, impactando a produtividade, uma vez que haverá perdas na colheita por conta da altura de inserção do primeiro capulho, que, ao ser mais elevado que o esperado, não pode ser alterado nas máquinas agrícolas e ocasiona prejuízo de investimento, tempo e produtividade (ZHOU et al., 2024).

O entendimento da relação entre variáveis permite a tomada de decisão em relação a possíveis alternativas para impulsionar a produtividade. A utilização de técnicas de mapeamento de áreas e análise de índices fenológicos, facilitam a avaliação dos dados de forma rápida e precisa (ANDREA et al., 2023). Além disso, com a utilização dos mapas é possível a aplicação de reguladores de crescimento em taxas variáveis, minimizando a utilização de produtos e recursos financeiros para controle do crescimento da cultura.

As descobertas encontradas nesse trabalho demonstram a relação da produtividade com o número de capulhos e altura de inserção do primeiro capulho. Observa-se que quanto maior o número de capulhos, maior a produtividade, enquanto a relação da produtividade e altura de inserção do primeiro capulho é inversamente proporcional. A utilização de mapas permite a identificação de áreas com maior produtividade e de diversas variáveis estudadas na cultura do algodão. Perspectivas futuras se baseiam na possibilidade de estudar outras áreas e lapidar outras variáveis que possam ser usadas na predição da produtividade do algodoeiro.

CONCLUSÃO

O mapeamento de áreas produtoras de algodão permite avaliar a correlação existente entre a produtividade do algodão em pluma, e variáveis da planta.

A produtividade do algodão em pluma, está diretamente relacionada, de forma positiva, ao número de capulhos e, de forma negativa, à altura de inserção do primeiro capulho em plantas de algodão.

REFERÊNCIAS

- ABBAS, A.; SATTAR, A.; UL-ALLAH, S.; SHER, A.; IJAZ, M.; ABBAS, T.; HODHOD, M. S. Foliar application of silicon and boron improves boll retention, lint yield and fiber quality traits of transgenic cotton. **Journal of King Saud University – Science**, v. 35, n. 8, e102858, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2023.102858>
- ADMS, C.; THAPA, S.; KIMURA, E. Determination of a plant population density threshold for optimizing cotton lint yield: A synthesis. **Field Crops Research**, v. 230, p. 11-16, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.10.005>
- ANDREA, M. C. S.; OLIVEIRA NASCIMENTO, J. P. F.; MOTA, F. C. M.; DE SOUZA OLIVEIRA, R. Predictive framework of plant height in commercial cotton fields using a remote sensing and machine learning approach. **Smart Agricultural Technology**, v. 4, e100154, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100154>
- ASIIMWE, R. K.; ANDRADE-SANCHEZ, P.; WANG, G. Plant architecture influences growth and yield response of upland cotton to population density. **Field Crops Research**, v. 145, p. 53059, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.02.005>
- COÊLHO, J. D. **Agropecuária: Algodão**. 8 ed. Fortaleza: BNB, 2023. Disponível em: <<https://bnb.gov.br/s482-dspace/handle/123456789/1748>>. Acesso em: 22 fev. 2024.
- CONAB - COMANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília, DF, v. 11, safra 2023/24, n. 4 quarto levantamento, janeiro 2024.
- DIAS, A. S.; SANTOS, C. C. O cultivo do algodão de ponta a ponta: manejo fitotécnico, nutricional e fisiológico. **Editora Licuri**, p. 73-100, 2023. DOI: <https://doi.org/10.58203/Licuri.20106>
- GOMES, V. V.; VILETE, V. F.; DO NASCIMENTO, W. P.; DE OLIVEIRA, C. P.; AGUIRRE, T. R.; DA FONSECA, J. N.; AMANTE, L. G. S Evaluation of nitrogen fertilization in cotton crop productivity in the amazon region. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, p. 64460-65569, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n9-036
- LIN, J.; QIAN, T. Switch between el nino and la nina is caused by subsurface ocean waves likely driven by lunar tidal forcing. **Scientific reports**, v. 9, n. 1, p. 13106, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-49678-w>
- MONTANARI, R.; PANACHUKI, E.; LOVERA, L. H.; CORREA, A. R.; OLIVEIRA, I. S.; QUEIROZ, H. A.; TOMAZ, P. K. Variabilidade Espacial da Produtividade de Sorgo e de Atributos do Solo na Região do Ecótono Cerrado-Pantanal, MS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 39: p. 385 – 396, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140215>.
- MOURA, M. M.; DOS SANTOS, A. R.; PEZZOPANE, J. E. M.; ALEXANDRE, R. S.; DA SILVA, S. F.; PIMENTEL, S. M.; DE CARVALHO, J. R. Relation of El Niño and La Niña phenomena to precipitation, evapotranspiration and temperature in the Amazon basin. **Science of the Total Environment**, v. 651, p. 1639-1651, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.242>
- OLIVEIRA, J. T. D. Spatial variability of physical attributes of a Oxisol related to garlic productivity. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 17, e1108, 2023. DOI: <https://doi.org/10.18011/bioeng.2023.v17.1108>

- SHAH, M. A.; HUSSAIN, M.; SHAHZAD, M.; JABRAN, K.; UL-ALLAH, S.; FAROOQ, M. Transplanting improves the allometry and fiber quality of Bt cotton in cotton–wheat cropping system. **Experimental Agriculture**, v. 56, n. 1, p. 26-36, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0014479719000073>
- SOUSA, A. C. de; OLIVEIRA, L. A. de; SOUSA, L. A. S. de. A importância da difusão do conhecimento da ferramenta car aos discentes de agronomia. **Plurais - Revista Multidisciplinar**, v. 5, n. 2, p. 214–234, 2020. DOI: 10.29378/plurais.2447-9373.2020.v5.n2.214-234.
- SPERANZA, E. A.; OLIM, G. D. S.; INAMASU, R. Y.; VAZ, C. M. P.; JORGE, L. D. C. Delineamento de zonas de manejo para o planejamento de experimentação on-farm na cultura do algodão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2022, Campinas. Anais... Campinas: Associação Brasileira de Agricultura de Precisão, 2022. ISBN: 978-65-99714-29-0
- TREVISAN, R. G.; BULLOCK, D. S.; MARTIN, N. F. Spatial variability of crop responses to agronomic iNRuts in on-farm precision experimentation. **Precision Agriculture**, v. 22, p. 342-363, 2021. DOI: 10.1007/s11119-020-09720-8.
- YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. B. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. ISBN: 9788579750779
- ZHOU, Y.; LI, F.; XIN, Q.; LI, Y.; LIN, Z. Historical variability of cotton yield and response to climate and agronomic management in Xinjiang, China. **Science of The Total Environment**, v. 912, e169327, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169327>

CAPÍTULO 3 - 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. 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 a semeadura do 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 9,90 m entre elas. Foram avaliados a produtividade do algodão em pluma, em @ 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 em pluma e a resistência a penetração do solo, onde quando menor a resistência a penetração, maior a produtividade do algodão em pluma.

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

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, pela geoestatística, permite o estudo dos atributos físicos do solo, 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).

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 2. Características físico-hídricas do solo da área experimental

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

Tabela 3 – Características químicas do solo da área experimental

Camada	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	t	T	V	P-rem	MO
(cm)	H ₂ O											mg L ⁻¹	dag kg ⁻¹
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, O plantio foi realizado a partir da utilização da cultivar FM 978 6LTP semeada no dia 20 de novembro de 2022, com espaçamento de 90 centímetros, totalizando uma população de 95 mil plantas ha⁻¹.

Foram definidas direções x e y do sistema de coordenadas cartesianas e realizado o estaqueamento da malha experimental, espaçadas de 9,90 m entre elas (Figura 1). Cada malha experimental foi constituída de três transeções de 49,50 m x 198,00 m. Portanto, as transeções foram espaçadas de 9,90 m, com pontos amostrais esquadrejados em 9,90 m x 9,90 m, contendo 100 deles. A área referente a malha experimental foi de 0.98ha.

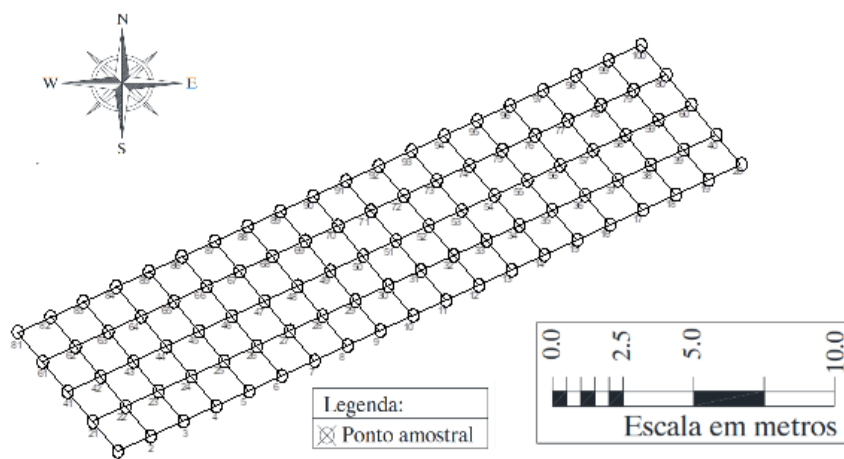


Figura 1. Malha amostral com 100 pontos, da área experimental na Fazenda Indaiá II, localizada no município de Paraíso das Águas, MS.

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 equação 01.

$$UG = \left[\frac{(MSU - MSS)}{MSS} \right] \times 100 \quad \text{Eq.01}$$

A produtividade do algodão em pluma foi determinada através da colheita de todos os capulhos (pluma e caroço) de três plantas colhidas aleatoriamente, em cada ponto amostral. Em seguida o material foi beneficiado, separando caroço da pluma. Foi pesado o montante de pluma 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 pluma em @ ha⁻¹.

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 & Wilk (1965) ao nível de 5% de probabilidade. 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_0), o alcance (A_0) e o patamar ($C_0 + C$) (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 índices fenológicos.

RESULTADOS

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.

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

	PA	RP1	RP2	RP3
PA	1,000	-	-	-
RP1	-0,095	1,000	-	-
RP2	-0,108	0,505	1,000	-
RP3	-0,041	0,122	0,556	1,000
RP4	0,041	0,155	0,335	0,690
RP5	0,151	0,018	-0,200	-0,098
RP6	0,181	-0,068	-0,209	-0,067
RPM	0,012	0,450	0,686	0,795
UG	0,041	-0,143	0,024	0,021
	RP4	RP5	RP6	RPM
RP1	-	-	-	-
RP2	-	-	-	-
RP3	-	-	-	-
RP4	1,000	-	-	-
RP5	0,196	1,000	-	-
-RP6	0,069	0,499	1,000	-
-RPM	0,785	0,277	0,239	1,000
UG	-0,070	-0,147	-0,032	-0,068

PA: Produtividade do algodão em pluma (@ ha⁻¹); RP1: Resistência a penetração 0,0-0,10 m (KPa); RP2: Resistência a penetração 0,10-0,20 m (KPa); RP3: Resistência a penetração 0,20-0,30 m (KPa); RP4: Resistência a penetração 0,30-0,40 m (KPa); RP5: Resistência a penetração 0,40-0,50 m (KPa); RP6: Resistência a penetração 0,50-0,60 m (KPa); RPM: Resistência a penetração média (KPa); 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.

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 do algodão em pluma, 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 em pluma, umidade gravimétrica e resistência a penetração do solo em cultivo de algodão no município de Paraíso das Águas, MS.

Atributos	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	Curtose	Assimetria
PA	250,358	87,400	594,911	93,940	1,154	0,889
RP1	0,644	0,069	1,756	0,380	0,145	0,656
RP2	2,250	0,486	4,302	0,762	-0,367	0,090
RP3	2,665	0,542	4,244	0,845	-0,475	-0,490
RP4	3,035	1,268	4,335	0,637	0,179	-0,394
RP5	3,061	1,906	4,023	0,451	-0,462	-0,246
RP6	2,622	1,646	3,896	0,477	0,197	0,586
RPM	2,343	1,469	3,031	0,346	-0,392	-0,268
UG	2,338	1,014	3,779	0,597	-0,778	0,021

PA: Produtividade do algodão em pluma (@ ha⁻¹); RP1: Resistência a penetração 0,0-0,10 m (KPa); RP2: Resistência a penetração 0,10-0,20 m (KPa); RP3: Resistência a penetração 0,20-0,30 m (KPa); RP4: Resistência a penetração 0,30-0,40 m (KPa); RP5: Resistência a penetração 0,40-0,50 m (KPa); RP6: Resistência a penetração 0,50-0,60 m (KPa); RPM: Resistência a penetração média (KPa); UG: Umidade gravimétrica (%).

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.

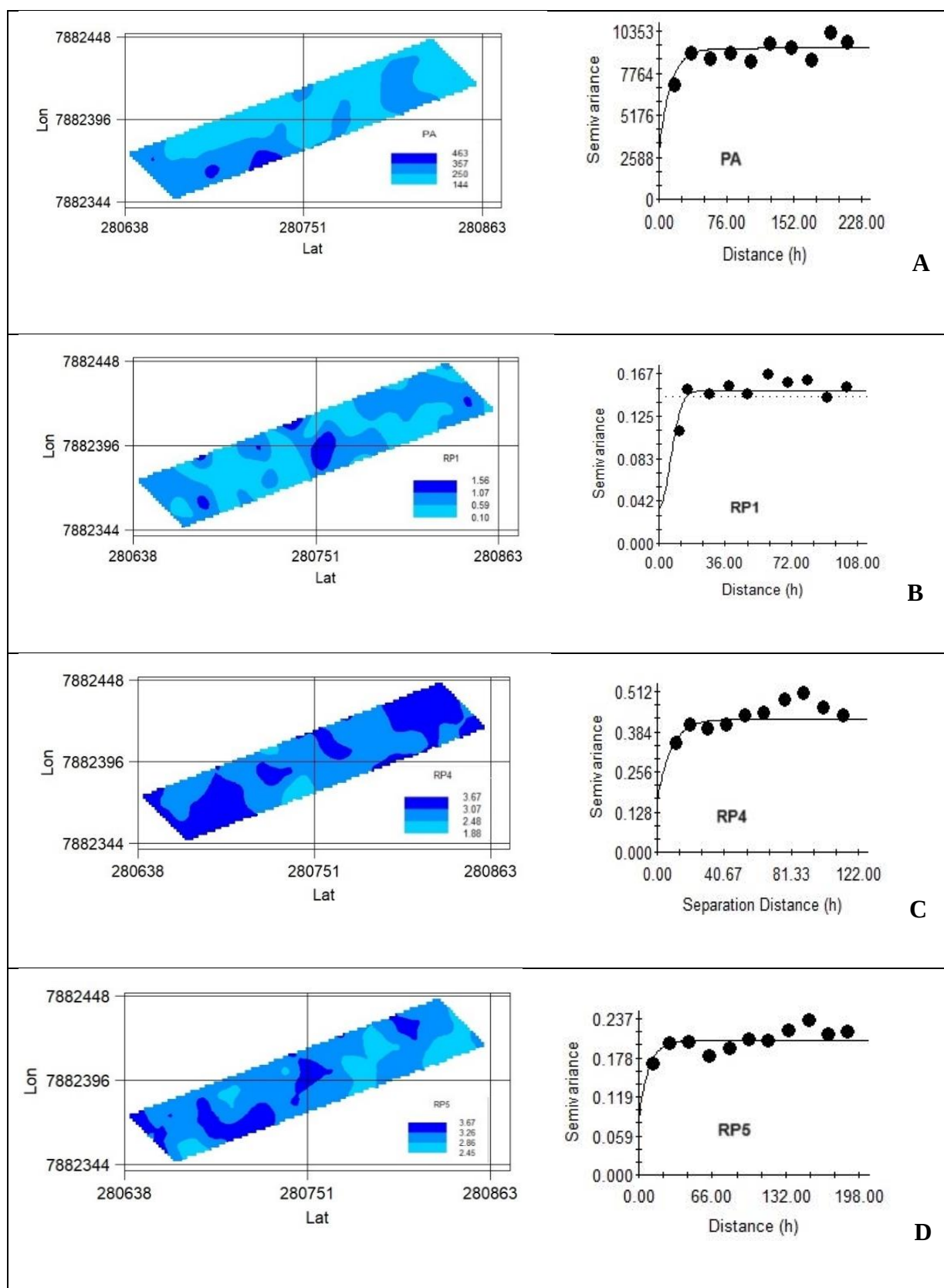
Tabela 3. Parâmetros estimados para o semivariograma simples e cruzados dos componentes em relação a produtividade, umidade gravimétrica e resistência a penetração do solo em cultivo de algodão no município de Paraíso das Águas, MS.

Atributo	DAL	Intervalo	Ajuste	Efeito Pepita	Patamar	Alcance (m)	r ²
PA	228	22,80	Exp	2900,000	9300,000	38	0,592
RP1	109	10,90	Gau	0,035	0,150	15	0,785
RP2	x	X	EPP	X	x	x	X
RP3	x	X	EPP	X	x	x	X
RP4	122	11,72	Exp	0,160	0,425	25	0,541
RP5	198	17,80	Exp	0,085	0,205	27	0,418
RP6	136	11,60	Esf	0,140	0,228	34	0,360
RPM	109	10,90	Gau	0,063	0,125	17	0,622
UG	x	x	EPP	X	x	x	X
PA= f(RP1)	111	11,00	Gau	-0,330	-5,000	35	0,541

Atributo	SQR	ADE (%)	Classe	Nº vizinhos	a	b	r ² (validação cruzada)
PA	2911235,0	0,688	Moderado	64	52,670	0,788	0,123
RP1	8,7E-04	0,767	Forte	41	-0,169	0,750	0,002
RP2	x	x	x	x	x	x	X
RP3	x	x	x	x	x	x	X
RP4	1,6E-02	0,624	Moderado	27	1,060	0,652	0,054
RP5	2,3E-03	0,585	Moderado	64	0,440	0,858	0,073
RP6	5,7E-03	0,386	Moderado	56	0,370	0,859	0,147
RPM	7,6E-04	0,496	Moderado	62	2,780	0,190	0,003
UG	x	x	x	x	x	x	X
PA= f(RP1)	1,2E+01	0,934	Forte	42	129,600	0,480	0,105

PA: Produtividade do algodão em pluma (@ ha⁻¹); RP1: Resistência a penetração 0,0-0,10 m (KPa); RP2: Resistência a penetração 0,10-0,20 m (KPa); RP3: Resistência a penetração 0,20-0,30 m (KPa); RP4: Resistência a penetração 0,30-0,40 m (KPa); RP5: Resistência a penetração 0,40-0,50 m (KPa); RP6: Resistência a penetração 0,50-0,60 m (KPa); RPM: Resistência a penetração média (KPa); UG: Umidade gravimétrica (%); Correlação entre Produtividade Algodão e Resistência a penetração 0-0,10m (PA= f(RP1)). SQR – Soma do quadrado do resíduo, ADE – Avaliador da dependência espacial. Exp = exponencial, Gau = gaussiano, Sph = esférico e EPP = efeito pepita puro.

A Figura 2 apresenta os semivariograma 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).



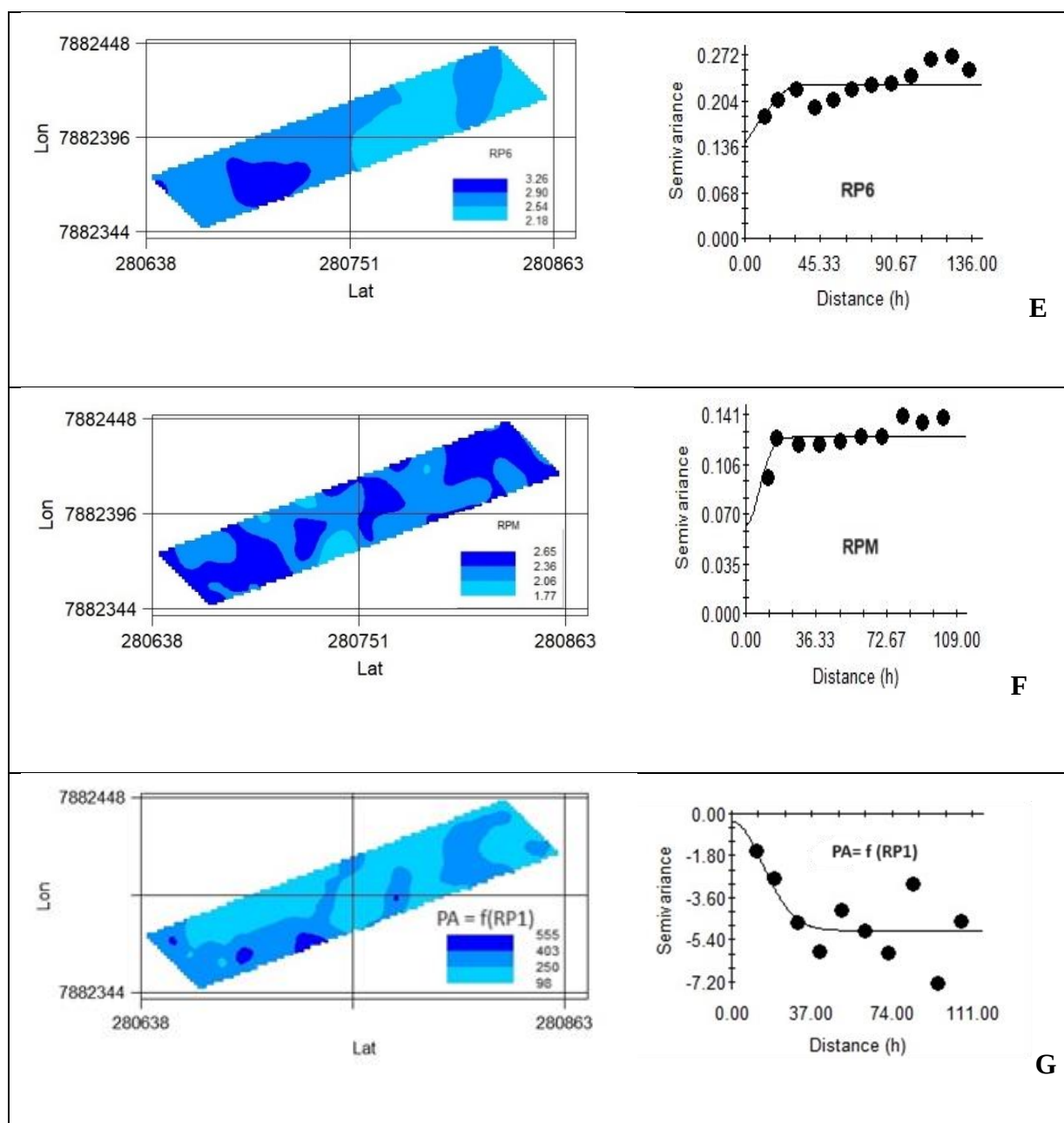


Figura 2. Semivariogramas cruzados e mapas de krigagem da produtividade do algodão e cokrigagem da correlação entre a produtividade e a resistência a penetração. (A) PA: Produtividade do algodão em pluma @ ha⁻¹; (B) RP1: Resistência a penetração 0,0-0,10 m (KPa); (C) RP4: Resistência a penetração 0,30-0,40 m (KPa); (D) RP5: Resistência a penetração 0,40-0,50 m (KPa); (E) RP6: Resistência a penetração 0,50-0,60 m (KPa); (F) RPM: Resistência a penetração média (KPa); (G) PA = f(RP1): Correlação entre Produtividade Algodão em pluma e Resistência 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 $PA = f(RP1)$ há a demonstração dos locais onde foi observado os maiores valores de resistência a penetração e assim, os melhores valores de produtividade (Figura 2G).

DISCUSSÃO

A agricultura de precisão fornece grandes predicados para contribuir com as análises a respeito da compactação do solo. Trevisan et al. (2021) explica que pelo mapeamento das áreas produtoras é possível estimar a produtividade de uma cultura, produtividade essa que pode ser afetada diretamente pelos altos índices de resistência a penetração do solo.

Observando a matriz de correlação entre a produtividade e umidade gravimétrica e a resistência a penetração (Tabela 1) foram analisadas, no tipo de solo coletado descrito como Neossolo Quartzarênico, correlações positivas entres os pares próximos de índices de resistência a penetração seguindo um padrão. Segundo Oliveira et al. (2020), estudando resistência a penetração em Latossolo verificaram o mesmo comportamento.

Sobre uma compreensão dos parâmetros estimados do semivariograma simples e cruzados dos componentes em relação a produtividade do algodão em pluma, umidade gravimétrica e resistência a penetração do solo em cultivo de algodão no município de Paraíso das Águas, MS (Tabela 3), foi possível compreender que os atributos RP2, RP3 e UG apresentaram efeito pepita puro. Yamamoto; Landim (2013) explica que esse efeito é comum nesse tipo de análise, podendo ser explicado pela grande proximidade da amostragem gerando uma ausência de dependência espacial.

A análise da produtividade de algodão em pluma dos índices de compactação do solo de forma individual permite localizar as regiões aonde as quantificações foram discrepantes. Cortez et al. (2018) explica que 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). Sendo assim importante para realizar um estudo e posterior manejo sobre as áreas mais compactadas

Ao observar a correlação entre a Produtividade do algodão em pluma e Resistência a penetração 0,00-0,10 m (Figura G), nota-se que existe uma relação inversa. Compreende-se que regiões onde apresentaram menores índices de resistência a penetração na camada superficial foi onde as produtividades obtiveram maiores resultados. 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 0,00 – 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.

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 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 em pluma e a resistência a penetração do solo, onde quando menor a resistência a penetração, maior a produtividade do algodão em pluma.

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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cj.2020.12.001>
- 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. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.3267>
- 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. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v38n5p697-704/2018>
- 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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114911>
- 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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105158>

- 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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105158>
- 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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105158>
- 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. DOI: <https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2020v35n3p360-369>
- 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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.10.016>
- 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. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI15082-20>
- 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. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i8.30591>
- 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. DOI: <https://doi.org/10.54751/revistafoco.v16n1-082>
- 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. **Ciencia del suelo**, v. 38, n. 2, p. 236-248, 2020. DOI: <https://doi.org/10.32929/2446-8355.2020v29n2p256-273>
- SILVA, S. M. A.; LOCATELLI, M.; NUNES, C. P.; SAMPAIO, F. A. R.; MANDU, T. S.; SILVA, C. A. Estimativa da friabilidade de solos com dados de resistência tênsil de agregados em formas naturais/ Estimation of soil friability with tensile strength data of aggregates in natural forms. **Brazilian Journal of development**, v. 7, n. 1, p. 5629-5647, 2021. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n6-325>
- TREVISAN, R. G.; BULLOCK, D. S.; MARTIN, N. F. Spatial variability of crop responses to agronomic iNRuts in on-farm precision experimentation. **Precision Agriculture**, v. 22, p. 342-363, 2021. DOI: 10.1007/s11119-020-09720-8.
- VOGEL, G. F., Martinkoski, L., Grillo, J. F., e 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. DOI: <https://doi.org/10.5380/ras.v18i3.52220>
- YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. B. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. ISBN: 9788579750779

APÊNDICE



Figura: Plano de construção da malha na data da coleta das características fenológicas e atributos.

Fonte: Castro, T.R (2023)



Figura: Coleta dados de campo em lavoura de algodão no Município de Paraíso das Águas, MS.

Fonte: Castro, T.R (2023)



Figura: Coleta dos índices de resistência a penetração pela utilização do um penetrômetro digital Falker modelo PenetroLOG–PLG 1020. Lavoura de algodão no Município de Paraíso das Águas, MS.

Fonte: Castro, T.R (2023)



Figura:. Lavoura de algodão acompanhada no experimento. Propriedade: Fazenda Indaiá II. Município de Paraíso das Águas, MS.

Fonte: Castro, T.R (2023)