

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

EDER EUJACIO DA SILVA

**SEMEADURA EM TAXA VARIÁVEL SOBRE A
PRODUTIVIDADE DAS CULTURA DA SOJA E MILHO**

CHAPADÃO DO SUL – MS

2020

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

EDER EUJACIO DA SILVA

**SEMEADURA EM TAXA VARIÁVEL SOBRE A
PRODUTIVIDADE DAS CULTURA DA SOJA E MILHO**

Orientador: Prof. Dr. Fábio Henrique Rojo Baio

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.

CHAPADÃO DO SUL – MS

2020



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



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

DISCENTE: Eder Eujacio da Silva

ORIENTADOR: Fábio Henrique Rojo Baio

Semeadura em taxa variável sobre a produtividade das culturas da soja e milho

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

Presidente

Prof(a) Dr (a) Paulo Eduardo Teodoro

Prof(a) Dr (a) Jose Paulo Molin

Chapadão do Sul, 28 de fevereiro de 2020.

DEDICATÓRIA

Dedico essa dissertação de mestrado a minha família, em especial a meu pai Joaquim Pereira da Silva, minha mãe Neide da Silva Brito e minha noiva Daiane Rezende da Fonseca.

Ao meu orientador Fábio Henrique Rojo Baio e a instituição Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por todas as oportunidades dadas a mim até este momento.

Agradeço imensamente a todos os colaboradores que auxiliaram na condução e avaliação do experimento, especialmente aos integrantes do Grupo de Estudos em Agricultura de Precisão (GEAP) e amigos.

As fazendas que dispuseram da área, maquinário e todo o tratamento necessário para a condução das lavouras onde os experimentos foram instalados.

A minha noiva, por todo apoio moral e auxílio nos momentos de dificuldade.

A meus pais por todo carinho e apoio quanto as decisões tomadas por mim.

Ao meu orientador por todos os momentos de sabedoria e conhecimento a mim fornecidos.

A empresa Agricultura Inteligente, por todo apoio técnico prestado.

Ao CNPq e Fundect pelo apoio financeiro.

EPÍGRAFE

O sucesso é treinável!

Joel Jota.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1. Parcelas experimentais e taxas de semeadura planejadas para a área 1 (A) e área 2 (B).....	5
Figura 2. Médias de precipitação (mm), máxima, mínima e média de temperatura (°C) a cada dez dias, no período de cultivo da safra 2017/18 (A) e 2018/19 (B). Chapadão do Céu.....	6
Figura 3. População final de plantas nas parcelas das áreas 1 (A) e 2 (B).....	10
Figura 4. Rede de correlações de Pearson entre os atributos de solo pH, Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), capacidade de troca catiônica (CTC), Potássio (K), Fósforo (P), matéria orgânica (OM), Argila (Arg), condutividade elétrica aparente (EC _a) e a produtividade (Prd).....	11
Figura 5. Análise de trilha dos atributos de solo pH, Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), capacidade de troca catiônica (CTC), Potássio (K), Fósforo (P), matéria orgânica (OM), Argila (Arg), condutividade elétrica aparente (EC _a) e a produtividade (Prd) em função da produtividade de grãos.....	12
Figura 6. Árvore de decisão gerada com as variáveis EC _a e Mg selecionadas pela análise de trilha.....	13
Figura 7. Semeadura de soja em taxa variável para validação do experimento realizada na área 3 (A) e semeadura convencional realizada na área 4 (B).....	14
Figura 8. Mapas das variáveis EC _a (A e D) e Arg (B e E) utilizadas na árvore de decisão e produtividade (Prd) (C e F) para as áreas 2 e 3 respectivamente.....	15

CAPÍTULO 2

Figura 1. Bordaduras das áreas utilizadas das nas fazendas Alto Formoso (áreas 1) (A), e Porto Seguro (áreas 2 e 3) (B e C).....	25
Figura 2. Parcelas experimentais e taxas de semeadura planejadas para a área 1 (A), área 2a e área 2b (B).....	26
Figura 3. Média de precipitação (mm), máxima, mínima e média de temperatura (°C) a cada dez dias, durante o cultivo de milho no campo para os anos de 2018 (A) e 2019 (B). Chapadão do Céu.....	27
Figura 4. Estande final de plantas nas parcelas das áreas 1 (A), áreas 2a e 2b (B).....	30
Figura 5. Rede de correlações de Pearson entre os atributos de solo pH, Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), CTC, Potássio (K), Fósforo (P), saturação por bases (V %), matéria	31

orgânica (OM), Argila (Arg.), condutividade elétrica aparente (EC_a) e a produtividade (Prd).....

Figura 6. Análise de trilha das variáveis de solo em função da produtividade de grãos..... **33**

Figura 7. Árvore de decisão gerada com as variáveis EC_a e Mg selecionadas pela análise de trilha..... **34**

Figura 8. Semeadura em taxa variável de milho para validação do experimento realizada na área 2 (A) e semeadura convencional realizada na área 3 (B)..... **35**

Figura 9. Mapas das variáveis EC_a (A e D) e Mg (B e E) utilizadas na árvore de decisão e produtividade (Prd) (C e F) para as áreas 2 e 3 respectivamente..... **36**

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1. Áreas de condução do experimento e suas localizações.....	4
Tabela 2. Médias dos atributos do solo das áreas experimentais, de um total de 535 pontos amostrais.....	7
Tabela 3. Resumo da análise de variância para a produtividade de grãos de milho obtida em um talhão de validação com semeadura em taxa variável <i>versus</i> população recomendada.....	15
Tabela 4. Semelhanças entre mapas pelo coeficiente de desvio relativo (CDR) em relação às variáveis produtividade de grãos (Prd), condutividade elétrica aparente (EC _a) e teores de Magnésio (MG).....	16

CAPÍTULO 2

Tabela 1. Médias dos atributos do solo das áreas experimentais, de um total de 300 pontos amostrais.....	28
Tabela 3. Resumo da análise de variância para a produtividade de grãos de milho obtida em um talhão de validação com semeadura em taxa variável <i>versus</i> população recomendada.....	35
Tabela 4. Semelhanças entre mapas pelo coeficiente de desvio relativo (CDR) em relação às variáveis produtividade de grãos (Prd), condutividade elétrica aparente (EC _a) e teores de Magnésio (MG).....	37

RESUMO

A definição da população ideal da soja e do milho é um fator de importância para a obtenção de altas produtividades. Como hipótese do trabalho questionamos, se é possível variar a população de semeadura das culturas a partir dos atributos físico-químicos do solo para maximizar a produtividade de soja e milho. O objetivo desse trabalho foi identificar os atributos de solo que maximizam a produtividade de grãos e gerar um modelo para definir a taxa de semeadura em função desses atributos. O experimento foi conduzido em Chapadão do Ceú – GO, nos anos agrícolas de 2017/2018 e 2018/2019 em seis áreas similares e vizinhas. Foram utilizadas as cultivares de soja AS 3730 IPRO e Foco IPRO. Os híbridos de milho utilizados foram o AG 8700 PRO3 e FS 401 PW. No primeiro ano foram semeadas parcelas com diferentes populações para as duas culturas em 2 áreas (280, 290, 310, 320, 350, 360, 370 e 400 mil sementes ha⁻¹ para soja e 50, 55, 60, 65 mil sementes ha⁻¹ para milho). No segundo ano, duas áreas foram semeadas em taxa variável a partir dos resultados encontrados nas parcelas e outras duas áreas semeadas com taxa fixa como testemunha. Foram avaliados os teores de pH, Cálcio, Magnésio, Fósforo, Potássio, Matéria orgânica e teor de argila, além da capacidade de troca catiônica, saturação por bases e condutividade elétrica aparente do solo. Os resultados foram submetidos a análise estatística multivariada por rede de correlações de Pearson, seguido de análise de trilha e árvore de decisão. A validação das populações sugeridas pela árvore de decisão foi verificada pela análise de variância e o comparativo da variabilidade entre os mapas foi realizado pela técnica do coeficiente do desvio relativo. Para soja, a condutividade elétrica aparente do solo e os teores de argila são os atributos de solo que devem ser utilizados para a determinação da população de soja. As regiões com maiores valores de condutividade elétrica e teores de argila, devem receber maiores populações. Para o milho, quanto menor a condutividade elétrica, maior deve ser a população e quanto maiores os teores de Magnésio, a população também deve aumentar.

Palavras-chave: semeadura em taxa variável, *Glicine max*, *Zea mays*, análise de trilha, árvore de decisão

ABSTRACT

The definition of the ideal soybean and corn population is an important factor for obtaining high productivity. As a hypothesis of the work, we question whether it is possible to vary the crop sowing population based on the physical-chemical attributes of the soil to maximize the productivity of soybeans and corn. The objective of this work was to identify the soil attributes that maximize grain yield and generate a model to define the sowing rate according to these attributes. The experiment was conducted in Chapadão do Ceú - GO, in the agricultural years 2017/2018 and 2018/2019 in six similar and neighboring areas. The soybean cultivars AS 3730 IPRO and Foco IPRO were used. The corn hybrids used were AG 8700 PRO3 and FS 401 PW. In the first year, plots with different populations were sown for the two crops in 2 areas (280, 290, 310, 320, 350, 360, 370 and 400 thousand seeds ha⁻¹ for soybeans and 50, 55, 60, 65 thousand seeds ha⁻¹ for corn). In the second year, two areas were sown at a variable rate based on the results found in the plots and two other areas sown at a fixed rate as a control. The pH, Calcium, Magnesium, Phosphorus, Potassium, Organic matter and clay contents were evaluated, in addition to the cation exchange capacity, base saturation and apparent electrical conductivity of the soil. The results were subjected to multivariate statistical analysis using Pearson's correlation network, followed by trail analysis and decision tree. The validation of the populations suggested by the decision tree was verified by the analysis of variance and the comparability of the variability between the maps was performed using the relative deviation coefficient technique. For soybeans, the apparent electrical conductivity of the soil and the clay contents are the soil attributes that must be used to determine the soybean population. The regions with higher values of electrical conductivity and clay contents, should receive larger populations. For corn, the lower the electrical conductivity, the larger the population must be and the higher the Magnesium content, the population must also increase.

Keywords: variable rate of sowing, *Glicine max*, *Zea mays*, trail analysis, decision tree

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1.....	1
TAXA VARIÁVEL NA SEMEADURA DE SOJA PARA MAXIMIZAÇÃO DA PRODUTIVIDADE.....	1
RESUMO	1
VARIABLE RATE OF SOWING IN SOYBEAN TO MAXIMIZE PRODUCTIVITY	2
ABSTRACT	2
INTRODUÇÃO	3
MATERIAL E MÉTODOS.....	4
Área experimental	4
Delineamento experimental.....	4
Clima e Condições do Tempo	5
Caracterização dos atributos do solo.....	6
Instalação experimental.....	7
Adubação e tratamento fitossanitário	7
Avaliação de Estande	8
Avaliação da Produtividade	8
Análises Estatísticas	9
RESULTADOS E DISCUSSÃO	9
Estande de plantas.....	9
Relação entre a taxa variável de semeadura e os atributos do solo.....	10
Validação da semeadura em STV	14
CONCLUSÃO	16
REFERÊNCIAS	16
CAPÍTULO 2.....	22
TAXA VARIÁVEL NA SEMEADURA DE MILHO	22
RESUMO	22
VARIABLE RATE IN CORN SOWING	23
ABSTRACT	23
INTRODUÇÃO	24
MATERIAL E MÉTODOS.....	25
Área experimental	25

Delineamento experimental	25
Clima e Condições do Tempo	26
Caracterização dos atributos do solo	27
Instalação experimental	28
Adubação e tratamento fitossanitário	28
Avaliação de Estande	29
Avaliação da Produtividade	29
Análises Estatísticas	29
RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
Estande de plantas	30
Relação entre a taxa variável de sementes e os atributos do solo	31
Validação da semeadura em STV	34
CONCLUSÃO	37
REFERÊNCIAS	37

CAPÍTULO 1

TAXA VARIÁVEL NA SEMEADURA DE SOJA PARA MAXIMIZAÇÃO DA PRODUTIVIDADE

RESUMO: A definição da população ideal de soja é essencial para a obtenção da máxima produtividade de grãos. Como hipótese do trabalho questionamos se é possível variar a população de semeadura da cultura da soja a partir dos atributos físico-químicos do solo para maximizar a produtividade. O objetivo desse trabalho foi identificar os atributos de solo que auxiliam na obtenção da máxima produtividade de grãos de soja e gerar um modelo para definir a taxa de semeadura em função desses atributos. O experimento foi conduzido em Chapadão do Ceú – GO, nos anos agrícolas de 2017/2018 e 2018/2019. No primeiro ano foram semeadas parcelas com diferentes populações (280, 320, 360 e 400 mil sementes ha⁻¹ na área 1 e 290, 310, 320, 350, 370 mil sementes ha⁻¹ na área 2). No segundo ano, a área 3 foi semeada em taxa variável a partir dos resultados encontrados nas parcelas e a área 4 semeada com taxa fixa como testemunha. Foram avaliados os teores de pH, Cálcio, Magnésio, Fósforo, Potássio, Matéria orgânica e teor de argila, além da capacidade de troca catiônica, saturação por bases e condutividade elétrica aparente do solo. Os resultados foram submetidos a análise estatística multivariada por rede de correlações de Pearson, seguido de análise de trilha e árvore de decisão. A validação das populações sugeridas pela árvore de decisão foi verificada pela análise da variância e o comparativo da variabilidade entre os mapas foi realizado pela técnica do coeficiente do desvio relativo. A condutividade elétrica aparente do solo e os teores de argila são os atributos de solo que devem ser utilizados para a determinação da população de soja. As regiões com maiores valores de condutividade elétrica e teores de argila, devem receber maiores populações de soja.

Palavras-chave: agricultura de precisão, densidade de semeadura, *Glycine max*, análise de trilha, árvore de decisão.

VARIABLE RATE OF SOWING IN SOYBEAN TO MAXIMIZE PRODUCTIVITY

ABSTRACT: Defining the ideal soybean population is essential for obtaining maximum grain yield. As a hypothesis of the work, we question whether it is possible to vary the sowing population of the soybean crop based on the physical-chemical attributes of the soil to maximize productivity. The objective of this work was to identify the soil attributes that help to obtain the maximum productivity of soybeans and generate a model to define the sowing rate according to these attributes. The experiment was conducted in Chapadão do Ceú - GO, in the agricultural years 2017/2018 and 2018/2019. In the first year, plots with different populations were sown (280, 320, 360 and 400 thousand seeds ha⁻¹ in area 1 and 290, 310, 320, 350, 370 thousand seeds ha⁻¹ in area 2). In the second year, area 3 was sown at a variable rate based on the results found in the plots and area 4 was sown at a fixed rate as a control. The pH, Calcium, Magnesium, Phosphorus, Potassium, Organic matter and clay contents were evaluated, in addition to the cation exchange capacity, base saturation and apparent electrical conductivity of the soil. The results were subjected to multivariate statistical analysis using Pearson's correlation network, followed by trail analysis and decision tree. The validation of the populations suggested by the decision tree was verified by analyzing the variance and comparing the variability between the maps was performed using the relative deviation coefficient technique. The apparent electrical conductivity of the soil and the clay contents are the soil attributes that must be used to determine the soybean population. The regions with the highest values of electrical conductivity and clay contents, should receive the largest soybean populations.

Keywords: precision agriculture, seeding density, *Glycine max*, trail analysis, decision tree.

INTRODUÇÃO

A semeadura de soja [*Glycine max* (L.) Merr.] tem grande importância para obtenção da máxima produtividade (Cox et al., 2010). Os trabalhos que estudam a população ideal de plantas de soja, são conduzidos variando a distribuição entre as sementes e espaçamento entre linhas (Cox et al., 2010; Thompson et al., 2015) em pequenas parcelas de campos experimentais. Na literatura, não há trabalhos onde as populações ideais encontradas, são aplicadas de acordo com as condições dos atributos químicos e físicos do solo. A importância de conhecer a variabilidade do solo, pode auxiliar na definição da população ideal de plantas de soja dentro do mesmo campo a ser cultivado (Camicia et al., 2018).

O conhecimento da variabilidade de um campo pode ser adquirido através de técnicas de agricultura de precisão, com amostragem de solo georreferenciada (Colaço & Molin, 2017) e outras técnicas como o uso de sensores de campo que mensuram por exemplo a condutividade elétrica aparente (EC_a) do solo (Farias et al., 2018; Molin & Tavares, 2019) que apresenta correlação com teores de nutrientes (Farias et al., 2018), argila (Machado et al., 2006) e também com o conteúdo de água do solo (Pedrera-Parrilla et al., 2017).

A EC_a , tem como vantagem o baixo custo operacional (Molin & Tavares, 2019), quando comparada com a amostragem tradicional em grade. Após conhecer a relação com diversos atributos do solo (Machado et al., 2006; Pedrera-Parrilla et al., 2017; Farias et al., 2018), é possível gerar uma estimativa dos teores físico-químicos do solo. Essa é uma das ferramentas da agricultura de precisão que podem ser utilizadas para a definição de zonas de manejo (Machado et al., 2006) que possam receber variação na população de sementes a serem distribuídas.

A variação da população de sementes de soja ainda é subjetiva, e mesmo que aplicada por diversos sistemas dosadores de sementes que fazem a distribuição variando o espaçamento entre sementes (Li et al., 2016), não se tem parâmetros conhecidos para fazer a variação da semeadura. Como hipótese do trabalho questionamos se é possível variar a população de semeadura da cultura da soja a partir dos atributos físico-químicos do solo para maximizar a produtividade. O objetivo desse trabalho foi identificar os atributos de solo que auxiliam na obtenção da máxima produtividade de grãos de soja e gerar um modelo para definir a taxa de semeadura em função desses atributos.

MATERIAL E MÉTODOS

Área experimental

O experimento ocorreu no município de Chapadão do Céu – GO durante as safras agrícolas de 2017/2018 e 2018/2019, em quatro áreas, conforme a Tabela 1. O solo da região apresenta textura variando entre arenosa e argilosa, com teor de argila entre 247 e 880 g kg⁻¹ nos talhões.

Tabela 1. Áreas de condução do experimento e suas localizações.

Fazenda (área)	Localização		Altitude média	Textura (g Kg ⁻¹)
	Latitude	Longitude		
Alto Formoso (1)	18° 21' 43,11" S	52° 41' 19,01" O	810 m	320 - 840
Beef Master (2)	18° 24' 43,19" S	52° 35' 53,30" O	785 m	247 - 783
Bem-Aventurada (3)	18° 26' 45,85" S	52° 50' 08,82" O	838 m	277 - 880
Âncora (4)	18° 28' 29,92" S	52° 37' 17,69" O	840 m	392 - 873

Delineamento experimental

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, contando com 136 parcelas na área 1, com quatro taxas de semeadura 280, 320, 360 e 400 mil sementes ha⁻¹ e na área 2 foram 255 parcelas variando a taxa de semeadura entre 290, 310, 330, 350 e 370 mil sementes ha⁻¹ sendo semeadas na safra de 2017/18. A área 3 foi semeada na safra 2018/19 no sistema de semeadura em taxa variável (STV) a partir dos resultados encontrados nas parcelas do ano anterior. A área 4 serviu como testemunha, sendo semeada no sistema convencional em taxa fixa (STF) com população de 320.000 sementes ha⁻¹.

A composição das parcelas da área 1 foi realizada em grade de 80 x 80 m, de forma a preencher todo o talhão (Figura 1A) sendo que as bordas do talhão (parcelas marginais menores que 5.000 m²) foram desconsideradas e a mensuração dos dados realizada no centro de cada parcela. As parcelas da área 2 foram distribuídas em dois grupos de parcelas, sendo a grade de 20 x 20 m (Figura 1B). Os dois grupos de parcelas foram criados de acordo com a disponibilidade da semeadura e a variabilidade da área.

Os mapas de prescrição contendo as taxas de semeadura foram processados pelo programa de sistemas de informações geográficas (SIG) ArcGis 10.5.

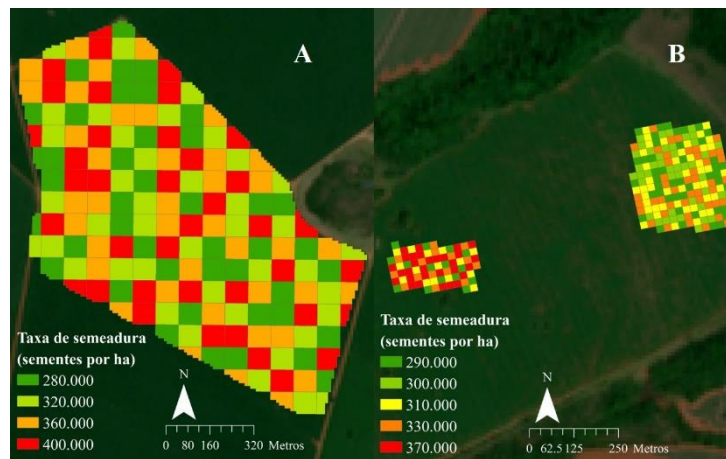


Figura 1. Parcelas experimentais e taxas de semeadura planejadas para a área 1 (A) e área 2 (B).

Os resultados obtidos nas áreas 1 e 2 foram validados pela área 3, onde foi realizada a semeadura em taxa variável (STV) na safra 2018/19. A área 4 serviu como testemunha, ou seja, foi semeada em taxa fixa no sistema de semeadura convencional em taxa fixa (STF).

Clima e Condições do Tempo

O clima da região é caracterizado, como clima tropical com estação seca no inverno (Aw). Os dados das condições do tempo foram obtidos através de estação automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2020), instalada em Chapadão do Sul – MS (18° 48' S e 52° 36' O, 821 m de altitude).

Na safra 2017/18 a precipitação média em 10 dias esteve entre 0 e 179,2 mm, totalizando 630,6 mm durante o período de condução do experimento e as temperaturas oscilaram entre 16,9 e 30,5 °C. Na safra 2018/19 foram observadas médias de precipitação entre 0 e 100 mm no período de 10 dias, totalizando 922,2 mm, sendo que as temperaturas oscilaram entre 19,9 e 28,9°C (Figura 2).

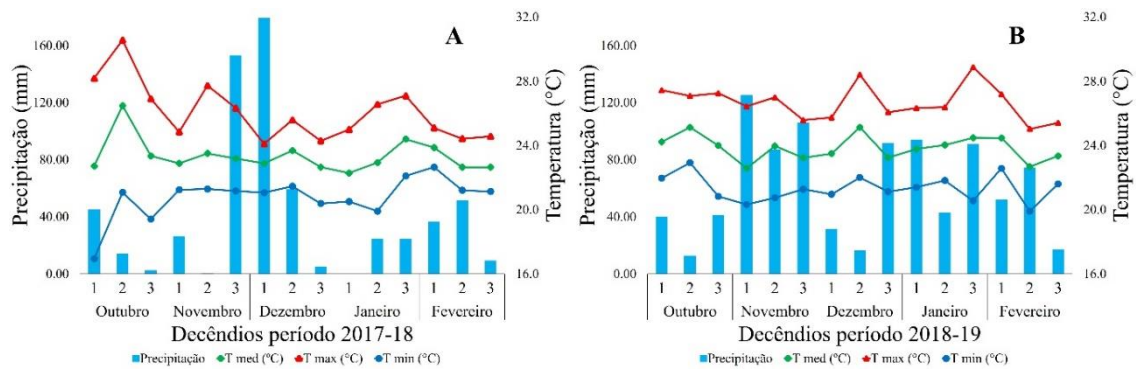


Figura 2. Médias de precipitação (mm), máxima, mínima e média de temperatura (°C) a cada dez dias, no período de cultivo da safra 2017/18 (A) e 2018/19 (B). Chapadão do Céu.

Caracterização dos atributos do solo

A mensuração dos atributos químicos e físicos do solo foram realizadas pela amostragem em grade regular de 100 m de lado, na profundidade de 0,0-0,2 m, nas áreas amostrais (Tabela 2). À essa grade amostral, foi adicionado um quantitativo de 10% de pontos amostrais aleatoriamente na área, a fim de analisar a variabilidade espacial em menor distância.

A condutividade elétrica aparente do solo (EC_a) foi mensurada pelo equipamento Veris Q1000. Uma central eletrônica controla a emissão e recepção das cargas dos discos para medição da EC_a , onde o valor mensurado é atrelado às coordenadas provenientes do sistema global de navegação por satélite (GNSS) para georreferenciamento dos dados coletados, modelo GA® 38 (Garmin). Os dados das medições são armazenados no dispositivo de memória flash, conectado a central eletrônica. Esse implemento foi acoplado a um quadriciclo (Honda, Sumaré, Brasil). O quadriciclo fornecia energia motora e elétrica ao sistema. As leituras foram realizadas em linhas dispostas a cada 20 m.

A análise geoestatística foi realizada utilizando o programa ArcGis 10.5, e seguiu os preceitos da continuidade espacial e elaborados os semivariogramas (Yamamoto & Landim, 2013). Os mapas de todas as variáveis foram elaborados através do método de interpolação por krigagem ordinária (Beers, Van & Kleijnen, 2003; Yamamoto & Landim, 2013). Os semivariogramas modelados foram determinados, baseados no menor erro médio padrão calculados pela validação cruzada (Yamamoto & Landim, 2013), pelo mesmo programa.

A Tabela 2 mostra os teores médios dos atributos de solo pH, Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), capacidade de troca catiônica (CTC), Potássio (K), Fósforo (P), saturação por bases (V %), matéria orgânica (OM), argila (Arg) e condutividade elétrica aparente do solo (EC_a) das 4 áreas cultivadas durante os anos em que o experimento foi conduzido. Com exceção do teor de

Mg para área 3, o restante dos nutrientes estava com teores adequados para o cultivo de soja (Sousa & Lobato, 2004).

Tabela 2. Médias dos atributos do solo das áreas experimentais, de um total de 535 pontos amostrais.

Área	Atributos do solo									
	pH	Ca	Mg	CTC	K	P	V %	OM	Arg	EC _a
		cmol _c dm ⁻³			mg dm ⁻³		%		g Kg ⁻¹	mS m ⁻¹
1	5,17	3,39	1,03	7,98	67,81	18,98	56,23	3,01	646,89	9,41
2	5,02	3,18	1,09	8,88	75,30	20,61	50,06	3,73	564,36	6,62
3	5,02	3,55	0,82	9,01	70,69	26,11	50,64	3,91	579,80	6,04
4	5,10	4,57	1,22	10,58	71,16	17,56	56,42	2,98	632,76	8,65

Instalação experimental

A semeadura da área 1 ocorreu no dia 19 de outubro de 2017 com uma semeadora modelo DB (John Deere) com espaçamento entre linhas de 0,45 m. A cultivar semeada foi a AS 3730 IPRO (Agrocere). A semeadura das parcelas da área 2 foram realizadas entre os dias 23 e 25 de outubro de 2017, utilizando duas semeadoras adubadoras modelo 2113 e 2117 (John Deere) com espaçamento entre linhas de 0,45 m. Essas semeadoras estavam equipadas com sistema de distribuição de sementes modelo V-Drive (Precision Planting). A cultivar semeada foi a Foco IPRO 74i77RSF (Brasmax). As cultivares são consideradas precoces com ciclo médio de 105 dias.

A semeadura da safra 2018/19 foi realizada nas áreas 3 e 4 (tratamento controle). A área 3 foi semeada entre os dias 10 e 15 de outubro com uma semeadora modelo 2117, com espaçamento de 0,45 m entre linhas. A STV foi realizada entre os dias 12 e 15 de outubro de 2018 com a cultivar Foco IPRO. A área 4 (controle) foi semeada no dia 20 de outubro com a mesma semeadora da área 3 e cultivar, sendo em STF com 320.000 sementes ha⁻¹.

Adubação e tratamento fitossanitário

As análises de solo serviram como base para interpretação e recomendação da adubação (Sousa & Lobato, 2004). A aplicação de calcário foi realizada no mês de agosto de acordo com a necessidade para as duas safras nas áreas de estudo. A adubação de semeadura foi realizada a lanço na área 1 pelo distribuidor de sólidos autopropelido Hércules 5.0 (Stara), nas áreas 2, 3 e 4, a adubação de semeadura foi realizada no sulco de semeadura, pela semeadora-adubadora.

Quando necessário, foi realizada adubação de cobertura com cloreto de potássio (60 % de K) na dose de 100 kg ha⁻¹, no estágio fenológico V4 das plantas de soja.

O tratamento fitossanitário foi realizado de acordo com a necessidade, sendo que foram necessárias de 5 a 6 pulverizações durante o ciclo para o controle de plantas invasoras, insetos e doenças.

Avaliação de Estande

O estande foi avaliado nos três grupos de parcelas aos 25 dias após emergência (DAE) quando a cultura estava no estágio fenológico V4. A contagem de plantas ocorreu em três linhas de semeadura por 5 metros lineares em cada. A soma da contagem das três linhas serviu para geração de uma média que foi utilizada para a verificação das populações planejadas.

As populações de cada conjunto de parcelas nos mapas, foram agrupadas em classes, com uma palheta de cores onde as menores populações tiveram cor vermelha e as maiores populações ficaram em verde escuro. A verificação foi necessária para determinação das populações que foram conduzidas durante o experimento, pois a população de sementes planejada foi o parâmetro utilizado como variação, mas a população de plantas estabelecidas é que foi efetivamente submetida às análises estatísticas. A variação da população planejada pode ocorrer devido a germinação, sobrevivência e índices de pureza das sementes utilizadas.

Avaliação da Produtividade

A colheita foi realizada por três modelos de colhedoras. Na área 1, foram utilizadas as colhedoras modelos S680 (John Deere) e CR8.90 (New Holland). Nas áreas 2 e 3 a colheita foi realizada por duas colhedoras, uma modelo 8120 (Case) e uma modelo CR6.80 (New Holland). Por último, a área 4 a colheita foi realizada com as colhedoras modelo 8230 (Case) e S680.

A organização dos dados de produtividade obtidos por cada máquina, foi agrupada por meio do sistema de monitoramento de colheita Field View Cab[®] (Climate Field View), o qual permite a junção dos dados dos diferentes sistemas de colheita de cada uma das colhedoras citadas.

Os dados brutos das produtividades (Prd) pontuais foram filtrados com base em sua variância, sendo determinados os limites de corte superior e inferior de acordo com metodologia sugerida por Tukey (1977). Após a interpolação pela metodologia da krigagem ordinária (Beers, Van & Kleijnen, 2003; Colaço & Molin, 2017), a informação da produtividade pontual correlacionada com os outros componentes foi obtida pela média dos pontos obtidos em um

raio de 10 m do ponto amostral, sendo considerado o valor representativo para o ponto de controle com o objetivo de reduzir a variabilidade pontual.

Análises Estatísticas

Devido ao grande número de variáveis em cada classe, foi utilizada a rede de correlações de Pearson para expressar graficamente os resultados, em que a proximidade entre os nós (traços) é proporcional ao valor absoluto da correlação entre esses nós (Bhering, 2017).

A determinação das variáveis mais relevantes sobre a produtividade, ocorreu por uma análise de trilha com o programa Genes (Cruz, 2013). As variáveis selecionadas como mais significativas foram utilizadas para gerar um algoritmo de árvore de decisão, considerando a variável PRD como dependente. Nesse processo, 80 % dos dados foram utilizados para treinamento do algoritmo e 20 % para validação. A precisão do modelo foi avaliada pela correlação entre os valores estimados e observados em cada etapa. Essa análise foi realizada com software R.

Uma análise de variância foi gerada para a comparação das produtividades entre a semeadura em taxa variável com as taxas recomendadas pela árvore de decisão e a semeadura convencional. O coeficiente de desvio relativo (CDR) expressa a dissimilaridade entre dois mapas no módulo (Coelho et al., 2009). O cálculo foi realizado pela Equação 1. Todos os valores das variáveis foram convertidos para valores percentuais, a fim de comparar suas diferentes unidades. O mapa de produtividade de grãos foi considerado a referência (padrão) para comparação com os outros mapas.

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

Onde: n é o número de pontos; P_{ij} é o valor da variável na amostra pontual específica; P_{iref} é o valor da variável de referência do mesmo ponto amostral.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estande de plantas

A avaliação da plantabilidade na área 1 (Figura 3A) foi coerente ao mapa de recomendação das parcelas, sendo que a população de semeadura foi similar a população de plantas por ha. Na área 2 (Figura 3B), a população final variou de 117.037 a 321.481 plantas ha⁻¹. Essa variação modificou os tratamentos e apresentou 40,36 % e 86,89 % das populações mínimas e máximas (290 e 370 mil sementes ha⁻¹) recomendadas, respectivamente. O

agrupamento das populações foi realizado de acordo com a semeadura planejada. Assim, para a área 1 tivemos quatro classes de populações de plantas ha^{-1} e para a área 2 cinco classes.

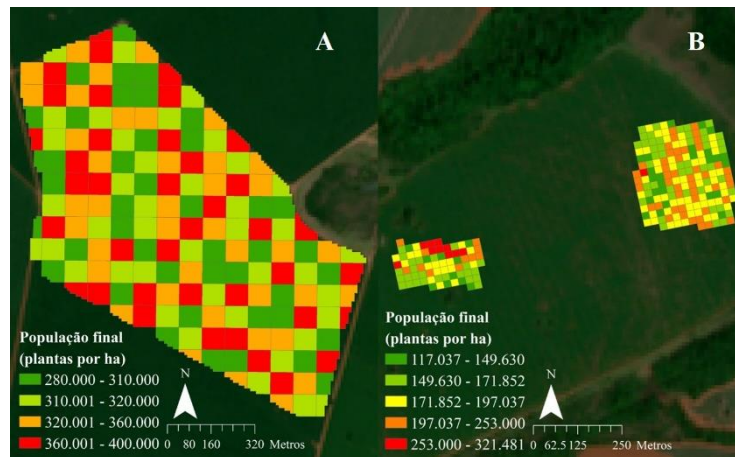


Figura 3. População final de plantas nas parcelas das áreas 1 (A) e 2 (B).

A população recomendada pelas empresas detentoras das cultivares é 320.000 plantas ha^{-1} . A população variou negativamente em até 59,64 %, devido a qualidade, pureza e vigor das sementes. Isso afetou os tratamentos planejados, porém, para a análise estatística, foi levada em consideração apenas a população final. A população média foi de 340.000 e 219.259 planta ha^{-1} para as áreas 1 e 2, respectivamente.

Relação entre a taxa variável de semeadura e os atributos do solo

A Figura 4 apresenta a rede de correlação de Pearson da produtividade (Prd) com os atributos do solo coletados nas áreas 1 e 2. A Prd apresentou correlação positiva com matéria orgânica (OM), pH, Magnésio (Mg) e Potássio (K) e correlação negativa com os atributos Fósforo (P), Argila (Arg), condutividade elétrica aparente (EC_a).

A rede de correlações mostra a força de correlação entre as variáveis de acordo com a proximidade e a espessura de cada linha. Quanto mais próxima e mais larga a linha, maior é a correlação entre as variáveis, seja essa correlação positiva (linha verde) ou negativa (linha vermelha) (Cruz et al., 2012). Com isso, o atributo que apresentou correlação mais próxima positiva com a Prd foi a OM, porém uma correlação fraca, devido a espessura da linha. A correlação inversamente proporcional a Prd, mostra que onde os teores de P foram maiores, a Prd foi menor, assim como para a EC_a e Arg.

A relação entre EC_a e Arg é conhecida e apresentada por diversos autores (Stadler et al., 2015; Corassa et al., 2016; Pedrera-Parrilla et al., 2017). A correlação entre Arg e EC_a é positiva

e crescente, ou seja, onde os teores de Arg são crescentes, a EC_a tende a ser maior consequentemente. É observada também uma relação direta desses atributos do solo com o conteúdo de água no solo (Pedrera-Parrilla et al., 2017).

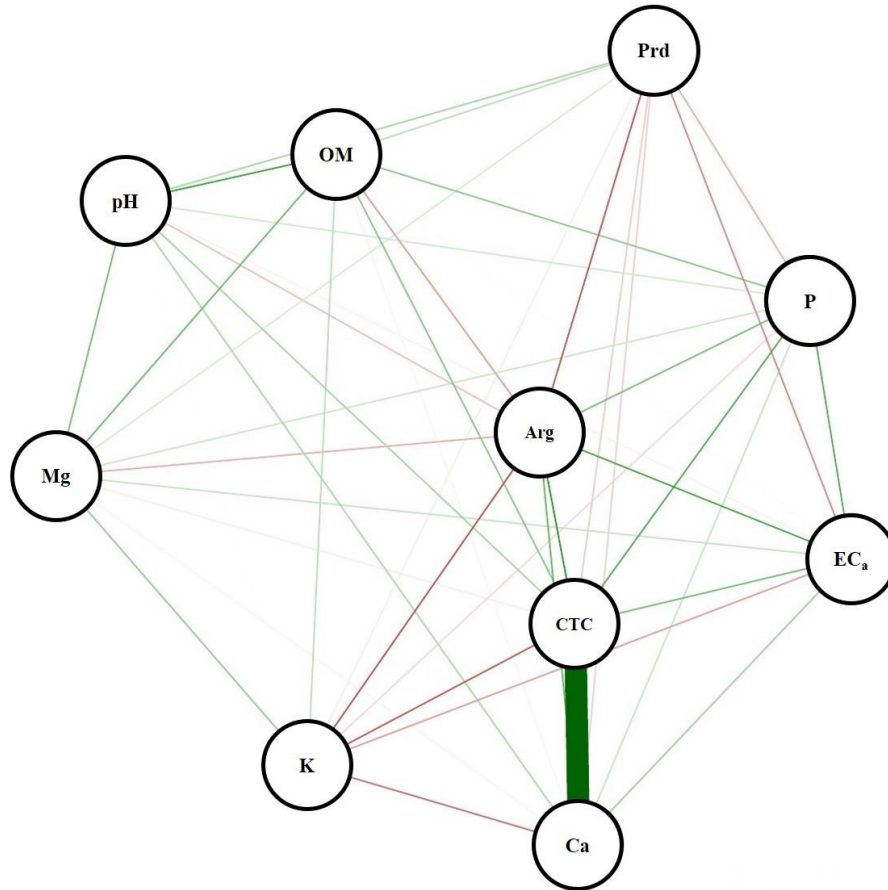


Figura 4. Rede de correlações de Pearson entre os atributos de solo pH, Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), capacidade de troca catiônica (CTC), Potássio (K), Fósforo (P), matéria orgânica (OM), Argila (Arg), condutividade elétrica aparente (EC_a) e a produtividade (Prd).

O fator a ser observado a partir da rede de correlações de Pearson, é que mesmo os atributos de solo apresentando teores adequados para a produção, os atributos que influenciaram negativamente a Prd (Ca, CTC, Arg, EC_a , P) apresentam correlação positiva entre si (Corassa et al., 2016; Singh et al., 2016) e esses atributos estavam influenciando os resultados diretos com a Prd.

O coeficiente de correlação de Pearson mostra de forma gráfica correlação entre as variáveis, porém os resultados podem sofrer influência de outros atributos, não apresentando os valores diretos de correlação entre duas variáveis. Um alto ou baixo coeficiente de correlação entre duas variáveis pode ser o resultado do efeito que uma terceira variável ou que um grupo

de variáveis têm sobre o par, não dando a exata importância relativa dos efeitos diretos e indiretos desses fatores (Cruz et al., 2012). Devido esses fatores apresentados, para investigar a relação de causa e efeito, foi realizada uma análise de trilha (Figura 5), que investiga a relação de causa e efeito. Essa análise proporciona um conhecimento detalhado das influências das variáveis envolvidas e justifica a existência de correlações positivas e negativas, de alta e baixa magnitude, entre as variáveis estudadas (Teodoro et al., 2014).

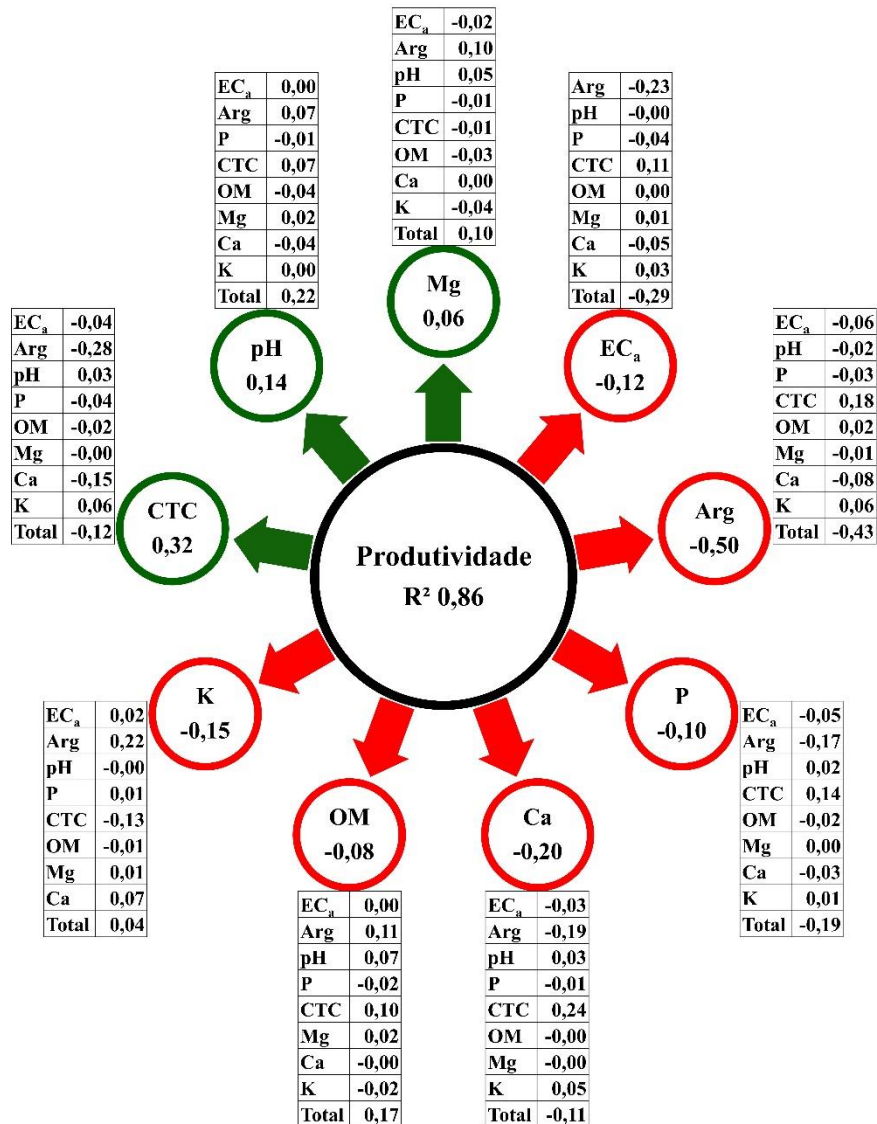


Figura 5. Análise de trilha dos atributos de solo pH, Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), capacidade de troca catiônica (CTC), Potássio (K), Fósforo (P), matéria orgânica (OM), Argila (Arg), condutividade elétrica aparente (EC_a), em função da produtividade de grãos (Prd).

As linhas verdes e vermelhas mostram as correlações diretas positivas ou negativas, respectivamente, dos atributos do solo com a Prd com um R² de 86 %. A análise de trilha

apresenta a influência direta entre o atributo do solo e a Prd, além da interferência que os demais atributos estão causando nesse resultado, além da correlação total entre todos os atributos.

Os atributos Mg e pH apresentaram correlação direta e total positiva, porém são menores que de EC_a e Arg que são negativos e inversamente proporcionais a Prd. A avaliação da interação entre Prd e atributos de solo tem, em geral, correlação positiva (Singh et al., 2016; Butcher et al., 2018; Farias et al., 2018), quando não ocorre a variação entre as populações de semeadura. A aleatoriedade das populações nas parcelas, mostrou a influência real dos atributos de solo em busca da maximização da Prd.

Os atributos selecionados pela análise de trilha foram utilizados para a confecção de uma árvore de decisão (Figura 6), onde as populações deixam de ser os tratamentos para serem variáveis, sendo as populações que maximizam a Prd de acordo com os atributos do solo.

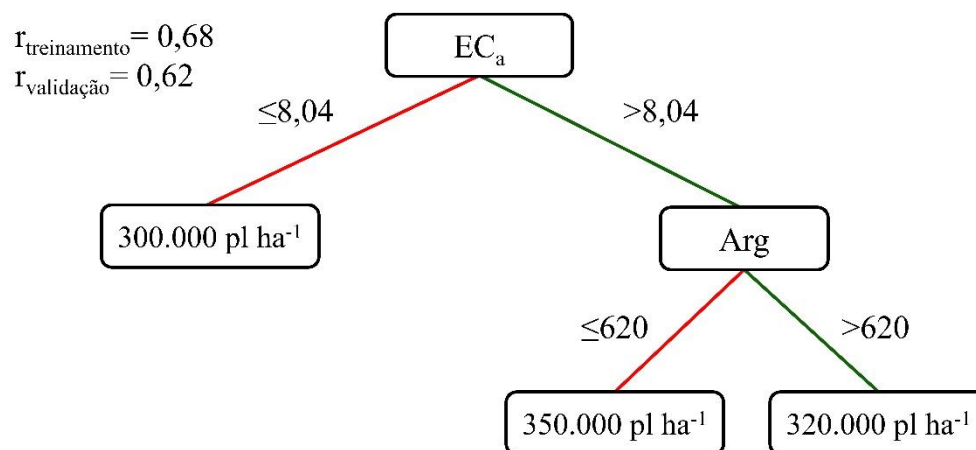


Figura 6. Árvore de decisão gerada com as variáveis EC_a e Mg selecionadas pela análise de trilha.

O treinamento da árvore foi realizado com 80 % dos dados e o r (coeficiente de correlação entre os valores estimados e preditos) foi de 0,68, sendo a validação da árvore realizada com 20 % dos dados e com r de 0,62. A composição da árvore foi de 2 nós, que foram suficientes para apresentar as populações de plantas de soja que maximizam a Prd.

Com o objetivo de obter a máxima Prd, o primeiro atributo a ser observado é a EC_a . Caso os valores de EC_a sejam menores ou iguais a 8,04, a população ideal será de 300 mil plantas ha^{-1} . As áreas onde a EC_a forem maiores que 8,04, a Arg deve ser observada e o teor de 620 $g \text{ kg}^{-1}$ é o divisor das classes, onde em áreas menores ou iguais a esse teor, a população ideal será de 350.000 $pl \text{ ha}^{-1}$ e as áreas com teores maiores, a população deve ser de 320.000 $pl \text{ ha}^{-1}$.

Validação da semeadura em STV

A partir dos resultados encontrados nas áreas 1 e 2, foi gerado o mapa de prescrição (Figura 7A) para área 3 levando em consideração os valores de EC_a e Arg para a semeadura em STV. Na área 4, foi realizada a semeadura em taxa fixa no sistema STF (Figura 7B).

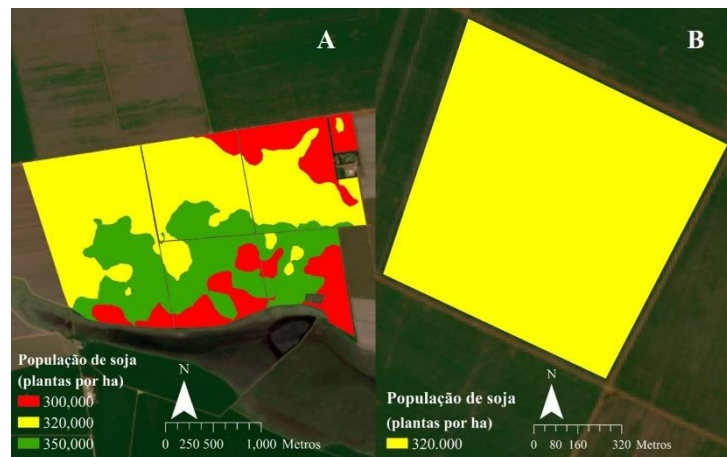


Figura 7. Semeadura de soja em taxa variável para validação do experimento realizada na área 3 (A) e semeadura convencional realizada na área 4 (B).

O mapa de semeadura seguiu a recomendação padrão para a semeadura na região, que é de 320 mil plantas ha^{-1} . A variação do mapa STV seguiu as populações apresentadas para a maximização da Prd segundo a árvore de decisão (Figura 6).

A Prd das áreas foi coletada e submetida a uma análise de variância (Tabela 3), onde foram consideradas as populações da STV e a população fixa da STF. O fato interessante a ser observado é que houve interação significativa entre as áreas, onde a Prd não apresentou diferença significativa para STV, porém para STF a Prd foi significativamente diferente.

A população de plantas é um fator determinante para a maximização da Prd, seja pela absorção de radiação fotossinteticamente ativa (Petter et al., 2016), pelo arranjo da distribuição de plantas na área cultivada (Thompson et al., 2015) ou mesmo pela competição e disponibilidade de nutrientes (Javier de Luca et al., 2014; Ferreira et al., 2018). O arranjo adequado da população de plantas de acordo com as características agronômicas e os atributos de solo, faz com que a Prd se torne uniforme, conforme os resultados apresentados na Tabela 4.

Tabela 3. Resumo da análise de variância para a produtividade de grãos de milho obtida em um talhão de validação com semeadura em taxa variável *versus* população recomendada.

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	Médias (Kg ha ⁻¹)
Áreas	3	30703818,44*	4430,07
STV	2	115928,33 ^{ns}	4933,36
Contraste STV x SCV	1	91879598,67*	3957,13
Resíduo	382	457782,89	-
Coefficiente de variação	-	15,27	-

^{ns} e * : não significativo e significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Os atributos de solo selecionados pela análise de trilha, juntamente com a Prd das áreas 3 e 4, estão na Figura 11.

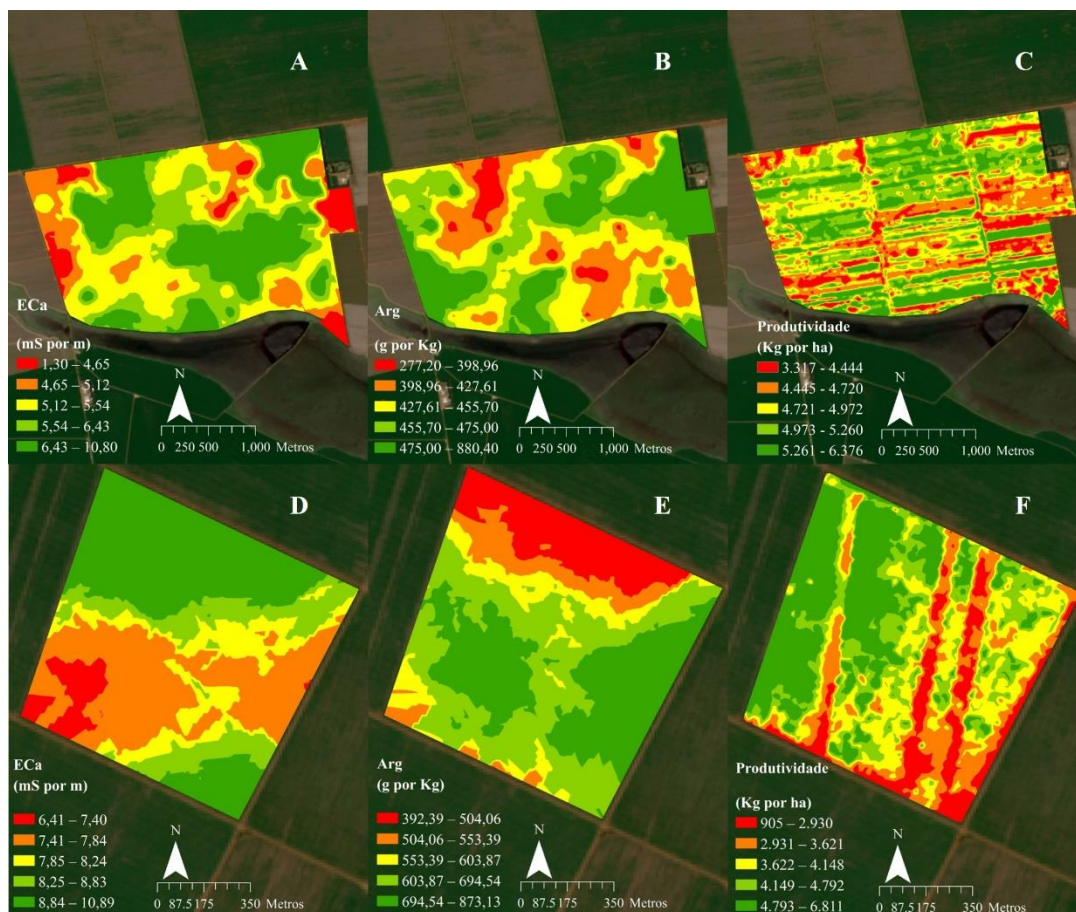


Figura 8. Mapas das variáveis EC_a (A e D) e Arg (B e E) utilizadas na árvore de decisão e produtividade (Prd) (C e F) para as áreas 2 e 3 respectivamente.

Os mapas da Figura 11 serviram para a mensuração do coeficiente de desvio relativo (CDR). Essa análise leva em consideração a similaridade entre os mapas, onde quanto menor o valor, mais análogo é um mapa do outro (Tabela 4). A posição geográfica de coleta de pontos em cada mapa é a mesma para todas as variáveis. O mapa de Prd foi utilizado como referência para a comparação entre os mapas, assim, todos os valores foram convertidos para porcentagem, tornando possível essa comparação.

Tabela 4. Semelhanças entre mapas pelo coeficiente de desvio relativo (CDR) em relação às variáveis produtividade de grãos (Prd), condutividade elétrica aparente (EC_a) e teores de argila (Arg).

STF	STV		
	Prd	EC_a	Arg
Prd		25,63	30,57
EC_a	35,29		17,27
Arg	36,00	15,17	

Os resultados apresentados na Tabela 4 fazem uma amarra com a análise de trilha (Figura 5), onde Arg teve efeito direto e indireto maiores que a EC_a sobre a Prd, que também é possível ser observado na rede de correlações de Pearson (Figura 4), onde o traço entre Arg e Prd é mais próximo e espesso que EC_a e Prd. A grande diferença entre CDR e as outras análises apresentadas anteriormente, é que o CDR leva em consideração a variabilidade espacial dos dados.

A EC_a foi mais similar a Prd que Arg. para as duas áreas da validação e sendo os valores de STV menores que STF, significa que a STV apresentou maior similaridade entre os mapas. O CDR é uma análise assertiva para a comparação de mapas levando em consideração distribuição espacial (Bazzi et al., 2008; Coelho et al., 2009; Cherubin et al., 2015).

CONCLUSÃO

Para as condições deste experimento, a condutividade elétrica aparente do solo e os teores de argila são os atributos de solo que devem ser utilizados para a determinação da população de soja. As regiões com maiores valores de condutividade elétrica e teores de argila, devem receber maiores populações de soja.

REFERÊNCIAS

ASSEFA, Y.; VARA PRASAD, P. V.; CARTER, P.; HINDS, M.; BHALLA, G.; SCHON, R.;

JESCHKE, M.; PASZKIEWICZ, S.; CIAMPITTI, I.A. Yield Responses to Planting Density for US Modern Corn Hybrids: A Synthesis-Analysis. **Crop Science**, v.56, p.2802, 2016. DOI: 10.2135/cropsci2016.04.0215.

BAZZI, C.L.; SOUZA, E.G.; OPAZO, M.A.U.; NÓBREGA, L.H.P.; PINHEIRO NETO, R. Influência da distância entre passadas de colhedora equipada com monitor de colheita na precisão dos mapas de produtividade na cultura do milho. **Engenharia Agrícola**, v.28, p.355–363, 2008. DOI: 10.1590/S0100-69162008000200016.

BEERS, W.C.M. VAN; KLEIJNEN, J.P.C. Kriging for interpolation in random simulation. **Journal of the Operational Research Society**, v.54, p.255–262, 2003. DOI: 10.1057/palgrave.jors.2601492.

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: <http://dx.doi.org/10.1590/1984-70332017v17n2s29>.

BRATTI, E.F.; ROSA, Y.B.; SILVA, E.F.; ROSA JÚNIOR, E.J.; ZÁRATE, N.A.; BÍSCARO, G.A.; ROSA, D.B. Cultivo de gladiólos em função das doses de calcário e potássio. **Horticultura Brasileira**, v.30, p.397–402, 2012. DOI: 10.1590/S0102-05362012000300007.

BUTCHER, K.; WICK, A.F.; DESUTTER, T.; CHATTERJEE, A.; HARMON, J. Corn and Soybean Yield Response to Salinity Influenced by Soil Texture. **Agronomy Journal**, v.110, p.1243–1253, 2018. DOI: 10.2134/agronj2017.10.0619.

CAMICIA, R.G. DA M.; MAGGI, M.F.; SOUZA, E.G. DE; BAZZI, C.L.; KONOPATZKI, E.A.; MICHELON, G.K.; PINHEIRO, J.B.S. Productivity of soybean in management zones with application of different sowing densities. **Ciência Rural**, v.48, 2018. DOI: 10.1590/0103-8478cr20180532.

CHERUBIN, M.R.; SANTI, A.L.; EITELWEIN, M.T.; AMADO, T.J.C.; SIMON, D.H.; DAMIAN, J.M. Dimensão da malha amostral para caracterização da variabilidade espacial de fósforo e potássio em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.50, p.168–177, 2015. DOI: 10.1590/S0100-204X2015000200009.

COELHO, E.C.; SOUZA, E.G. DE; URIBE-OPAZO, M.A.; PINHEIRO NETO, R. Influência da densidade amostral e do tipo de interpolador na elaboração de mapas temáticos. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.31, 2009. DOI: 10.4025/actasciagron.v31i1.6645.

COLAÇO, A.F.; MOLIN, J.P. Variable rate fertilization in citrus: a long term study. **Precision Agriculture**, v.18, p.169–191, 2017. DOI: 10.1007/s11119-016-9454-9.

CORASSA, G.M.; AMADO, T.J.C.; TABALDI, F.M.; SCHWALBERT, R.A.; REIMCHE, G.B.; NORA, D.D.; ALBA, P.J.; HORBE, T. DE A.N. Espacialização em alta resolução de

atributos da acidez de Latossolo por meio de sensoriamento em tempo real. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, p.1306–1316, 2016. DOI: 10.1590/s0100-204x2016000900030.

CORRÊA, R.D.G.; FURLANI, C.E.A.; ZERBATO, C.; OLIVEIRA, D.T. DE; OLIVEIRA, M.F. DE. Variation of Seed Dosage on Corn Crop Production Components. **Journal of Agricultural Science**, v.10, p.296, 2018. DOI: 10.5539/jas.v10n8p296.

CORWIN, D.L.; LESCH, S.M. Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.46, p.11–43, 2005. DOI: 10.1016/j.compag.2004.10.005.

CORWIN, D.L.; SCUDIERO, E. Mapping Soil Spatial Variability with Apparent Soil Electrical Conductivity (ECa) Directed Soil Sampling. **Soil Science Society of America Journal**, v.83, p.3, 2019. DOI: 10.2136/sssaj2018.06.0228.

COX, W.J.; CHERNEY, J.H.; SHIELDS, E. Soybeans Compensate at Low Seeding Rates but not at High Thinning Rates. **Agronomy Journal**, v.102, p.1238–1243, 2010. DOI: 10.2134/agronj2010.0047.

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: <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v35i3.21251>.

CRUZ, D.C.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4.ed. Viçosa: Editora UFV, 2012. 514p.

FARIAS, M.F. DE; BOAS, R.L. V.; RODRIGUES, K. DE M.; GARRETO, F.G. DE S.; FURTADO, M.B.; PARRA-SERRANO, L.J.; SOARES, F.A.; MACHADO, N.A.F.; OLIVEIRA, A.R.F.; ANDRADE, H.A.F. DE; SILVA-MATOS, R.R.S. Potassium Fertilization in Soybean and Its Correlation With Electrical Conductivity in Soil. **Journal of Agricultural Science**, v.10, p.336, 2018. DOI: 10.5539/jas.v10n12p336.

FERREIRA, A.S.; BALBINOT JUNIOR, A.A.; WERNER, F.; FRANCHINI, J.C.; ZUCARELI, C. Soybean agronomic performance in response to seeding rate and phosphate and potassium fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.22, p.151–157, 2018. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v22n3p151-157.

FIORINI, I.V.A.; PEREIRA, C.S.; PEREIRA, H.D.; MEDEIROS, A.L. DE; PIRES, L.P.M. Yield and its components according to maize sowing times at offseason in the Northern of Mato Grosso state, Brazil. **Journal of bioenergy and food science**, v.5, p.54–65, 2018. DOI: 10.18067/jbfs.v5i2.195.

FLORES, R.A.; CUNHA, P.P. DA; CAIONE, G. Manejo do potássio na região do cerrado. In:

FLORES, R.A.; CUNHA, P.P. DA (Ed.). **Práticas de Manejo do Solo para Adequada Nutrição de Plantas no Cerrado**. 1.ed. Goiânia: Gráfica UFG, 2016. p.503. .

INMET, I.N. DE M. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>>. Acesso em: 18 dez. 2019.

JAVIER DE LUCA, M.; NOGUEIRA, M.A.; HUNGRIA, M. Feasibility of Lowering Soybean Planting Density without Compromising Nitrogen Fixation and Yield. **Agronomy Journal**, v.106, p.2118–2124, 2014. DOI: 10.2134/agronj14.0234.

LI, Y.; BINGXIN, Y.; YIMING, Y.; XIANTAO, H.; QUANWEI, L.; ZHIJIE, L.; XIAOWEI, Y.; TAO, C.; DONGXING, Z. Global overview of research progress and development of precision maize planters. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v.9, p.9–26, 2016. DOI: 10.3965/j.ijabe.20160901.2285.

MACHADO, P.L.O. DE A.; BERNARDI, A.C. DE C.; VALENCIA, L.I.O.; MOLIN, J.P.; GIMENEZ, L.M.; SILVA, C.A.; ANDRADE, A.G. DE; MADARI, B.E.; MEIRELLES, M.S.P. Mapeamento da condutividade elétrica e relação com a argila de Latossolo sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.1023–1031, 2006. DOI: 10.1590/S0100-204X2006000600019.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. 1.ed. São Paulo, SP: Agronômica Ceres, 1980. 251p.

MASTRODOMENICO, A.T.; HAEGELE, J.W.; SEEBAUER, J.R.; BELOW, F.E. Yield Stability Differs in Commercial Maize Hybrids in Response to Changes in Plant Density, Nitrogen Fertility, and Environment. **Crop Science**, v.58, p.230, 2018. DOI: 10.2135/cropsci2017.06.0340.

MOLIN, J.P.; TAVARES, T.R. SENSOR SYSTEMS FOR MAPPING SOIL FERTILITY ATTRIBUTES: CHALLENGES, ADVANCES, AND PERSPECTIVES IN BRAZILIAN TROPICAL SOILS. **Engenharia Agrícola**, v.39, p.126–147, 2019. DOI: 10.1590/1809-4430-eng.agric.v39nep126-147/2019.

PEDRERA-PARRILLA, A.; PACHEPSKY, Y.A.; TAGUAS, E. V.; MARTOS-ROSILLO, S.; GIRÁLDEZ, J. V.; VANDERLINDEN, K. Concurrent temporal stability of the apparent electrical conductivity and soil water content. **Journal of Hydrology**, v.544, p.319–326, 2017. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2016.10.017.

PETTER, F.A.; SILVA, J.A. DA; ZUFFO, A.M.; ANDRADE, F.R.; PACHECO, L.P.; ALMEIDA, F.A. DE. Elevada densidade de semeadura aumenta a produtividade da soja? Respostas da radiação fotossinteticamente ativa. **Bragantia**, v.75, p.173–183, 2016. DOI:

10.1590/1678-4499.447.

QUEVEDO, Y.M.; BELTRÁN, J.I.; BARRAGÁN-QUIJANO, E. Effect of sowing density on yield and profitability of a hybrid corn under tropical conditions. **Agronomía Colombiana**, v.36, p.248–256, 2018. DOI: 10.15446/agron.colomb.v36n3.71268.

RESENDE, S.G.; PINHO, R.G.V.; VASCONCELOS, R.C. Influência do Espaçamento entre Linhas e da Densidade de Plantio no Desempenho de Cultivares de Milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.2, p.34–42, 2003. DOI: 10.18512/1980-6477/rbms.v2n3p34-42.

ROBINET, J.; HEBEL, C. VON; GOVERS, G.; KRUK, J. VAN DER; MINELLA, J.P.G.; SCHLESNER, A.; AMEIJERAS-MARIÑO, Y.; VANDERBORGHT, J. Spatial variability of soil water content and soil electrical conductivity across scales derived from Electromagnetic Induction and Time Domain Reflectometry. **Geoderma**, v.314, p.160–174, 2018. DOI: 10.1016/j.geoderma.2017.10.045.

SANTOS, H.G. DOS; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C. DOS; OLIVEIRA, V.A. DE; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A. DE; ARAUJO FILHO, J.C. DE; OLIVEIRA, J.B. DE; CUNHA, T.J.F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev ed. Brasília, DF: Embrapa Solos - Livro técnico (INFOTECA-E), 2018.

SHIOGA, P.S.; OLIVEIRA, E.L.; GERAGE, A.C. Densidade de Plantas e Adubação Nitrogenada em Milho Cultivado na Safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.3, p.381–390, 2004. DOI: 10.18512/1980-6477/rbms.v3n3p381-390.

SINGH, G.; WILLIARD, K.; SCHOONOVER, J. Spatial Relation of Apparent Soil Electrical Conductivity with Crop Yields and Soil Properties at Different Topographic Positions in a Small Agricultural Watershed. **Agronomy**, v.6, p.57, 2016. DOI: 10.3390/agronomy6040057.

SOUSA, D.M.G. DE; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2.ed. Brasília, DF: Embrapa Cerrados (CPAC), 2004. 408p.

STADLER, A.; RUDOLPH, S.; KUPISCH, M.; LANGENSIEPEN, M.; KRUK, J. VAN DER; EWERT, F. Quantifying the effects of soil variability on crop growth using apparent soil electrical conductivity measurements. **European Journal of Agronomy**, v.64, p.8–20, 2015. DOI: 10.1016/j.eja.2014.12.004.

TEODORO, P.E.; SILVA J, C.A. DA; CORREA, C.C.; RIBEIRO, L.P.; OLIVEIR, E.P. DE; LIMA, M.F.; TORRES, F.E. Path Analysis and Correlation of Two Genetic Classes of Maize (*Zea mays* L.). **Journal of Agronomy**, v.13, p.23–28, 2014. DOI: 10.3923/ja.2014.23.28.

THOMPSON, N.M.; LARSON, J.A.; LAMBERT, D.M.; ROBERTS, R.K.; MENGISTU, A.; BELLALOU, N.; WALKER, E.R. Mid-South Soybean Yield and Net Return as Affected by Plant Population and Row Spacing. **Agronomy Journal**, v.107, p.979–989, 2015. DOI:

10.2134/agronj14.0453.

TUKEY, J.W. **Exploratory Data Analysis**. [s.l.] Addison-Wesley Publishing Company, 1977.

YAMAMOTO, J.K.; LANDIM, P.M.B. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. 1.ed. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2013. 215p.

CAPÍTULO 2

TAXA VARIÁVEL NA SEMEADURA DE MILHO

RESUMO: A densidade de semeadura de milho é um dos fatores que influenciam na produtividade. Como hipótese do trabalho questionamos se é possível variar a população de semeadura de milho a partir dos atributos do solo para maximizar a produtividade de grãos. O objetivo desse trabalho foi identificar os atributos de solo que afetam a produtividade de grãos de milho e gerar um modelo para definir a taxa de semeadura em função desses atributos. O experimento foi conduzido em Chapadão do Céu – GO nos anos de 2018 e 2019 em duas áreas distintas. A semeadura foi realizada em segunda safra após a colheita de soja. Os híbridos utilizados foram o AG 8700 PRO3 e FS 401 PW. As taxas de semeadura foram 50, 55, 60, 65 mil sementes ha⁻¹. Os atributos do solo avaliados foram pH, Cálcio, Magnésio, Fósforo, Potássio, Matéria orgânica e teor de argila, além da capacidade de troca catiônica, saturação por bases e a condutividade elétrica aparente do solo. As correlações lineares foram obtidas através da rede de correlações de Pearson, seguido de análise de trilha para a seleção das variáveis de causa e efeito e essas variáveis formaram as árvores de decisão para estimativa da produtividade e densidade de semeadura. Os atributos de solo mais importantes para definição da densidade de semeadura são Mg e condutividade elétrica aparente do solo. A árvore de decisão gerada foi assertiva na determinação das populações que maximizam a produtividade de milho, utilizando os teores de Magnésio e condutividade elétrica aparente do solo. Quanto menor os teores de condutividade elétrica, maior deve ser a população e quanto maiores os teores de Magnésio, a população também deve aumentar.

Palavras-chave: agricultura de precisão, densidade de semeadura, condutividade elétrica aparente do solo, análise de trilha, árvore de decisão

VARIABLE RATE IN CORN SOWING

ABSTRACT: Maize sowing density is one of the factors that influence productivity. As a hypothesis of the work, we question whether it is possible to vary the corn sowing population based on soil attributes to maximize grain productivity. The objective of this work was to identify the soil attributes that affect corn grain productivity and generate a model to define the sowing rate according to these attributes. The experiment was conducted in Chapadão do Céu - GO in the years 2018 and 2019 in two distinct areas. Sowing was carried out in the second harvest after soybean harvest. The hybrids used were the AG 8700 PRO3 and FS 401 PW. Sowing rates were 50, 55, 60, 65 thousand seeds ha⁻¹. The soil attributes evaluated were pH, Calcium, Magnesium, Phosphorus, Potassium, Organic matter and clay content, in addition to the cation exchange capacity, base saturation and the apparent electrical conductivity of the soil. Linear correlations were obtained through Pearson's correlation network, followed by trail analysis for the selection of cause and effect variables and these variables formed the decision trees for estimating productivity and sowing density. The most important soil attributes for defining the sowing density are Mg and apparent electrical conductivity of the soil. The generated decision tree was assertive in determining the populations that maximize corn productivity, using the magnesium content and apparent electrical conductivity of the soil. The lower the levels of electrical conductivity, the larger the population must be and the higher the levels of Magnesium, the population must also increase.

Keywords: precision agriculture, sowing density, apparent electrical conductivity of soil, trail analysis, decision tree.

INTRODUÇÃO

A densidade de semeadura de milho (*Zea mays* L.) é um dos fatores mais importantes para obtenção de altas produtividades (Mastrodomenico et al., 2018; Quevedo et al., 2018). No Brasil, a recomendação da densidade dos híbridos atuais varia entre 45 a 65 mil plantas ha⁻¹ em média (Corrêa et al., 2018; Fiorini et al., 2018), em função das características dos híbridos e da época de semeadura. De forma geral, o aumento da densidade populacional aumenta a produtividade por área e reduz a produtividade por plantas, devido ao estresse causado pelo adensamento (Corrêa et al., 2018; Mastrodomenico et al., 2018).

Diversos trabalhos têm estudado a densidade populacional de milho sob diferentes condições de solo, locais e especialmente a época de semeadura (Resende et al., 2003; Shioga et al., 2004; Fiorini et al., 2018), em safra ou segunda safra, semeada após a colheita de soja.

Entre os fatores que auxiliam na determinação da densidade de semeadura, estão o teor de água no solo (Pedrera-Parrilla et al., 2017; Robinet et al., 2018), a disponibilidade de nutrientes (Assefa et al., 2016) e a escolha do híbrido a ser semeado (Corrêa et al., 2018; Mastrodomenico et al., 2018). O teor de água no solo tem alta correlação com a condutividade elétrica aparente do solo (EC_a) (Robinet et al., 2018; Corwin & Scudiero, 2019). A mensuração da CEA tem se mostrado uma ferramenta de baixo custo para a identificação das propriedades físico-químicas do solo (Corwin & Lesch, 2005), como umidade, teor de argila e matéria orgânica. A mensuração dessas variáveis tem importância relevante no rendimento das culturas, propiciando bom desenvolvimento, com adequado fornecimento de água e nutrientes, que influenciam na obtenção das máximas produtividades (Stadler et al., 2015).

A variação da população geralmente é decorrente das condições de emergência de plantas, qualidade da operação de semeadura e vigor das sementes. Nenhum dos trabalhos trata da semeadura realizada na mesma área sobre semeadura em taxa variável (STV), o qual depende da confecção de um mapa que aponte os locais onde se deve variar a população de sementes na fileira. Esse mapa é chamado de mapa de prescrição, o qual é utilizado pelos sistemas controladores eletrônicos das semeadoras para realizar a taxa variável de semeadura (Li et al., 2016).

A STV pode ser realizada por diversas semeadoras incorporadas com controladores eletrônicos para os discos dosadores de sementes. Essas semeadoras podem, por sua vez, variar a população de sementes alterando seu espaçamento nas fileiras, e já estão disponíveis comercialmente (Li et al., 2016). Mesmo com as máquinas disponíveis, os parâmetros para definição das taxas de semeadura de milho a serem empregados ainda é subjetivo. Como hipótese do trabalho questionamos se é possível variar a população de semeadura de milho a

partir dos atributos do solo para maximizar a produtividade de grãos. O objetivo desse trabalho foi identificar os atributos de solo que afetam a produtividade de grãos de milho e gerar um modelo para recomendar a taxa de semeadura em função desses atributos.

MATERIAL E MÉTODOS

Área experimental

O experimento foi instalado no município de Chapadão do Céu – GO, em três áreas, uma na fazenda Alto Formoso (área 1) com coordenadas 18° 21' 43,11"S e 52° 41' 19,01"O e altitude média de 810 m e outras duas na fazenda Porto Seguro (áreas 2 e 3) localizadas nas coordenadas próximas 18° 21' 26,00"S e 52° 34' 10,71"O e altitude de 820 m na média (Figura 1). O solo das áreas é classificado como Latossolo Vermelho distrófico (Santos et al., 2018), com textura variando entre 180 e 822 g kg⁻¹ de argila nos talhões.

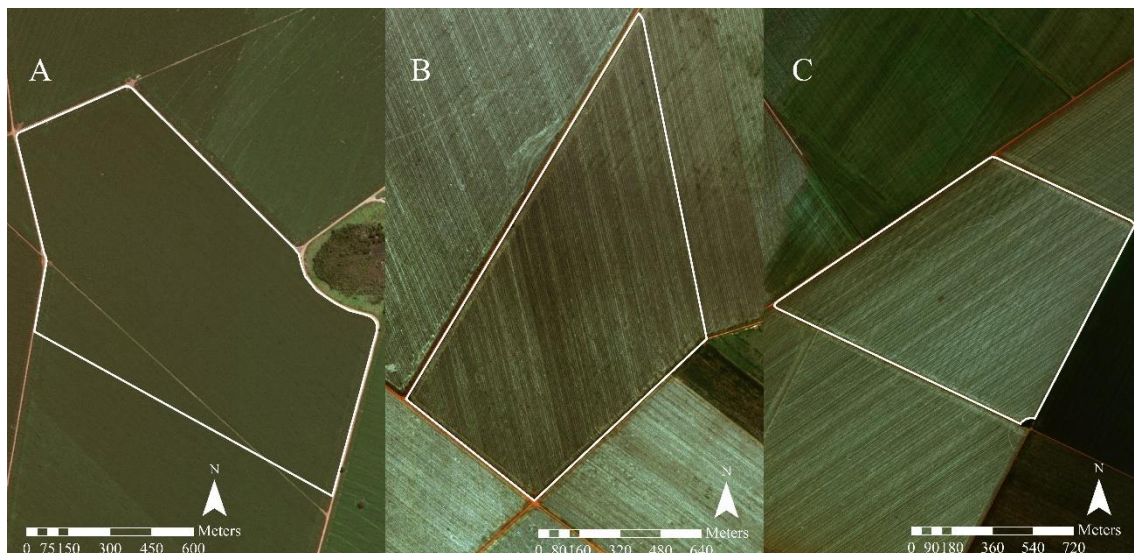


Figura 1. Bordaduras das áreas utilizadas das nas fazendas Alto Formoso (áreas 1) (A), e Proto Seguro (áreas 2 e 3) (B e C).

Delineamento experimental

O delineamento experimental foi estabelecido como inteiramente casualizado contendo quatro populações de semeadura de milho, 50, 55, 60 e 65 mil sementes ha⁻¹, distribuídas aleatoriamente dentro de 272 parcelas nas áreas 1 e 2 no ano de 2018. Na área 1, as 136 parcelas foram dimensionadas de forma a preencher todo talhão de 97 ha, com medida de 80 x 80 m (Figura 2A), sendo desconsideradas as parcelas menores que 5.000 m² das bordaduras do talhão. Na área 2, as parcelas foram dimensionadas em dois conjuntos, área 2a com 36 parcelas de 50

x 50 m e área 2b com 100 parcelas de 30 x 30 m (Figura 2B). Essas dimensões foram diferentes para proporcionar maior variabilidade dos resultados em função do tamanho das parcelas. Os mapas de prescrição contendo as taxas de semeadura foram processados pelo programa de sistemas de informações geográficas (SIG) ArcGis 10.5 (ESRI).



Figura 2. Parcelas experimentais e taxas de semeadura planejadas para a área 1 (A), área 2a e área 2b (B).

A validação do experimento foi realizada na área 2, totalizando 103 ha, no ano de 2019. A semeadura em taxa variável (STV) foi realizada a partir dos resultados encontrados nas parcelas do ano agrícola de 2018. A área 3 foi semeada em sistema convencional em taxa fixa (STF) com 94,5 ha, como forma de contrastar os resultados obtidos com o STV realizado na área 2.

Clima e Condições do Tempo

O ensaio foi conduzido nos anos agrícolas de 2018 e 2019. O clima da região é caracterizado, de acordo com a classificação, como clima tropical com estação seca no inverno (Aw). Os dados das condições do tempo foram obtidos através de uma estação meteorológica automática instalada na fazenda Âncora e compiladas através da plataforma ZeusAgro.

Os dados foram agrupados a cada dez dias durante o período em que os experimentos estavam no campo. No ano de 2018 a precipitação média em 10 dias esteve entre 0 e 193 mm, totalizando 657,8 mm durante o período que a cultura esteve em campo e as temperaturas oscilaram entre 8,3 e 32,2 °C. No ano de 2019 foram observadas médias entre 0 e 100 mm no período de 10 dias, totalizando 581,1 mm durante o período, já as temperaturas variaram entre 7,9 e 32,7 °C (Figura 3).

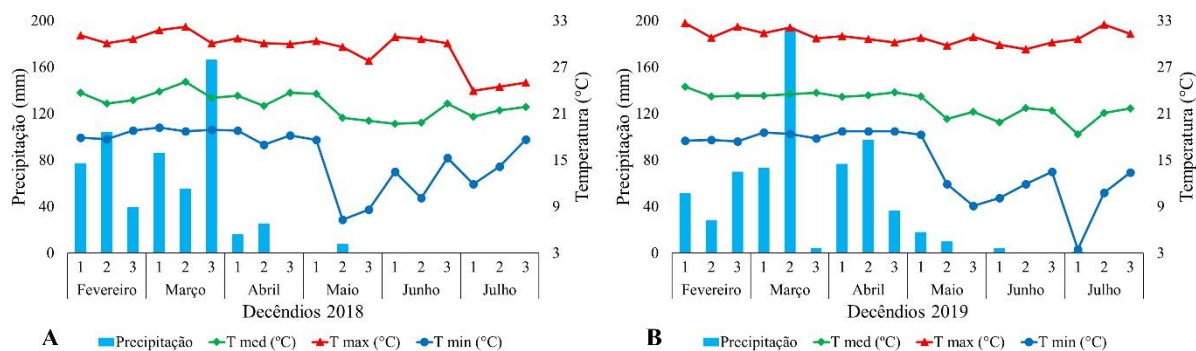


Figura 3. Média de precipitação (mm), máxima, mínima e média de temperatura (°C) a cada dez dias, durante o cultivo de milho no campo para os anos de 2018 (A) e 2019 (B). Chapadão do Céu.

Caracterização dos atributos do solo

A mensuração dos atributos químicos e físicos do solo foram realizadas pela amostragem em grade regular de 100 m de lado, na profundidade de 0,0-0,2 m, nas áreas amostrais (Tabela 1). À essa grade amostral, foi adicionado um quantitativo de 10% de pontos amostrais aleatoriamente na área, a fim de analisar a variabilidade espacial em menor distância. Foram totalizados 100, 103 e 95 pontos amostrais nas áreas 1, 2 e 3, respectivamente.

A condutividade elétrica aparente do solo (EC_a) foi mensurada pelo equipamento Veris Q1000. Uma central eletrônica controla a emissão e recepção das cargas dos discos para medição da EC_a , onde o valor mensurado é atrelado às coordenadas provenientes do sistema global de navegação por satélite (GNSS) para georreferenciamento dos dados coletados.

Os dados das medições são armazenados no dispositivo de memória flash, conectado a central eletrônica. Esse implemento foi acoplado a um quadriciclo (Honda). O quadriciclo fornecia energia motora e elétrica ao sistema. As leituras foram realizadas em linhas dispostas a cada 20 m.

Os mapas de todas as variáveis foram elaborados através do método de interpolação por krigagem ordinária (Beers, Van & Kleijnen, 2003; Yamamoto & Landim, 2013). A análise geoestatística foi realizada utilizando o programa ArcGis 10.5, e seguiu os preceitos da continuidade espacial (Yamamoto & Landim, 2013). Os semivariogramas modelados foram determinados, baseados no menor erro médio padrão calculados pela validação cruzada (Yamamoto & Landim, 2013), pelo mesmo programa.

Tabela 1. Médias dos atributos do solo das áreas experimentais, de um total de 300 pontos amostrais.

Área	Atributos do solo									
	pH	Ca	Mg	CTC	K	P	V %	MO	Arg	EC _a
		cmolc dm ⁻³			mg dm ⁻³		%		g Kg ⁻¹	mS m ⁻¹
1	5,17	3,39	1,03	7,98	67,81	18,98	56,23	3,01	646,89	9,41
2	5,24	3,85	0,89	8,44	59,88	18,61	57,63	3,22	436,98	6,44
3	5,11	4,34	1,18	10,74	71,07	13,27	53,03	2,81	547,00	9,42

Instalação experimental

As instalações das parcelas nas áreas experimentais ocorreram após a colheita da soja, em segunda safra de milho. A semeadura da área 1 ocorreu no dia 11 de fevereiro de 2018 com uma semeadora modelo DB (John Deere) com espaçamento entre linhas de 0,90 m. O híbrido de milho utilizado foi o AG 8700 PRO3 (Agrocere).

A semeadura das parcelas área 2a e área 2b foi realizada nos dias 8 e 10 de fevereiro de 2018, respectivamente, utilizando uma semeadora adubadora modelo 2117 (John Deere) com espaçamento entre linhas de 0,45 m. Essa semeadora estava equipada com sistema de distribuição de sementes modelo V-Drive (Precision Planting). O híbrido de milho utilizado foi o FS 401 PW, da empresa Forseed. Ambos os híbridos apresentam ciclo médio de 135 dias.

A semeadura do ano de 2019 foi realizada nas áreas 2 e 3 (tratamento controle). A área 2 foi semeada em segunda safra após colheita da soja entre os dias 10 e 11 de fevereiro com a semeadora modelo 2117, com espaçamento de 0,45 m entre linhas. O híbrido semeado foi o mesmo (FS 401 PW), semeado em STV. A área 3 (controle) foi semeada no dia 7 de fevereiro com a mesma semeadora da área 2 e híbrido. A semeadura da área 3 foi realizada de forma convencional utilizando taxa fixa (STF) de 60.000 sementes ha⁻¹.

Adubação e tratamento fitossanitário

A adubação de semeadura foi realizada de acordo com a análise de solo seguindo as recomendações para a região (Sousa & Lobato, 2004). A adubação de semeadura foi realizada a lança na área 1 pelo distribuidor de sólidos autopropelido Hércules 5.0 (Stara) e no sulco de semeadura na área 2, pela semeadora-adubadora. A adubação de cobertura foi realizada a lança nas duas áreas com 100 kg de N ha⁻¹, no estágio fenológico V4 das plantas de milho.

Avaliação de Estande

O estande de plantas foi avaliado nos três grupos de parcelas aos 39 dias após emergência (DAE) quando a cultura estava no estágio fenológico V6, contando o número de plantas em 10 m em três linhas de semeadura. A soma da contagem das três linhas serviu para geração de uma média que foi utilizada para a verificação das populações planejadas.

As populações de cada conglomerado de parcelas foram agrupadas em classes, onde as menores populações estão em vermelho e as maiores em verde escuro. A verificação foi necessária para determinação das populações que foram conduzidas durante o experimento, devido a germinação, sobrevivência e índices de pureza das sementes utilizadas.

Avaliação da Produtividade

A colheita foi realizada por três modelos de colhedoras. Na área 1, foram utilizadas as colhedoras modelos S680 (John Deere) e CR8.90 (New Holland). Nas áreas 2 e 3 a colheita foi realizada por duas colhedoras, uma modelo 9230 (Case) e uma John Deere modelo S680. Os dados de produtividade de cada máquina, foram agrupados através do sistema de monitoramento de colheita Field View Cab[®] (Climate Field View), o qual permite a junção dos dados dos diferentes sistemas de colheita de cada uma das colhedoras citadas.

Os dados brutos das produtividades (Prd) pontuais foram filtrados com base em sua variância, sendo determinados os limites de corte superior e inferior de acordo com metodologia sugerida por (Tukey, 1977). Após a interpolação pela metodologia da krigagem ordinária (Beers, Van & Kleijnen, 2003; Colaço & Molin, 2017), a informação da produtividade pontual correlacionada com os outros componentes foi obtida pela média dos pontos obtidos em um raio de 10 m do ponto amostral de controle com o objetivo de reduzir a variabilidade pontual.

Análises Estatísticas

Devido ao grande número de variáveis em cada classe, foi utilizada a rede de correlações para expressar graficamente os resultados, em que a proximidade entre os nós (traços) é proporcional ao valor absoluto da correlação entre esses nós (Bhering, 2017). A determinação das variáveis mais relevantes sobre a produtividade, ocorreu por uma análise de trilha com o programa Genes (Cruz, 2013). As variáveis selecionadas como mais significativas foram utilizadas para gerar um algoritmo de árvore de decisão, considerando a variável PRD como dependente. Nesse processo, 80 % dos dados foram utilizados para treinamento do algoritmo e 20 % para validação. A precisão do modelo foi avaliada pela correlação entre os valores estimados e observados em cada etapa. Essa análise foi realizada com software R.

Uma análise de variância foi gerada para a comparação das produtividades entre a semeadura em taxa variável com as taxas recomendadas pela árvore de decisão e a semeadura convencional. O coeficiente de desvio relativo (CDR) expressa a dissimilaridade entre dois mapas no módulo (Coelho et al., 2009). O cálculo foi realizado pela Equação 1. Todos os valores das variáveis foram convertidos para valores percentuais, a fim de comparar suas diferentes unidades. O mapa de produtividade de grãos foi considerado a referência (padrão) para comparação com os outros mapas.

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

Onde: n é o número de pontos; P_{ij} é o valor da variável na amostra pontual específica; P_{iref} é o valor da variável de referência do mesmo ponto amostral.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estande de plantas

O estande final de plantas apresentou uma variação segundo a população planejada. Essa variação observada foi de até $\pm 14\%$ dos tratamentos iniciais, apresentando entre 42.962 e 71.111 plantas ha^{-1} (Figura 4).

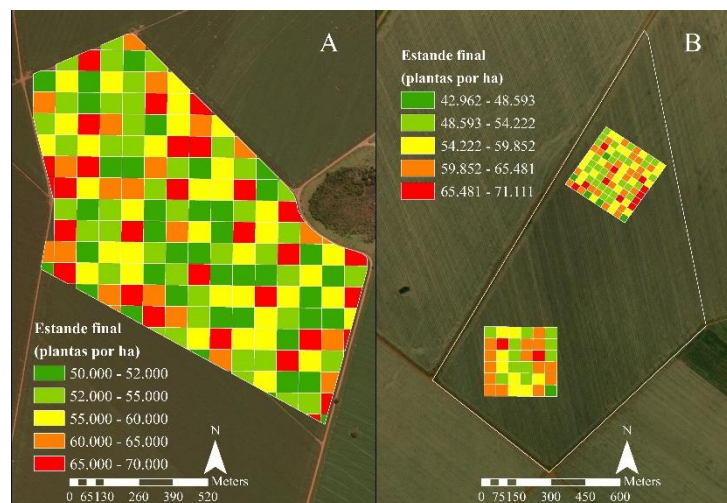


Figura 4. Estande final de plantas nas parcelas das áreas 1 (A), áreas 2a e 2b (B).

A população recomendada para os dias em que a semeadura foi realizada, segundo as empresas detentoras dos híbridos, era 55.000 plantas ha^{-1} . Contudo, a variação da densidade de semeadura se deu na proporção de -10, 10 e 20 % da população recomendada. A variação de -20 % não foi realizada pois a população de 45.000 plantas ha^{-1} não é recomendada para esses híbridos, devido a baixa densidade, onde é possível que a infestação de plantas invasoras seja

de difícil controle devido as plantas de milho não oferecerem cobertura suficiente do solo, deixando espaço para o crescimento das plantas invasoras. A média final das populações reais foi de 57.036 plantas ha⁻¹.

Relação entre a taxa variável de sementes e os atributos do solo

A Figura 5 apresenta a rede de correlações entre os atributos de solo mensurados nas áreas 1 e 2. As variáveis (EC_a), Mg, argila (Arg), Fósforo (P) e Cálcio (Ca), apresentaram correlação positiva entre si e com a Prd, já as variáveis CTC, Potássio (K), matéria orgânica (OM) e pH apresentaram correlação positiva entre si, porém a correlação com a Prd é negativa, sendo inversamente proporcionais.

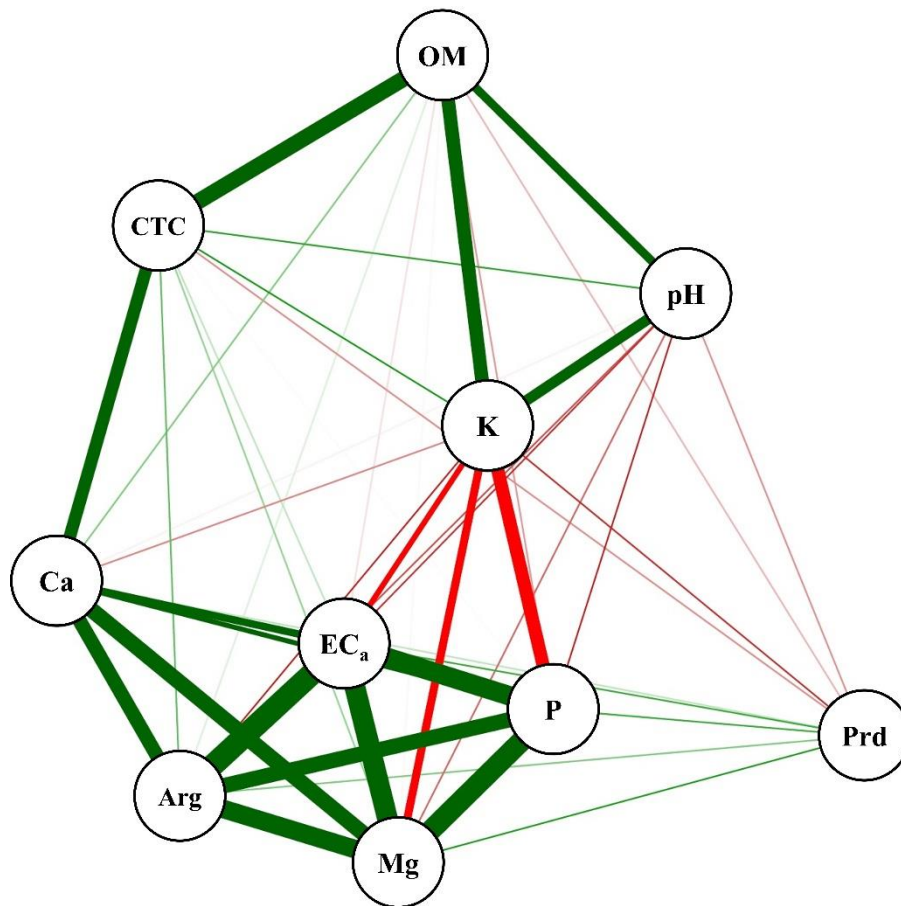


Figura 5. Rede de correlações de Pearson entre os atributos de solo pH, Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), CTC, Potássio (K), Fósforo (P), matéria orgânica (OM), Argila (Arg), condutividade elétrica aparente (EC_a) e a produtividade (Prd).

A Prd foi afetada negativamente por K. Os teores de K são afetados diretamente pela correção da acidez do solo com calcário, uma vez que a elevação dos teores de Ca e Mg podem

inibir a absorção de K pelas raízes, promovendo a sua deficiência, uma vez que há inibição competitiva pelos sítios de troca da membrana plasmática das células radiculares, onde o efeito antagônico é mais evidenciado entre Mg e K (Malavolta, 1980; Bratti et al., 2012). Além disso, a aplicação de gesso agrícola pode favorecer o processo de lixiviação de K, reduzindo os teores disponíveis para as culturas. Outro fator que influencia na disponibilidade de K para o milho em segunda safra, é a alta exportação do nutriente pela soja (Flores et al., 2016).

Apesar de importante, o coeficiente de correlação de Pearson pode produzir equívocos a respeito da relação que há entre duas variáveis, podendo não ser uma medida real de causa e efeito. Um alto ou baixo coeficiente de correlação entre duas variáveis pode ser o resultado do efeito que uma terceira variável ou um grupo de variáveis têm sobre o par, não dando a exata importância relativa dos efeitos diretos e indiretos desses fatores (Cruz et al., 2012). Por isso, procedeu-se à análise de trilha (Figura 6), que investiga a relação de causa e efeito. Essa análise proporciona um conhecimento detalhado das influências das variáveis envolvidas e justificam a existência de correlações positivas e negativas, de alta e baixa magnitude, entre as variáveis estudadas (Teodoro et al., 2014).

A partir dos resultados obtidos na análise de trilha, foi verificado que os fatores que explicam melhor a Prd são Mg e EC_a , com efeito direto de 0,48 e 0,17 e efeito indireto de 0,46 e 0,39, respectivamente.

O Mg foi o nutriente que mais se destacou na análise de trilha, devido a sua importância no desenvolvimento da cultura (Sousa & Lobato, 2004). Porém, os teores de Mg foram limitantes ao bom desempenho da cultura, sendo o nutriente que mais se destacou na determinação da Prd pela análise de trilha.

A EC_a apresenta alta correlação com o conteúdo de água no solo (Pedrera-Parrilla et al., 2017; Robinet et al., 2018) e concomitantemente com os teores de argila, auxiliando também na classificação dos tipos de solo (Stadler et al., 2015). Nesse trabalho, a EC_a auxilia na identificação de que para obtenção de alta Prd em milho segunda safra, é necessário que o déficit hídrico seja o menor possível, ou seja, solos mais protegidos com palhada, teores médios de argila e um bom índice pluviométrico podem garantir o bom desenvolvimento da cultura.

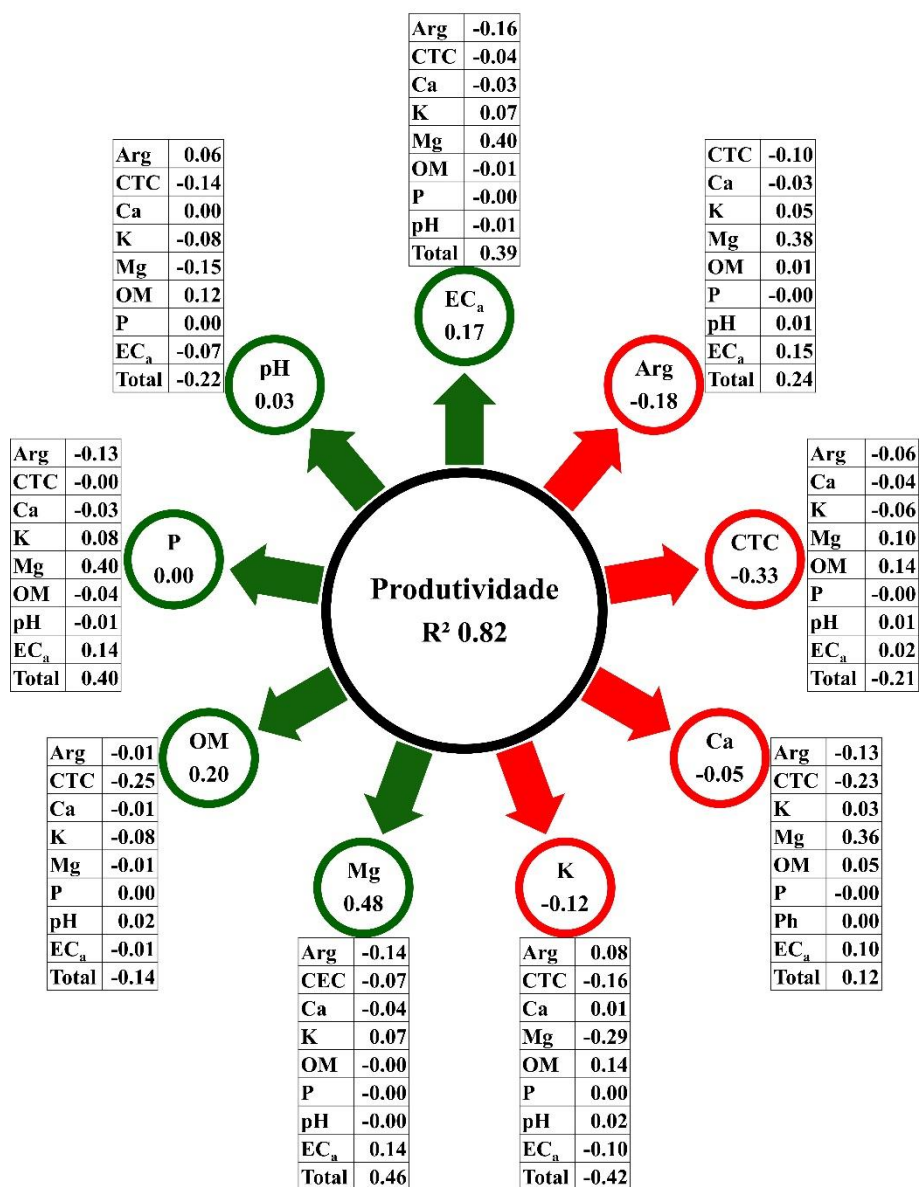


Figura 6. Análise de trilha das variáveis de solo em função da produtividade de grãos.

A análise de trilha selecionou os atributos de solo com maior relação de causa e efeito sobre a Prd, EC_a e Mg. Esses atributos foram utilizados para a geração de uma árvore de decisão (Figura 7), onde o resultado é a população de plantas que vai maximizar a Prd. Nesse momento as populações reais das parcelas deixam de ser tratamentos e passam a ser variáveis, para a definição de quais populações de milho devem ser utilizadas para cada condição dos atributos de solo. O número de nós utilizados foi igual a dois e proporcionou uma correlação entre os valores estimados e os observados para a variável Prd de 0,72 na etapa de treinamento (80% dos dados) e 0,73 na etapa de validação (20% dos dados). Esses resultados revelam credibilidade na recomendação da população de plantas de milho ha⁻¹ a partir dos atributos selecionados pela análise de trilha.

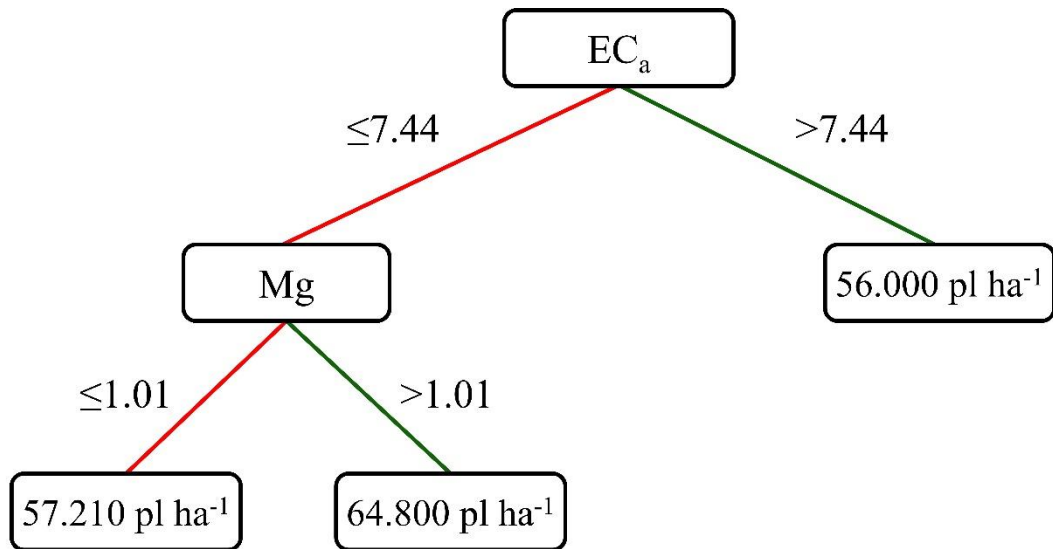


Figura 7. Árvore de decisão gerada com as variáveis EC_a e Mg selecionadas pela análise de trilha.

Os atributos de solo que maximizaram a produtividade de grãos, identificado pela análise de trilha, foram utilizados para gerar a árvore de decisão para prever a taxa de semeadura a ser utilizada. Para determinação da população que vai maximizar a Prd, o primeiro passo é observar os valores de EC_a , se maior que 7,44, a POP ideal é 56.000 plantas ha^{-1} , caso a EC_a seja menor, os teores de Mg vão determinar a população, se maior que 1,01 $cmol_c \text{ dm}^{-3}$ a POP é 64.800 plantas ha^{-1} , se o teor é menor que 1,01 $cmol_c \text{ dm}^{-3}$, a POP deverá ser 57.210 plantas ha^{-1} .

Validação da semeadura em STV

A validação do experimento foi realizada na área 2, totalizando 103 ha, no ano de 2019. A semeadura em taxa variável (STV) (Figura 8A) foi realizada a partir dos resultados encontrados nas parcelas do ano agrícola de 2018. A área 3 foi semeada em sistema convencional (STF) com 94,5 ha (Figura 8B), como forma de contrastar os resultados obtidos com o STV realizado na área 2.

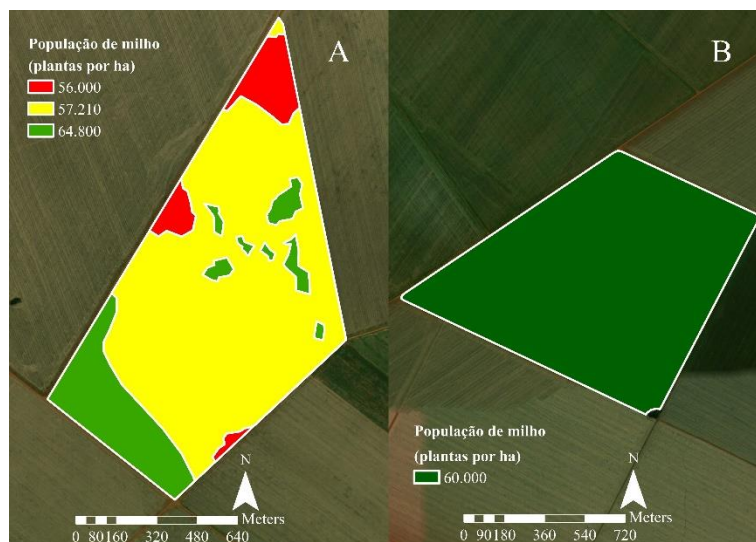


Figura 8. Semeadura em taxa variável de milho para validação do experimento realizada na área 2 (A) e semeadura convencional realizada na área 3 (B).

Para verificar a acuraria da árvore de decisão foi realizada uma análise de contrastes entre STV e STF. Os quatro tratamentos foram as três populações preditas na árvore de decisão (Figura 8) e a semeadura convencional em taxa fixa. Para isso, foi realizada análise de variância e estimado o contraste entre STV *versus* STF (Tabela 2).

Tabela 2. Resumo da análise de variância para a produtividade de grãos de milho obtida em um talhão de validação com semeadura em taxa variável *versus* população recomendada.

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	Médias (Kg ha ⁻¹)
Áreas	4	23.167.919,18*	9.006,89
STV	3	657.605,63 ^{ns}	9.723,47
Contraste STV x STF	1	102.698.859,84*	8.290,30
Resíduo	195	686.072,42	-
Coefficiente de variação	-	9,19	-

^{ns} e * : não significativo e significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Os resultados obtidos demonstraram que não existe diferença estatística entre as populações preditas pela árvore de decisão (STV). Ou seja, onde o solo apresentou menores teores de fertilidade, produziu tão bem quanto os locais onde o solo era mais fértil. Contudo, o contraste entre STV *versus* STF foi significativo, onde a STV obteve a maior média quando comparada a STF.

A árvore de decisão foi assertiva em prever a população, maximizando a produtividade em relação a taxa convencional. Ou seja, quando usa a semeadura convencional com população fixa, a produtividade é reduzida por conta dos atributos da árvore (EC_a e Mg).

Os mapas apresentados na Figura 9, são os mapas dos atributos da árvore de decisão e a produtividade das áreas 2 e 3.

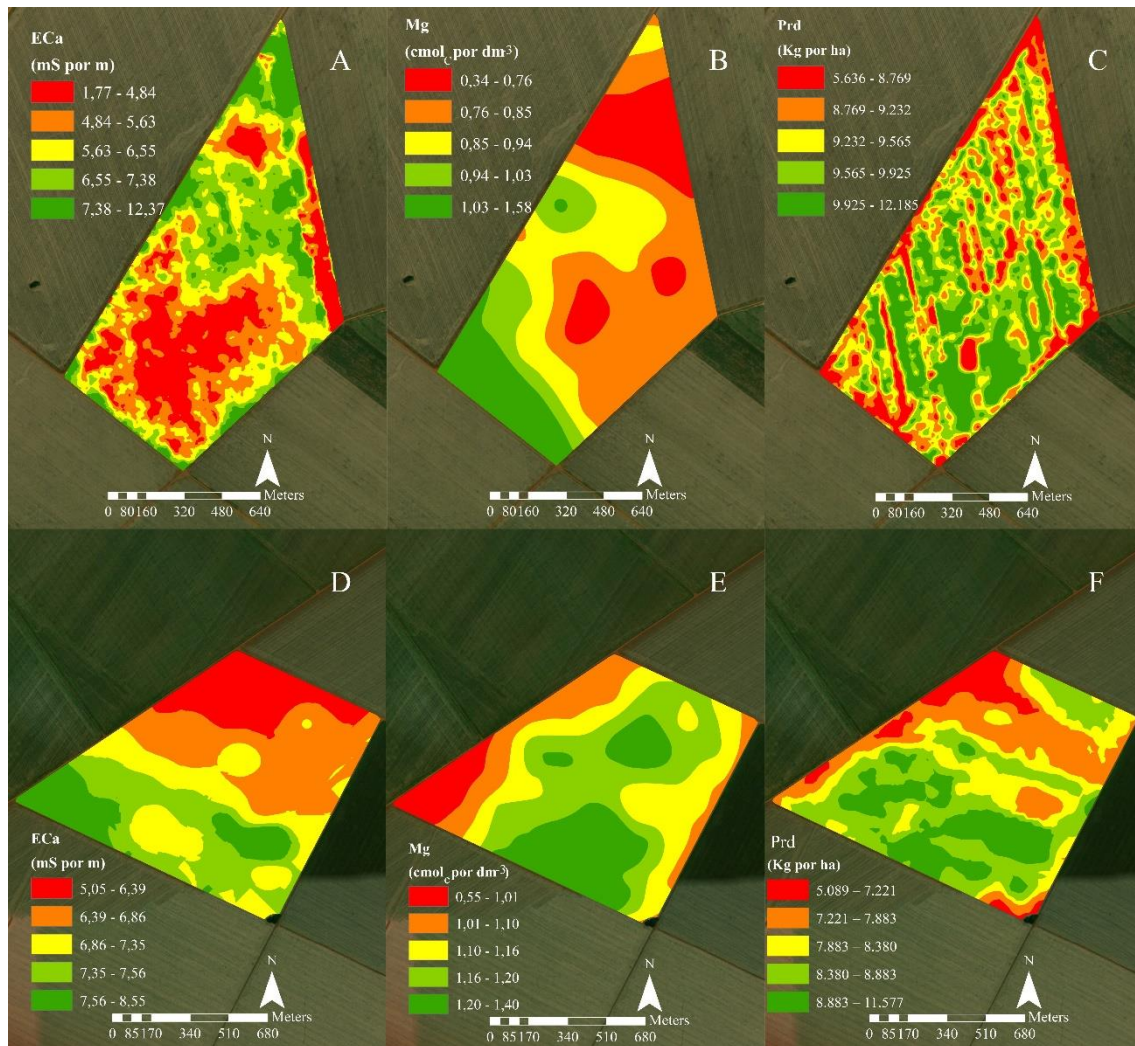


Figura 9. Mapas das variáveis EC_a (A e D) e Mg (B e E) utilizadas na árvore de decisão e produtividade (Prd) (C e F) para as áreas 2 e 3 respectivamente.

O coeficiente de desvio relativo (CDR) (Tabela 3) expressa a dissimilaridade entre dois mapas no módulo (Coelho et al., 2009). Todos os valores das variáveis foram convertidos para valores percentuais, a fim de comparar suas diferentes unidades. O mapa de produtividade de grãos foi considerado a referência (padrão) para comparação com os outros mapas.

Os resultados da Tabela 3 comprovam a assertividade da análise de trilha (Figura 6), onde o mapa de Mg foi mais similar ao mapa de Prd nas duas áreas. A Figura 5 também já demonstrava isso, porém, os dados que compõem a rede de correlações de Pearson não levam em consideração a distribuição espacial dos dados. Diversos autores confirmam a assertividade da utilização do CDR para a mensuração da similaridade entre mapas georreferenciados (Bazzi et al., 2008; Coelho et al., 2009; Cherubin et al., 2015).

Tabela 3. Semelhanças entre mapas pelo coeficiente de desvio relativo (CDR) em relação às variáveis produtividade de grãos (Prd), condutividade elétrica aparente (EC_a) e teores de Magnésio (Mg).

		STV		
		Prd	EC _a	Mg
STF	Prd		21,19	8,96
	EC _a	16,53		10,31
	Mg	11,24	12,69	

CONCLUSÃO

A árvore de decisão gerada foi assertiva na determinação das populações que maximizam a produtividade de milho, utilizando os teores de Magnésio e condutividade elétrica aparente do solo. Quanto menor os teores de condutividade elétrica, maior deve ser a população e quanto maiores os teores de Magnésio, a população também deve aumentar.

REFERÊNCIAS

- ASSEFA, Y.; VARA PRASAD, P. V.; CARTER, P.; HINDS, M.; BHALLA, G.; SCHON, R.; JESCHKE, M.; PASZKIEWICZ, S.; CIAMPITTI, I.A. Yield Responses to Planting Density for US Modern Corn Hybrids: A Synthesis-Analysis. **Crop Science**, v.56, p.2802, 2016. DOI: 10.2135/cropsci2016.04.0215.
- BAZZI, C.L.; SOUZA, E.G.; OPAZO, M.A.U.; NÓBREGA, L.H.P.; PINHEIRO NETO, R. Influência da distância entre passadas de colhedora equipada com monitor de colheita na precisão dos mapas de produtividade na cultura do milho. **Engenharia Agrícola**, v.28, p.355–363, 2008. DOI: 10.1590/S0100-69162008000200016.
- BEERS, W.C.M. VAN; KLEIJNEN, J.P.C. Kriging for interpolation in random simulation. **Journal of the Operational Research Society**, v.54, p.255–262, 2003. DOI: 10.1057/palgrave.jors.2601492.
- 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: <http://dx.doi.org/10.1590/1984-70332017v17n2s29>.

BRATTI, E.F.; ROSA, Y.B.; SILVA, E.F.; ROSA JÚNIOR, E.J.; ZÁRATE, N.A.; BÍSCARO, G.A.; ROSA, D.B. Cultivo de gladiolos em função das doses de calcário e potássio. **Horticultura Brasileira**, v.30, p.397–402, 2012. DOI: 10.1590/S0102-05362012000300007.

BUTCHER, K.; WICK, A.F.; DESUTTER, T.; CHATTERJEE, A.; HARMON, J. Corn and Soybean Yield Response to Salinity Influenced by Soil Texture. **Agronomy Journal**, v.110, p.1243–1253, 2018. DOI: 10.2134/agronj2017.10.0619.

CAMICIA, R.G. DA M.; MAGGI, M.F.; SOUZA, E.G. DE; BAZZI, C.L.; KONOPATZKI, E.A.; MICHELON, G.K.; PINHEIRO, J.B.S. Productivity of soybean in management zones with application of different sowing densities. **Ciência Rural**, v.48, 2018. DOI: 10.1590/0103-8478cr20180532.

CHERUBIN, M.R.; SANTI, A.L.; EITELWEIN, M.T.; AMADO, T.J.C.; SIMON, D.H.; DAMIAN, J.M. Dimensão da malha amostral para caracterização da variabilidade espacial de fósforo e potássio em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.50, p.168–177, 2015. DOI: 10.1590/S0100-204X2015000200009.

COELHO, E.C.; SOUZA, E.G. DE; URIBE-OPAZO, M.A.; PINHEIRO NETO, R. Influência da densidade amostral e do tipo de interpolador na elaboração de mapas temáticos. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.31, 2009. DOI: 10.4025/actasciagron.v31i1.6645.

COLAÇO, A.F.; MOLIN, J.P. Variable rate fertilization in citrus: a long term study. **Precision Agriculture**, v.18, p.169–191, 2017. DOI: 10.1007/s11119-016-9454-9.

CORASSA, G.M.; AMADO, T.J.C.; TABALDI, F.M.; SCHWALBERT, R.A.; REIMCHE, G.B.; NORA, D.D.; ALBA, P.J.; HORBE, T. DE A.N. Espacialização em alta resolução de atributos da acidez de Latossolo por meio de sensoriamento em tempo real. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, p.1306–1316, 2016. DOI: 10.1590/s0100-204x2016000900030.

CORRÊA, R.D.G.; FURLANI, C.E.A.; ZERBATO, C.; OLIVEIRA, D.T. DE; OLIVEIRA, M.F. DE. Variation of Seed Dosage on Corn Crop Production Components. **Journal of Agricultural Science**, v.10, p.296, 2018. DOI: 10.5539/jas.v10n8p296.

CORWIN, D.L.; LESCH, S.M. Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.46, p.11–43, 2005. DOI: 10.1016/j.compag.2004.10.005.

CORWIN, D.L.; SCUDIERO, E. Mapping Soil Spatial Variability with Apparent Soil Electrical Conductivity (ECa) Directed Soil Sampling. **Soil Science Society of America**

Journal, v.83, p.3, 2019. DOI: 10.2136/sssaj2018.06.0228.

COX, W.J.; CHERNEY, J.H.; SHIELDS, E. Soybeans Compensate at Low Seeding Rates but not at High Thinning Rates. **Agronomy Journal**, v.102, p.1238–1243, 2010. DOI: 10.2134/agronj2010.0047.

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: <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v35i3.21251>.

CRUZ, D.C.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4.ed. Viçosa: Editora UFV, 2012. 514p.

FARIAS, M.F. DE; BOAS, R.L. V.; RODRIGUES, K. DE M.; GARRETO, F.G. DE S.; FURTADO, M.B.; PARRA-SERRANO, L.J.; SOARES, F.A.; MACHADO, N.A.F.; OLIVEIRA, A.R.F.; ANDRADE, H.A.F. DE; SILVA-MATOS, R.R.S. Potassium Fertilization in Soybean and Its Correlation With Electrical Conductivity in Soil. **Journal of Agricultural Science**, v.10, p.336, 2018. DOI: 10.5539/jas.v10n12p336.

FERREIRA, A.S.; BALBINOT JUNIOR, A.A.; WERNER, F.; FRANCHINI, J.C.; ZUCARELI, C. Soybean agronomic performance in response to seeding rate and phosphate and potassium fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.22, p.151–157, 2018. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v22n3p151-157.

FIORINI, I.V.A.; PEREIRA, C.S.; PEREIRA, H.D.; MEDEIROS, A.L. DE; PIRES, L.P.M. Yield and its components according to maize sowing times at offseason in the Northern of Mato Grosso state, Brazil. **Journal of bioenergy and food science**, v.5, p.54–65, 2018. DOI: 10.18067/jbfs.v5i2.195.

FLORES, R.A.; CUNHA, P.P. DA; CAIONE, G. Manejo do potássio na região do cerrado. In: FLORES, R.A.; CUNHA, P.P. DA (Ed.). **Práticas de Manejo do Solo para Adequada Nutrição de Plantas no Cerrado**. 1.ed. Goiânia: Gráfica UFG, 2016. p.503. .

INMET, I.N. DE M. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>>. Acesso em: 18 dez. 2019.

JAVIER DE LUCA, M.; NOGUEIRA, M.A.; HUNGRIA, M. Feasibility of Lowering Soybean Planting Density without Compromising Nitrogen Fixation and Yield. **Agronomy Journal**, v.106, p.2118–2124, 2014. DOI: 10.2134/agronj14.0234.

LI, Y.; BINGXIN, Y.; YIMING, Y.; XIANTAO, H.; QUANWEI, L.; ZHIJIE, L.; XIAOWEI, Y.; TAO, C.; DONGXING, Z. Global overview of research progress and development of precision maize planters. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**,

v.9, p.9–26, 2016. DOI: 10.3965/j.ijabe.20160901.2285.

MACHADO, P.L.O. DE A.; BERNARDI, A.C. DE C.; VALENCIA, L.I.O.; MOLIN, J.P.; GIMENEZ, L.M.; SILVA, C.A.; ANDRADE, A.G. DE; MADARI, B.E.; MEIRELLES, M.S.P. Mapeamento da condutividade elétrica e relação com a argila de Latossolo sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.1023–1031, 2006. DOI: 10.1590/S0100-204X2006000600019.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. 1.ed. São Paulo, SP: Agronômica Ceres, 1980. 251p.

MASTRODOMENICO, A.T.; HAEGELE, J.W.; SEEBAUER, J.R.; BELOW, F.E. Yield Stability Differs in Commercial Maize Hybrids in Response to Changes in Plant Density, Nitrogen Fertility, and Environment. **Crop Science**, v.58, p.230, 2018. DOI: 10.2135/cropsci2017.06.0340.

MOLIN, J.P.; TAVARES, T.R. SENSOR SYSTEMS FOR MAPPING SOIL FERTILITY ATTRIBUTES: CHALLENGES, ADVANCES, AND PERSPECTIVES IN BRAZILIAN TROPICAL SOILS. **Engenharia Agrícola**, v.39, p.126–147, 2019. DOI: 10.1590/1809-4430-eng.agric.v39nep126-147/2019.

PEDRERA-PARRILLA, A.; PACHEPSKY, Y.A.; TAGUAS, E. V.; MARTOS-ROSILLO, S.; GIRÁLDEZ, J. V.; VANDERLINDEN, K. Concurrent temporal stability of the apparent electrical conductivity and soil water content. **Journal of Hydrology**, v.544, p.319–326, 2017. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2016.10.017.

PETTER, F.A.; SILVA, J.A. DA; ZUFFO, A.M.; ANDRADE, F.R.; PACHECO, L.P.; ALMEIDA, F.A. DE. Elevada densidade de semeadura aumenta a produtividade da soja? Respostas da radiação fotossinteticamente ativa. **Bragantia**, v.75, p.173–183, 2016. DOI: 10.1590/1678-4499.447.

QUEVEDO, Y.M.; BELTRÁN, J.I.; BARRAGÁN-QUIJANO, E. Effect of sowing density on yield and profitability of a hybrid corn under tropical conditions. **Agronomía Colombiana**, v.36, p.248–256, 2018. DOI: 10.15446/agron.colomb.v36n3.71268.

RESENDE, S.G.; PINHO, R.G.V.; VASCONCELOS, R.C. Influência do Espaçamento entre Linhas e da Densidade de Plantio no Desempenho de Cultivares de Milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.2, p.34–42, 2003. DOI: 10.18512/1980-6477/rbms.v2n3p34-42.

ROBINET, J.; HEBEL, C. VON; GOVERS, G.; KRUK, J. VAN DER; MINELLA, J.P.G.; SCHLESNER, A.; AMEIJERAS-MARIÑO, Y.; VANDERBORGHT, J. Spatial variability of soil water content and soil electrical conductivity across scales derived from Electromagnetic Induction and Time Domain Reflectometry. **Geoderma**, v.314, p.160–174, 2018. DOI:

10.1016/j.geoderma.2017.10.045.

SANTOS, H.G. DOS; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C. DOS; OLIVEIRA, V.A. DE; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A. DE; ARAUJO FILHO, J.C. DE; OLIVEIRA, J.B. DE; CUNHA, T.J.F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev ed. Brasília, DF: Embrapa Solos - Livro técnico (INFOTECA-E), 2018.

SHIOGA, P.S.; OLIVEIRA, E.L.; GERAGE, A.C. Densidade de Plantas e Adubação Nitrogenada em Milho Cultivado na Safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.3, p.381–390, 2004. DOI: 10.18512/1980-6477/rbms.v3n3p381-390.

SINGH, G.; WILLIARD, K.; SCHOONOVER, J. Spatial Relation of Apparent Soil Electrical Conductivity with Crop Yields and Soil Properties at Different Topographic Positions in a Small Agricultural Watershed. **Agronomy**, v.6, p.57, 2016. DOI: 10.3390/agronomy6040057.

SOUSA, D.M.G. DE; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2.ed. Brasília, DF: Embrapa Cerrados (CPAC), 2004. 408p.

STADLER, A.; RUDOLPH, S.; KUPISCH, M.; LANGENSIEPEN, M.; KRUK, J. VAN DER; EWERT, F. Quantifying the effects of soil variability on crop growth using apparent soil electrical conductivity measurements. **European Journal of Agronomy**, v.64, p.8–20, 2015. DOI: 10.1016/j.eja.2014.12.004.

TEODORO, P.E.; SILVA J, C.A. DA; CORREA, C.C.; RIBEIRO, L.P.; OLIVEIR, E.P. DE; LIMA, M.F.; TORRES, F.E. Path Analysis and Correlation of Two Genetic Classes of Maize (*Zea mays* L.). **Journal of Agronomy**, v.13, p.23–28, 2014. DOI: 10.3923/ja.2014.23.28.

THOMPSON, N.M.; LARSON, J.A.; LAMBERT, D.M.; ROBERTS, R.K.; MENGISTU, A.; BELLALOUI, N.; WALKER, E.R. Mid-South Soybean Yield and Net Return as Affected by Plant Population and Row Spacing. **Agronomy Journal**, v.107, p.979–989, 2015. DOI: 10.2134/agronj14.0453.

TUKEY, J.W. **Exploratory Data Analysis**. [s.l.] Addison-Wesley Publishing Company, 1977.

YAMAMOTO, J.K.; LANDIM, P.M.B. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. 1.ed. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2013. 215p.