

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

OTHON LAUAR GODINHO

**CORRELAÇÃO ENTRE OS ATRIBUTOS DO SOLO E O ÍNDICE
DE VEGETAÇÃO NA CULTURA DE SOJA**

CHAPADÃO DO SUL – MS

2019

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

OTHON LAUAR GODINHO

**CORRELAÇÃO ENTRE OS ATRIBUTOS DO SOLO E O ÍNDICE
DE VEGETAÇÃO NA CULTURA DE SOJA**

Orientador: Prof . Dr Cassiano Garcia Roque

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: Produtividade Vegetal.

CHAPADÃO DO SUL – MS

2019



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



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

DISCENTE: Othon Lauar Godinho

ORIENTADOR: Cassiano Garcia Roque

Correlação entre os atributos do solo e o índice espectral da cultura da soja

Prof(a) Dr (a) Cassiano Garcia Roque

Presidente

Prof(a) Dr (a) Fábio Henrique Rojo Baio

Prof(a) Dr (a) Everton da Silva Neiro

Chapadão do Sul, 03 de março de 2020.

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente à Deus, pelo dom da vida, e por ter me dado forças nos diversos momentos de dificuldade e desespero para superar mais esta etapa.

Aos meus pais Naime Beatriz Lauer Godinho e Itevaldo Moyses Godinho, por toda a parceria com que me acompanharam em toda essa longa jornada. Obrigado pelo incentivo e pela admiração desse curso que agora tenho o orgulho de concluir. Obrigado pelas inúmeras noites que me esperaram, atentos, as novidades que a faculdade proporcionava. Obrigado, pelos sacrifícios que vocês fizeram em razão da minha educação e da minha irmã. Nós sabemos que não foram poucos. Obrigado por tudo. Infelizmente não há espaço para escrever e agradecer aqui. Obrigado novamente. Essa conquista é nossa. Amo vocês. Agradeço também a minha irmã, Anny Lauer Godinho, pela paciência com que aturou a mim.

Dedico também essa conquista ao meu querido tio, Magid Mendes Lauer. Um dos maiores mentores da minha vida, saiba que es muito importante para mim, que sempre esteve do meu lado, em todos os momentos da minha vida. Obrigado tio

Minha esposa Denize Aparecida Carneosso e minha filha Helena Carneosso Godinho, obrigado pelo amor, por tudo o que vocês transformaram em minha vida. Obrigado pelo carinho, alegria, atenção, vibração que vocês tiveram com as minhas conquistas. Sem vocês, essas conquistas não teriam o mesmo gosto.

A minha vó Lia, que não tenho palavras para descrever o amor que tenho por ela, por simples atos ela me cativou, obrigado por todos os ensinamentos e sei de tudo que fez e ainda faz por mim, te amo vó.

Aos professores Dr. Cassiano Garcia Roque, Karina Marie Kamimura e todos das banca pela paciência na orientação e incentivo que tornaram possível a conclusão do meu mestrado.

À Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campus de Chapão do Sul, seu corpo docente, direção e administração que oportunizaram a janela que hoje vislumbro um horizonte superior, pela oportunidade da realização do curso de Engenharia Florestal, concretização de um grande sonho.

A todas as pessoas que passaram pela minha história acadêmica e contribuíram de algum modo para a minha formação.

EPIGRAFE

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.”

Charles Chaplin

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Imagem da localização da área de estudo.....	25
Figura 2. Índices de vegetação analisado, Healthy Vegetation (B8A, B11, B02), dos Talhões T1, T2 e T3.....	26
Figura 3. Grade amostral amostral na Fazenda Emiliana, localizada no município de Balsas (MA).	
Figura 4. Rede de correlações da produtividade de soja, HV e de alguns atributos químicos de um Latossolo Vermelho distrófico na Fazenda Emiliana, localizada no município de Balsas (MA).....	27
Figura 5. Equações de regressão do índice espectral de vegetação HV dos grãos soja em razão com todos que demonstraram relação positiva maior que $r > 0,6$	32
Figura 6. Semivariogramas dos atributos que correlacionaram com a produtividade de soja na Fazenda Emiliana, localizada no município de Balsas (MA)	33
Figura 7. Semivariogramas dos atributos que correlacionaram com a produtividade de soja na Fazenda Emiliana, localizada no município de Balsas (MA)	34
Figura 8. Semivariogramas dos atributos que correlacionaram com a produtividade de soja na Fazenda Emiliana, localizada no município de Balsas (MA)	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 2. Estatística descritiva inicial da produtividade da soja e de alguns atributos químicos de um Latossolo Vermelho distrófico na Fazenda Emiliana, localizada no município de Balsas (MA).....	30
Tabela 3. Parâmetros dos semivariogramas.....	33
Tabela 4. Valores médios dos coeficientes de desvio relativo (CDR) dos atributos que correlacionaram com a produtividade de soja na Fazenda Emiliana, localizada no município de Balsas (MA).....	37

RESUMO

As precision agriculture technologies, such as the use of spatial variability of soil attributes, have been extensively studied for soybean crops. In this study, analyze the spatial variability of the attributes of a dystrophic Red Latosol grown with soybean and correlated with the spectral index of vegetation Healthy Vegetation (HV), with NIR (Near Infrared), SWIR 1 and blue bands, with the central wave tests (nanometer) 842, 1610 and 842. A sample classification result was applied for data collection in an area of 2,126.02 ha, with 270 regular points and 98 random points, totaling 368 points. The contents of organic matter, P (resin), K⁺, Ca⁺², Mg⁺², H⁺, Al⁺³, Al⁺³, pH values, sum of bases, cation exchange capacity, saturation by bases and tests at a depth of 0-0.0 to 0.20 m. Most of the surveyed attributes described exponential and spherical. Clay, Ca, Mg and P showed positive spatial correlation with Healthy Vegetation (HV), while no spatial correlation was observed with pH, B, K, Silt, Sand, S, H + Al, Al, SB and CTC. The image of the sensor used in this study in relation to Healthy Vegetation (HV), presents a good application to observe the spatial variation of the studied and reproduced attributes.

Palavras-chave: *Glycine Max.*, variabilidade espacial, sistema de semeadura direta.

ABSTRACT

Precision agriculture technologies, such as the use of spatial variability of soil attributes, have been extensively studied for soybean cultivation. The objective of this study was to analyze the spatial variability of soil attributes of a dystrophic Red Latosol cultivated with soybean and to correlate them with the Healthy Vegetation (HV) spectral index, with the bands B8A, B11, B02. The sampling grid was installed for data collection in an area of 2,126.02 ha, with 270 regular points and 98 random points, totaling 368 points. Organic matter, P (resin), K⁺, Ca⁺², Mg⁺², H⁺, Al⁺³, Al⁺³, pH values, sum of bases, cation exchange capacity, base saturation and yield were determined. at a depth of 0-0.0 to 0.20 m. Most of the researched attributes presented exponential and spherical dependence. Clay, Ca, Mg and P showed positive spatial correlation with Healthy Vegetation (HV) while no spatial correlation was observed with pH, B, K, Silt, Sand, S, H + Al, Al, SB and CTC contents. The sensor image used in this study in relation to Healthy Vegetation (HV) presented good application to observe the spatial variability of the studied attributes and yield.

Key words: *Glycine max.* Spatial variability. direct seeding system.

SUMÁRIO

ABSTRACT	7
1 INTRODUÇÃO	22
2 MATERIAL E MÉTODOS	24
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
4 CONCLUSÃO	37
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

1 INTRODUÇÃO

No Brasil a crescente expansão da cultura da soja destaca sua importância e relevância no cenário nacional e mundial como um dos maiores produtores, sendo que para a safra 2018/2019 a produtividade nacional atingiu 115 milhões de toneladas, ficando 3,6% abaixo do volume colhido em 2017/18, mas ainda se colocando como a segunda maior safra de soja da série histórica (CONAB, 2019).

O monitoramento das culturas no campo, como a soja com base no sensoriamento remoto, por meio de imagens de satélite, para calcular os índices de vegetação atualmente constitui um ganho para a agricultura (GAO et al., 2017), porque é visto como um recurso complementar de práticas de manejo adequadas na predição do sistema produtivo da cultura da soja e dos atributos químicos dos solos (ALVES et al., 2014; AGROSMART, 2017).

Os índices de vegetação podem ser usados como indicadores de produtividade em uma safra e para diferentes tipos de estudos e monitoramento da vegetação, por exemplo, para monitorar a atividade e a saúde da vegetação, além de monitorar a seca e a senescência (VERMA et al., 2013; ZHANG et al., 2018; SEMERARO et al., 2019; PEI et al., 2018). De fato, eles são capazes de caracterizar variações na fenologia e na foto-potencial sintético das culturas, útil para identificar o ciclo de cultivo e crescimento (ARAUJO BARBOSA et al., 2015; BOSCHETTI et al., 2017, MALLADI E SOWLATI, 2017).

Alguns índices são usados para examinar a atividade da vegetação, como o Índice de Condição de Vegetação (VCI), que é um índice derivado do Índice de Vegetação com Diferenças Normalizadas (NDVI) que tem a capacidade de distinguir flutuações devido a mudanças climáticas de curto prazo e mudanças no ecossistema. (KOGAN, 1990), e o Índice de Condição Térmica (TCI), desenvolvido por Kogan (1995) determinar o estresse da vegetação relacionado à temperatura e usado para o desenvolvimento do Healthy Vegetation (HV).

Em geral, o HV é uma análise de séries temporais dos efeitos da umidade e da temperatura nas plantas (TRAN et al., 2017), amplamente aplicada e eficaz na avaliação da saúde da vegetação (GIDEY et al., 2018). Alguns modelos foram implementados para entender a dinâmica vegetativa e simular padrões de distribuição passados, presentes e futuros (RAHMAN et al., 2017).

A análise espacial dos atributos químicos do solo pode indicar alternativas de manejo, não só para reduzir os efeitos da variabilidade do solo sobre a produtividade das culturas (STADLER et al. 2015; MONTANARI et al., 2015) e das plantas, mas também para aumentar a possibilidade de estimar respostas das culturas sob determinadas práticas de manejo. Tais técnicas fornecem métodos para quantificar esta autocorrelação espacial e incorporá-la na estimação de valores em locais não observados (REZA et al. 2016).

A geoestatística demonstrou ser o método mais eficaz para analisar os recursos de distribuição espacial e variação padrões das propriedades do solo (REZA et al. 2016) O semi-variograma pode ser usada para descrever a variabilidade espacial das propriedades do solo (ANDIVIA et al. 2015; LIU et al. 2016).

Nesse sentido, o uso de técnicas estatísticas facilita a interpretação do comportamento dos atributos do solo, para melhor tomada de decisão na prática de manejo. Na análise simultânea de muitas informações, a estatística multivariada torna-se a melhor ferramenta, possibilitando obter informações e interpretações que poderiam não ser perceptíveis com o uso da análise estatística univariada (FREITAS et al., 2014). Dessa forma, alguns estudos (SANTI et al., 2012; JOSÉ et al., 2013; FREITAS et al., 2014;) têm aplicado técnicas multivariadas para avaliar as variáveis do solo e encontrado resultados satisfatórios.

Considerando o solo como um sistema complexo, resultante da interação de fatores geológicos, topográficos e climáticos, entre outros, que juntos formam indicadores que caracterizam o solo, é possível usar técnicas de análise multivariada para explorar com mais eficiência correlações entre essas variáveis e determinar aquelas que contribuem mais à caracterização do solo e / ou alterações do solo (PRAGANA et al., 2012; GONG et al., 2015; ROJAS et al., 2016; KHALEDIAN et al., 2017).

Tais técnicas multivariadas permitem que se faça ainda redução na dimensão de análises com múltiplas respostas com o objetivo de simplificar o seu entendimento, a sua visualização e interpretação, além de obter suficientes detalhes para adequada representação desses resultados (PRAGANA et al., 2012). O uso de técnicas de multivariadas, associada à geoestatística, tem permitido abordagens eficientes em ciências agrárias, principalmente por considerar, simultaneamente, a variação espacial de um número elevado de variáveis que influenciam os sistemas de produtividade agrícola (NAZMI, 2013).

No entanto, uma pergunta precisa ser respondida, o índice HV pode ser utilizado na soja? Diante do exposto, para responder a essa pergunta, este estudo tem como objetivo

verificar se há correlação entre os atributos do solo, índices de vegetação analisado e produtividade.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo da variabilidade espacial dos índices de reflectância, na cultura da soja, foi realizada na Fazenda Emiliana, localizada no município de Balsas (MA), Brasil em 2019, conforme mostrado na Figura 1. O clima da região é o tropical, tipo Aw, segundo a Köppen e Geiger, uma temperatura média de 26,4 °C, com pluviosidade média anual de 1190 mm. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico com textura argilosa a moderado epidistrófico segundo metodologia da EMBRAPA (2016).

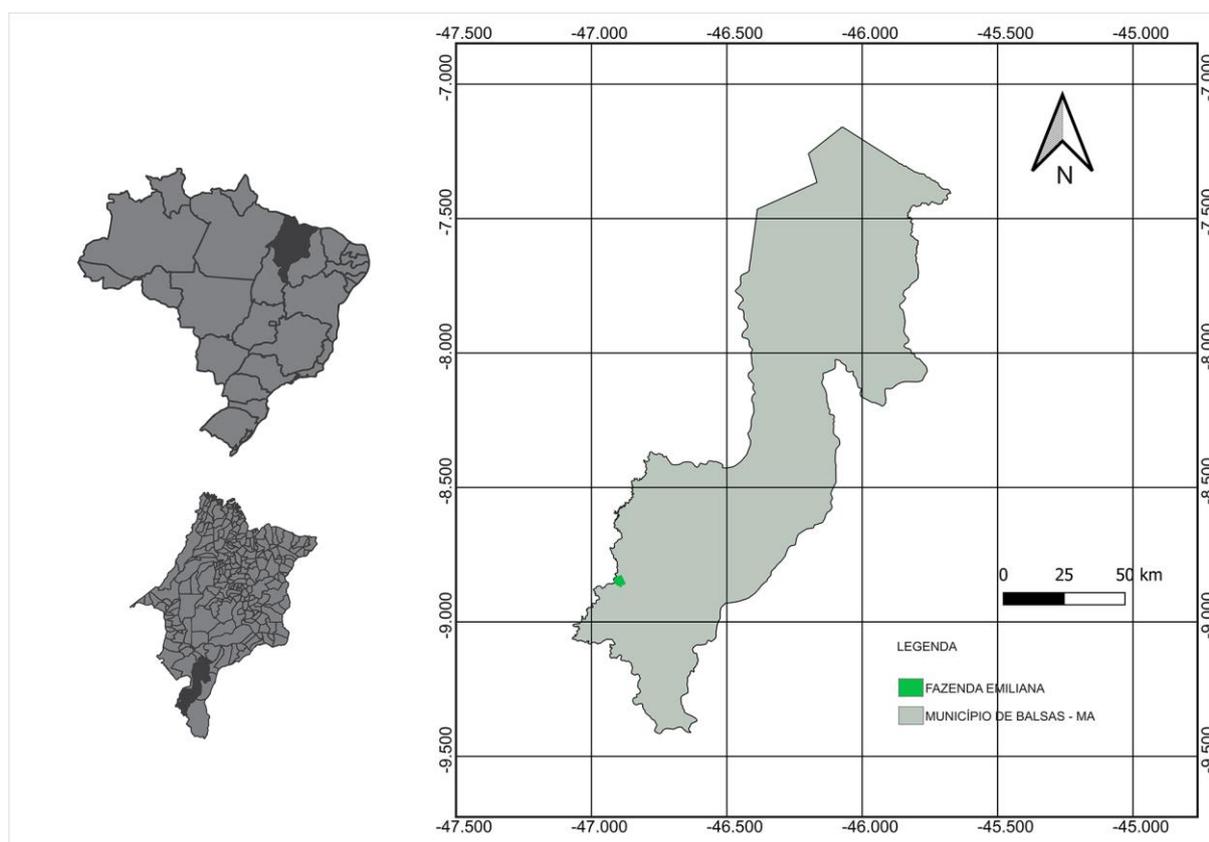


Figura1. Localização da área de estudo.

Utilizou-se imagem orbital do satélite Sentinel-2 com resolução espacial de 5 m, correspondente a 08 de janeiro de 2019, sendo a imagem HV, com as bandas NIR (Infravermelho próximo), SWIR 1 e azul, com os respectivos comprimentos de ondas central (nanômetro) 842, 1610 e 842, já processada e adquirida pelo Earth Observing System (EOS),

adotando-se o Datum WGS 84, referente ao período de crescimento vegetativo da cultura R5 na área de estudo, conforme demonstrado na Figura 2.

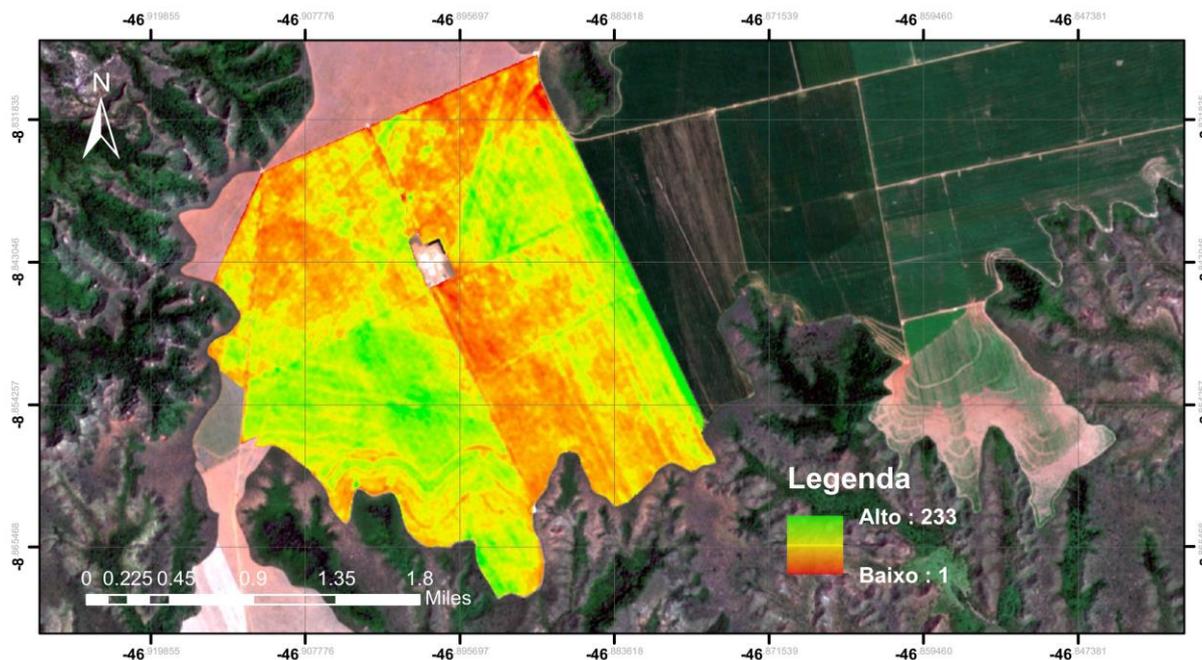


Figura 2. Índices de vegetação analisado, HV, (B8A, B11, B02), com os respectivos comprimentos de ondas central (nanômetro) 842, 1610 e 842 dos Talhões T1, T2 e T3.

O solo estudado vem sendo cultivado com a sucessão de culturas soja/milho, respectivamente semeadas no verão e segunda safra. A cultura da soja foi semeada no dia 20 de novembro de 2018, sob a palhada de milho em sistema de semeadura direta, esta sequência de culturas foi adotada até a implantação do experimento. As práticas normais de condução da cultura, tais como o tratamento fitossanitário e o cultivo químico, foram procedidas homogeneamente em toda a área experimental, conforme recomendações de FAHL et al. (1998).

A coleta de dados foi realizada em três talhões, totalizando uma área de 2.126,02 ha, na qual a determinação dos pontos de coleta de amostras de solo e de planta foi feita com grade amostral regular e também distribuídos de forma aleatória sobre os talhões utilizando o software ArcGis, com 270 pontos regulares e 98 pontos aleatórios, totalizando 368 pontos. Tendo os pontos regulares com as dimensões 225m por 225m conforme mostrado na Figura 3.

As amostras deformadas de solo foram coletadas em 10 de agosto de 2019, com trado de caneco, na camada 0,0 - 0,20 m, sendo coletadas 4 sub-amostras simples para obtenção de uma amostra composta e foram enviadas para determinação dos atributos químicos, conforme

os procedimentos de Silva et al. (2007a). Os atributos químicos foram analisados, de acordo com a metodologia descrita por EMBRAPA (1997) para os seguintes atributos químicos o pH (CaCl_2), teor de fósforo (Presi) (mg dm^{-3}), teor de potássio (K) ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), cálcio (Ca) ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), magnésio (Mg) ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), alumínio (Al) ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) acidez potencial (H+A), ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), Boro (B) (mg dm^{-3}) e Enxofre (S) (mg dm^{-3}).

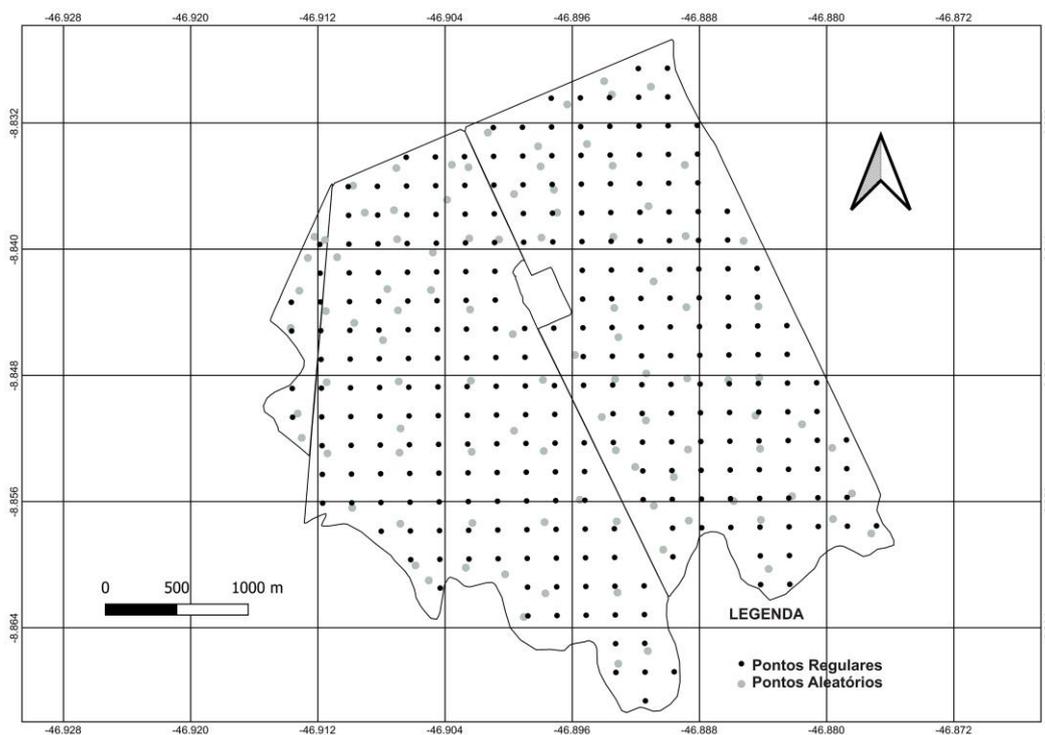


Figura 3. Grade amostral na Fazenda Emiliana, localizada no município de Balsas (MA).

De acordo com os pressupostos teóricos de Vieira (1999), este estudo teve os dados analisados estatisticamente, por meio de uma análise exploratória na qual se caracterizou uma variável em estudo, por consequência, identificava-se e avalia-se seu comportamento e distribuição dos dados. Foram geradas como estatísticas: média, mediana, mínimo, máximo, desvio padrão e coeficiente de variação. Para a classificação do coeficiente de variação (CV), adotou-se as seguintes classes e magnitudes: baixa ($\text{CV} \leq 10\%$), média ($10\% < \text{CV} \leq 20\%$), alta ($20\% < \text{CV} \leq 30\%$) e muito alta ($\text{CV} > 30\%$) variabilidade (GOMES; GARCIA, 2002).

Para avaliar o grau de relacionamento entre as variáveis envolvidas no processo de modelagem, realizou-se análise de correlação de Pearson com o software Genes, objetivando efetuar as regressões lineares simples para as combinações, duas a duas, entre todos os atributos estudados, com objetivo de estudar a correlação linear entre eles. Assim, foram selecionados aqueles de maior correlação linear para a modelagem de regressões. Uma etapa fundamental que antecede a análise geoestatística é a realização de uma criteriosa análise exploratória dos dados.

A análise da dependência espacial foi realizada no software ArcGis dos atributos químicos do solo, foi realizada pelo cálculo do semivariograma, com base nos pressupostos de estacionaridade da hipótese intrínseca. Os ajustes dos semivariogramas simples, em função de seus modelos, foram efetuados prioritariamente pela seleção inicial de: a) menor soma dos quadrados dos desvios (SQR), b) maior coeficiente de determinação (r^2) e c) maior avaliador do grau da dependência espacial (ADE), a decisão final do modelo que representou o ajuste foi realizada pela validação cruzada, assim como para a definição do tamanho da vizinhança que proporcionou a melhor grade amostral da krigagem ordinária, segundo Dalchiavon et al. (2017).

Para cada atributo foi relacionado o efeito pepita (C_0), o alcance (A_0) e o patamar ($C_0 + C$). A análise do avaliador da dependência (ADE, Equação 1) foi realizada conforme sugestões de CAMBARDELLA et al. (1994), modificada pelo GAMMA DESING SOFTWARE (2004), conforme a seguinte expressão:

$$ADE = [C / (C + C_0)] \cdot 100 \quad (01)$$

A interpretação proposta para o ADE foi em conformidade com sugestão de DALCHIAVON e CARVALHO (2012);

ADE < 20 % = variável espacial de muito baixa dependência (MB);

a) 20 % ≤ ADE < 40 % = baixa dependência (BA);

b) 40 % ≤ 60 % = média dependência (ME);

c) 60 % ≤ 80 % = alta dependência (AL) e

d) 80 % ≤ ADE 100 % = muito alta dependência (MA).

Para analisar os mapas para poder definir qual teve melhor relação visual com a produtividade, foi proposto o coeficiente de desvio relativo (CDR, Equação 2) através do software Microsoft Excel, segundo COELHO et al. (2009). Ressalte-se, aqui, o que o CDR calcula a diferença média em módulo dos valores interpolados em um mapa temático quando comparado com um mapa, estimando o erro médio da interpolação com os pontos amostrados. A justificativa é que o objetivo foi estimar afastamentos de mapas temáticos utilizando outros interpoladores mais amigáveis do que a krigagem, considerada como melhor interpolador, mas que apresenta dificuldade em sua implementação.

$$CDR = \sum_{i=1}^n \left| \frac{P_{ijk} - P_{ipad}}{P_{ipad}} \right| * \frac{100}{n} \quad (02)$$

em que: n: número de pontos interpolados (para estudo = 7.500 pontos); P_{ipad} : pesquisa de referência no ponto i; P_{ijk} : teste no ponto para o método de amostragem.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando os atributos apresentados na Tabela 2 e segundo a classificação de Pimentel-Gomes & Garcia (2002), verificamos que H+Al (8,67%), Silte (9,66%), Argila (6,83%), Produtividade (PROD) (6,81%), pH (2,84%), T (9,62) e V% (7,05%) apresentaram baixo CV. Em relação aos demais atributos, as análises mostram CV médio para o Ca (15,20%), K (17,66%), Mg (19,93%), Areia (13,38%) e SB (15,99%) e muito alto para P (68,81%), B (79,47%), S (36,04%) e Al (51,68%). Analisando os atributos do solo observa-se que pH apresentaram baixa variabilidade, tais dados estão em conformidade com resultados obtidos por Montanari et al. (2013a), trabalhando em um Latossolo Vermelho distroférrico obteve 4,4% e 4,3% para as profundidades de 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m.

O atributo do solo P (68,81%), apresentou alta variabilidade, estando em conformidade com os resultados obtidos por Montanari et al. (2013a) que obteve 43,4% e 43% e Lima et al. (2013) com 32,1% e 48,0%, respectivamente para as profundidades de 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m, onde os autores obtiveram variabilidade muito alta para o fósforo nas duas profundidades. A presença residual de fertilizantes usados anteriormente pode explicar a mudança no fósforo concentrações, considerando o histórico da área e o método de aplicação em fileiras, enquanto a correção da acidez do solo e a deposição de resíduos de culturas (AMADO; SANTI, 2010).

Neste contexto, Dalchiavon (2011), avalia que o teor do P pode estar relacionado a semeadura direta pelo não revolvimento do solo, o que reduz o contato entre os colóides e o íon fosfato, amenizando as reações de adsorção, sobretudo pelo fato do P-orgânico, oriundo da decomposição dos restos das raízes remanescentes ao longo do perfil do solo, constituindo importante reserva de P-lábil para as plantas nas camadas mais profundas do solo.

O K (17,66%), apresentou média variabilidade, diferente do obtido por Dalchiavon et al. (2011) e pôr a área Amado & Santi, (2010), onde os autores encontrou para o K, variabilidade muito alta (38,5%). Os autores descrevem que a alta variabilidade para o K devido à presença residual de fertilizantes usados anteriormente na cultura antecessora (milho) por conta de adubação. Os resultados confirmam aqueles Schindwein e Anghinoni (2000), que encontraram alto coeficientes de variação de fósforo e potássio.

Na Tabela 2, tanto o Ca (15%) como o Mg (19,93%) apresentaram variabilidade média, discordando dos obtidos por Alves et al. (2014), Lima et al. (2013) e Cavalcante et al. (2007) que obtiveram valores de magnésio, em sistema de plantio direto, em torno de 35% e para o

preparo convencional de 49%. A não conformidade dos teores de Ca e Mg apresentados pode ser explicado em virtude da não realização da calagem nos 3 últimos anos anteriores, a qual foi realizada somente no ano de 2013. Bottega et al. (2013) avaliando a variabilidade do Al, obteve resultados muito altos conforme encontrados neste trabalho, podendo também ser explicado pela não realização da calagem.

Tabela 2. Estatística descritiva inicial da produtividade da soja e de alguns atributos químicos de um Latossolo Vermelho distrófico na Fazenda Emiliana, localizada no município de Balsas (MA).

Atributo	Média	Mediana	Valores		DP	Coeficiente			Probabilidade de Teste
			Mín	Máx		Var (%)	Ass	Curt	
Ca	2.70	2.57	2.54	2.72	0.41	15.20	-0,23	6.00	0,00
H+Al	2.60	2.65	1.90	3.80	0.23	8.67	1,07	7.57	0,00
K	0.09	0.08	0.06	0.17	0.02	17.66	3,29	4.09	0,00
Mg	1.21	1.12	1.16	1.21	0.24	19.93	-0,01	5.86	0,30
P	6.05	5.11	5.44	8.67	4.17	68.81	0,23	31.79	0,13
B	0.29	0.26	0.11	1.55	0.14	49.47	0,34	46.88	0,03
Silte	106.66	103.98	75.00	175.00	10.30	9.66	-0,12	10.49	0,00
Argila	580.55	574.30	529.88	632.19	39.62	6.83	-0,51	3.23	0,00
S	7.42	7.01	4.00	32.00	2.67	36.04	0,31	23.51	0,09
Areia	312.72	322.02	207.62	357.62	41.84	13.38	0,21	4.03	0,29
PROD	2996.25	3115.13	2662.60	3129.14	206.97	6.91	-1,97	-1.01	0,00
Al	0.01	0.00	0.00	0.60	0.04	51.68	-0,24	207.17	0,00
pH	5.59	5.52	5.20	6.10	0.16	2.84	1,08	0.84	0,00

Sendo P, pH, K, Ca, Mg, H+Al, Al, PROD, B, S e HV são respectivamente fósforo extraído por resina, potencial hidrogeniônico, potássio, cálcio, magnésio, acidez potencial, alumínio trocável, produtividade de soja, boro, enxofre e healthy vegetation.

Para SB (15,99%) a variabilidade apresentou-se como média (Tabela 2). Já Matias et al. (2015) encontrou variabilidade alta (20,58%) trabalhando em um Latossolo Amarelo distrófico por (DALCHIAVON et al. 2011). O restante dos atributos químicos apresentou a variabilidade semelhante ao apresentado por (DALCHIAVON et al. 2016).

Os coeficientes de assimetria e curtose foram diferentes de zero para todas as variáveis testadas (Tabela 2). A assimetria foi negativa para Ca, Mg, silte, argila, PROD, Al e SB. Contudo, curtose apresentou valores negativos apenas para a PROD. Resultados semelhantes

foram encontrados por Cambardella et al, (1994). Skewness representa o grau de desvio de uma curva na direção horizontal, o que pode ser positivo, com uma maior concentração de valores altos, ou negativos, com predominância de valores baixos. Segundo Cressie (1993), a normalidade dos dados não é obrigatória em geoestatística.

No estudo das correlações lineares de Pearson da PROD com os atributos analisados (Figura 4), a PROD firmou correlações positivas e significativas com Ca ($r = 0,78$), Mg ($r = 0,87$), P ($r = 0,63$), Argila ($r = 0,81$), HV ($r = 0,89$), SB ($r = 0,67$) e V% ($r = 0,35$). Conforme encontrado por Dalchiavon et al. (2011) e Matias et al. (2015) que obtiveram também relações diretas com pH, SB com o Ca e Mg.

Na Tabela 3 (anexo) e na Figura 4, observou-se correlações entre Ca x Mg ($r = 0,94$), Ca x SB ($r = 0,93$), Mg x SB ($r = 0,90$), H+Al x T ($r = 0,98$), PROD x Mg ($r = 0,87$), PROD x Argila ($r = 0,81$) e PROD x HV ($r = 0,89$) foram significativas a 5 % demonstrando correlação forte, com $r > 0,8$ segundo Dalchiavon et al., (2012).

Na Figura 5 são apresentados os índices de correlação linear dos atributos do solo com o HV da cultura da soja, os coeficientes de correlação linear simples, entre os atributos do solo que mais se correlacionaram com o índice de vegetação (HV). Sendo assim, para correlacionar o HV aos atributos do solo justifica a análise da dependência espacial para melhor entendimento do padrão de ocorrência desses atributos no espaço, na qual se demonstraram bem positivas.

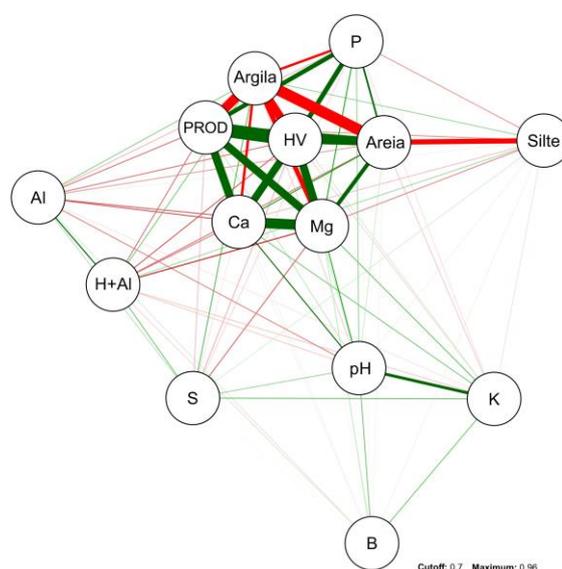


Figura 4. Rede de correlações da produtividade de soja, HV e de alguns atributos químicos de um Latossolo Vermelho distrófico na Fazenda Emiliana, localizada no município de Balsas (MA). Sendo P, pH, K, Ca, Mg, H+Al, Al, PROD, B, S e HV são respectivamente fósforo extraído

por resina, potencial hidrogeniônico, potássio, cálcio, magnésio, acidez potencial, alumínio trocável, produtividade de soja, boro, enxofre e healthy vegetation.

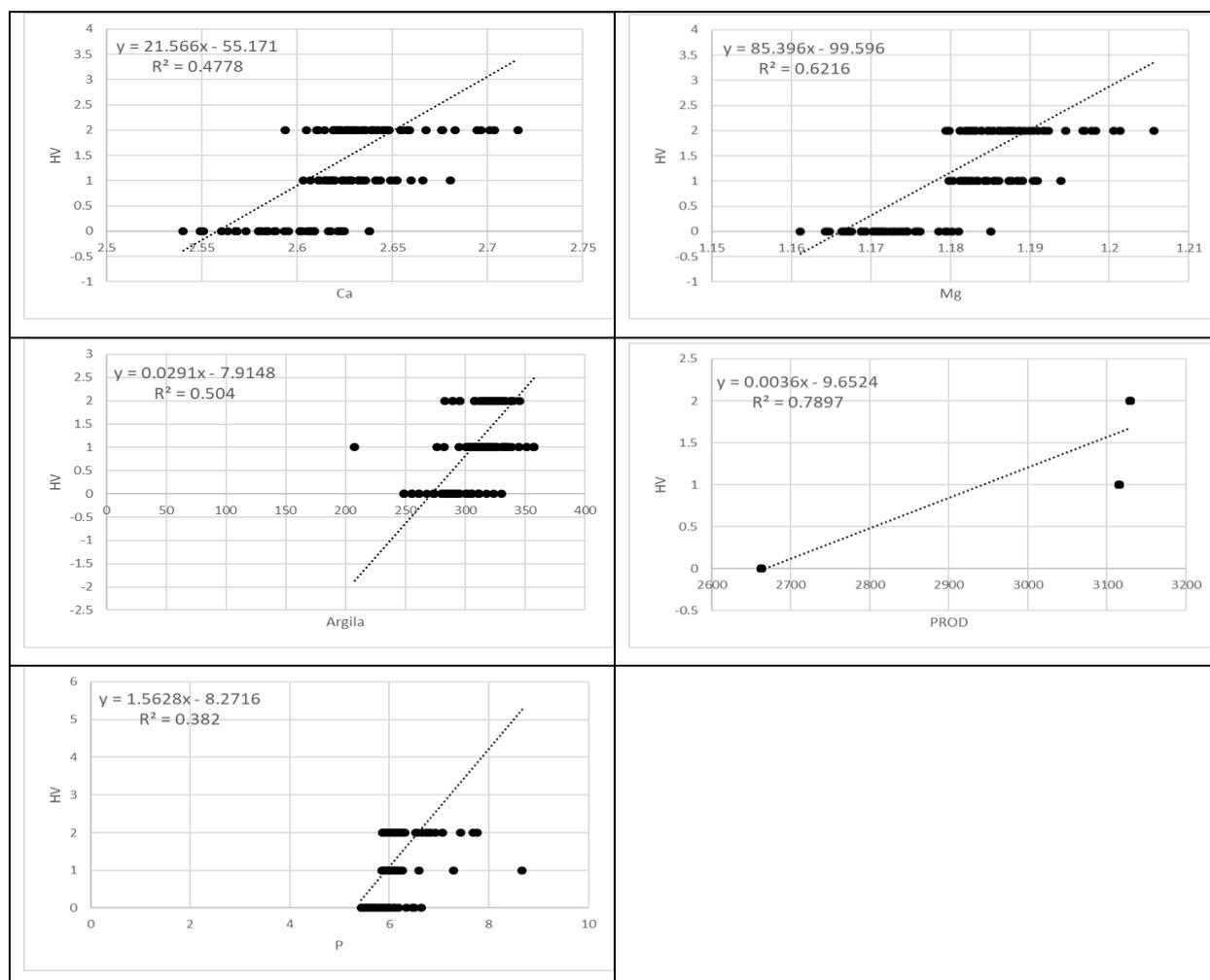


Figura 5. Equações de regressão do índice espectral de vegetação HV dos grãos soja em razão com todos que demonstraram relação positiva maior que $r > 0,6$. Sendo P, pH, K, Ca, Mg, H+Al, Al, PROD, B, S e HV são respectivamente fósforo extraído por resina, potencial hidrogeniônico, potássio, cálcio, magnésio, acidez potencial, alumínio trocável, produtividade de soja, boro, enxofre e healthy vegetation.

A análise geoestatística (Tabela 4) evidenciou que houve dependência espacial para o semivariograma do atributo Ca, Mg, HV e P que se ajustaram ao modelo exponencial, enquanto que PROD e Argila ajustaram ao modelo esférico, concordando com Montanari et al., (2013b) que dizem que os modelos esféricos e exponenciais apresentam-se como teóricos mais comuns aos atributos do solo e da planta.

Desta forma verifica-se que as variáveis Ca, Mg, Argila, P, PROD e HV apresentaram dependência espacial mostrando que a grade amostral utilizada foi suficiente para o estudo da variabilidade espacial. Segundo Dalquiavon et al. (2011), uma das maneiras de se avaliar o desempenho dos semivariogramas, é sua análise a partir dos seus respectivos coeficientes de determinação espacial (r^2), de modo que o comportamento pela relação decrescente dos melhores ajustes foi: 1) PROD (0,98), 2) Argila (0,87), 3) Mg (0,82), 4) Ca (0,677) , 5) HV (0,47) e 6) P (0,36).

O alcance é o principal parâmetro fornecido pela geoestatística, apresentando segundo LEMOS FILHO et al. (2008), o comportamento espacial da variável estudada, indicando a distância na qual a variável apresenta continuidade espacial. Este parâmetro torna-se importante para a agricultura de precisão devido a utilização de pacotes a geoestatísticos alimentarem os maquinários agrícolas para a aplicação de insumos a taxas variáveis. Assim verificou-se que em forma decrescente de alcances: 1) P (3915,00 m), 2) Mg (1414,00 m), 3) PROD (1273,00 m), 4) Argila (1124,00 m), 5) Ca (222,30 m) e 6) HV (67 m). O intervalo indica o limite de dependência espacial de uma variável, para que determinações feitas a distâncias maiores que esse valor terá distribuição espacial aleatória e, portanto, independente e pode ser aplicado à estatística clássica. Além disso, determinações feitas a distâncias menores correlacionados, permitindo interpolações a distâncias inferiores a aqueles amostrados (ANDRIOTTI, 2013).

Tabela 4. Parâmetros dos semivariogramas.

Atributo	Modelo	Co	Co+C	A0(m)	R ²	ADE	
						%	Classe
Ca	Exponencial	0,00046	0,00092	222,30	0,677	50,1	ME
Mg	Exponencial	0,00004	0,00007	1417,00	0,815	50,1	ME
Argila	Esférico	127,100	254,3000	1124,00	0,872	50	ME
P	Exponencial	0,008730	0,17560	3915,00	0,361	50,3	ME
Prod	Esférico	12750,00	42970,00	1273,00	0,982	70,3	AL
HV	Exponencial	0,09300	0,663	67	0,473	0,86	MA

Sendo P, pH, K, Ca, Mg, H+Al, Al, PROD, B, S. HV, ME, AL e MA são respectivamente fósforo extraído por resina, potencial hidrogeniônico, potássio, cálcio, magnésio, acidez potencial, alumínio trocável, produtividade de soja, boro, enxofre, healthy vegetation, média dependência, alta dependência e muito alta dependência.

Os valores são importantes no planejamento da amostragem futura, permitindo redes a serem dimensionadas e o número de pontos de amostragem ser estimado (SOUZA et al,

2006). Segundo Oliveira et al, (1999), conhecimento de valores de faixa e localização de áreas onde os níveis maiores e ou mais baixos de um determinado produto químico são concentrados, são essenciais para o planejamento do manejo da fertilidade do solo na agricultura de precisão.

Para analisar o grau de dependência espacial das variáveis, utilizou-se a classificação de DALCHIAVON e CARVALHO (2012), em que são considerados de dependência espacial forte os semivariogramas que têm um efeito pepita (C_0/C_0+C_1), sendo assim o Ca, Mg, Argila, P apresentaram grau de dependência espacial média e PROD e HV, dependência alta e muito alta respectivamente.

Para os atributos do solo, os mapas de Krigagem (Figura 6, 7 e 8) foram elaborados de acordo com as respectivas classes de fertilidade no solo, segundo a metodologia de VITTI (2016), uma vez que as recomendações de adubação podem ser realizadas conforme essas classificações de níveis de nutrientes.

Os mapas de distribuição espacial para as variáveis estudadas forneceram um diagnóstico adequado da distribuição dos atributos do solo e dos componentes do rendimento, mostrando sensibilidade na identificação de pequenas variações (Figura 6, 7 e 8), semelhante à obtida por Montanari et al. (2008) e Motomiya et al. (2011).

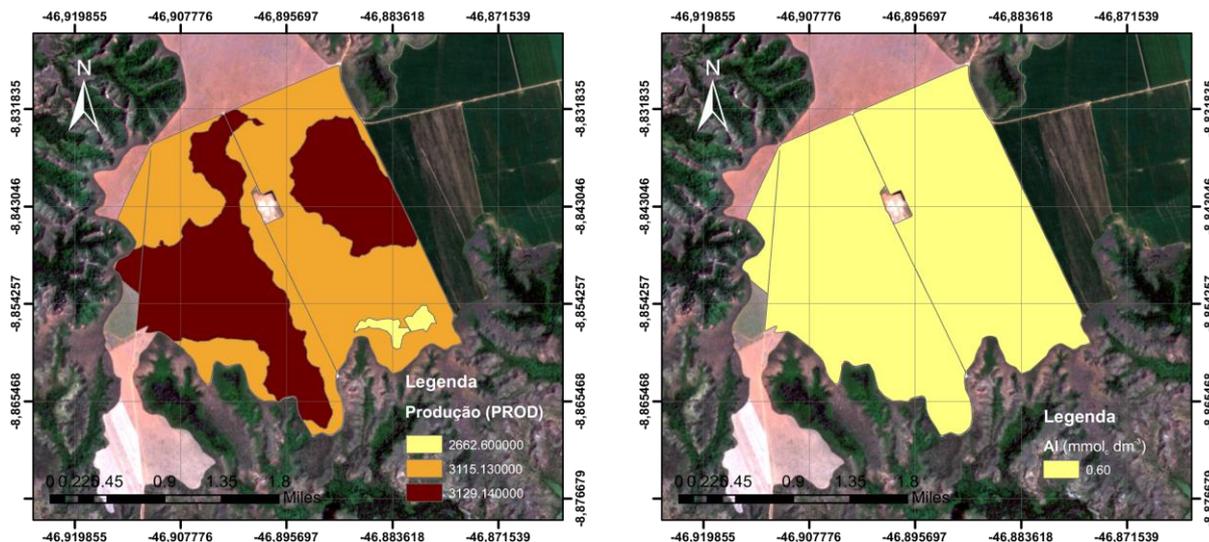


Figura 6. Semivariogramas dos atributos que correlacionaram com a produtividade de soja na Fazenda Emiliana, localizada no município de Balsas (MA) Sendo P, pH, K, Ca, Mg, H+Al, Al, PROD, B, S e HV são respectivamente fósforo extraído por resina, potencial hidrogeniônico, potássio, cálcio, magnésio, acidez potencial, alumínio trocável, produtividade de soja, boro, enxofre e healthy vegetation.

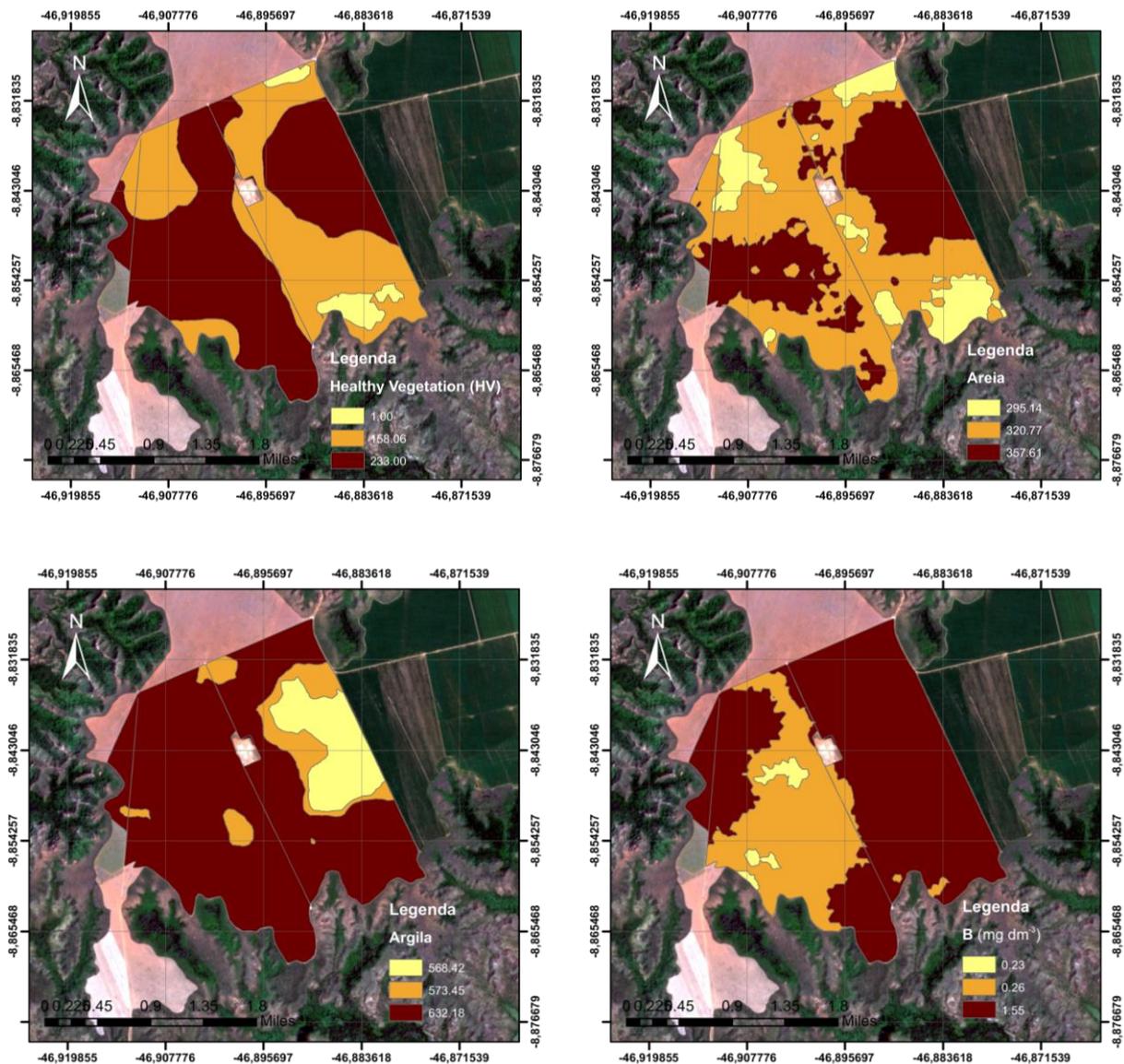


Figura 7. Semivariogramas dos atributos que correlacionaram com a produtividade de soja na Fazenda Emiliana, localizada no município de Balsas (MA) Sendo P, pH, K, Ca, Mg, H+Al, Al, PROD, B, S e HV são respectivamente fósforo extraído por resina, potencial hidrogeniônico, potássio, cálcio, magnésio, acidez potencial, alumínio trocável, produtividade de soja, boro, enxofre e healthy vegetation.

Uma grande variedade pode ser vista para as propriedades químicas, revelando problemas que podem ocorrer ao usar valores médios para o gerenciamento de fertilidade. Para certos locais na área de produtividade, a aplicação de fertilizantes será menor do que o necessário, em alguns será consistente com os requisitos e em outros excessivos doses podem ser aplicadas, comprometendo a produtividade e a qualidade das sementes da soja.

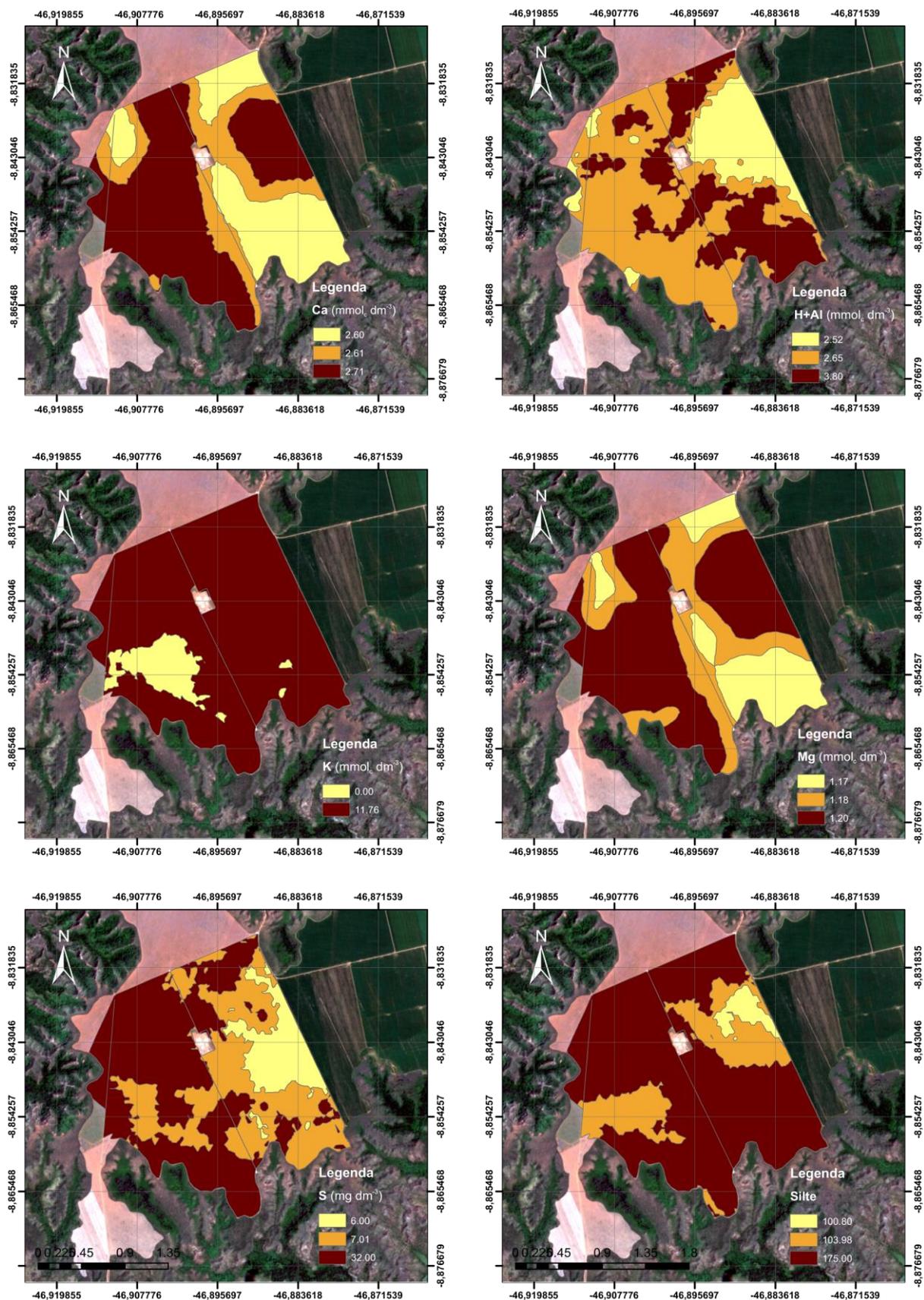


Figura 8. Semivariogramas dos atributos que correlacionaram com a produtividade de soja na Fazenda Emiliana, localizada no município de Balsas (MA) Sendo P, pH, K, Ca, Mg, H+Al,

Al, PROD, B, S e HV são respectivamente fósforo extraído por resina, potencial hidrogeniônico, potássio, cálcio, magnésio, acidez potencial, alumínio trocável, produtividade de soja, boro, enxofre e healthy vegetation.

Os mapas de distribuição espacial para as variáveis estudadas forneceram um diagnóstico adequado da distribuição dos atributos do solo e dos componentes do rendimento, mostrando sensibilidade na identificação de pequenas variações (Figura 6), semelhante à obtida por Montanari et al. (2008) e Motomiya et al. (2011). Uma grande variedade pode ser vista para as propriedades químicas, revelando problemas que podem ocorrer ao usar valores médios para o gerenciamento de fertilidade. Para certos locais na área de produtividade, a aplicação de fertilizantes será menor do que o necessário, em alguns será consistente com os requisitos e em outros excessivos doses podem ser aplicadas, comprometendo a produtividade e a qualidade das sementes da soja.

A média dos coeficientes de desvio relativo (CDR) dos mapas temáticos analisados ficou entre 98.74 e 5.03 (Tabela 4). Este valor representa a diferença média em módulo dos valores interpolados em cada grade em relação à grade considerada como referência a produtividade de soja. Nota-se que o melhor resultado foi Mg (5.03) seguido por Ca (5.49) e pH (7.81), mostrando os mesmos resultados apresentados pela rede de correlação. Um resultado inesperado foi o valor do coeficiente de desvio relativo do HV, que se apresentou bem alto mesmo tendo a correlação bem alta com a produtividade da soja.

Não foi possível comparar com dados da bibliografia, porque o coeficiente utilizado (CDR) calcula a diferença média em módulo dos valores interpolados em um mapa temático quando comparado com um mapa assumido como referência, e não como é realizado na bibliografia, estimando o erro médio da interpolação com os pontos amostrados.

Tabela 4. Valores médios dos coeficientes de desvio relativo (CDR) dos atributos que correlacionaram com a produtividade de soja na Fazenda Emiliana, localizada no município de Balsas (MA).

Ca	H_Al	K	Mg	P	B	Silte	Arg.	S	Are.	HV	Al	ph
5.49	28.43	46.69	5.03	26.88	80.40	35.95	9.97	75.69	8.71	35.71	98.74	7.81

Sendo P, pH, K, Ca, Mg, H+Al, Al, PROD, B, S, HV, Sil., Are e Arg são respectivamente fósforo extraído por resina, potencial hidrogeniônico, potássio, cálcio, magnésio, acidez potencial, alumínio trocável, produtividade de soja, boro, enxofre, healthy vegetation, Silte, Areia e Argila.

4 CONCLUSÃO

Os atributos que apresentaram correlação espacial com o HV na área de estudo, foram argila, Ca, Mg e P. O pH, B, K, Silte, Areia, S, H+Al, Al, SB e CTC do solo não apresentou correlação espacial com o índice de vegetação estudado. As imagens do Sentinel-2 com resolução espacial de 5 m, correspondente a 08 de janeiro de 2019, sendo a imagem HV, em relação ao HV da soja apresentaram boa aplicação para observar a variabilidade espacial dos atributos estudados por apresentar uma ótima correlação linear com a produtividade e por apresentar um ótimo CDR. Dentre os modelos matemáticos da Geoestatística, os que melhor explicaram os resultados foram os modelos Esférico e Exponencial.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMADO, T. J. C.; SANTI, A. L. Agricultura de precisão aplicada ao manejo do solo na cultura da soja. In: THOMAS, A. L.; COSTA, J. A. (Org.). Soja: manejo para alta produtividade de grãos. 1. ed. Porto Alegre: Ed. Evangraf, 2010. cap. 6, p. 177-207.
- ANDRIOTTI, J. L. S. Fundamentos de estatística e geoestatística. São Leopoldo: Ed. UNISINOS, 2013. 165 p.
- CAMBARDELLA, C. A. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.
- CAMBARDELLA, C. A. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.
- CARVALHO, M. P.; TAKEDA, E. Y.; FREDDI, O. S.. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 695-703, 2003.
- CARVALHO, O.S. et al. Variabilidade espacial de algumas propriedades químicas de um solo submetido a diferentes sucessões de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, p.497-503, 1998.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos – 4º Levantamento**. Monitoramento Agrícola, v. 5, n. 4, p. 1-132, 2018.
- COSTA, J.M.; OLIVEIRA, E.F. de. Fertilidade do solo e nutrição de plantas: culturas: soja-

- milhotrigo-algodão-feijão. 2. ed. Campo Mourão: COAMO, COODETEC, 2001. 93 p.
- CRESSIE, N.A.C. Statistics for spatial data. New York: John Wiley, 1993. 900p.
- DALCHIAVON, F. C. Produtividade da soja e resistência mecânica à penetração do solo sob sistema plantio direto no cerrado Brasileiro. **Pesquisa Agropecuaria Tropical**, Goiania, v. 41, n. 1, p. 8–19, 2011.
- DALCHIAVON, F. C. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférico sob Sistema Plantio Direto. **Revista Ciência Agronomica**, Fortaleza, v. 43, n. 3, p. 453–461, 2012.
- DALCHIAVON, F. C.; DE PASSOS E CARVALHO, M. Correlação linear e espacial dos componentes de produtividade e produtividade da soja. **Semina: Ciências Agrárias**, Landrina, v. 33, n. 2, p. 541–552, 2012.
- EMBRAPA 2013. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Solos, Rio de Janeiro. 353 p. Verificar 2016 mais novo.
- EMBRAPA. Manual De Métodos De Análise De Solo, 2 ed. Ministério da Agricultura e do Abastecimento / EMBRAPA-CNPS, Brasília, 1997
- EPSTEIN, E. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas** Traduzida por E. Malavolta. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1975. 672p.
- FARINA, M.P.W. CHANNON, P. Acid-subsoil amelioration. II. Gypsum effects on growth and subsoil chemical properties. **Soil Science Society of America Journal.**, 52:175-180, 1988.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência. agrotecnica**. [online]. 2014, n.2, p. 109-112. Disponible en: ISSN 1413-7054. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542014000200001>.
- Gamma Design Software 2004, **GS+: Geostatistics for the Environmental Sciences**, Plainwell, Mich.
- Gong, L., Ran, Q.Y., He, G.X., Tiyip, T.. A soil quality assessment under different land use types in Keriya river basin, Southern Xinjiang, China. **Soil Tillage Res** , 2015.
- GONZALES-ERICO, E. Effect of depth of lime incorporation on the growth of corn on an Oxisol of Central Brazil. **Soil Science Society America Journal**, Madson, v.43, p. 1155-1158, 1979.
- Khaledian, Y., Kiani, F., Ebrahimi, S., Brevik, E.C., Aitkenhead-Peterson, J., 2017. Assessment and monitoring of soil degradation during land use change using multivariate analysis. **Land Degrad. Dev.** 28, 128–141.

- LOPES, A. .; GUILHERME, L. R. G. **Fertilidade do solo e produtividade agrícola. Fertilidade do solo**, p. 2–61, 2007.
- MARQUES JÚNIOR, J.; LEPSCH, I. F. Depósitos superficiais neocenozóicos, superfícies geomórficas e solos em Monte Alto, SP. **Geociências**, Rio Claro, v. 19, n. 2, p. 265–282, 2000.
- MASCARENHAS, H.A.A. Diferentes proporções de calcário calcítico e dolomítico no crescimento da soja em solos de cerrado. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA, 3., Campinas, 1984. **Anais...** Londrina: EMBRAPA-CNPSO, 1984. p.852-863.
- MASCARENHAS, H.A.A. **Efeito residual de adubação na produção da soja**. Campinas: IAC, 1981. 18p (Boletim Técnico, 24).
- MONTANARI, R. Variabilidade espacial de atributos químicos em latossolo e argissolos. *Ciência Rural*, v. 38, n. 5, p. 1266-1272, 2008.
- MOTOMIYA, A. V. A. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo e produtividade do algodoeiro. *Revista Agrarian*, v. 4, n. 11, p. 01-09, 2011.
- Nazmi,L.,2013.Modeling forrelationshipsbetweensoil propertiesandyieldcomponents of wheat using multiple linear regression and structural equation modeling. *Adv. Environ. Biol.* 7, 235–242.
- OLIVEIRA, J. J. et al. Variabilidade espacial de propriedades químicas em um solo salino-sódico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 23, n. 4, p. 783-789, 1999.
- ORLANDO FILHO, J. O., et al. **Relações K, Ca e Mg de solo areia quartzosa e produtividade da cana-de-açúcar**. STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos, Piracicaba, v. 14, n. 5, p. 13-17, 1996.
- PEARSON, Karl; FISHER, Ronald INMAN, Henry F. , “Karl Pearson and R. A. Fisher on Statistical Tests: A 1935 Exchange from Nature”. **The American Statistician**, v. 48, n.1: p. 2-11. 1994.
- PIMENTEL-GOMES, F. GARCIA, C.H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: Exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos**. Piracicaba, FEALQ, 2002. 309p.
- Pragana, R.B., Ribeiro, M.R., Nobrega, J.C.A., Ribeiro, M.R., da Costa, J.A.Physical quality of oxisols under no-tillage in the savanna region of piaui. *R. Bras. Ci. Solo* 36, 2012.
- QUAGGIO, J.A. Respostas da soja à aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.28, p. 375-383, 1993.
- RAIJ, B. *et al.* **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 285 p. 2001.

- RAIJ, B. van, Efeito de níveis de calagem na produção de soja em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.1, p.28-31, 1977.
- REICHERT, J. M. Variabilidade espacial de Planossolo e produtividade de soja em várzea sistematizada: análise geoestatística e análise de regressão. **Ciência Rural**, v. 38, n. 4, p. 981–988, 2008.
- Rojas, J.M., Prause, J., Sanzano, G.A., Arce, O.E.A., Sánchez, M.C., 2016. Soil quality indicators selection by mixed models and multivariate techniques in deforested areas for agricultural use in NW of Chaco, Argentina. *Soil Tillage Res.* 155, 250–262.
- SALVIANO, A.A.C.; VIEIRA, S.R. & SPAROVEK, G. Variabilidade espacial de atributos de solo e de *Crotalaria juncea*-L em área severamente erodida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p.115-122, 1998.
- SCHLINDWEIN, J. A.; ANGHINONI, I. Variabilidade vertical de fósforo e potássio disponíveis e profundidade de amostragem do solo no sistema plantio direto. *Ciência Rural*, v. 30, n. 4, p. 611-617, 2000.
- SEIDEL; MARCELO SILVA DE OLIVEIRA **SEMINA: Ciências Exatas e Tecnológicas**, Londrina, v. 34, n. 1, p. 125-132, 2013.
- SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality: complete samples. *Biometrika*, Oxford, v. 52, n. 3-4, p. 591-611, 1965.
- Silva, E.E., Azevedo, P.H.S., De-Polli, H., 2007b. Determinação Do Carbono Da Biomassa Microbiana Do Solo (BMS-C). Embrapa Agrobiologia, Seropédica.
- Silva, E.E., Azevedo, P.H.S., De-Polli, H., 2007a. Determinação Da Respiração Basal (RBS) E Quociente Metabólico Do Solo (qCO₂). Embrapa Agrobiologia, Seropédica.
- SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S.; ZUCOLOTO, M. Distribuição espacial das frações granulométricas em um Latossolo Vermelho utilizando krigagem indicativa, *Engenharia na Agricultura*, Viçosa, v. 19, n. 3, p. 195-202, 2011.
- SIQUEIRA, O.J.F. de. **Adubação foliar em trigo**. Passo Fundo: Embrapa-CNPT,. 48p. (Embrapa- -CNPT. Documentos, 10).1988.
- SOUZA, Z. M. et al. Otimização amostral de atributos de latossolos considerando aspectos solo-relevo. *Ciência Rural*, v. 36, n. 3, p. 829-836, 2006
- SUMNER, M.E., and P.M.W. FARINA. 1986. **Phosphorus interactions with other nutrients and lime in field cropping systems**. In: *Advances in Soil Science*, Vol. V, B.A. Stewart (ed.), Springer-Verlag, New York, pp. 201-236.

TIMM, LC.; PIRES LF.; ROVERATTI, R.;ARTHUR, R.C.J.; REICHART. K.; OLIVEIRA, J.C.M.; BAHCCHI, O.O.S., 2006). Field Spatial and Temporal pattens of soil water content and bulk density changes, **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 63, n. 1, p.55-64, 2006.

VAN RAIJ, B.; **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**, Instituto Agrônômico, Fundação IAC: Campinas, 1996. (Boletim Técnico nº 100).

VITTI, G.C., TREVISAN, W. **Manejo de macro e micronutrientes para alta produtividade da soja**. Piracicaba, Potafós, 2000. p. 16. (INFORMAÇÕES AGRONÔMICAS Nº 90).

WATANABE, R. T. Produtividade da cultura de soja em função da densidade populacional e da porcentagem de cátions (Ca, Mg e K) no complexo sortivo do solo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 26, n. 4, p. 477–484, 2005.

ZANÃO JÚNIOR, L. A. Variabilidade espacial dos teores de macronutrientes em latossolos sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 389–400, 2010.

ZANÃO JÚNIOR, L. A.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C. Variabilidade espacial do pH, teores de matéria orgânica e micronutrientes em profundidades de amostragem num Latossolo Vermelho sob semeadura direta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 4, p. 1000–1007, 2007.

LA Crespo-Herrera , J. Crossa , J. Huerta-Espino , M. Vargas , S. Mondal , G. Velu , TS Payne , H. Braun , RP Singh Ganhos genéticos para produção de grãos nos ensaios de produção de trigo semi-árido da CIMMYT em ambientes subótimos Crop Sci. , 0 (2018) , p. 0 , 10,2135 / cropsci2018.01.0017

Stat da FAO (2013) , pp. 123 – 158

R.E. Evenson Assessing the impact of the green revolution, 1960 to 2000 Science, 300 (5620) (2003), pp. 758-762, 10.1126/science.1078710

FU, Baihua; BURGHER, Isabela. Riparian vegetation NDVI dynamics and its relationship with climate, surface water and groundwater. *Journal of Arid Environments*, v.113, p. 59-68. 2015

Gao, F .; Anderson, MC; Zhang, X .; Yang, Z .; Alfieri, JG; Kustas, WP; Mueller, R .; Johnson, DM; Prueger, JH Em direção ao mapeamento do progresso da colheita em escalas de campo através da fusão das imagens Landsat e MODIS. *Sensoriamento Remoto do Ambiente*, v.188, p.9-25, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.11.004>.

<https://www.agrosmart.com.br/blog/imagens-de-satelite-agricultura-beneficios/> >. Acesso em: novembro de 2017.

Alves, CD; Florenzano, TG; Alves, DS; Pereira, MN Mapeando mudanças na cobertura do uso da terra em uma região de expansão da cana-de-açúcar usando dados de TM e MODIS. *Revista Brasileira de Cartografia*, v.2, p.337-347, 2014.

Li QX, Jia ZQ, Zhu YJ, Wang YS, Li H, Yang DF Zhao XB (2015) Heterogeneidade espacial dos nutrientes do solo após o estabelecimento de cana-de-açúcar em dunas de areia em terras arenosas alpinas do planalto do Tibete. *Plos One* 10 (5): e0124456

Reza SK, Baruah U, Sarkar D, Singh SK (2016) Spatial variability of soil properties using geostatistical method: a case study of lower Brahmaputra plains, India. *Arab J Geosci* 9(6):1–8

Andivia E, Fernández M, Alejano R, Vázquez-Piqué J (2015) Tree patch distribution drives spatial heterogeneity of soil traits in cork oak woodlands. *An For Sci* 72(5):549–559

Liu Y, Gao P, Zhang LY, Niu X, Wang B (2016) Spatial heterogeneity distribution of soil total nitrogen and total phosphorus in the Yaoxiang watershed in a hilly area of northern China based on geographic information system and geostatistics. *Ecol Evol* 6(19): 6807–6816

Verma, M., Friedl, M.A., Richardson, A.D., Kiely, G., Cescatti, A., Law, B.E., Wohlfahrt, G., Gielen, B., Roupsard, O., Moors, E.J., Toscano, P., Vaccari, F.P., Gianelle, D., Bohrer, G., Varlagin, A., Buchmann, N., Van Gorsel, E., Montagnani, L., Propastin, P., 2013. Remote sensing of annual terrestrial gross primary productivity from MODIS: an assessment using the FLUXNET La Thuile data set. *Biogeosciences* 10, 11627e11669. <https://doi.org/10.5194/bg-10-11627-2013>. Villa, P., Stroppian

Zhang, W., Brandt, M., Tong, X., Tian, Q., Fensholt, R., 2018. Impacts of the seasonal distribution of rainfall on vegetation productivity across the Sahel. *Biogeosciences* 15, 319e330. <https://doi.org/10.5194/bg-15-319-2018>.

Semeraro, T., Mastroleo, G., Pomes, A., Luvisi, A., Gissi, E., Aretano, R., 2019. Modelling fuzzy combination of remote sensing vegetation index for durum wheat crop analysis. *Comput. Electron. Agric.* 156, 684e692. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.12.027>.

Araujo Barbosa, C.C., Atkinson, P.M., Dearing, J.A., 2015. Remote sensing of ecosystem services: a systematic review. *Ecol. Indicat.* 52, 430e443. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.01.007>. ARPAV, 2010. *Colture energetiche e pro*

Boschetti, M., Busetto, L., Manfron, G., Laborte, A., Asilo, S., Pazhanivelan, S., Nelson, A., 2017. PhenoRice: a method for automatic extraction of spatiotemporal information on rice crops using satellite data time series. *Remote Sens. Environ.* 194, 347e365. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.03.029>.

Malladi, K.T., Sowlati, T., 2017. Optimization of operational level transportation planning in

- forestry: a review. *Int. J. For. Eng.* 28. <https://doi.org/10.1080/14942119.2017.1362825>.
- F. Pei , C. Wu , X. Liu , X. Li , K. Yang , Y. Zhou , K. Wang , L. Xu , G. Xia Monitorando a atividade da vegetação na China usando índices de saúde da vegetação *Agric. Para. Meteorol.* , 248 (2018) , pp. 215 - 227 , 10.1016 / j.agrformet.2017.10.001
- F.N. Kogan Remote sensing of weather impacts on vegetation in non-homogeneous areas *Int. J. Remote Sens.*, 11 (1990), pp. 1405-1419, 10.1080/01431169008955102
- F.N. Kogan Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection *Adv. Space Res.*, 15 (1995), pp. 91-100, 10.1016/0273-1177(95)00079
- H.T. Tran, J.B. Campbell, T.D. Tran, H.T. Tran Monitoring drought vulnerability using multispectral indices observed from sequential remote sensing (Case Study: Tuy Phong, Binh Thuan, Vietnam) *GIScience Remote Sens.*, 54 (2017), pp. 167-184.
- E. Gidey, O. Dikinya, S.R.E. Segosebe, A. Zenebe Analysis of the long-term agricultural drought onset, cessation, duration, frequency, severity and spatial extent using Vegetation Health Index (VHI) in Raya and its environs, Northern Ethiopia *Environ. Syst. Res.*, 7 (2018), pp. 1-18, 10.1186/s40068-018-0115
- M.A. Rahman, L. Yunsheng, N. Sultana Analysis and prediction of rainfall trends over Bangladesh using Mann–Kendall, Spearman's rho tests and ARIMA model *Meteorol. Atmos. Phys.*, 129 (2017), pp. 409-424, 10.1007/s00703-016-0479-4
- VIEIRA, S. *Estatística experimental*. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1999.
- GOMES, F. P.; GARCIA, C. H. *Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais*. São Paulo: Fealq, 2002.
- LASLETT, G. M. Kriging and splines: An empirical comparison of their predictive performance in some applications. *Journal of the American Statistical Association*, v. 89, n. 426, p. 391-409, 1994.
- PHILIPS, D. L.; LEE, E. H.; HERSTROM, A. A.; HOGSETT, W. E.; TINGEY, D. T. Use of auxiliary data for spatial interpolation of ozone exposure in southeastern forests. *Environmetrics*, v. 8, n. 1, p. 43-61, 1997.
- ZIMMERMAN, D.; PAVLIK, C.; RUGGLES, A.; ARMSTRONG, M. P. An experimental comparison of ordinary and universal kriging and inverse distance weighting. *Mathematical Geology*, v. 31, n. 4, p. 375-390, 1999.