

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

VICTOR HUGO FERREIRA MAICÁ

**ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO NO ESTUDO DA ESPACIALIZAÇÃO
DA PRODUTIVIDADE DA SOJA**

UBERLÂNDIA - MG

2023

VICTOR HUGO FERREIRA MAICÁ

**ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO NO ESTUDO DA ESPACIALIZAÇÃO
DA PRODUTIVIDADE DA SOJA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de graduação em Agronomia do Instituto de Ciências Agrárias, da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Sandro Manuel Carmelino Hurtado.

UBERLÂNDIA - MG

2023

VICTOR HUGO FERREIRA MAICÁ

**ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO NO ESTUDO DA ESPACIALIZAÇÃO
DA PRODUTIVIDADE DA SOJA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de graduação em Agronomia do Instituto de Ciências Agrárias, da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Uberlândia, 29 de novembro de 2023

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Sandro Manuel Carmelino Hurtado – (UFU)

Profa. Dra. Araína Hulmann Batista – (UFU)

Engº Agrº Maurício Alves de Oliveira (UFU)

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos laboratórios de física do solo e sementes da Universidade Federal de Uberlândia e ao laboratório de solo do Instituto Federal do Triângulo Mineiro, por ceder o espaço para a realização das análises dos atributos físicos do solo.

Agradeço à toda minha família pelo apoio durante toda a minha fase de graduação, em especial para minha mãe Fabiana, meu pai Marco, minha irmã Victoria, minha avó Tânia e meu avô Alcântara.

Agradeço ao meu pai por despertar meu interesse e paixão pela vida e trabalho do campo.

Agradeço ao meu professor e orientador Sandro por ter me recebido para ser seu orientado e amigo durante a fase final de graduação.

Agradeço a todos os membros do GeAP (Grupo de estudos em Agricultura de Precisão) pelo apoio e troca de conhecimentos.

Agradeço também a minha namorada Drielly pelo apoio, carinho, crescimento pessoal e por ser minha companheira em todos os momentos.

Agradeço aos meus padrinhos Adriano e Daniel pelos conhecimentos e experiências compartilhadas comigo.

E por fim, aos meus amigos que fiz na graduação, levarei para toda vida.

RESUMO

A soja (*Glycine max* L.), leguminosa da família Fabaceae, é a planta mais produzida em todo mundo, tendo ao Brasil como maior produtor com mais de 44 milhões de hectares semeados na safra 2022/23 e produção superior a 155 milhões de toneladas. Com o aumento crescente da população mundial, cresce também a demanda por recursos alimentícios e a necessidade de aumentar a produtividade das áreas agrícolas. A agricultura de precisão-AP é uma das principais ferramentas que pode ser utilizada nessa missão. É uma abordagem para o gerenciamento agrícola com base em informações precisas e exatas para orientar as decisões a serem tomadas a campo. O trabalho teve como objetivo avaliar a variabilidade espacial dos atributos físico- hídricos do solo e a sua correlação com a produtividade da soja cultivada sob sequeiro na região do Triângulo Mineiro. O trabalho de pesquisa foi realizado na fazenda experimental do Campus Glória, pertencente à Universidade Federal de Uberlândia, em área de 48 ha, em solo tipo Latossolo Vermelho. As análises de atributos do solo foram realizadas seguindo a malha amostral criada no software QGIS, de 1 ponto por hectare e localizados a campo por meio de aparelho GNSS de navegação. As análises realizadas foram de condutividade elétrica, capacidade de campo, ponto de murcha permanente, textura do solo, densidade do solo, capacidade de água disponível, macro e microporosidade e porosidade total, todas elas na profundidade de 0-0,2m. Os resultados foram tratados utilizando estatística descritiva, correlação de Pearson e com geoestatística, com uso do plug-in Smart Map no ambiente Qgis. Áreas com maiores teores de argila apresentaram maiores valores para capacidade de campo, porém essa relação não refletiu na produtividade. Quanto as características físicas do solo, não foi possível apontar uma característica que estaria mais correlacionada com a produtividade. Estudos em dinâmica dos fluidos e drenagem do solo devem ser realizados para comprovar que as áreas com maior produtividade são áreas mais bem drenadas.

Palavras-chave: Agricultura de precisão, *Glycine Max.*, Física do solo.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. MATERIAL E MÉTODOS	2
2.1 Criação de malha amostral para coleta de dados	2
2.2 Coleta amostras deformadas de solo e dados de resistência à penetração do solo.....	3
2.3 Coleta de solo indeformada	4
2.4 Condutividade Elétrica	5
2.5 Análise granulométrica	5
2.6 Determinação Capacidade de Campo, Ponto de Murcha Permanente, Densidade do Solo, macro e microporosidade e porosidade total	7
2.7 Determinação da produtividade de soja.....	8
2.8 Análise estatística	8
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	9
REFERÊNCIAS	14

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor de soja (*Glycine max* L.) do mundo, com cerca de 44 milhões de hectares semeados e 155 milhões de toneladas produzidos (CONAB, 2023), tendo como destino final o grão, o farelo e o óleo de soja (CECHINEL, 2014).

A crescente demanda por alimentos, aliada à necessidade de preservação ambiental, otimização dos recursos naturais e aumento produtivo (REGHINI; CAVICHIOLI, 2020), tem impulsionado a pesquisa e o desenvolvimento de práticas agrícolas eficientes e sustentáveis. A gestão adequada do solo desempenha papel fundamental nesse sentido e auxilia na compreensão das propriedades físicas do solo como textura, porosidade, densidade e condutividade elétrica, sendo ferramenta para a tomada de decisões na agricultura, especialmente quando aliada a agricultura de precisão - AP (SANTI, 2007).

A AP é uma abordagem para o gerenciamento agrícola que se baseia em informações precisas e exatas para orientar decisões. Essa prática visa administrar a área produtiva reconhecendo as particularidades individuais de cada parcela do terreno (ROZA, 2000). De acordo com GENTIL & FERREIRA (1999), a agricultura de precisão traz diversos benefícios como redução do risco da atividade agrícola, redução dos custos de produção, tomada de decisão rápida e efetiva, aumento da produtividade da lavoura, preservação do solo e do ambiente pelo uso consciente e preciso de defensivos químicos. Para BATCHELOR et al. (1997) e CAMPO (2000), a AP traz também um registro detalhado da fazenda, além de dados sobre a colheita e lucros. Por fim, a AP se torna fundamental para atingir novos patamares produtivos, elevando a régua da produtividade esperada ano após ano, com técnicas de automação como piloto automático, reguladores de defensivos e fertilizantes, minimizando os erros e desperdícios causados por operações não automatizadas (EMBRAPA, 2014). O emprego da AP gera um atendimento personalizado do solo, seja ele nos aspectos químicos - com o estabelecimento preciso de fertilizantes e corretivos do solo -, nas aplicações de defensivos químicos (BOTTEGA 2013) ou considerando os aspectos físicos - com a determinação de manejos para melhorar a infiltração e drenagem de água, descompactar o solo por métodos diretos ou indiretos, como por exemplo, a adoção do sistema plantio direto (LONGARETTI et al., 2015).

A variabilidade espacial e temporal nos talhões pode ser entendida a partir de dados históricos das safras e da produtividade das culturas (BLACKMORE, GODWIN E FOUNTAS, 2003; SANTI et al., 2007). Essa variabilidade pode ser observada e é reflexo dos diferentes

usos e manejos empregados nas lavouras e é importante considerá-la em cada etapa de coleta de amostras no campo. Dentro desse cenário, a geoestatística é uma ferramenta eficaz para investigar essa variação espacial dos solos (VIEIRA, 2000). Para isto, é fundamental realizar uma amostragem que seja representativa da área, garantindo a obtenção de dados que correspondam à realidade de cada parcela (MENEZES et al., 2014).

Os atributos físico-hídricos do solo são muito importantes para observar a qualidade da lavoura. Esses atributos servem como indicadores para aferir se o manejo do solo está sendo realizado da maneira correta (TORRES et al., 2015). São alguns deles macro e micro porosidade, capacidade de campo, ponto de murcha permanente, densidade do solo, e cada um deles possui influência direta ou indireta na quantidade de água e nos efeitos da mesma no solo (RAMOS et al., 2010).

O presente trabalho teve por objetivo avaliar a variabilidade espacial de atributos físico-hídricos do solo e a sua correlação com a produtividade da soja cultivada sob sequeiro na região do Triângulo Mineiro.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na fazenda experimental do Campus Glória, pertencente à Universidade Federal de Uberlândia (18.95° S e 48.19° L), em área de 48 ha. A altitude do local é de 920m e possui um clima do tipo Aw, tropical quente e úmido com inverno seco (Koppen-Geiger). A pluviosidade média anual é em torno de 1.500 mm e a classe de solo da área foi definida como Latossolo Vermelho. A área vem sendo conduzida com cultivo de grãos em plantio direto sob sequeiro.

2.1 Criação de malha amostral para coleta de dados

Para definição dos limites da área de trabalho e da malha amostral foi utilizado o programa de informações geográficas Qgis, com densidade amostral de 1 ponto/ha, tendo os pontos numerados de acordo a sua altitude, para facilitar a sua coleta (Figura 1).



Figura 1: Mapa da área de estudo e pontos para coleta de dados.

2.2 Coleta amostras deformadas de solo e dados de resistência à penetração do solo

A localização dos pontos no campo foi realizada a partir do navegador GNSS, marca Garmin modelo eTrex. A coleta de amostras deformadas de solo foi realizada a 0-0,2 m de profundidade seguindo o manual de métodos de análise do solo (TEIXEIRA, 2017), considerando uma distância de até 5 m ao redor de cada ponto da malha e a coleta de 5 subamostras (Figura 2). Essas subamostras de solo foram colocadas no balde e misturadas até formar uma mistura homogênea, da qual foi separada uma alíquota de 150 gramas. O material coletado foi também utilizado para as análises de condutividade elétrica e textural.



Figura 2: Trado amostral e coleta do solo.

Na mesma data foram realizadas leituras de dados de resistência à penetração do solo, com auxílio do equipamento Penetrolog® da Falker, na profundidade de 0-0,4 m, utilizando a ponta de cone tipo 2. A coleta foi realizada em triplicata para cada ponto da malha (Figura 3).



Figura 3: À esquerda amostra deformada e à direita avaliação com o penetrômetro.

As amostras de solo foram realizadas evitando carreadores e rastros de maquinário e retirando a camada superficial de palhada sem alterar a superfície do solo.

2.3 Coleta de solo indeformada

A coleta de solo indeformada utilizou os anéis de Kopeck, seguindo o manual de métodos de análise de solo (TEIXEIRA, 2017), considerando um anel para cada ponto amostral, na profundidade de 0-0,2 m, colocando o anel na profundidade aproximada 0,08-0,13 m. Após a coleta do solo e retirada do anel este foi passado em plástico filme e identificado (Figura 4).



Figura 4: Procedimento de coleta dos anéis volumétricos.

2.4 Condutividade Elétrica

A análise da condutividade elétrica do solo - CE foi realizada a partir de um volume de 10 cm^3 de solo e de 25 ml de água deionizada (CARMO E SILVA, 2016). As amostras foram levadas para mesa agitadora por 30 minutos e deixadas em repouso por mais 30 minutos (Figura 5).



Figura 5: Volume de solo e amostra para o teste de condutividade elétrica do solo.

Para a medição da condutividade elétrica foi usado o condutivímetro de bancada, no laboratório de sementes da UFU, calibrado com solução padrão igual a $146,9 \mu\text{s}/\text{cm}$. As leituras foram realizadas em duplicata, considerando a leitura do branco.

2.5 Análise granulométrica

Para a determinação das frações granulométricas o solo foi primeiro passado na peneira de 2 mm obtendo a terra fina - TFSA, seguido metodologia apresentada no manual de análise de solo da EMBRAPA (TEIXEIRA, 2017). A partir da obtenção da TFSA, foi pesado em um recipiente a alíquota de 10 g de solo e colocado em um recipiente com tampa e adicionado à solução de hidróxido de sódio em concentração 0,1 M, junto com 12 esferas pequenas de aço e tampado. Após esse procedimento foram colocadas as 48 amostras na mesa agitadora (Figura 6), por um período de 16 horas, a uma frequência de 18 rotações por minuto, para que toda a argila fosse dispersa das amostras.

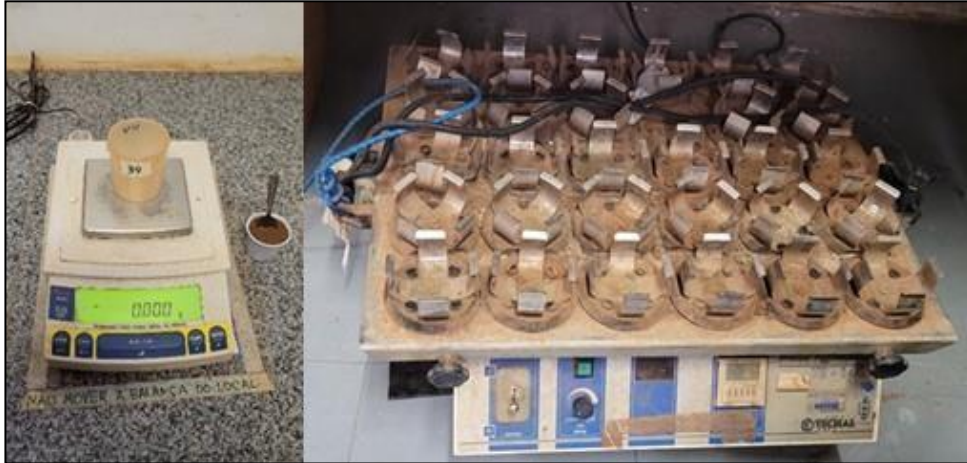


Figura 6: Balança precisão e Mesa agitadora.

Em seguida foi feito o processo de lavagem da solução de solo. Com um ímã foram retiradas todas as esferas e depositado o material em um conjunto de peneiras com aberturas 0,210 mm ou ABNT 70 e de 0,053 ou ABNT 270. Com auxílio de uma pisceta, as frações de solo foram retidas nas diferentes peneiras, de modo que na primeira peneira fica retida a fração de areia grossa, na segunda peneira a fração areia fina e em um béquer de dois litros posicionado abaixo do sistema de peneiras, fica a fração silte + argila + a solução (Figura 7).



Figura 7: Conjunto de peneira, béqueres, pisceta e material com frações de areia separadas.

A solução do béquer foi colocada em uma proveta, que foi completada com água até o volume de 1 litro. Em seguida, a solução presente nas provetas foi agitada com um bastão por um período de um minuto, deixando então em repouso por um período de 4 minutos. Após este

tempo foi coletada uma alíquota de 25mL dessa solução considerada para a determinação da fração argila + silte, utilizando pipeta volumétrica de precisão, na profundidade de 0,1 m do nível superior de líquido da proveta e colocado em um cadinho de porcelana. Após quatro horas, novamente foi coletada uma alíquota de 25 mL, agora na profundidade de 0,05 m a partir da superfície e depositada em outro cadinho de porcelana, cujo material é identificado como fração argila. Essa diferença de profundidade de coleta e tempo para coleta de cada fração está relacionada com o tamanho da partícula e sua velocidade de sedimentação, segundo a lei de Stokes.

As latas e cadinhos foram levados à estufa até atingir a temperatura de 105° C e deixadas nessa condição por 24 horas, até toda a umidade presente ser removida por evaporação. As amostras então foram levadas para o dessecador de vidro para evitar a umidade do ar e erros nos cálculos, realizados a partir da massa de cada amostra seca, em balança de precisão (4 casas decimais). Cada amostra foi retirada do dessecador, sempre mantido fechado, e pesada em uma balança analítica e o valor do recipiente mais a quantidade de solo anotada.

2.6 Determinação Capacidade de Campo, Ponto de Murcha Permanente, Densidade do Solo, macro e microporosidade e porosidade total

Para a determinação da densidade aparente do solo (DS), os anéis de Kopeck, com suas dimensões medidas e anotadas, foram levados ao laboratório onde foi realizada a toaleta, retirando o excesso de solo, nivelando as duas aberturas do cilindro.

Para a capacidade de campo (CC) as amostras foram saturadas com água e colocadas em panelas de tensão a uma pressão de 0,33 atm. Depois foi calculado utilizando a peso do solo saturado a essa pressão, subtraído pelo peso do volume de solo seco, dividido pelo volume de solo seco, resultando no valor de umidade base de água em grama/grama. Esse valor multiplicado pelo valor da densidade do solo determinou a capacidade de campo.

Para a realização de ponto de murcha permanente (PMP), o solo foi submetido as panelas a pressão a 15 atm. Após os cálculos de CC e PMP, as amostras foram levadas à mesa de tensão a uma pressão de 0,6 metros de coluna de água (60 kPa). Após isso a porosidade total foi determinada pela diferença entre a massa saturada do solo e a massa seca, dividido pelo volume do anel. A macroporosidade foi calculada entre a diferença da massa solo saturado e a massa do solo submetido a mesa de tensão a 0,6 metros de coluna de água, dividido pelo volume do anel. A microporosidade foi calculada pela massa de solo obtida menos a massa de solo seco,

sobre o volume de solo. Essas análises foram feitas seguindo a metodologia apresentada em TEIXEIRA (2017).

2.7 Determinação da produtividade de soja

Para a determinação da produtividade de soja foram retiradas plantas numa parcela útil de 8 m², e posteriormente passadas em máquina trilhadora (Figura 8) e determinado a umidade em estufa.



Figura 8: Processo de trilha das plantas de soja para determinação da produtividade.

2.8 Análise estatística

A análise estatística foi realizada a partir da análise descritiva dos dados no programa Excel e da análise de correlação de Pearson. Na sequência os dados foram submetidos a análise geoestatística, com elaboração de semivariogramas e interpolação por krigagem, com auxílio do programa Surfer e Qgis.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se que a produtividade média da soja (3.580 kg/ha) foi menor à média nacional de 4.111 kg /ha (CONAB, 2022), com intervalo de valores entre 2560 e 4500 kg/ha para os locais com menor e maior produtividade, respectivamente (Tabela 1).

Em relação ao coeficiente de variação (%), de acordo com Warrick e Nielsen (1980), a produtividade, CC, Pt, PMP, Ds, CE são classificados com baixa variação ($CV < 12\%$) e silte, argila, CAD, RP020 e AT com variação média ($12\% < CV < 60\%$).

Tabela 1: Estatística descritiva para os atributos físico-hídricos do solo avaliado.

	Min	Max	Média	Mediana	CV
Produtividade (kg/ha)	2560.62	4499.97	3580.58	3604.63	11.0%
CC (%)	0.22	0.43	0.34	0.34	9.1%
Pt (%)	0.26	0.58	0.49	0.49	9.7%
PMP (%)	0.15	0.36	0.28	0.28	10.7%
Silte (g/kg)	73.01	355.68	188.73	187.90	35.0%
Ds	1.15	1.43	1.28	1.29	5.1%
CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	60.24	106.90	81.17	79.01	11.5%
Argila (g/kg)	393.78	739.88	593.40	610.96	12.6%
CAD	9.83	21.55	15.06	15.35	16.6%
RP (Pa)	893.89	2480.22	1463.68	1366.33	28.5%
AT	154.22	481.50	217.87	192.55	32.5%

*CC: Capacidade de Campo; Pt: Porosidade Total; PMP: Ponto de Murcha Permanente; Ds: Densidade do solo; CE: Condutividade Elétrica; CAD: Capacidade Água Disponível; RP: Resistência à Penetração, AG, AF e AT: Areia Grossa, Fina e Total.

A capacidade de campo - CC é um valor fundamental para entender como o solo armazena água, e esse valor é variável de acordo com a textura que o solo, sendo os mais argilosos de maior CC. Para solos de textura franco-argilosos, esse valor varia de 31-42% (GRANDE et al., [s.d.]). Neste estudo a média dos valores encontra-se nessa faixa (Tabela 1).

Segundo RANZANI (1969), a porosidade total de um solo é no mínimo de 30% e no máximo de 60%, levando em consideração a composição textural dos solos. Os valores obtidos para esse atributo corroboram com o estudo de RANZANI (1969), sendo encontrados, em média, 49% de porosidade total (Tabela 1).

Valores considerados entre 1,1 e 1,6 MPa são considerados normais para o atributo densidade aparente do solo (KIEHL, 1979), sendo os valores coletados alocados nessa faixa. Para o atributo de resistência à penetração-RP, valores superiores a 1,5 MPa já indicam perda

de produtividade (BLAINSKI et al., 2008). Para Beutler e Centurion (2007), com valores entre 1,30 e 1,64 já é possível perceber perda na produtividade da cultura. No presente estudo, alguns pontos tiveram seus valores superiores a esses limites, variando de 893 a 2,48 MPa, com média de 1,46 MPa.

Rosolem; Almeida; Sacramento (1994), notaram a relação entre a compactação do solo e o crescimento radicular. Quanto maior a densidade do solo, menor o crescimento radicular da planta de soja. No estudo, densidades a partir de $1,25 \text{ g/cm}^3$ apresentavam restrição em crescimento radicular. Valores acima de $1,7 \text{ g/cm}^3$ de densidade não permitiam que a raiz penetrasse o solo. Nesse mesmo estudo, chegou à conclusão de que em camadas com resistência à penetração acima de 0,69 MPa, a raiz desenvolveu metade do seu tamanho potencial.

A condutividade elétrica do solo - CE mede a salinidade de um solo e é afetada por atributos físico-químicos, como a presença de sais solúveis, composição mineral, teor de argila, quantidade de água presente, densidade volumétrica, matéria orgânica e temperatura. A CE encontra sua principal utilidade na identificação da variação espacial de várias propriedades do solo em ambientes de campo (RABELLO, BERNARDI e INAMASU, [s.d.]). No trabalho, observamos valores médios de $81,12 \mu\text{S}$, com máximos de $106,9 \mu\text{S}$ e mínimos de $60 \mu\text{S}$.

Na análise espacial dos atributos físico-hídricos do solo, observou-se dependência direta na areia em relação com a produtividade, pelo p-valor ser menor que 0,05 e a relação ser positiva. A relação direta com a produtividade também ocorreu para a Ds. Para a variável porosidade total-PT, a relação foi inversa, sendo que quando maior valor para porosidade, menor foi o da produtividade (Tabela 2). A PT também se relacionou de modo inverso com a areia, ou seja, quanto maior o teor de areia, menor a porosidade total. Isto é esperado uma vez que o incremento de areia diminui a microporosidade do solo. Portanto, com menores teores de areia menores produtividades. Vale ressaltar que o teor de areia a mais nos pontos em que se obteve maiores produtividades não os torna de textura arenosa, mas sim de textura média.

A relação encontrada entre Ds e PT corrobora o trabalho de Klein (2012), onde a massa de sólidos por volume é influenciada pelos cultivos ao alterar a estrutura junto ao volume e tamanho de poros. Para Mentges et al (2010), quanto maior a Ds menor será a PT, de forma que não influencia no volume final dos microporos.

Para a produtividade não houve correlação com a densidade do solo e a quantidade de silte (Figura 9). Entretanto, a densidade do solo esteve diretamente ligada com o valor de silte, de modo que quanto maior a Ds menor a concentração de partículas de silte.

Tabela 2: Correlação de Pearson para os dados dos atributos físico-hídricos do solo.

	Prod	Areia	Silte	Argila	RP20	CE20	Ds20	PT20	Ma20	Mi20	CC20	PMP20	CAD
Prod	1.0000												
Areia	p= --	1.0000											
Silte	p= .025	p= --	1.0000										
Argila	p= .254	p= .010	p= --	1.0000									
RP20	p= .1528	p= .5879	p= .5293	p= --	1.0000								
CE20	p= .311	p= .000	p= .000	p= --	p= --	1.0000							
Ds20	p= .2381	p= .2085	p= .0681	p= .1314	p= .1000	p= --	1.0000						
PT20	p= .111	p= .164	p= .653	p= .384	p= --	p= --	p= .135	1.0000					
Ma20	p= .0062	p= .3586	p= .1098	p= .2324	p= .2238	p= .1000	p= .0522	p= .0388	1.0000				
Mi20	p= .968	p= .014	p= .468	p= .120	p= .135	p= --	p= .135	p= .135	p= .135	1.0000			
CC20	p= .3013	p= .042	p= .006	p= .012	p= .767	p= .730	p= .798	p= --	p= .798	p= .798	1.0000		
PMP20	p= .3071	p= .038	p= .009	p= .574	p= .065	p= .249	p= .458	p= .003	p= .003	p= .003	p= .003	1.0000	
CAD	p= .2243	p= .0103	p= .0329	p= .1404	p= .0105	p= .4277	p= .5419	p= .000	p= .000	p= .000	p= .000	p= .000	1.0000
	p= .134	p= .946	p= .828	p= .899	p= .352	p= .945	p= .945	p= .003	p= .000	p= .000	p= .000	p= .000	p= .000
	p= .1026	p= .3982	p= .0581	p= .3137	p= .0440	p= .1099	p= .0239	p= .5248	p= .4309	p= .1000	p= .000	p= .000	p= .000
	p= .497	p= .006	p= .701	p= .034	p= .772	p= .467	p= .875	p= .000	p= .003	p= .000	p= .000	p= .000	p= .000
	p= .2577	p= .7232	p= .3234	p= .3798	p= .1492	p= .2663	p= .1203	p= .4522	p= .3375	p= .8273	p= .1000	p= .000	p= .000
	p= .084	p= .000	p= .028	p= .009	p= .322	p= .074	p= .426	p= .002	p= .022	p= .000	p= .000	p= .000	p= .000
	p= .2622	p= .6999	p= .2925	p= .3854	p= .0954	p= .2339	p= .0598	p= .3692	p= .3450	p= .7458	p= .9478	p= .1000	p= .000
	p= .078	p= .000	p= .049	p= .008	p= .528	p= .118	p= .693	p= .012	p= .019	p= .000	p= .000	p= .000	p= .000
	p= .0973	p= .0131	p= .0026	p= .0143	p= .1529	p= .1000	p= .1109	p= .1552	p= .1176	p= .2857	p= .1757	p= .1322	p= .1000
	p= .520	p= .931	p= .986	p= .925	p= .310	p= .508	p= .463	p= .303	p= .436	p= .054	p= .243	p= .381	p= .000

CC (Capacidade de Campo); Pt (Porosidade Total); PMP (Ponto de Murcha Permanente); Ds (Densidade do solo); CE (Condutividade Elétrica); CAD (Capacidade Água Disponível); RP (Resistência à Penetração); AT (Areia Total). Significativo para valores de $p < 0,05$ (amarelo e laranja).

A relação com a água disponível e produtividade não foi observada nos mapas. Locais com maior concentração de água disponível foram bastantes dispersas na área de estudo, e em alguns pontos em que se obteve menores valores desse atributo foram obtidas altas produtividades. Isso demonstra que em questão limitante da produção hídrica não foi um limitador para a produção (Figura 9).

O ponto de murcha permanente-PMP, referente a água disponível no solo já não está mais disponível para absorção radicular da planta, foi diretamente relacionado com a porosidade total do solo. Por sua vez, a relação entre a Ds e a RP não foi observada (Figura 9).

A partir dos mapas observa-se que a região com maior produtividade está relacionada com a região com maiores teores de areia total, além ser a região com menor capacidade de campo, ponto de murcha permanente e CAD (Figura 9). A relação com areia total também é observada com a fração de argila, onde a região de maior teor de areia foi a que obteve menor concentração de argila e de silte.

A relação entre a capacidade de campo-CC e a condutividade elétrica-CE (Figura 10) demonstra que onde há menor quantidade de água armazenada haverá menor capacidade de condução de energia. No presente estudo o solo foi classificado como argiloso, com valores

mínimos em 40%. Locais de solo argiloso possuem maior quantidade de poros, e consequentemente, maior CC (Figura 10).

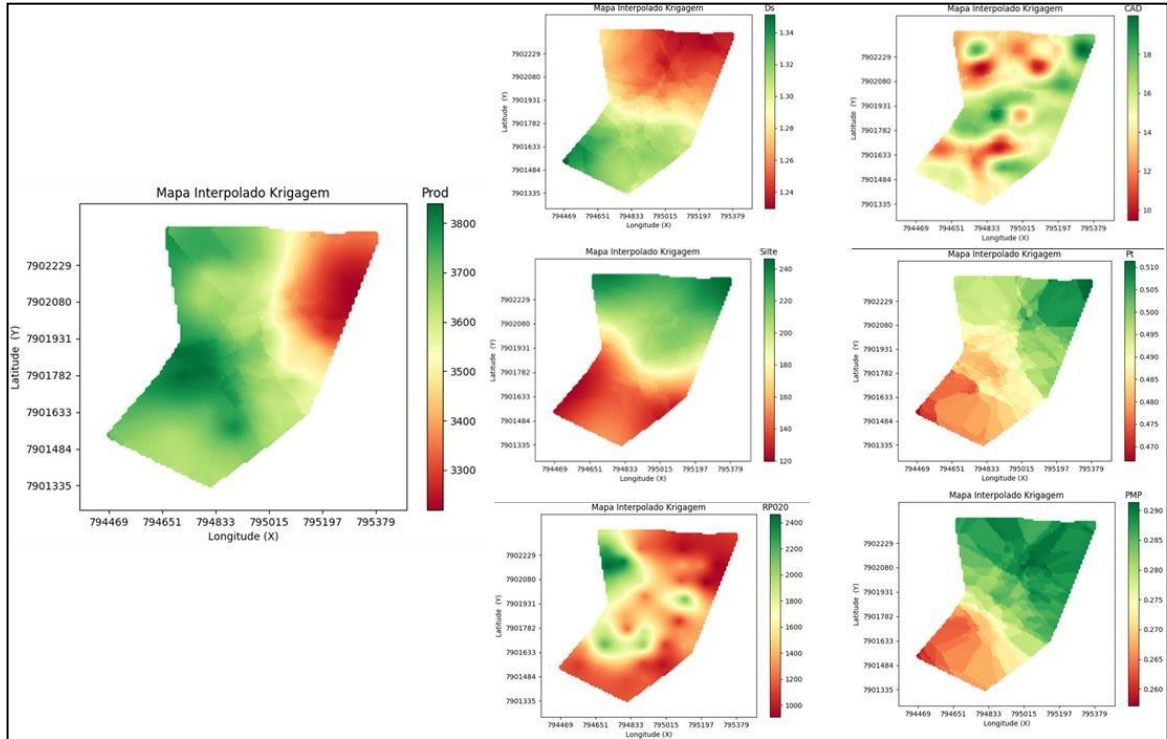


Figura 9: Mapas evidenciando a relação existente entre os dados espaciais de produtividade e os de CAD, Ds, Silte, PT e RP.

A capacidade de campo não foi decisiva para a produtividade de soja. Pelo contrário, em áreas com menores valores do atributo foram obtidas maiores produtividades. Isso acontece pois o cultivo da soja coincide com período de maior índice pluviométrico na região. O impacto positivo da CC será mais decisivo em plantios de segunda safra, período em que a cultura encontrará restrição pluviométrica.

Ao se observar áreas com menores valores de argila, consequentemente, se obteve maior quantidade da fração areia. E novamente, com a chuva em abundância, característica do período, essas áreas de maior concentração de areia e menores teores de argila, terão uma melhor capacidade de infiltração de água, evitando que exista maior saturação do solo.

Solos com maiores teores de argila possuem maior concentração de microporos, logo poderão armazenar maior quantidade de água. Enquanto solos com os menores teores tem maior capacidade de drenagem (RANZANI 1969).

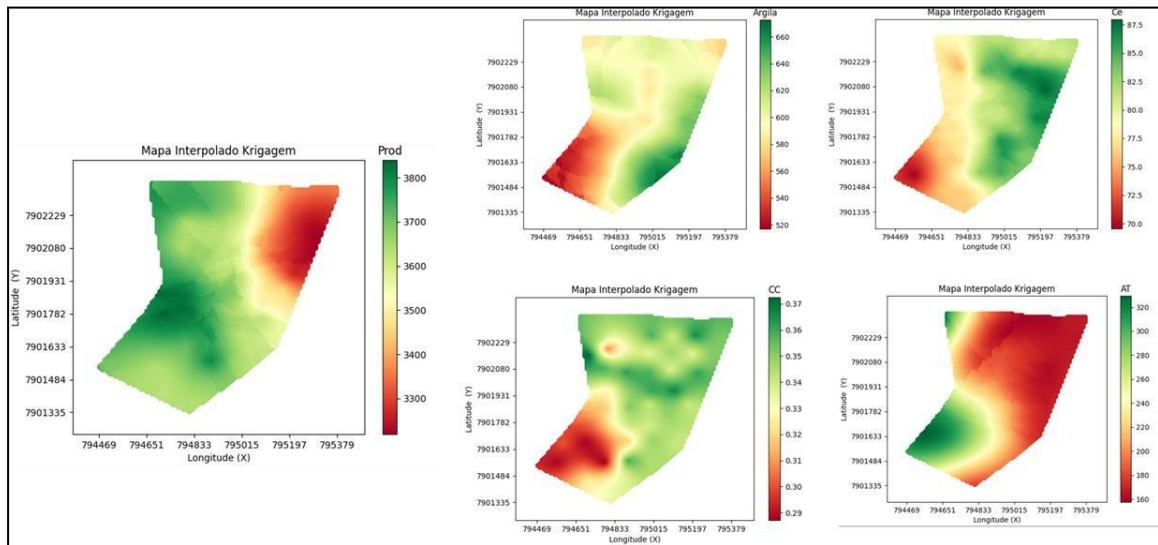


Figura 10: Produtividade x Argila, Areia total, Ce e CC

4. CONCLUSÕES

As ferramentas de agricultura de precisão possibilitam avaliar a variabilidade espacial dos atributos físico-hídricos do solo.

Não foi possível distinguir qual atributo físico-hídrico do solo estaria mais bem correlacionado com a produtividade da soja. Áreas com maiores teores de argila apresentaram maiores valores para capacidade de campo. Entretanto, a relação não refletiu na produtividade.

Estudos focados na parte de drenagem do solo e dinâmica de fluidos devem ser realizados para comprovar que as áreas com maior produtividade são áreas mais bem drenadas. Estudos que visem identificar a estrutura do solo e a composição dos agregados serão de muito auxílio.

REFERÊNCIAS

- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. **Efeito do conteúdo de água e da compactação do solo na produção de soja.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 38, n. 7, p. 849–856, 2003.
- BLACKMORE, B.S.; GODWIN, R.J.; FOUNTAS, S. **The analysis of spatial and temporal trends in yield map data over six years.** Biosystems Engineering, v.84, p.455-466, 2003.
- BOTTEGA, E.L.; QUEIROZ, D.M.; PINTO, F.A.C.; SOUZA, C.M.A. **Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro.** Revista Ciência Agronômica, v.44, n.1, p.1-9, 2013.
- BOTTEGA, E. L. **Utilização de zonas de manejo para a produção de soja no cerrado brasileiro.** www.locus.ufv.br, 17 jul. 2014.
- CARMO, D.L.; SILVA, C. A. **Condutividade elétrica e crescimento do milho em solos contrastantes sob aplicação de diversos níveis de calagem.** Pesq. agropec. bras., Brasília, v.51, n.10, p.1762-1772, 2016.
- CECHINEL, C. Soja. Globo Rural, 2014. Disponível em:
<https://globorural.globo.com/Noticias/Agricultura/Soja/noticia/2014/04/soja-alem-do-oleo-e-do-farelo.html>.
- GRANDE, C. et al. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento Manejo da Irrigação do Algodoeiro.** [s.l: s.n.]. Disponível em:
 <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/141494/1/Manejo-da-irrigacao.pdf>>.
- GENTIL, L.V.; FERREIRA, S.M. Agricultura de precisão: Prepare-se para o futuro, mas com os pés no chão. **Revista A Granja**, Porto Alegre, n 610, 1999, p.12-17.
- KLEIN, V.A. **Física do Solo/ Wilson Antonio Klein.** – 2. Ed. – Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2012, 240 p.
- LONGARETTI, M. et al. **Diferentes técnicas de descompactação do solo e sua influência sobre a cultura do milho (Zea Mays L.).** [s.l: s.n.]. Disponível em:
 <<https://www.eventossilos.org.br/cbcs2015/arearestrita/arquivos/354.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2023.
- MENEZES, Z. et al. **Número de amostras na análise geoestatística e na krigagem de mapas de atributos do solo.** v. 44, n. 2, p. 261–268, 1 fev. 2014.

MENTGES, M. I., REICHERT, J. M., ROSA, D. P., et al. **Propriedades físico-hídricas do solo e demanda energética de haste escarificadora em Argissolo compactado.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.45, n.3, p.315-321, 2010.

RABELLO, L. BERNARDI E INAMASU. **Condutividade elétrica aparente do solo.** [s.l: s.n.]. Disponível em:

<<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1003692/1/BERNARDI48.pdf>>.

RAMOS FT, MONARI YC, NUNES MCM, CAMPOS DTS, RAMOS DT. **Indicadores de qualidade em um Latossolo Vermelho-Amarelo sob pastagem extensiva no pantanal matogrossense.** Caatinga. v.23, p.112-120, 2010.

RANZANI, G. **Manual de levantamento de solos.** 2. Ed. São Paulo, Edgard Blusher, 1969.

REGHINI, F. L.; CAVICHIOLI, F. A. **Utilização de geoprocessamento na agricultura de precisão.** Revista Interface Tecnológica, v. 17, n. 1, p. 329–339, 2020.

ROZA, D. Novidade no campo: Geotecnologias renovam a agricultura. **Revista InfoGEO**, n 11 - jan/fev, 2000. Disponível na Internet. http://www.infogeo.com.br/Revista/materia_11.html em 21 Mai. 2000.

SANTI, A.L. **Relações entre indicadores de qualidade do solo e a produtividade das culturas em áreas com agricultura de precisão.** 2007. 150p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

SOUZA, L. **Compactação do solo e o impacto na variação espacial de atributos físico-hídricos e produtividade da soja.** Repositorio.ufu.br, 2020.

TEIXEIRA, P. C. et al. **Manual de métodos de análise do solo.** 3ª ed. EMBRAPA. Brasília DF, 2017. 577p

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. **Spatial variability of soil physical properties in the field.** In: Hillel, D. Applications of soil physics. New York: Academic Press, 1980.