

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ – UNIOESTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS – CAMPUS CASCAVEL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

SELEÇÃO DE VARIÁVEIS PARA GERAÇÃO DE ZONAS DE MANEJO E DIFERENTES
DENSIDADES DE SEMEADURA DE SOJA

RAFAELA GREICI DA MOTTA CAMICIA

CASCAVEL - PARANÁ

2018

RAFAELA GREICI DA MOTTA CAMICIA

**SELEÇÃO DE VARIÁVEIS PARA GERAÇÃO DE ZONAS DE MANEJO E DIFERENTES
DENSIDADES DE SEMEADURA DE SOJA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, em cumprimento aos requisitos para obtenção do título de Doutora em Engenharia Agrícola, área de concentração Sistemas Biológicos e Agroindustriais.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Furlan Maggi
Coorientador: Dr. Claudio Leones Bazzi

CASCADEL – PARANÁ – BRASIL

DEZEMBRO – 2018

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Camicia, Rafaela Greici da Motta

Seleção de variáveis para geração de zonas de manejo e diferentes densidades de semeadura de soja / Rafaela Greici da Motta Camicia; orientador(a), Márcio Furlan Maggi; coorientador(a), Claudio Leones Bazzi, 2018.
80 f.

Tese (doutorado), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, 2018.

1. Agricultura de precisão. 2. Seleção de Atributos. 3. Unidades de Manejo. 4. Produtividade. I. Maggi, Márcio Furlan. II. Bazzi, Claudio Leones. III. Título.

Revisão do texto e das normas: Dhandara Capitani



unioeste

Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Campus de Cascavel CNPJ 78680337/0002-65
Rua Universitária, 2069 - Jardim Universitário - Cx. P. 000711 - CEP 85819-110
Fone:(45) 3220-3000 - Fax:(45) 3324-4566 - Cascavel - Paraná

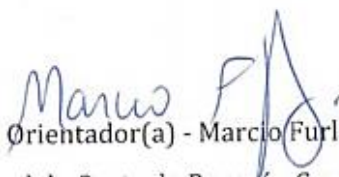


PARANÁ
GOVERNO DO ESTADO

RAFAELA GREICI DA MOTTA CAMICIA

Seleção de variáveis para geração de zonas de manejo e diferentes densidades de
semeadura de soja


Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em
cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Doutora em Engenharia
Agrícola, área de concentração Sistemas Biológicos e Agroindustriais, linha de pesquisa
Geoprocessamento, Estatística Espacial e Agricultura de Precisão, APROVADO(A) pela
seguinte banca examinadora:


Orientador(a) - Marcio Furlan Maggi

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)


Kelyn Schenatto

Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Santa Helena (UTFPR)


Davi Marcondes Rocha

Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Santa Helena (UTFPR)


Silvia Renata Machado Coelho

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)


Erivelto Mercante

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)

Cascavel, 3 de dezembro de 2018.

BIOGRAFIA

RAFAELA GREICI DA MOTTA CAMICIA

Nascida em 21 de maio de 1987, no município de Capanema, estado do Paraná. Graduada em Matemática (2008) pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, campus de Cascavel; especialista em Matemática Aplicada (2010 – UNIOESTE). Mestre (2013) e Doutora pelo Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Agrícola na área de concentração de Sistemas Agroindustriais na UNIOESTE, campus de Cascavel. Professora efetiva na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Medianeira, atuando como professora do ensino superior do Departamento de Matemática e Estatística.

Dedico este trabalho a minha mãe, Maristela,
aos meus irmãos, Ricardo e Rodrigo, e ao
meu esposo, Saimon.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pelas oportunidades, por ter me dado forças, sabedoria e calma para realizar mais esta etapa;

Ao meu orientador, professor Dr. Márcio Furlan Maggi, pela dedicação, as sugestões, o apoio, a compreensão e a confiança na realização deste trabalho;

Ao meu coorientador, professor Dr. Claudio Leones Bazzi, por sua paciência e disposição para contribuir para a elaboração do trabalho;

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), em especial ao PGEAGRI, pela oportunidade de realizar o Doutorado;

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR – campus Medianeira), pelas várias formas de apoio concedidas a mim durante a realização do doutorado;

A todos os colegas do LAMAP pela amizade, o companheirismo e a colaboração no desenvolvimento deste trabalho;

Ao engenheiro Aldo Tasca, pela cessão de uma das áreas experimentais utilizadas neste trabalho;

A minha mãe, Maristela, e aos meus irmãos, Ricardo e Rodrigo, pelo apoio incondicional em todos os momentos da minha vida;

De forma especial, ao meu esposo Saimon, pela cumplicidade, a presença, o carinho, a paciência e o amor dedicados ao longo destes anos;

Aos professores da Banca Examinadora, Dra. Kelyn Schenatto, Dr. Davi Marcondes Rocha, Dr. Erivelto Mercante e Dra. Silvia Renata Machado Coelho, pelas oportunas contribuições;

Por fim, gostaria de agradecer a todos que contribuíram direta ou indiretamente para que esse trabalho fosse realizado – a todos o meu eterno AGRADECIMENTO.

SELEÇÃO DE VARIÁVEIS PARA GERAÇÃO DE ZONAS DE MANEJO E DIFERENTES DENSIDADES DE SEMEADURA DE SOJA

RESUMO

A seleção de variáveis para o delineamento de zonas de manejo (ZMs) geralmente usa dados da produtividade de anos anteriores; porém, permanecem questões sobre o tipo e a quantidade de dados necessários para classificar estas ZMs, assim como se a normalização de dados interfere nesta seleção. Todas essas abordagens meramente identificam o potencial das ZMs; pesquisas adicionais são necessárias para testar se as ZMs identificadas funcionam de fato como zonas de gerenciamento efetivas para incrementar a produtividade, sendo a densidade de plantas no cultivo de soja uma prática de manejo relevante para o alcance de alta produtividade de grãos. Neste contexto, buscou-se estudar se a seleção das variáveis utilizadas para o delineamento de ZMs é influenciada quando se utilizam dados de um ou mais anos de produtividade, e se os métodos de normalização podem influenciar nesta seleção. Foram avaliadas as três principais técnicas de normalização de dados propostas na literatura com dados de até cinco anos de produtividade. Avaliou-se também o comportamento do rendimento da cultura de soja sob a aplicação de diferentes densidades de semeadura em duas zonas de manejo pré-estabelecidas. Os experimentos foram realizados em duas áreas agrícola comerciais, localizadas no estado do Paraná, nas quais se cultivaram milho e soja, com dados obtidos entre os anos de 2012 e 2018. Com os experimentos realizados foi possível concluir que a produtividade não apresentou autocorrelação espacial em algumas simulações; entretanto, isso não influenciou na seleção das variáveis. Dentre as variáveis estudadas, a altitude e a resistência mecânica do solo à penetração (RSP) tiveram correlação com a produtividade das culturas da soja e do milho em ambas as áreas estudadas; o número de safras influenciou negativamente na análise de correlação espacial entre a produtividade e os atributos do solo; o método de normalização amplitude apresentou os melhores resultados de redução da variância (VR) e ANOVA e o da média apresentou a maior redução do coeficiente de variação (CV). A ZM com maior potencial produtivo apresentou resultados melhores, mas não expressivos no que diz respeito à produtividade, já que não houve diferença estatística entre as médias. As densidades de semeadura resultaram em diferenças de produções; para a soja com espaçamento entre linhas de 0,70 m, a densidade de 15 plantas m^{-1} proporcionou as maiores produtividades; e, por meio da análise econômica, confirma-se ser a utilização desta densidade em toda a área a melhor opção para maximizar o rendimento final.

Palavras-chave: Agricultura de precisão, seleção de atributos, unidades de manejo, produtividade.

SELECTION OF VARIABLES FOR GENERATION OF MANAGEMENT ZONES AND DIFFERENT SOYBEAN DENSITIES

ABSTRACT

The selection of variables for the management zone design (MZs) generally uses productivity data from previous years; however, questions remain about the type and amount of data needed to classify these MZs, as well as whether data normalization interferes with this selection. All of these approaches merely identify the potential of the MZs; additional research is needed to test whether the identified MZs actually function as effective management zones to increase productivity, and plant density in soybean cultivation is a relevant management practice for reaching high grain yields. In this context, the present study was carried out to verify if the selection of the variables used for the design of MZs is influenced when data from one or more years of productivity are used, and if the normalization methods can influence this selection. The three main techniques of data normalization proposed in the literature with data of up to five years of productivity were evaluated. The behavior of soybean yield under different seeding densities was evaluated in two pre-established management zones. The experiments were carried out in two commercial agricultural areas, located in the state of Paraná, Brazil, where corn and soybean was grown, with data obtained between the years of 2012 and 2018. With the experiments, it was possible to conclude that the productivity did not present spatial autocorrelation in some simulations; however, this did not influence the selection of the variables. Among the studied variables, the altitude and soil mechanical resistance to penetration (RSP) correlated with soybean and corn crop productivity in both study areas; the number of harvests negatively influenced the analysis of spatial correlation between yield and soil attributes; the amplitude normalization method showed the best results of variance (VR) and ANOVA reduction and the mean one showed the greatest reduction of the coefficient of variation (CV). ZM with higher productive potential presented better but not expressive results regarding productivity, since there was no statistical difference between the means. Seed densities produced yield differences; for soybean with line spacing of 0.70 m, the density of 15 plants m⁻¹ provided the highest yields; and, by means of economic analysis, it is confirmed that the use of this density in the whole area is the best option to maximize final yield.

Keywords: Precision agriculture, selection of attributes, management units, productivity.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo geral	3
2.2 Objetivos específicos.....	3
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 Soja.....	4
3.2 Milho	5
3.3 Agricultura de precisão.....	6
3.4 Zonas de manejo.....	7
3.5 Normalização de dados.....	9
3.6 Interpolação de dados	10
3.7 Densidades de semeadura à taxa variável	11
3.8 Mapas temáticos de produtividade	12
4 REFERÊNCIAS	15
5 ARTIGO 1 – UTILIZAÇÃO DE DADOS DE PRODUTIVIDADE DE DIVERSOS ANOS PARA SELEÇÃO DE VARIÁVEIS PARA DELINEAMENTO DE ZONAS DE MANEJO	20
5.1 Introdução	21
5.2 Material e métodos.....	22
5.3 Resultados e discussão.....	28
5.3.1 Análise estatística dos dados amostrais	28
5.3.2 Seleção de variáveis para delimitação das ZMs.....	30
5.4 Conclusões	39
5.5 Agradecimentos	39
5.6 Referências	39
6 ARTIGO 2 – PRODUTIVIDADE DA SOJA EM ZONAS DE MANEJO COM A APLICAÇÃO DE DIFERENTES DENSIDADES DE SEMEADURA	44
6.1 Introdução	44
6.2 Material e métodos.....	46
6.3 Resultados e discussão.....	49
6.3.1 Produtividade obtida.....	49
6.3.2 Mapas de produtividade	51
6.3.3 Análise econômica	53

6.4	Conclusões	54
6.5	Agradecimentos	55
6.6	Referências	55
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
	APÊNDICES.....	59

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1

Tabela 1	Identificação das variáveis e períodos de coleta para cada área.	24
Tabela 2	Análise estatística dos dados físicos utilizados no processo de seleção das ZMs e produtividades originais, para as áreas A e B	29
Tabela 3	Seleção e eliminação de variáveis (atributos) para delineamento de zonas de manejo para as áreas A e B	31
Tabela 4	Variáveis (atributos) selecionados para gerar as ZMs nas áreas A e B	33
Tabela 5	Análise geoestatística das variáveis selecionadas para geração das ZMs	33
Tabela 6	Índices de avaliação FPI, MPE e VR, para as áreas A e B, considerando os diferentes métodos de normalização	37
Tabela 7	Seleção e eliminação de variáveis (atributos) para geração de zonas de manejo para as áreas A e B com dados originais	38

ARTIGO 2

Tabela 1	Análise descritiva da produtividade da soja ano 2015/2016 e 2017/2018	50
-----------------	---	----

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO 1

- Figura 1** Áreas experimentais e pontos amostrais: (a) Área “A”; (b) Área “B”. 23
- Figura 2** Comportamento do Coeficiente de variação (CV) dos conjuntos de dados originais; (dados do primeiro ano de colheita (P1); Dados normalizados de duas colheitas (P2); Dados normalizados de três colheitas (P3); Dados normalizados de quatro colheitas (P4); e Dados normalizados de cinco colheitas (P5). 30
- Figura 3** Mapas temáticos para a área A com 2, 3 e 4 zonas de manejo, geradas com os métodos de normalização (a) Amplitude; (b) Desvio padrão e (c) Média. 35
- Figura 4** Mapas temáticos para a área B com 2, 3 e 4 zonas de manejo, geradas com os métodos de normalização (a) Amplitude; (b) Desvio Padrão e (c) Média. 36

ARTIGO 2

- Figura 1** Médias mensais de precipitação pluviométrica e temperatura para as safras 2015/2016 e 2017/2018, para o município de Céu Azul- PR..... 47
- Figura 2** (a) Representação das unidades de manejo com duas classes utilizando o algoritmo de agrupamento Fuzzy C-means e o interpolador krigagem. (b) Área de estudo dividida em parcelas..... 47
- Figura 3** (a) Mapa de produtividade da soja feito somente com aplicação de 18 plantas m^{-1} na safra 2015/2016; (b) Mapa de produtividade da soja feito somente com resultados obtidos com a aplicação de 15 plantas m^{-1} na safra 2015/2016; (c) Mapa da diferença de produtividade da soja obtida com as duas densidades de semeadura safra 2015/2016; (d) Mapa de produtividade da soja feito somente com aplicação de 15 plantas m^{-1} na safra 2017/2018; (e) Mapa de produtividade da soja feito somente com resultados obtidos com a aplicação de 12 plantas m^{-1} na safra 2017/2018; (f) Mapa da diferença de produtividade da soja obtida com as duas densidades de semeadura safra 2017/2018. 52
- Figura 4** (a) Relação da produtividade de grãos de soja safra 2015/2016 e do custo com sementes com as duas densidades estudadas. (b) População de soja com produtividade de grãos e custos com sementes na safra 2017/2018. 54

1 INTRODUÇÃO

A agricultura de precisão (AP) tem como principal objetivo aplicar as quantidades de insumos necessárias, no local correto e no momento adequado; apresenta-se como um conjunto de tecnologias para auxiliar o produtor no gerenciamento da variabilidade das lavouras e na adoção de melhores estratégias de manejo. A modernização agrícola brasileira das duas últimas décadas é marcada por rápidos aumentos de produtividade, minimizando a dependência exclusiva da expansão do uso da terra.

Essa forma de gerenciamento pode conduzir à otimização da produção e à redução de impactos ambientais decorrentes de aplicações de certos insumos em excesso. Para tanto, a AP utiliza técnicas e tecnologias como sistemas de navegação global por satélite, grades amostrais densas, monitoramento instantâneo de variáveis do solo e de plantas cultivadas, mapeamento das variabilidades espacial e temporal dessas variáveis, aplicação de insumos a taxas variáveis e gerenciamento de dados por meio do uso de sistemas de informação geográfica, além de profissionais especializados também serem necessários, a fim de utilizar os recursos disponíveis para produzir resultados que sejam interpretados corretamente.

Entretanto, todo esse processo pode elevar o investimento inicial em maquinário a valores que o agricultor com menor aporte financeiro não possa arcar. Uma alternativa à AP é dividir os talhões em unidades de manejo, também conhecidas como zonas de manejo (ZMs) menores, homogêneas, com o objetivo de aplicar insumos agrícolas com taxa constante, mas de maneira racional (DOERGE, 2000).

Para o delineamento das ZMs normalmente utilizam-se dados de produtividade e atributos estáveis e que geralmente se correlacionam com a produção. A identificação de quais variáveis deverão ser utilizadas é uma etapa importante na definição de ZMs, e pode ser realizada fazendo uso de técnicas comprovadamente eficientes disponíveis na literatura (BAZZI et al., 2013; SOBJAK et al., 2016; GAVIOLI et al., 2016; SCHENATTO et al., 2016), e que fazem uso da produtividade das culturas para seleção das variáveis de interesse. Entretanto, dados de produtividade normalmente são bastante influenciados pelo clima e pela precipitação pluviométrica e, para atender ao requisito de estabilidade destes dados, quando se utilizam dados de produtividade de diversos anos e culturas, normalmente realiza-se o processo de normalização dos dados de produtividade.

Uma vez identificadas estas regiões com potenciais de desempenho distintos, a partir da delimitação prévia das ZMs é possível definir estratégias diferentes, dentre as quais a utilização da aplicação de sementes em taxas variáveis para otimizar o uso de recursos do ambiente é uma das estratégias que pode ocasionar incremento no rendimento de grãos.

Assim, considerou-se importante pesquisar e avaliar a influência da utilização de dados de produtividade de até cinco anos para seleção das variáveis utilizadas para o delineamento de ZMs. Também se julgou relevante avaliar o rendimento das culturas sob a semeadura à taxa variada em ZMs pré-estabelecidas.

Esta tese está organizada na forma de artigos científicos. Inicialmente apresenta-se no Capítulo 3 a revisão bibliográfica geral sobre assuntos abordados no decorrer do estudo. O primeiro artigo encontra-se no Capítulo 5, no qual avaliou-se se a seleção de variáveis para gerar ZMs é influenciada quando se utiliza um ou mais anos de produtividade e se os métodos de normalização Amplitude, Desvio Padrão e Média podem influenciar nesta seleção; ao fim, as ZMs foram geradas e avaliadas. No Capítulo 6, apresenta-se o segundo artigo e trazem-se resultados sobre a produtividade da soja em ZMs com a aplicação de diferentes densidades de semeadura. Para finalizar, o Capítulo 7 contém as considerações finais do trabalho.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar se a seleção de variáveis utilizadas no delineamento de ZMs é influenciada quando se utiliza um ou mais anos de produção. Avaliar o rendimento da cultura da soja com a aplicação das densidades 171.200, 214.000 e 257.000 plantas ha⁻¹ em ZMs pré-estabelecidas.

2.2 Objetivos específicos

- Realizar testes de correlação espacial da produtividade original e normalizada com os atributos físicos e químicos do solo;
- Selecionar variáveis para delinear ZMs com até cinco anos de produtividade;
- Avaliar a utilização de três métodos de normalização em dados de produtividade no processo de seleção de variáveis para gerar ZMs;
- Efetuar testes de aumento (diminuição) de população de plantas em áreas com maior e menor potenciais produtivos nas duas ZMs;
- Gerar mapas de produtividade da soja;
- Avaliar se as ZMs geram diferenças de produção.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Soja

A soja (*Glycine max*) é um grão essencial para a fabricação de rações animais bem como de produtos para alimentação humana, porém, seu maior consumo é como óleo refinado. Além dessas, a soja é utilizada como fonte alternativa de combustível, o biodiesel (EMBRAPA, 2017). A soja é a mais importante oleaginosa no mundo, cujos teores de óleo e proteína nos grãos podem ultrapassar 20% e 40%, respectivamente (BACAXIXI et al., 2011).

O cultivo de soja foi o que mais cresceu nos últimos 30 anos no Brasil, e corresponde a 57% da área plantada em grãos no País. Este acréscimo está relacionado a avanços nas pesquisas, nas tecnologias utilizadas, no manejo, na eficiência dos produtores, dentre outros fatores (MAPA, 2018).

Dados retirados da Abiove (2018) confirmam a importância da soja no mercado do agronegócio, no qual sua participação nas exportações do complexo da soja mostra a sua evolução, que em 2005 era de um total de US\$ 9,5 milhões e, em 2018, a participação subiu para US\$ 31,7 bilhões, num total de 83,6 milhões de toneladas, com exportações de soja em grão, em farelo e de óleo.

No Brasil são cultivadas várias cultivares de soja, divididas em soja convencionais e transgênicas, com grande importância social e econômica. Dados disponíveis na USDA-SSA (2018) sobre a produção mundial da soja safra 2017/2018 indicam que a cultura atingiu 336,7 milhões de toneladas em 124,6 milhões de hectare, com 119,5 milhões de toneladas nos EUA, considerado o maior produtor mundial do grão.

Observa-se seu cultivo em quase todas as regiões em nosso país, com destaque para a produção no centro-oeste e sul; a estimativa de 35,2 milhões de hectares semeados na atual safra é 3,7% superior ao cultivado na safra 2016/17 e 69,9% maior do que a safra 2006/07, reafirmando o décimo primeiro aumento consecutivo na área total cultivada com essa oleaginosa. A área de soja ultrapassou a área de milho total na safra 1997/98 e, desde então, ocupa o primeiro lugar em área semeada no país. Nas últimas 12 safras, o Brasil teve um incremento de 14,5 milhões hectares novos de soja, tornando a cultura protagonista no aumento da área no país (CONAB, 2018).

Segundo Conab (2018), o estado do Paraná produziu 19,1 milhões de toneladas em 2017/2018, com 5,4 milhões de hectares de área plantada e produtividade média de 3,5 t ha⁻¹, estando acima da média nacional, sendo considerado o segundo estado no ranking de produção de soja.

3.2 Milho

O milho (*Zea mays* L.) é um cereal cultivados em todo o mundo, tem grande quantidade e natureza de reservas acumuladas de energia armazenadas no grão, sendo capaz de fornecer produtos amplamente utilizados para consumo humano e animal e matérias-primas para a indústria (OLIVEIRA et al., 2018). Devido aos seus muitos usos, o milho possui um importante valor socioeconômico, além de ser uma matéria-prima essencial para vários complexos agroindustriais. A demanda por proteína de origem animal cresceu significativamente na última década, o que conseqüentemente aumentou a procura por este cereal (ALVAREZ et al., 2006). As indústrias de rações para animais são o principal destino da safra de milho, que utilizam cerca de 70% da produção. Devido às suas qualidades nutricionais, o grão também é transformado em alimentação humana na forma de óleo, farinha, amido, margarina, xarope de glicose, flocos para cereais (FIESP, 2016).

A cultura do milho é a segunda maior cultura agrícola do Brasil, em termos de área cultivada e em produção de grãos. Atualmente, o milho é cultivado em 17 milhões de hectares no Brasil, com um rendimento médio de 4,9 t ha⁻¹, resultando em uma safra anual total de pouco mais de 85 milhões de toneladas ano⁻¹, sendo 58,2 milhões de toneladas de segunda safra e 26,8 milhões de toneladas de primeira safra (CONAB, 2018). No Brasil, o milho é cultivado no Paraná, Mato Grosso, Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, São Paulo e Rio Grande do Sul. O estado do Paraná foi o terceiro maior produtor brasileiro, com quase 18 milhões de toneladas em 2,9 milhões de hectares, média de 6,1 ha⁻¹ (CONAB, 2017), a estimativa para a safra 2017/2018 é de aproximadamente 12 milhões de toneladas ano⁻¹.

No âmbito mundial, o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2017) divulgou no seu relatório um número de produção de milho para a safra 2016/17, nos Estados Unidos, que superou todas as expectativas de mercado, chegando a 384,9 milhões de toneladas, ou seja, a maior produção já vista da história do país.

USDA (2017) também estimou um significativo crescimento de produção na Europa, Brasil, Ucrânia e Argentina, visto que este último teve um incremento de 31,4% da safra 2015/16 para a safra 2016/17, saltando de 28 para 36,5 milhões de toneladas. Neste contexto, a produção mundial está estimada em 1,03 bilhão de toneladas e, assim, mesmo com o incremento no consumo estimado em 1,01 bilhão de toneladas, os estoques mundiais deverão ser bastante elevados, chegando a 220,8 milhões de toneladas, ou seja, o maior estoque de passagem de milho já registrado em toda a série histórica do USDA.

3.3 Agricultura de precisão

Com a crescente modernização na agricultura, tem aumentado o interesse de produtores por técnicas de manejo localizado para as culturas agrícolas. A motivação na adoção dessas práticas localizadas é devido ao potencial de aumento dos lucros, maior eficiência no uso dos insumos agrícolas e baixa agressão ao meio ambiente (CAMICIA et al., 2015).

Para tanto, podem-se utilizar as premissas da agricultura de precisão (AP), definidas como um conjunto de procedimentos e tecnologias utilizados para que os sistemas de produção agrícola sejam otimizados, tendo como elemento chave a variabilidade espacial da produção e os fatores a ela relacionados, sendo na verdade um sistema de gestão ou gerenciamento (MOLIN, 2001).

O desenvolvimento natural das plantas ocorre por absorção de nutrientes e pode causar a variabilidade desses atributos no solo. Assim, é necessário realizar o manejo adequado para que a reposição dos nutrientes seja realizada em níveis corretos. A variabilidade espacial que ocorre na produtividade agrícola e nos atributos físicos e químicos do solo pode ser gerenciada pelo sistema de AP. A AP é composta por tecnologias e procedimentos utilizados para a melhoria dos campos de cultivo e consiste no manejo localizado das variáveis de produção (COLAÇO et al., 2012; MONDO et al., 2012). Tem como propósito o desenvolvimento de atividades que permitem racionalizar o uso de insumos e, conseqüentemente, os custos de produção e o impacto ambiental, aliado ao incremento da produção, tornando-se, assim, um sistema de gestão da produção agrícola (MOLIN; RABELLO, 2011).

A AP é possível graças às novas tecnologias, como sistemas de posicionamento global (GPS), sensores, sistemas de informações geográficas (SIG), software avançado e equipamentos para aplicação à taxa variada. Destina-se a modificar insumos (fertilizantes, irrigação, efluente de laticínios, taxa de sementes) para gerar ganhos de eficiência e produtividade, além de redução do impacto ambiental (HEDLEY, 2015).

Enquanto os sistemas tradicionais tratam as propriedades agrícolas do solo de forma homogênea, tomando como base as condições médias das extensas áreas de cultivo para programar as ações corretivas dos fatores limitantes da produção, a AP contempla a variabilidade espaço-temporal desses fatores para a tomada de decisão (MANTOVANI; COELHO; MATOSO, 2005).

A identificação das condições de campo específicas de cada local do talhão requer medição e compreensão da variabilidade espacial do solo, do estado nutricional das culturas e sua relação com a resposta da cultura (HEDLEY, 2015), o que gera elevados custos com a

compra de máquinas agrícolas e as análises de solo para determinação da variabilidade espacial das lavouras. Entretanto, a implementação da AP pode evitar excesso ou falta do insumo em locais específicos da área (SCHENATTO et al., 2017).

Segundo Hedley (2015), mesmo com os altos custos e o fato de que a AP possa não trazer grandes retornos financeiros de imediato, ela proporciona a oportunidade de converter as despesas, que antes eram geradas por aplicações incorretas de nutrientes e fertilizantes no solo, em novas tecnologias e métodos de gestão para ganhos de produtividade e retorno financeiro. Além disso, a AP está em consonância com os princípios da agricultura sustentável, evitando o excesso de fertilização e, portanto, diminuindo os riscos ambientais (PORTZ; MOLIN; JASPER, 2012).

O conhecimento da variabilidade da produção e da sua qualidade é útil para qualquer cultura, sejam aquelas cultivadas em pequenas áreas como aquelas que ocupam grandes extensões de terra. Para isso, basta que o produtor ou o técnico inicie este trabalho de observação, medida e registro destas variações. Estas diferenças fazem com que os produtores e técnicos tratem cada região de modo diferente de acordo com suas potencialidades e necessidades. Atualmente, as tecnologias de amostragem de solo em grades georreferenciadas são as mais utilizadas pelos produtores para mapear as propriedades do solo e aplicar corretivos e fertilizantes em taxas variáveis. O mapeamento da produtividade também está muito difundido para a cultura de grãos (em especial milho e soja), pois algumas colhedoras já vêm equipadas com monitores de colheita que possibilitam obter estes mapas (BERNARDI et al., 2014).

A AP começou com enfoque em culturas produtoras de grãos (principalmente pela extensão da área que ocupam), contudo, seus princípios podem ser aplicados em qualquer cultura. Campo (2000) atribui à agricultura de precisão benefícios como redução de quantidades de insumos, redução dos custos de produção, redução da contaminação ambiental e aumento no rendimento das culturas. Hedley et al. (2015) concluíram que pesquisas em agricultura de precisão e a utilização de usuários finais têm avançado ao longo do tempo, melhorando os ganhos de produtividade agrícola com a redução do impacto ambiental.

3.4 Zonas de manejo

Melhorar o potencial produtivo de plantas cultivadas através de práticas de cultivo é um dos principais desafios da pesquisa frente à crescente demanda de alimentos em nível mundial. Muitos esforços têm sido direcionados para as pesquisas com o objetivo de aproximar, cada vez mais, a produtividade de culturas a campo do potencial teórico. O

desenvolvimento de materiais genéticos com elevado potencial produtivo aliado à adoção de técnicas de manejo diferenciadas são ferramentas de grande importância para alcançar maior produtividade de maneira equilibrada, com redução dos riscos ambientais (FIOREZI, 2011).

O que vem sendo observado é a persistência da variabilidade do desempenho das culturas nos campos de produção (MATTIONI; SCHUCH; VILLELA, 2012). Esse comportamento pode ser explicado, em parte, pela existência de regiões dentro do campo de produção que apresentam características diferentes (relevo, exposição solar, profundidade de horizontes, textura, capacidade de armazenagem de água, entre outras) e que, portanto, apresentam diferente potencial produtivo, impossibilitando um desempenho vegetal homogêneo na área. Essas regiões são definidas como zonas de manejo, que, segundo Bobryk et al. (2016), são áreas geográficas que uma vez delimitadas podem ser tratadas como homogêneas. Neste caso, a variabilidade dentro da zona é menor do que entre as zonas. A partir da delimitação destas zonas, as intervenções de manejo deveriam ser prescritas especificamente para cada zona de manejo considerando os fatores limitantes de produtividade existentes em cada uma delas (DOERGE, 2000; KHOSLA; SHAVER, 2001).

Neste contexto, a delimitação dessas ZMs torna-se uma etapa importante no gerenciamento dos campos de produção, segundo os princípios da agricultura de precisão. As tecnologias utilizadas em agricultura de precisão já se tornaram consistentes, mas seus benefícios econômicos e ambientais nem sempre são provados, em especial pelo alto custo de implantação e manutenção (BAZZI; SOUZA; BETZEK, 2015; SCHENATTO et al., 2016). Sendo uma alternativa a divisão dos talhões em unidades de manejo (UM) (também conhecidas como zonas de manejo) menores, homogêneas, com o objetivo de aplicar insumos agrícolas com taxa constante, mas de maneira mais racional, a delimitação de unidades de manejo é uma maneira de classificar a variabilidade espacial dentro de um talhão (DOERGE, 2000; GAVIOLI et al., 2016).

A ZM pode ser definida como uma sub-região do campo que expressa uma combinação homogênea de fatores limitantes da produtividade, geralmente criadas para serem usadas durante muitos anos, por isso devem ser baseadas em atributos que não variam sensivelmente ao longo do tempo (DOERGE, 2000).

Para Rodrigues Jr. et al. (2011) e Suszek et al. (2011), a definição de uma ZM é uma alternativa para viabilizar economicamente a agricultura de precisão, já que atuam como unidades de gerenciamento localizadas. Segundo os autores, pode também permitir a redução no número de análises do solo. Doerge (2000) afirma que o ideal é que se utilizem fontes de informação espaciais estáveis e previsíveis ao longo do tempo, e que estas estejam correlacionadas com a produtividade. Alves et al. (2013) definiram zonas de manejo com base na variabilidade espacial da condutividade elétrica aparente do solo e da matéria orgânica, em áreas de plantio direto de milho e soja, e verificaram o valor ótimo de número de classes

igual a dois. Tagarakis et al. (2013) trabalharam com a cultura da uva e as variáveis condutividade elétrica, altitude, declividade, profundidade do solo e NDVI, e sua pesquisa resultou em zonas de manejo uniformes para os dois anos avaliados. Bazzi et al. (2013) definiram ZMs para a cultura da soja utilizando os atributos químicos que mais se correlacionaram com a produtividade, chegando ao número ideal de duas ZMs. Moore e Wolcott (2000) afirmaram que as zonas de manejo para campos de produção podem levar a uma maior eficiência na aplicação de insumos com base no rendimento.

3.5 Normalização de dados

Para definir uma zona de manejo, ou seja, um grupo de indivíduos que se assemelham mais fortemente, várias abordagens têm sido desenvolvidas (GUASTAFERRO et al., 2010). Independentemente da abordagem utilizada, os efeitos meteorológicos sobre a variação espacial das produções devem ser levados em consideração (TAGARAKIS et al., 2013). Com o intuito de remover a variabilidade sazonal e da cultura utilizada, estas variáveis são então tipicamente normalizadas, transformando o valor obtido em cada ponto amostral em cada uma das safras em apenas um valor normalizado.

A normalização pela média, pela amplitude ou pelo desvio padrão (MILLIGAN; COOPER, 1988) dos dados da produtividade são geralmente utilizados para definir zonas de manejo. Esta normalização consiste em transformar o valor obtido em cada ponto amostral em um valor normalizado, visando principalmente remover a variabilidade sazonal e do tipo de cultura. A normalização é simplesmente uma conversão dos dados originais de produtividade, não afetando seu padrão de distribuição espacial, permitindo a inclusão de diferentes culturas na mesma análise (ALCANTARA, 2015).

Tal normalização compensa tanto as diferenças temporais quanto as diferenças entre culturas e safras (DIKER et al., 2002). Na definição de zonas de manejo, a produtividade normalmente é normalizada dividindo-se a produtividade em cada posição da parcela pelo rendimento médio do ano correspondente (MOORE, 1998; BLACKMORE, 2000; XIANG et al., 2007). Outra maneira de normalizar a produtividade é pelo score padrão (GAIVOLI et al., 2016; MILANI et al., 2006). Já Betzek et al. (2018) normalizaram pela amplitude dados de cinco anos de rendimento de soja e milho no trabalho com métodos de retificação para otimização de zonas de gerenciamento. Autores como Schenatto et al. (2017) definiram ZMs com layers obtida por meio da experiência do agricultor e ressaltaram que, como as variáveis no processo de agrupamento podem ser apresentadas em diferentes unidades de medida, recomenda-se normalizar os dados antes; para tanto, utilizaram também a normalização pela amplitude.

3.6 Interpolação de dados

Os métodos de interpolação espacial de dados são empregados para estimar valores de variáveis para locais em que estas não foram medidas. Para isso, utilizam-se dados de pontos amostrados na mesma área. A AP faz uso de mapas temáticos construídos com resultados de uma análise laboratorial do estado físico do solo, atributos químicos e também do rendimento em que se considera a posição da amostra (AUBERT et al., 2012). Esses mapas mostram a variabilidade espacial de um atributo em uma determinada área e são gerados de acordo com os dados interpolados. Os métodos de interpolação usados podem influenciar os valores estimados.

De acordo com Miranda (2010), o princípio básico da interpolação espacial é que valores de uma variável tendem, em média, a ser similares em locais mais próximos do que em locais mais distantes. Existem diversos métodos de interpolação disponíveis na literatura. Os métodos mais comumente usados para interpolação na AP é o inverso da distância elevado a uma potência (IDP) e a krigagem (BABAK; DEUTSCH, 2009).

Segundo Jones, Davis e Sabbah (2003), muitos artigos foram publicados comparando diferentes métodos de interpolação em uma grande variedade de tipos de dados. Grande parte dos estudos fazem comparações de métodos bidimensionais de interpolação, os métodos krigagem e inverso da distância elevado a uma potência (IDP) foram os mais abordados. Os autores relataram que a krigagem mostrou-se melhor em oito estudos; e destes o IDP foi superior sob determinadas circunstâncias. Dois dos estudos trazem o IDP superior à krigagem, e seis dos estudos mostraram diferença muito pequena entre krigagem e IDP (COELHO et al., 2009).

Betzek et al. (2017) compararam métodos de interpolação (inverso da distância, inverso da distância ao quadrado e krigagem ordinária) na construção de mapas temáticos em uma área cultivada com soja e concluíram que o inverso da distância elevado ao quadrado foi o interpolador que menos influenciou o comportamento dos dados, mantendo praticamente os valores originais, e a krigagem foi o método que apresentou a maior influência, aumentando o valor mínimo e reduzindo o valor máximo ao comparar os valores interpolados para os originais. Os autores também indicaram neste trabalho que a krigagem e o inverso da distância ao quadrado mostraram-se os melhores interpoladores. Além disso, segundo Mazzini e Schettini (2009) e Schenatto et al. (2016), os métodos de interpolação espacial inverso da distância, inverso da distância ao quadrado e krigagem são frequentemente aplicados no processo de delineamento de ZMs.

3.7 Densidades de semeadura à taxa variável

O interesse em maximizar o rendimento das culturas tem estimulado o uso de um manejo intensivo. Esse manejo integra a adoção de determinadas práticas, como época de semeadura, espaçamento e densidade de semeadura adequada, aumento do nível de fertilidade do solo e controle de doenças, insetos e do acamamento de plantas. A densidade de semeadura é um fator limitante para a captação dos recursos ambientais pelas plantas, como principalmente de radiação solar, água e nutrientes, sendo considerada uma das práticas culturais que mais influencia a produtividade de grãos e outras características agrônômicas da cultura, devido à característica das plantas de alterar as relações entre os componentes produtivos individuais em relação ao nível de competição interespecífica de acordo com o potencial de cada material genético (PROCÓPIO et al., 2013; LOPES et al., 2008).

Para Sangoi et al. (2002), há uma população ótima em que a produtividade das culturas é maximizada. No entanto, a variabilidade espacial e temporal das lavouras sugere que não existe uma população de plantas ideal, ou seja, uma população que otimize a produtividade na lavoura como um todo (ANSELMÍ; MOLIN; KHOSLA, 2014).

Silva et al. (2006) relatam que entre as formas de manipulação do arranjo de plantas, a densidade populacional é a que tem maior efeito no rendimento de grãos de milho, já que pequenas alterações na população implicam modificações relativamente grandes no rendimento final. O objetivo do estudo da densidade de semeadura de soja é definir a melhor população de plantas para cada tipo de cultivar disponível (SILVA et al., 2015), assim como definir a melhor população de plantas para diferentes tipos de solo e para condições climáticas distintas.

Procópio et al. (2014) relatam que é possível ajustar o arranjo ou a disposição espacial das plantas na área, por meio da densidade de plantas, e isso pode se refletir em um aumento na produtividade de grãos, sem modificar a sustentabilidade dos sistemas de produção. Horbe et al. (2013) descrevem que a otimização da população de milho de acordo com as zonas de manejo é uma ferramenta promissora para a agricultura de precisão no sul do Brasil, ao testarem em seu trabalho populações de milho variando de 50.00 a 90.000 plantas ha⁻¹.

O rendimento do milho apresenta uma resposta curvilínea com o aumento da densidade de plantas, em que uma densidade ótima pode ser determinada. Até a densidade ótima das plantas, o aumento do rendimento total de grãos supera a redução na produção por planta. Depois que o rendimento máximo é atingido, a competição por água, nutrientes e luz torna-se muito grande, causando diminuição do rendimento por planta (LICHT; LENNSEN; ELMORE, 2017).

Dentre as culturas anuais, a soja, com papel na economia globalizada e suas características agrônômicas, é o carro chefe no desenvolvimento do sistema de plantio direto (SPD), sobretudo na rotação de culturas, com enorme potencial para ser utilizada na rotação com pastagens e outras forrageiras (SATURNINO, 2001). Atualmente, alguns produtores de soja, visando aumentar o rendimento de grãos, vêm optando por semeadura a taxa variada no cultivo de soja (PETTER et al., 2016). A interação entre planta, ambiente de produção e gestão definirão o rendimento da cultura. Altos rendimentos são obtidos quando o genótipo apresenta potencial e alta adaptabilidade, tudo isso combinado com os sistemas de cultivo e manejo exigidos pela cultura (MAUAD et al., 2010). Para Balbinot Junior et al. (2015), densidade de plantas pode afetar significativamente o fechamento velocidade de entrelinhas, produção de fitomassa, arquitetura das plantas, gravidade das doenças, alojamento e rendimento de colheita.

Nesse contexto, Procópio et al. (2013) alegaram que o arranjo espacial das plantas afeta o uso de luz, água e nutrientes, que pode refletir a produção de fitomassa e grãos produção. Lima et al. (2012) também comentaram que a densidade de semeadura é uma ferramenta importante para a otimização do crescimento das plantas, o ganho de biomassa e a produção de grãos. Soares et al. (2015), em pesquisa realizada em Minas Gerais, confirmaram que há interação entre as densidades de semeadura e cultivares de soja, mostrando que a população de 300 mil plantas por hectare é a mais adequada para o cultivo nos locais avaliados.

Resultados obtidos por Ludwig et al. (2011) também corroboram a existência de interação entre cultivares versus população. Avaliando diferentes cultivares de soja em três populações de plantas (250, 400 e 550 mil plantas ha⁻¹), os autores obtiveram melhores resultados para a população de 550 mil plantas ha⁻¹. Por outro lado, Petter et al. (2016) relataram que densidades de 200 e 300 mil plantas ha⁻¹ proporcionaram maior rendimento de grãos e melhor aproveitamento eficiência de radiação fotossinteticamente ativa.

3.8 Mapas temáticos de produtividade

A tecnologia essencial à agricultura de precisão tem como base a coleta de informações sobre atributos químicos e físicos dos solos, condições da cultura, do terreno e da produtividade, associando-as a sua localização, as quais podem ser expressas na forma de mapas digitais (REIS et al., 2005).

Entender como a distribuição espacial dos atributos funciona é essencial para o estabelecimento de práticas de manejo adequadas, não somente à otimização da produtividade agrícola, mas também para a minimização de possíveis danos ao meio

ambiente (ALVES et al., 2013). O uso da geoestatística permite que a estrutura da dependência espacial seja modelada e visualizada espacialmente (MENDES et al., 2008).

A partir de dados de produtividade coletados por monitores de colheita instalados nas colhedoras, ou por amostragem manual, podem ser gerados mapas de produtividade. O georreferenciamento usualmente é feito por um receptor GNSS (Global Navigation Satellite System, Sistema de Navegação Global por Satélite) (BAZZI; SOUZA; BETZEK, 2015).

A criação de um mapa temático vem da necessidade de se obter uma resposta a partir da associação de informações conhecidas: mais do que descrever fenômenos, o mapa temático abre espaço para a análise. Diferentes mapas temáticos podem ser complementares no auxílio a uma tomada de decisão específica, da mesma forma que mapas temáticos iguais, gerados com certa periodicidade, podem se constituir em ferramentas imprescindíveis ao monitoramento dos resultados de uma decisão já tomada (LOPES; LOPES, 2008).

Mas, para poder construir um mapa temático, várias outras tarefas da AP devem ser realizadas. O início é a coleta dos dados necessários de uma área de interesse, que, no caso da AP, geralmente ocorre com o uso de GPS para localizar pontos amostrais predefinidos. Neste tipo de coleta, podem ocorrer, por exemplo, problemas de amostragem irreal, como no caso de dados de produtividade coletados através de uma colhedora monitorada. Nestes casos, são comuns erros de posicionamento, erros de medição por parte dos sensores ou dados coletados devido ao operador não desligar o equipamento em tempo hábil. Neste sentido, é importante que se faça uma análise para retirada destes pontos, os quais provavelmente serão pontos discrepantes. Metodologias podem ser utilizadas para realizar a filtragem de dados, como é apresentado por Michelin, Souza e Uribe-Opazo (2007). Os autores propõem retirar do arquivo de produtividade erros grosseiros de posicionamento, retirar dados coletados com largura de plataforma parcial; pontos com distância nula, e uma análise exploratória dos dados em busca de valores discrepantes do conjunto.

O mapa temático representa certo número de conjuntos espaciais resultantes da classificação dos fenômenos que integram o objetivo de estudo de determinado ramo específico. À medida que aumenta o conjunto de dados disponíveis, cresce também a capacidade de novas análises e novos mapas. Segundo Figueiredo e Vieira (2007), a exatidão de um mapa indica a proximidade de determinada medida ao seu valor real; então, a confiabilidade de um mapa está vinculada à sua exatidão.

Os mapas de resposta de rendimento também podem ser úteis para delinear as zonas de manejo em potencial diferentes, utilizando-se atributos como condutividade elétrica e mapas de solo, baseado em resultados de amostragem de solo (DIKER; HEERMANN; BRODAHL, 2004). Além disso, mapeamento da produtividade é uma maneira simples e barata de monitorar o efeito integrado das interações de fatores que afetam o rendimento (DIKER; HEERMANN; BRODAHL, 2004). Para Bazzi, Souza e Betzek (2015), os mapas de

produtividade são importantes fontes de informação, que identificam diferentes condições de produção encontradas nas áreas que determinam variação na produtividade, sendo possível identificar locais com maiores e menores produtividades.

4 REFERÊNCIAS

- ABIOVE. **Complexo da soja**, 2018. Disponível em: <<http://www.abiove.org.br/site/index.php?page=estatistica&area=NC0yLTE>>. Acesso em: 15 set. 2018.
- ALCANTARA, G.R. **Variabilidade espacial e temporal da produtividade de milho e soja e sua relação com atributos do solo**. 82f. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2015.
- ALVAREZ, C.G.D.; PINHO, R.G.V.; BORGES, I.D. Avaliação de características agronômicas e de produção de forragem e grãos de milho em diferentes densidades de semeadura e espaçamentos entre linhas. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30 n. 3, p.402-408, 2006.
- ALVES, S.M.F.; ALCANTARA, G.R.; REIS, E.F.; QUEIROZ, D.M.; VALENTE, D.S.M. Definição de zonas de manejo a partir de mapas de condutividade elétrica e matéria orgânica. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 1, p. 104-114, 2013.
- ANSEMI, A. A.; MOLIN, J. P.; KHOSLA, R. Efeito da população de plantas e híbridos de milho na produtividade obtida em unidades de gestão diferenciada. In: Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão, 2014, São Pedro. **Anais [...]** São Pedro: CONBAP, 2014.
- AUBERT, B. A.; SCHROEDER, A.; GRIMAUDO, J. IT as enabler of sustainable farming: an empirical analysis of farmers' adoption decision of precision agriculture technology. **Decision Support Systems**, v. 54, n. 1, p. 510-520, 2012.
- BABAK, O.; DEUTSCH, C. V. Statistical approach to inverse distance interpolation. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, v. 23, n. 5, p. 543-553, 2009.
- BACAXIXI, P.; RODRIGUES, L.R.; BRASIL, E.P.; BUENO, C.E.M.S.; RICARDO, H.A.; EPIPHANIO, P.D.; SILVA, D.P.; BARROS, B.M.C.; SILVA, T.F.; BOSQUÊ, G.G. A soja e seu desenvolvimento no melhoramento genético. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, n. 20, p. 1-6, 2011.
- BALBINOT JUNIOR, A.A.; PROCÓPIO, V.S.O.; DEBIASI, H., FRANCHINI, J.C.; PANISON, F. Semeadura cruzada em cultivares de soja com tipo de crescimento determinado. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 3, p.1215-1226, 2015.
- BAZZI, C. L.; SOUZA, E. G.; URIBE-OPAZZO, M.A.; NOBREGA, L. H. P.; ROCHA, D. M. Management zones definition using soil chemical and physical attributes in a soybean area. **Engenharia Agrícola**, v. 33, p. 1-14, 2013.
- BAZZI, C. L.; SOUZA, E.G.; KONOPATZKI, M.R.; NOBREGA, L.H.P.; URIBE-OPAZO, M.A. Management zones applied to pear orchard. **International Journal of Food Agriculture and Environment**, v. 13, n. 1, p. 86-92, 2015.
- BAZZI, C. L.; SOUZA, E. G.; BETZEK, N. M. **Software para definição de unidades de manejo: teoria e prática**. Cascavel: UNIOESTE/PGEAGRI, 2015.
- BERNARDI, A.C.C.; NAIME, J.M.; RESENDE, A.V.; BASSOI, L.H. INAMASU, R.Y. **Agricultura de precisão: resultado de um novo olhar**, Brasília, DF: Embrapa, 2014. 596 p.
- BETZEK, N.M.; SOUZA, E.G.; BAZZI, C.L.; SOBJAK, R. BIER, V.A.; MERCANTE, E. Interpolation methods for thematic maps of soybean yield and soil chemical attributes. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 38, n. 2, p. 1059-1070, 2017.

BETZEK N.M.; SOUZA, E.G.; BAZZI, C.L.; SCHENATTO, K.; GAVIOLI, A. Rectification methods for optimization of management zones. **Computers and Electronics in Agriculture** v. 146, p. 1-11, 2018.

BLACKMORE, S. The interpretation of trends from multiple yield maps. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 26, n. 1, p. 37-51, 2000.

BOBRYK, C.W.; MYERS, D.B.; KITCHEN, N.R.; SHANAHAN, J.F.; SUDDUTH, K.A. Validating a Digital Soil Map with Corn Yield Data for Precision Agriculture Decision Support. **Agronomy Journal**, v. 108, p. 957-965, 2016.

BUNSELMEYER, H. A.; LAUER, J. G. Using Corn and Soybean Yield History to Predict Subfield Yield Response. **Agronomy Journal**, v. 107, n. 2, p. 558-562, 2015.

CAMICIA, R.F.M.; MAGGI, M.F.; SOUZA, E.G.; JADOSKI, S.O.; CAMICIA, R.G.M; MENECHINI, W. Selection of grids for weed mapping. **Planta Daninha**, v. 33, n. 2, p. 365-373, 2015.

COELHO, E.C.; SOUZA, E.G.; OPAZO, M.A.U.; PINHEIRO NETO, R. Influência da densidade amostral e do tipo de interpolador na elaboração de mapas temático. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 31, n. 1, p. 165-174, 2009.

COLAÇO, A. F.; POVH, F. P.; MOLIN, J. P.; ROMANELLI, T. L. Energy assessment for variable rate nitrogen application. **Agricultural Engineering**, v. 14, n. 3, p. 85-90, 2012.

CAMPO, P. do. Agricultura de precisão. **Inovações do campo**. Piracicaba, 2000.

CONAB, **Companhia Nacional de Abastecimento**, 2017. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&>>. Acesso: 07 jun. 2018.

CONAB, **Companhia Nacional de Abastecimento**, 2018. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso: 10 set. 2018.

CNA – Confederação Nacional de Agricultura e Pecuária do Brasil. **Boletim Agronegócio Internacional**. Jun. 2017.

DIKER, K.; HEERMANN, D.F.; BRODAHL, M.K. Frequency analysis of yield for delineating yield response zones. **Precision Agriculture**, v. 5, p. 435-444, 2004.

DOERGE, T.A. **Management Zone Concepts**. Potash & Phosphate Institute, Norcross, GA, 2000.

EMPRAPA SOJA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Soja em números (safra 2016/2017)**, 2017. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1>>. Acesso em: 08 jun. 2017.

FIESP – Sindicato da Indústria do Milho, Soja e seus Derivados no Estado de São Paulo. **Milho e suas riquezas – História**. 2016.

FIGUEIREDO, G.C.; VIEIRA, C.A.O. Estudo do comportamento dos índices de Exatidão Global, Kappa e Tau, comumente usados para avaliar a classificação de imagens do sensoriamento remoto. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis. **Anais [...]**, p. 21-26, 2007, INPE. P. 5755-5762.

FIOREZE, S. L. **Comportamento produtivo do trigo em função da densidade de semeadura e da aplicação de reguladores vegetais**. 74 f. 2011. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP, 2011.

GAVIOLI, A.; SOUZA, E. G.; BAZZI, C. L.; GUEDES, L. P. C.; SCHENATTO, K. Optimization of management zone delineation by using spatial principal components. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 127, p. 302-310, 2016.

GUASTAFERRO, F.; BENEDETTO, D.; CASTRIGNANO, A.; SOLLITTO, D. A comparison of different algorithms for the delineation of management zones. **Precision Agriculture**, v. 11, n. 6, p. 600-620, 2010.

HEDLEY, C. The role of precision agriculture for improved nutrient management on farms. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 95, n. 1, p. 12-19. 2015.

HORBE, T.A.N.; AMADO, T.J.C.; FERREIRA, A.O.; ALBA, P.J. Optimization of corn plant population according to management zones in Southern Brazil. **Precision Agriculture**, v. 14, p. 450-465, 2013.

JONES, N. L.; DAVIS, R. J.; SABBAH, W. A comparison of three-dimensional interpolation techniques for plume characterization. **Ground Water**, v. 41, n. 4, p. 411-419, 2003.

KHOSLA, R.; SHAVER, T. **Zoning in on nitrogen needs**. Colorado State University Agronomy Newsletter v. 21, n. 1, p. 24-26, 2001.

LICHT, M. A.; LENSSEN, A. W.; ELMORE, R. W. Corn (*Zea mays* L.) seeding rate optimization in Iowa, USA. **Precision Agriculture**, v. 18, n. 4, p. 452-469, 2017.

LIMA, S.F.; ALVAREZ, R.C.F.; THEODORO, G.F.; BAVARESCO, M.; SILVA, K.S. Efeito da semeadura em linhas cruzadas sobre a produtividade de grãos e a severidade da ferrugem asiática da soja. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 6, p. 954-962, 2012.

LOPES, W. A. R.; NEGREIROS, M. Z.; TEÓFILO, T. M. S.; ALVES, S. S. V.; MARTINS, C. M. NUNES, G. H. S.; GRANGEIRO, L.C. Produtividade de cultivares de cenoura sob diferentes densidades de plantio. **Revista Ceres**, v. 55, n. 5, p. 482-487, 2008.

LUDWIG, M. P.; DUTRA, L.M.C.; LUCCA FILHO, O.A.; ZABOT, L.; JAUER, A.; UHRY, D. Populações de plantas na cultura da soja em cultivares convencionais e Roundup Ready TM. **Revista Ceres**, v. 58, p. 305-313, 2011.

MANTOVANI, E. C.; COELHO, A. M.; MATOSO, M. J. Agricultura de precisão. **Agroanalysis**, v. 25, n. 4, p. 1-8, 2005.

MAPA. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. 2018. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso: 10 set. 2018.

MATTIONI, N. M.; SCHUCH, L.O.B.; VILLELA, F.A. Variabilidade espacial da produtividade e da qualidade das sementes de soja em um campo de produção. **Journal of Seed Science**, v. 33, n. 4, p. 608-615, 2012.

MAUAD, M.; SILVA, T.L.B.; ALMEIDA NETO, A.I.; ABREU, V.G. Influência da densidade de semeadura sobre características agronômicas na cultura da soja. **Agrarian**, v. 3, n. 9, p.175-181, 2010.

MAZZINI, P. L. F.; SCHETTINI, C. A. F. Avaliação de metodologias de interpolação especial aplicadas a dados hidrográficos costeiros quase-sinóticos. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v. 13, n. 1, p. 53-64, 2009.

MENDES, A. M. S.; FONTES, R. L. F.; OLIVEIRA, M. Variabilidade espacial da textura de dois solos do Deserto Salino, no Estado do Rio Grande do Norte. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, p. 19-27, 2008.

MICHELAN, R.; SOUZA E.G.; URIBE-OPAZO M.A. Determinação e remoção do tempo de atraso em mapas de colheita de milho. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 29, n. 2, p. 147-155, 2007.

MILANI, L.; SOUZA E.G.; URIBE-OPAZO, M.A.; GABRIEL FILHO, A.; JOHANN, J. A.; PEREIRA J.O. Unidades de manejo a partir de dados de produtividade. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 28, n. 4, p. 591-598, 2006.

MILLIGAN, G. W.; COOPER, M. C. A study of standardization of variables in cluster analysis. **Journal of Classification**, online, v. 5, n. 2, p. 181-204, 1988.

MIRANDA, J. I. **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas**. 2 ed. Brasília: Embrapa, 2010. 425 p.

MOLIN, J. P. **Agricultura de precisão – o gerenciamento da variabilidade**. Piracicaba: Tipografia Piracicabana Ltda, 2001. 83 p.

MOLIN, J. P.; RABELLO, L. M. Estudos sobre a mensuração da condutividade elétrica do solo. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 1, p. 90-101, 2011.

MONDO, H. V. V.; GOMES JUNIOR, F. G.; PINTO, T. L. F.; MARCHI, J. L., MOTOMIYA, A. V. A.; MOLIN, J. P.; CÍCERO, S. M. Spatial variability of soil fertility and its relationship with seed physiological potential in a soybean production area. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 34, n. 2, p. 193-201, 2012.

MOORE, S. H.; WOLCOTT, M. C. Using yield maps to create management zones in field crops. **Louisiana Agriculture**, v. 43, p. 12-23, 2000.

OLIVEIRA, L.A.; MIRANDA, J.H.; COOKE, R.A.C. Water management for sugarcane and corn under future climate scenarios in Brazil. **Agricultural Water Management**, v. 201, p.199-206, 2018.

PETTER, F.A.; SILVA, J.A.; ZUÍÑEAO, A.M.; ANDRADE, F.R.; PACHECO, L.P.; ALMEIDA, F.A. Elevada densidade de semeadura aumenta a produtividade da soja? Respostas da radiação fotossinteticamente ativa. **Bragantia**, v. 75, n. 2, p. 173-183, 2016.

PORTZ, G., MOLIN, J. P., JASPER, J. Active crop sensor to detect variability of nitrogen supply and biomass on sugarcane fields. **Precision Agriculture**, online, v. 13, n. 1, p. 33-44, 2012.

PROCÓPIO, S.O.; BALBINOT JUNIOR, A.A.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J.C.; PANISON, F. Plantio cruzado na cultura da soja utilizando uma cultivar de hábito de crescimento indeterminado. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 56, n. 4, p. 319-325, 2013.

PROCÓPIO, S. O.; BALBINOT JUNIOR, A.A.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J.C.; PANISON, F. Semeadura em fileira dupla e espaçamento reduzido na cultura da soja. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 8, n. 2, p. 212-221, 2014.

RODRIGUES JUNIOR, F. A.; VIEIRA, L.B.; QUEIROZ, D.M.; SANTOS, N.T. Geração de zonas de manejo para cafeicultura empregando-se sensor SPAD e análise foliar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 8, p. 778-787, 2011.

SANGOI, L.; GRACIETTI, M. A.; RAMPAZZO, C.; BIANCHETTI, P. Response of Brazilian maize hybrids from different eras to change in plant population. **Field Crops Research**, v. 79, p. 39-51. 2002.

SOARES, I.O.; REZENDE, P.M.; BRUZI, A.; TEIXEIRA, C.M. Interaction between Soybean Cultivars and Seed Density. **American Journal Plant Science**, v. 6, n. 9, p.1425-1434, 2015.

SATURNINO, H.M. Evolução do Plantio direto e as perspectivas nos cerrados. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 208, p.5-12, 2001.

SCHENATTO, K.; SOUZA, E. G.; BAZZI, C. L.; BIER, V. A.; BETZEK, N. M.; GAVIOLI, A. Data Interpolation in the definition of management zones. **Acta Scientiarum Technology**, v. 38, n. 1, p. 31-40, 2016.

SCHENATTO, K.; SOUZA, E. G.; BAZZI, C. L.; BIER, V. A.; GAVIOLI, A.; BETZEK, N. M.; BENEDUZZI, H.M. Normalization of data for delineating management zones. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 14, p. 238-248, 2017.

SILVA, P.R.F.; SANGOI, L.; ARGENTA, G.; STRIEDER, M.L. **Arranjo de plantas e sua importância na definição da produtividade em milho**. Porto Alegre: Evangraf, 2006. 63p.

SILVA, P. R. A.; TAVARES, L.A.F.; SOUSA, S.F.G.; CORREIA, T.P.S.; RIQUETTI, N.B. Rentabilidade na semeadura cruzada da cultura da soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 3, p. 293-297, 2015.

SOBJAK, R.; SOUZA, E. G.; BAZZI, C. L.; URIBE-OPAZO, M. A.; BETZEK, N. M. Redundant variables and the quality of management zones. **Engenharia Agrícola**, v. 36, n. 1, p. 78-93, 2016.

SUSZEK, G.; SOUZA, E. G.; URIBE-OPAZO, M. A.; NOBREGA, L. H. P. Determination of management zones from normalized and standardized equivalent productivity maps in the soybean culture. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 5, p. 895-905, 2011.

TAGARAKIS, A.; LIAKOS, V.; FOUNTAS, S.; KOUNDOURAS, S.; GEMTOS, T. A. Management zones delineation using fuzzy clustering techniques in grapevines. **Precision Agriculture**, v. 14, n. 1, p. 18-39, 2013.

USDA-NASS. **Washington DC**: United States Department of Agriculture. National Agricultural Statistics Service. 2017.

USDA-NASS. Washington DC: United States Department of Agriculture, National Agricultural Statistics Service. 2018. In: <http://www.fas.usda.gov/commodities/soybeans>.

XIANG, L.; YU-CHUN, P.; ZHONG-QIANG G.; CHUN-JIANG, Z. Delineation and scale effect of precision agriculture management zones using yield monitor data over four years. **Agricultura Sciences in China**, v. 6, n. 2, p.180-188, 2007.

5 ARTIGO 1 – UTILIZAÇÃO DE DADOS DE PRODUTIVIDADE PARA SELEÇÃO DE VARIÁVEIS PARA DELINEAMENTO DE ZONAS DE MANEJO

RESUMO: A seleção de variáveis e normalização de dados de produtividade é uma prática relevante para o delineamento de zonas de manejo (ZMs). Desta forma, objetivou-se avaliar se a seleção das variáveis utilizadas para o delineamento de ZMs é influenciada quando se utilizam dados de produtividade de um e mais anos, e se os métodos de normalização da produtividade podem influenciar nesta seleção. As avaliações foram realizadas com dados coletados de cinco anos de produtividade em duas áreas agrícolas localizadas no estado do Paraná, cultivadas com milho e soja. Os dados de produtividade foram normalizados pelos métodos da Amplitude, Desvio Padrão e Média. Os atributos que apresentaram correlação espacial com a produtividade média normalizada em cada simulação foram selecionados para delineamento das ZMs. As ZMs foram delineadas usando o algoritmo Fuzzy C-Means, para realizar os agrupamentos em duas, três e quatro classes. As ZMs delineadas com diferentes métodos de normalização foram avaliadas por meio dos índices entropia da partição modificada (MPE), índice de desempenho fuzzy (FPI), redução de variância (VR) e ANOVA. Concluiu-se que dentre as variáveis estudadas, a altitude e a resistência mecânica do solo à penetração (RSP) tiveram correlação com a produtividade das culturas da soja e do milho em ambas as áreas estudadas, indicando que devem ser utilizadas para delineamento de ZMs em AP; o número de safras influenciou negativamente na análise de correlação espacial entre a produtividade e os atributos do solo; o método de normalização que apresentou os melhores resultados de VR e ANOVA foi o da Amplitude, apesar de que o da Média apresentou a maior redução do CV para todos os conjuntos de dados; a técnica de delineamento de ZMs proporcionou obter bons resultados para divisão de ambas as áreas estudadas.

Palavras-chave: agricultura de precisão, unidades de manejo, normalização de dados.

USE OF DATA OF PRODUCTIVITY OF VARIOUS YEARS FOR SELECTION OF VARIABLES FOR GENERATION OF MANAGEMENT ZONES

ABSTRACT: The selection of variables and normalization of productivity data is a relevant practice for the design of management areas (MZs). In this way, the objective of this study was to evaluate if the selection of variables used for the design of MZs is influenced when one and more years of productivity data are used and if the methods of normalization of productivity can influence this selection. The evaluations were carried out with data collected from five years of productivity in two agricultural areas located in the state of Paraná, Brazil, cultivated with corn and soybean. Productivity data were normalized by the methods of amplitude, standard deviation and mean. The attributes that presented spatial correlation with the normalized average productivity in each simulation were selected for the delineation of the MZs. The MZs were delineated using the Fuzzy C-Means algorithm to perform the clusters in two, three and four classes. The standardization methods were evaluated using modified partition entropy (MPE), fuzzy performance index (FPI), variance reduction (VR) and ANOVA. It was concluded that the absence of spatial autocorrelation of productivity did not influence the spatial correlation analysis with the other soil variables; among the studied variables the altitude and RSP had a correlation with the yield of soybean and corn crops in both study areas, indicating that they should be used to design MZs in AP; the number of harvests negatively influenced the analysis of spatial correlation between yield and soil attributes; the normalization method that presented the best results of VR and ANOVA was amplitude, although average presented the greatest reduction of the CV for all data sets; the MZs delineation technique provided good results for the division of both studied areas.

Keywords: precision agriculture, management units, data normalization.

5.1 Introdução

Com uma população brasileira e mundial devendo atingir cerca de 238 milhões e 10 bilhões de pessoas, respectivamente, até 2050, há um desafio para a agricultura produzir mais e de forma mais sustentável. Tal desafio pode ser suprido pela adoção de agricultura de precisão (AP) e agricultura digital, hoje conhecida como Agricultura 4.0. A agricultura digital tornou-se uma realidade com a disponibilidade de sensores, atuadores e microprocessadores mais baratos e mais potentes, comunicação celular de alta largura de banda, comunicação em nuvem e Big Data, tendo como um dos principais objetivos obter o máximo potencial das culturas.

Apesar das vantagens da AP, limitantes como o alto custo com aquisição de máquinas e equipamentos e da manutenção dos sistemas produtivos propostos como ideais (amostragem densa, softwares especialistas, pessoal especializado) têm feito com que sua adoção seja realizada de forma lenta no Brasil, em especial para pequenos produtores, com menor aporte financeiro (RAMOS et al., 2017; SOARES FILHO; CUNHA, 2015; SPAROVEK; SCHNUG, 2001). Devido a estas limitações, produtores têm utilizado técnicas de AP dividindo suas áreas produtoras em zonas de manejo (ZMs) consideradas homogêneas, com o objetivo de se poder aplicar insumos agrícolas à taxas constantes dentro de cada zona, mas distintas em relação às zonas (CASTRIGNANÒ et al., 2018; BOBRYK et al., 2016; MOSHIA et al., 2014). Ressalte-se que mesmo se utilizando máquinas de aplicação localizadas de insumos, a utilização de ZMs faz com as máquinas trabalhem num ritmo mais estável, o que lhes confere maior durabilidade, eliminando a contínua mudança do insumo controlado em situações em que estatisticamente sua mudança não proporcionou resposta na variável-alvo (usualmente a produtividade).

O delineamento de ZMs consiste na divisão da área total em subáreas com características topográficas, de solo e de culturas semelhantes dentro de um talhão (SCHENATTO et al. 2017b) e que normalmente são delineadas fazendo uso de variáveis (atributos topográficos, de solo e da planta) correlacionados com a produtividade. Como normalmente as ZMs devem ser utilizadas por vários anos, há recomendações para que se utilize apenas atributos considerados estáveis para sua delimitação (DOERGE, 2000) e que sejam correlacionados com a produtividade das culturas. Neste sentido, atributos como elevação e declividade (PERALTA; COSTA, 2013; BAZZI et al., 2015; FARID et al., 2016); propriedades físicas do solo (textura) (FARID et al., 2016); resistência do solo à penetração (GAVIOLI et al., 2016); e a experiência do produtor (SCHENATTO et al., 2017a) têm sido utilizadas para delinear as ZMs.

A identificação de quais variáveis deverão ser utilizadas é uma etapa importante na definição de ZMs e pode ser realizada fazendo uso de técnicas comprovadamente eficientes disponíveis na literatura (BAZZI et al., 2013; SOBJAK et al., 2016; GAVIOLI et al., 2016; SCHENATTO et al., 2016), e que fazem uso da produtividade das culturas para seleção das variáveis de interesse. Um limitante a estes métodos, é que a produtividade corresponde à resposta da cultura, que pode ser influenciada em seu desenvolvimento por inúmeros fatores, que podem mascarar a relação entre a produtividade e os atributos estáveis utilizados para o delineamento de ZMs. Neste sentido, para Bunselmeyer e Lauer (2015) e Diker et al. (2004), melhores resultados para seleção das variáveis de interesse para a definição de ZMs são obtidos com o uso de dados de produtividade de diversos anos, visando proporcionar uma maior estabilidade da variável produtividade em especial devido à influência temporal causada por fatores de clima (DAIGH et al., 2018; BLACKMORE et al., 2003). Este fato pode restringir a adoção de AP fazendo uso de ZMs quando se tiver dados de produtividade de somente um ano.

Quando se utiliza dados de produtividade de diversos anos, normalmente faz-se o seguinte procedimento: 1) os dados de cada ano são normalizados para reduzir a influência temporal; 2) é calculada a média local, para obter a média normalizada da produtividade; 3) correlaciona-se espacialmente as variáveis potenciais com a referida produtividade, e as variáveis selecionadas são utilizadas no delineamento das ZMs (SCHENATTO et al., 2017b; GAVIOLI et al., 2016; BETZEK et al., 2018; DIKER et al., 2004). Os métodos de normalização mais utilizados fazem uso da média, amplitude ou desvio padrão dos dados da produtividade (MILLIGAN; COOPER, 1988), e têm sido utilizados para definir ZMs (KITCHEN et al., 2005; MOLIN, 2002; BAZZI et al., 2013).

Neste contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar se a seleção das variáveis utilizadas para o delineamento de ZMs é influenciada quando se utiliza dados de produtividade de um até cinco anos e a influência dos métodos de normalização nesta seleção.

5.2 Material e métodos

Os dados utilizados neste estudo foram coletados em duas áreas agrícolas comerciais (Figura 1) localizadas na região oeste do Paraná, Brasil. A área A possui 15,5 ha, localizada no município de Céu Azul, com coordenadas geográficas centrais de 25°06'32"S e 53°49'55"O e elevação média de 752 m. A área B possui 23,8 ha e está localizada no município de Serranópolis do Iguaçu, com coordenadas geográficas centrais de 25°24'17"S e 54°00'18"O e elevação média de 353 m. Os solos foram classificados como Latossolo Vermelho distroférico típico (EMBRAPA, 2013) e cultivados para fins comerciais em sistema de plantio

direto há cerca de 14 anos, com sequência de culturas soja, trigo, milho e aveia na área A e sucessão de culturas de soja e milho na área B. De acordo com Aparecido et al. (2016), a região caracteriza-se por um clima temperado úmido, quente no verão, sendo pouco frequentes as geadas. As chuvas concentram-se nos meses de verão e não há estação seca definida. A temperatura média anual varia de 19,5 a 20,1 °C. A precipitação pluviométrica total anual varia de 1550 a 1650 mm ano⁻¹. Em todos os anos os dados climáticos foram bastante similares.

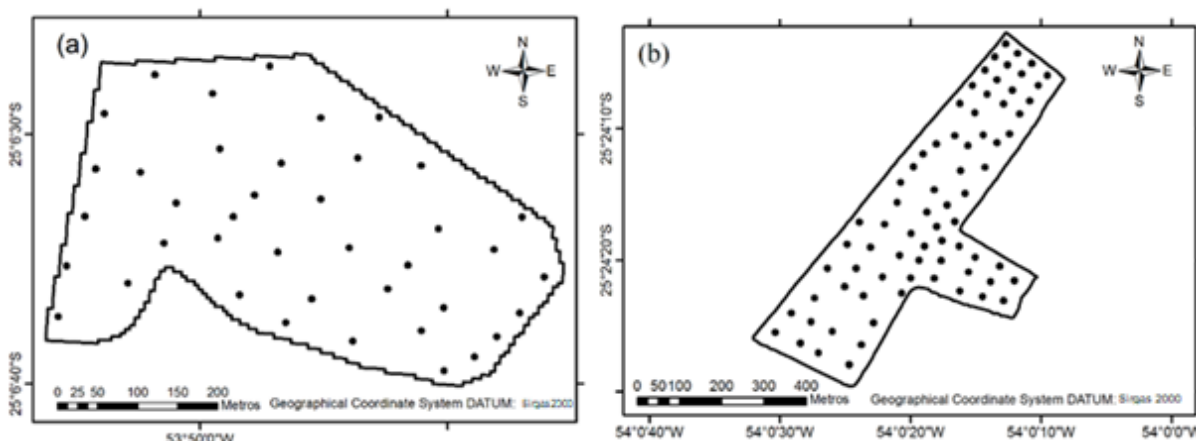


Figura 1 Áreas experimentais e pontos amostrais: (a) Área “A”; (b) Área “B”.

A localização dos pontos amostrais foi obtida fazendo uso de um receptor GNSS (Juno SB Trimble Navigation Limited, Westminster, CO, EUA) e a altitude obtida pela utilização de estação total eletrônica (Topcon GPT-7505, Topcon Corporation, Tóquio, Japão), sendo posteriormente calculada a declividade em função da altitude em cada ponto amostral utilizando o software Surfer 10 (Golden Software, CO, EUA). Com o uso de grades irregulares (os pontos amostrais foram alocados na linha imaginária central entre as curvas de nível de cada área); realizou-se a amostragem em 40 (2,58 pontos ha⁻¹) e 73 (3,5 pontos ha⁻¹) pontos georreferenciados nas áreas A e B, respectivamente, o que foi considerado suficiente para mensurar a variabilidade espacial dos atributos (DEMATTÊ et al., 2014; FERGUSON; HERERT, 2009; FRANZEN et al., 2002).

Para cada um dos pontos amostrais foram obtidos os dados das variáveis consideradas estáveis (Tabela 1). Na obtenção dos dados de resistência mecânica do solo à penetração (RSP), em cada ponto amostral foram realizadas quatro medições (a uma distância de até 3 m da coordenada do ponto amostral), fazendo uso de um penetrômetro eletrônico (PenetroLOG, Falker, Porto Alegre, Brasil). Calcularam-se posteriormente as médias das medições para representação do ponto amostral nas profundidades de 0-0,1; 0,1-0,2; e 0,2-0,3 m. Nos mesmos locais, foram coletadas oito subamostras de solo na profundidade de 0-0,2 m (a uma distância de até 3 m da coordenada do ponto amostral),

que foram homogeneizadas fazendo uso de um balde e então retirada uma porção de solo para encaminhamento ao laboratório para análise e obtenção dos percentuais de textura (argila, silte e areia), determinação do pH e da matéria orgânica (MO) do solo.

Utilizando anel volumétrico, foram coletadas amostras de solo não deformadas, com vistas a determinar a macroporosidade, microporosidade e porosidade total. As amostras de solo não deformadas foram saturadas por 24 h em bandeja com água até dois terços da altura do anel. Após o período de saturação, estas foram drenadas no potencial equivalente a 0,006 Mpa, fazendo uso de uma mesa de tensão. Por fim, foi determinada a densidade aparente do solo, por meio do método do volume conhecido e teor de água do solo obtido com a mesa de tensão.

Tabela 1 Identificação das variáveis e períodos de coleta para cada área

Atributos (variáveis)	Área A (40 amostras)					Área B (73 amostras)				
	2014	2015	2016	2017	2018	2013	2014	2015	2016	2016
RSP 0 – 0,1 m (MPa)	x					x				
RSP 0 – 0,2 m (MPa)	x									
RSP 0,1 – 0,2 m (MPa)	x					x				
RSP 0,2 – 0,3 m (MPa)	x					x				
RSP 0,3 – 0,4 m (MPa)						x				
Altitude (m)	x					x				
pH	x					x				
Declividade (°)	x									
Areia (%)	x					x				
Silte (%)	x					x				
Argila (%)	x					x				
MO (%)	x					x				
Macroporosidade (%)	x					x				
Microporosidade (%)	x					x				
Densidade do solo	x					x				
Porosidade total (%)	x					x				
Produtividade soja (t ha ⁻¹)		x	x		x	x	x	x	x	
Produtiv. milho (t ha ⁻¹)	x			x						x

Notas: RSP – resistência do solo a penetração; MO – Matéria orgânica.

Na área A, a produtividade foi medida por monitor de colheita (AFS PRO 600, Case IH, Racine, EUA) acoplado a uma colhedora (Case IH 2388, Case IH, Sorocaba, Brasil) nas safras compreendidas entre 2014 e 2018, sendo 2014 e 2017 referentes à cultura do milho e os demais à soja. O arquivo proveniente do monitor de colheita foi convertido utilizando software AFS (Case IH, Racine, EUA) e os dados filtrados, conforme sugerido por Michelan, Souza e Uribe-Opazo (2007). Na área B, as produtividades da soja (obtida nas safras de 2013 a 2016) e do milho (safrinha em 2016) foram determinadas realizando a colheita e a debulha de forma manual em uma área de aproximadamente 0,9 m², nos mesmos locais em que foram realizadas as amostragens de solo. A partir do ponto amostral, foram colhidas duas linhas em um percurso de um metro, cujo espaçamento entre linhas foi de 0,45 m. Em todos os casos, os valores da produtividade foram corrigidos para um teor de água de 13% (BRASIL, 2009).

Como os dados de produtividade da área A formaram conjuntos de dados em que os pontos que se tinha o valor da produtividade não eram coincidentes tanto em relação aos anos em que foram obtidos como em relação à grade amostral, os 40 pontos amostrais representados pela grade amostral foram calculados para cada ano, sendo seu valor representado pela média da produtividade dos dez pontos amostrais obtidos pela colhedora que encontravam-se geograficamente mais próximos de cada ponto amostral.

Como um dos objetivos do trabalho foi avaliar se o uso de dados de produtividade obtidos em uma sequência de anos torna o processo de seleção de variáveis para delineamento de ZMs mais confiável devido a maior estabilidade dos dados, foram simulados conjuntos de dados, considerando: 1) Somente dados de produtividade do primeiro ano (P1); 2) Dados de produtividade normalizada dos dois primeiros anos (P2); 3) Dados de produtividade normalizada dos 3 primeiros anos (P3); 4) Dados de produtividade normalizada dos 4 primeiros anos (P4); 5) Dados de produtividade normalizada de 5 anos (P5).

Com o intuito de avaliar se os métodos de normalização normalmente utilizados para remoção da influência temporal podem influenciar no processo de seleção das variáveis para delineamento de ZMs, realizou-se a normalização dos valores amostrais da produtividade de cada ano, fazendo uso de três métodos de normalização de dados:

1) Método da Amplitude (Equação 1) (MIEKLE; BERRY, 2007)

$$P_{iN} = \frac{(P_i - \text{Mediana})}{\text{Amplitude}} \quad \text{Eq. (1)}$$

em que, P_{iN} - produtividade normalizada no ponto i ; P_i - produtividade no ponto i ; mediana dos valores das produtividades a serem normalizadas.

2) Método do Desvio Padrão (Equação 2) (LARSCHEID; BLACKMORE, 1996)

$$P_{iN} = \frac{(P_i - \bar{P})}{S} \quad \text{Eq. (2)}$$

em que, \bar{P} - média aritmética dos valores das produtividades a serem normalizadas; S - desvio padrão dos valores das produtividades a serem normalizadas.

3) Método da Média (Equação 3) (SWINDEL, 1997)

$$P_{iN} = \frac{P_i}{\bar{P}} \quad \text{Eq. (3)}$$

em que, \bar{P} - média aritmética dos valores das produtividades a serem normalizadas.

Em seguida, calculou-se a média aritmética dos valores normalizados da produtividade para cada caso, gerando-se assim as variáveis P2, P3, P4 e P5. A variável P1 não precisou ser normalizada considerando que se trata de dados de uma única safra, fazendo uso dos dados originais. Para melhor identificar os conjuntos de dados, foram utilizadas as seguintes nomenclaturas: P1 (conjunto de dados originais); P2-A - Produtividade média de duas safras normalizadas pela Amplitude; P2-D - Produtividade média de duas safras normalizadas pelo Desvio Padrão; P2-M - Produtividade média de duas safras normalizadas pela Média, o mesmo ocorreu para P3, P4 e P5.

Com o objetivo de avaliar a correlação espacial entre as variáveis candidatas ao delineamento de ZMs e a produtividade (sendo adicionados os conjuntos de dados de produtividade conforme a disponibilidade de cada área) foram calculadas as estatísticas de autocorrelação bivariada de Moran (Equação 4) (CZAPLEWSKI; REICH, 1993; DRIEMEIER et al., 2016) e construídas as matrizes de correlação espacial fazendo uso do software SDUM (Software para Definição de Unidades de Manejo) (BAZZI et al., 2013).

$$I_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} \times X_i \times Y_j}{W \sqrt{m_x^2 \times m_y^2}} \quad \text{Eq. (4)}$$

em que, I_{xy} - nível de associação entre a variável X e Y , variando de -1 a 1, sendo: correlação positiva $I_{xy} > 0$, e correlação negativa $I_{xy} < 0$; W_{ij} - matriz de associação espacial, calculada por $W_{ij} = (1/(1 + D_{ij}))$, D_{ij} é a distância entre os pontos i e j ; X_i é o valor da variável X transformada no ponto i ; e Y_j é o valor da variável Y transformada no ponto j . W corresponde à soma dos graus de associação espacial, obtida da matriz de W_{ij} , para $i \neq j$; corresponde para a variância da amostra de X ; e corresponde à variância da amostra de Y .

As variáveis foram selecionadas conforme método de Bazzi et al. (2013), da seguinte forma: 1) eliminação das variáveis com autocorrelação espacial não significativa ao nível de 5% de significância; 2) remoção das variáveis que não apresentaram correlação espacial significativa com a produtividade; 3) ordenação decrescente das variáveis restantes, considerando o módulo do valor da correlação com a produtividade; e 4) eliminação de variáveis que estavam correlacionadas com outras, dando preferência para a remoção das que apresentaram menor correlação com a produtividade.

Visando uma geração de grades mais densas e consequente o delineamento de ZMs mais suaves, as variáveis selecionadas foram interpoladas pelo método de krigagem ordinária, após o cálculo dos parâmetros referentes aos semivariogramas, sendo ajustados os modelos teóricos (exponencial, esférico e gaussiano) ao semivariograma experimental e selecionado o melhor ajuste e modelo, considerando as estatísticas de validação cruzada (SUN et al., 2009; ARSLAN, 2012).

Fazendo uso do SDUM, os dados interpolados das variáveis foram utilizados para delinear ZMs com duas, três e quatro classes, fazendo uso do algoritmo Fuzzy C-Means (SCHENATTO et al., 2017; ILIADIS et al., 2010; ARNO et al., 2011; VALENTE et al., 2012; LI et al., 2013). Utilizaram-se os parâmetros de ponderação de 1,3 e um erro de 0,0001 (sugeridos pelo software).

As ZMs foram avaliadas fazendo uso da ANOVA e por meio dos índices:

1) Redução da variância (variance reduction – VR) (DOBERMANN et al., 2003; XIANG et al., 2007): este índice foi utilizado para verificar se, para a variável produtividade média normalizada, a soma das variâncias de cada classe é menor que a variância total (Equação 5):

$$VR = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^c W_i * V_{zm_i}}{V_{\acute{a}rea}} \right) * 100 \quad \text{Eq. (5)}$$

em que, c - número de ZMs; W_i - proporção da área em cada ZM; V_{zm_i} - variância dos dados de cada ZM; $V_{\acute{a}rea}$ - variância da amostra dos dados para toda a área.

2) Índice de desempenho fuzzy (fuzziness performance index – FPI) (FRIDGEN et al., 2004): permite determinar o grau de separação entre os grupos difusos gerados por fuzzy c-means; seu valor varia entre 0 e 1, tal que quanto mais próximo for de 0, menor será o grau de compartilhamento de elementos entre os grupos gerados (Equação 6):

$$FPI = 1 - \frac{c}{(c-1)} \left[1 - \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^c (u_{ij})^2 / n \right] \quad \text{Eq. (6)}$$

em que, c - número de clusters; n - número de observações; u_{ij} - elemento ij da matriz de pertinência fuzzy.

3) Entropia de partição modificada (modified partition entropy – MPE) (BOYDELL; MCBRATNEY, 2002): Esse índice estima a quantidade de desorganização criada por um número específico de clusters. Valores de MPE próximos de 1 indicam que predomina a desorganização, enquanto que valores se aproximando de 0 indicam melhor organização (Equação 7):

$$MPE = \frac{- \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^c u_{ij} \log(u_{ij})^2 / n}{\log c} \quad \text{Eq. (7)}$$

em que, c - número de clusters; n - número de observações; u_{ij} - elemento ij da matriz de pertinência fuzzy.

5.3 Resultados e discussão

5.3.1 Análise estatística dos dados amostrais

Na estatística descritiva das variáveis envolvidas no processo de seleção para as duas áreas (Tabela 2) verificou-se significativa variabilidade (GOMES; GARCIA, 2002) com coeficiente de variação (CV) acima de 20% para a declividade na área A, e areia, macroporosidade, MO, RSP 0 – 0,1 m e RSP 0,2 – 0,3 m na área B. O atributo altitude foi o mais homogêneo com CV abaixo de 3%, enquanto a RSP da área A foi considerada com CV médio e na área B o CV para este atributo apresentou-se alto na camada de 0 – 0,1 m e 0,2 – 0,3 m e médio na camada de 0,1 – 0,2 m e 0,3 - 0,4 m. A MO na área B apresentou dados dispersos, com grande amplitude de valores; no geral, as variáveis da área A apresentaram menores CV do que da área B.

A produtividade da soja na área A (Tabela 2) apresentou elevada variabilidade temporal, com produtividade média entre 3,11 (2018) e 4,96 t ha⁻¹ (2015) com valores de CV variando de 21,0 a 27,8% (alta variabilidade espacial). O milho teve produtividade média de 11,86 e 11,34 t ha⁻¹ nas safras 2014 e 2017, respectivamente, com CV médio (15,5%) e alto (21,5%). Resultados mais homogêneos (baixa variabilidade) foram verificados nos dados originais de produtividade da área B, com CV de 3,6% para o milho e de 5,4% (2013) a 8,22% (2015) para a soja, com médias de produtividade de 8,99 t ha⁻¹ para o milho e de 4,26 (2016) a 4,81 t ha⁻¹ (2013) para soja.

Como os dados de produtividade foram normalizados para simulação, somente os dados de coeficiente de variação foram analisados (Figura 2), sendo que pode-se verificar que quando utilizado o método de normalização pela média, os dados apresentaram redução do coeficiente de variação em todos os casos, sendo este reduzido a cada novo conjunto de dados de colheita que foram adicionados aos dados da primeira safra. Este fato indica que quando os dados foram normalizados pela média, ocorreu uma maior estabilização dos dados de produtividade, corroborando com Doerge (2000).

Tabela 2 Análise estatística dos dados físicos do solo utilizados no processo de seleção das ZMs e produtividades originais, para as áreas A e B

Atributo (unidade)	Mínimo	Mediana	Máximo	Média	DP	CV(%)	Box-plot
Área A							
Milho 2014 (P1) (t ha ⁻¹)	8,32	11,79	15,88	11,86	1,83	15,49	
Soja 2015 (t ha ⁻¹)	1,72	3,34	5,20	3,36	0,78	18,96	
Soja 2016 (t ha ⁻¹)	1,96	3,36	4,28	3,34	0,79	23,87	
Milho 2017 (t ha ⁻¹)	7,34	11,31	14,29	11,34	2,44	21,53	
Soja 2018 (t ha ⁻¹)	2,31	2,99	3,88	3,11	0,65	21,04	
Altitude (m)	651,34	662,07	676,41	662,67	6,86	1,04	
Areia (%)	16,25	18,75	22,50	19,29	1,35	7,02	
Argila (%)	58,75	61,25	66,25	61,5	2,39	3,88	
Declividade (°)	0,02	0,38	10,13	1,21	2,28	188,61	
Densidade do solo (kg m ³)	1,16	1,39	1,47	1,38	0,06	4,45	
Macroporosidade (%)	12,91	14,79	21,41	15,04	1,65	10,98	
Microporosidade (%)	32,03	34,88	41,01	34,61	1,79	5,18	
MO (%)	29,24	34,4	43,86	34,95	3,89	11,13	
pH	5,7	6,2	6,6	6,2	0,20	3,29	
Porosidade total (%)	46,27	49,45	57,49	49,64	2,24	4,52	
RSP 0 – 0,1 m (MPa)	1587	2212,5	3321	2238	391,4	17,5	
RSP 0 – 0,2 m (MPa)	1730	2256,5	2826	2253,3	252,91	11,22	
RSP 0,1 – 0,2 m (MPa)	1689	2246,5	2724	2262,4	225,26	9,96	
RSP 0,2 – 0,3 m (MPa)	1337	189,5	2294	1919	227,4	11,9	
Silte (%)	17,50	18,75	21,25	19,25	1,46	7,61	
Área B							
Soja 2013 (P1) (t ha ⁻¹)	4,34	4,74	5,40	4,81	0,26	5,45	
Soja 2014 (t ha ⁻¹)	3,95	4,70	5,03	4,68	0,28	6,10	
Soja 2015 (t ha ⁻¹)	3,44	4,53	5,11	4,51	0,37	8,22	
Soja 2016 (t ha ⁻¹)	3,06	4,22	5,02	4,26	0,33	7,87	
Milho 2016 (t ha ⁻¹)	8,18	9,07	9,61	8,99	0,32	3,62	
Altitude (m)	342,4	365,81	372,87	363,58	7,42	2,04	
Areia (%)	0,4	1,5	4,3	1,75	0,84	47,97	
Argila (%)	61,1	76,3	84,1	76,26	3,49	4,58	
Densidade do solo (kg m ³)	1,21	1,46	1,63	1,47	0,08	5,82	
Macroporosidade (%)	7,94	12,96	27,37	13,20	3,13	23,78	
Microporosidade (%)	9,49	29,91	33,62	30,04	2,80	9,32	
MO (%)	2,68	21,44	68,35	22,25	10,34	46,47	
pH	4,1	4,9	5,7	4,9	0,35	7,04	
Porosidade total (%)	36,86	43,33	53,14	43,24	3,30	7,65	
RSP 0 – 0,1 m (MPa)	851,5	2664,3	4586,9	2654,5	850,9	32,05	
RSP 0,1 – 0,2 m (MPa)	2759,1	4623,3	7343,5	4720,3	872,1	18,47	
RSP 0,2 – 0,3 m (MPa)	2657,2	3730,1	6928,1	3945,3	803,4	20,36	
RSP 0,3 – 0,4 m (MPa)	2543,7	3381,2	5899,5	3580,3	710,3	19,84	
Silte (%)	2,7	21,8	37,8	21,7	3,94	18,13	

Notas: MO – Matéria Orgânica; RSP – Resistência do solo à penetração; DP – Desvio padrão; CV – Coeficiente de variação.

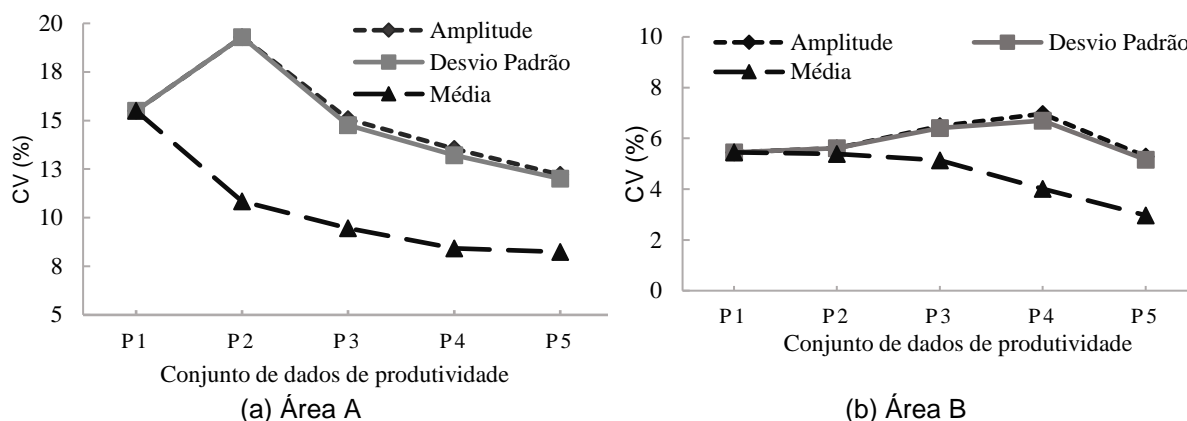


Figura 2 Comportamento do Coeficiente de variação (CV) dos conjuntos de dados originais; (dados do primeiro ano de colheita (P1); Dados normalizados de duas colheitas (P2); Dados normalizados de três colheitas (P3); Dados normalizados de quatro colheitas (P4); e Dados normalizados de cinco colheitas (P5).

5.3.2 Seleção de variáveis para delineamento das ZMs

Para avaliar a importância da estabilidade dos dados de produtividade na seleção das variáveis, bem como dos métodos de normalização (Amplitude, Desvio Padrão e Média), foram simuladas as situações em função dos dados de produtividade do primeiro ano (P1) e dos dados normalizados P2, P3, P4 e P5. Sendo assim, 13 situações foram simuladas, sendo que para cada produtividade (P2-P5), foram testados os 3 métodos de normalização. Para o conjunto de dados P1 não foram aplicados métodos de normalização, já que correspondem a dados de um único ano, e que, conforme Schenatto et al. (2017b), não influenciam para esta situação.

Conforme pode ser observado no documento complementar (Apêndices A e B e Tabela 3), apesar de a produtividade não apresentar autocorrelação espacial em alguns casos, este fato não influenciou para a seleção das variáveis, pois em todos os casos variáveis estáveis correlacionaram-se espacialmente com o atributo produtividade.

A Tabela 3 apresenta o resultado do procedimento realizado para seleção das variáveis e, conforme pode ser verificado, as variáveis altitude e RSP foram as que mais frequentemente correlacionaram com a produtividade, corroborando com o que afirmaram Jaynes, Colvin e Kaspar (2005) e Peralta et al. (2013) sobre a associação espacial entre a altitude, as propriedades físicas do solo e a produtividade de soja e milho. Apesar disso, percebe-se que quando utilizados conjuntos de dados de produtividade de diversos anos (P4 e P5 para área A e P5 para a área B), a altitude passou a não apresentar correlação com a produtividade, sendo eliminada conforme critério de seleção. Isso provavelmente ocorreu devido à concentração dos valores próximos à média, conforme pode ser verificado na Figura 2, em que o CV foi reduzido conforme novas safras eram incluídas e normalizadas. O mesmo

fato ocorreu para o atributo RSP 0 – 0,1 m o qual passou a não se correlacionar com a produtividade quando utilizados dados de mais de 2 safras, para a área A.

Tabela 3 Seleção e eliminação de variáveis (atributos) para delineamento de zonas de manejo para as áreas A e B

Área	Variável (Atributo)	Método de Normalização												
		Amplitude					Desvio Padrão				Média			
		P1	P2	P3	P4	P5	P2	P3	P4	P5	P2	P3	P4	P5
A	Altitude	+	X	X	**	**	X	**	**	**	X	**	**	**
	Areia	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	Argila	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	Declividade	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	Macro	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	MO	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
	Micro	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	pH	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	Por. solo	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	RSP 0 – 0,1	X	+	**	**	**	+	**	**	**	**	**	**	**
	RSP 0 – 0,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	RSP 0,1 – 0,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	RSP 0,2 – 0,3	*	*	+	*	X	**	*	**	*	*	X	**	**
Silte	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
B	Altitude	X	X	+	X	**	X	+	X	**	X	**	+	**
	Areia	+	+	X	+	X	+	X	+	+	+	+	X	+
	Argila	+	**	+	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
	Macro	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	MO	**	+	+	+	+	+	+	+	X	+	+	+	X
	Micro	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	pH	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	Por. solo	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	RSP 0 – 0,1	X	X	X	X	X	X	X	X	+	X	X	X	+
	RSP 0,1 – 0,2	**	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	X
	RSP 0,2 – 0,3	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	RSP 0,3 – 0,4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	Silte	+	**	*	*	*	*	**	**	*	*	+	*	*

Notas: [*] - Eliminada por não apresentarem autocorrelação espacial; [**] - Eliminada por não apresentarem correlação espacial com a produtividade; [+] - Eliminada por ser redundante; [X] - Selecionada para delineamento das MZs. P1 – safra 2013/2014; P2 – média normalizada safras 2013/2014 e 2014/2015; P3 – média normalizada safras 2013/2014, 2014/2015 e 2015/2016; P4 – média normalizada safras 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016, 2016/2017 e 2017/2018; P5 – média normalizadas safras 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016, 2016/2017 e 2017/2018.

Na avaliação da influência do método de normalização, verificou-se que apesar da baixa diferença entre os resultados finais obtidos, as correlações apresentaram-se com valores menores quando utilizados os métodos de Desvio Padrão e Média, se comparado com os resultados obtidos pelo método Amplitude. O que pode ser observado foi que, apesar de os resultados apresentaram-se como bastante similares, quando se utilizou o método da Média e Desvio Padrão, os dados de produtividade gerados com mais safras passaram a se correlacionar menos com alguns dos demais atributos, se comparados com os dados normalizados pela Amplitude. Isso pode ser observado com os dados de altitude e

RSP 0 – 0,1 m (área A) e altitude e RSP 0 – 0,1 m (área B), indicando que o método da Amplitude influenciou menos os dados originais.

Contudo, é importante notar que, para área A, as variáveis candidatas para geração de ZMs foram a Altitude e RSP 0 – 0,1 m quando utilizados dois anos de produtividade e RSP 0,2 – 0,3 m quando utilizados mais de dois anos de produtividade para avaliação. Nesta área, a partir da utilização de dados de produtividade de 4 e 5 anos, estes não se correlacionaram com a altitude, independentemente do método de normalização utilizado. Quanto utilizados dados de 3 safras, a correlação com a altitude ocorreu somente quando se utilizou a técnica de normalização pela amplitude. Na área B, também as variáveis altitude e RSP 0 – 0,1 m se correlacionaram com a produtividade, além das variáveis areia, MO e RSP 0,1 – 0,2 m. É importante notar que, assim como ocorreu com a área A, a altitude passou a não se correlacionar mais com a produtividade quando utilizados dados de 5 safras, independentemente da técnica de normalização utilizada.

Apesar de o procedimento de seleção de variáveis utilizado ter como *layer* selecionada para área A a variável RSP 0 – 0,1 m quando se utilizou a produtividade original (P1), a altitude apresentou-se também correlacionada com a produtividade daquele ano, indicando que estas duas variáveis se correlacionavam espacialmente com a produtividade do milho, Córdoba et al. (2013) também observou a altitude como um atributo que apresentou maior correlação com a produtividade em seus experimentos. Quando utilizados dados de colheita de pelo menos dois anos (P2), isso também ocorreu quando se utilizou os métodos de normalização Amplitude e Desvio Padrão. Quando utilizados três anos de produtividade ou mais (P3, P4 e P5) as variáveis RSP 0 – 0,1 m e altitude passaram a não se correlacionar com os dados de produtividade, passando a se correlacionar com cinco anos de produtividade com a variável RSP 0,2 – 0,3 m.

Para área B, quando utilizados os dados originais (P1) e de duas safras (P2), os atributos selecionados foram os mesmos (altitude e RSP 0 - 0,1 m), independentemente de método de normalização utilizado. Já para P3, selecionou-se areia e RSP 0 - 0,1 m quando se utilizou Amplitude e Desvio Padrão e apenas RSP 0 - 0,1 m quando se utilizou a Média. Com P4, foram selecionadas RSP 0 - 0,1 m com todos os métodos de normalização, com a diferença de que areia também foi selecionada quando se fez uso da Média e altitude quando utilizados outros métodos. Para P5, areia e RSP 0 - 0,1 m utilizando a Amplitude, MO utilizando-se do Desvio Padrão e MO e RSP 0,1 - 0,2 m utilizando a Média. Segundo regras de seleção utilizadas, verificou-se que altitude, areia, MO, RSP 0 - 0,1 m e RSP 0,1 - 0,2 m se mostraram correlacionadas com a produtividade, apesar de terem divergido quanto às *layers* selecionadas. Assim, tem-se que, com até duas safras, as variáveis selecionadas para o delineamento de ZMs foram as mesmas, e que a partir da análise considerando 3 safras,

ocorreram divergências entre os métodos de normalização e entre os atributos selecionados para cada área.

Tabela 4 Variáveis (atributos) selecionados para gerar as ZMs nas áreas A e B

Área	Ano	Amplitude	Desvio Padrão	Média
A	P1	RSP 0 – 0,1 m	RSP 0 – 0,1 m	RSP 0 – 0,1 m
	P2	Altitude	Altitude	Altitude
	P3	Altitude	-	RSP 0,2 – 0,3 m
	P4	-	-	-
	P5	RSP 0,2 – 0,3 m	-	-
	Ano	Amplitude	Desvio Padrão	Média
B	P1	Altitude e RSP 0 – 0,1 m	Altitude e RSP 0 – 0,1 m	Altitude e RSP 0 – 0,1 m
	P2	Altitude e RSP 0 – 0,1 m	Altitude e RSP 0 – 0,1 m	Altitude e RSP 0 – 0,1 m
	P3	Areia e RSP 0 – 0,1 m	Areia e RSP 0 – 0,1 m	RSP 0 – 0,1 m
	P4	Altitude e RSP 0 – 0,1 m	Altitude e RSP 0 – 0,1 m	Areia e RSP 0 – 0,1 m
	P5	Areia e RSP 0 – 0,1 m	MO	MO e RSP 0,1 – 0,2 m

Foi realizada a análise geoestatística (Tabela 5) das variáveis selecionadas (altitude, RSP 0 – 0,1 m e RSP 0,2 – 0,3 m para a área A; e altitude, areia, MO, RSP 0 – 0,1 m e RSP 0,1 – 0,2 m para a área B) e então os dados foram interpolados fazendo uso da krigagem ordinária. O modelo esférico foi o melhor ajustado para os dados de elevação e RSP 0,2 – 0,3 m da área A, areia e MO da área B, o exponencial para RSP 0 – 0,1 m área A, e o gaussiano para os demais conjuntos de dados, segundo os resultados obtidos na validação cruzada. Posteriormente, estes dados foram importados para o SDUM, onde gerou-se as ZMs com duas, três e quatro classes, fazendo uso do algoritmo Fuzzy C-Means.

Tabela 5 Análise geoestatística das variáveis selecionadas para geração das ZMs

Área	Variável (Atributo)	Modelo	Efeito Pepita	Patamar	Alcance	IDE (%)
A	Altitude	Esférico	0	66,2	396,8	0%
	RSP 0 - 0,1 m	Exponencial	97813,7	35206,8	154,8	28%
	RSP 0,2 - 0,3 m	Esférico	23860,9	22182,7	114,8	107%
B	Altitude	Gaussiano	0,09	98,2	501,3	0,09%
	Areia	Esférico	0,26	0,73	662,3	35%
	MO	Esférico	47,3	113,64	948,3	42%
	RSP 0 - 0,1 m	Gaussiano	553708,1	256515,4	289,4	215%
	RSP 0,1 - 0,2 m	Esférico	549761,4	196371,4	337,4	280%

Notas: MO: Matéria orgânica; IDE: Índice de dependência espacial.

As ZMs da área A estão apresentadas na Figura 3, em que é possível verificar que quando utilizadas duas *layers* de colheita (P2), os métodos de normalização não influenciaram a seleção das variáveis, sendo que foram geradas zonas de manejo idênticas para os três métodos utilizados. Quando utilizados dados de mais de três safras, o método de seleção do Desvio Padrão não permitiu a seleção de *layers* correlacionadas com a produtividade, assim como ocorreu quando utilizados dados de quatro safras ou mais e utilizado o método da Média

para se normalizar os dados. O método da Amplitude quando utilizados dados de dois e três anos geram ZMs idênticas.

As ZMs da área B (Figura 4) se mostraram idênticas quando geradas com dados de uma ou duas safras, independentemente do método de normalização utilizado. Já quando utilizados dados de mais safras, as zonas de manejo se divergiram significativamente em relação às demais, inclusive quanto aos métodos de normalização utilizados.

Verificou-se que quando se tem um número menor de *layers* de produtividade, tem-se maior correlação entre esta variável e os atributos de solo e relevo. Porém, é fato discutido na literatura (DOERGE, 2000) que se deve utilizar dados de produtividade de anos para que se tenha uma confiabilidade maior na hora de se definir as zonas de manejo. Desta forma, buscou-se avaliar as ZMs delineadas, para verificar se as geradas com a produtividade de poucos anos são menos representativas do que as geradas com dados de produtividade de até cinco anos. Para isso, as estatísticas de ANOVA e redução da variância, considerando o conjunto de dados utilizados para seleção e o conjunto de dados fazendo uso dos dados de 5 safras (P5) foram utilizadas para esta avaliação, considerando apenas as melhores opções de agrupamento para cada situação, obtidas pelos índices de FPI e MPE.

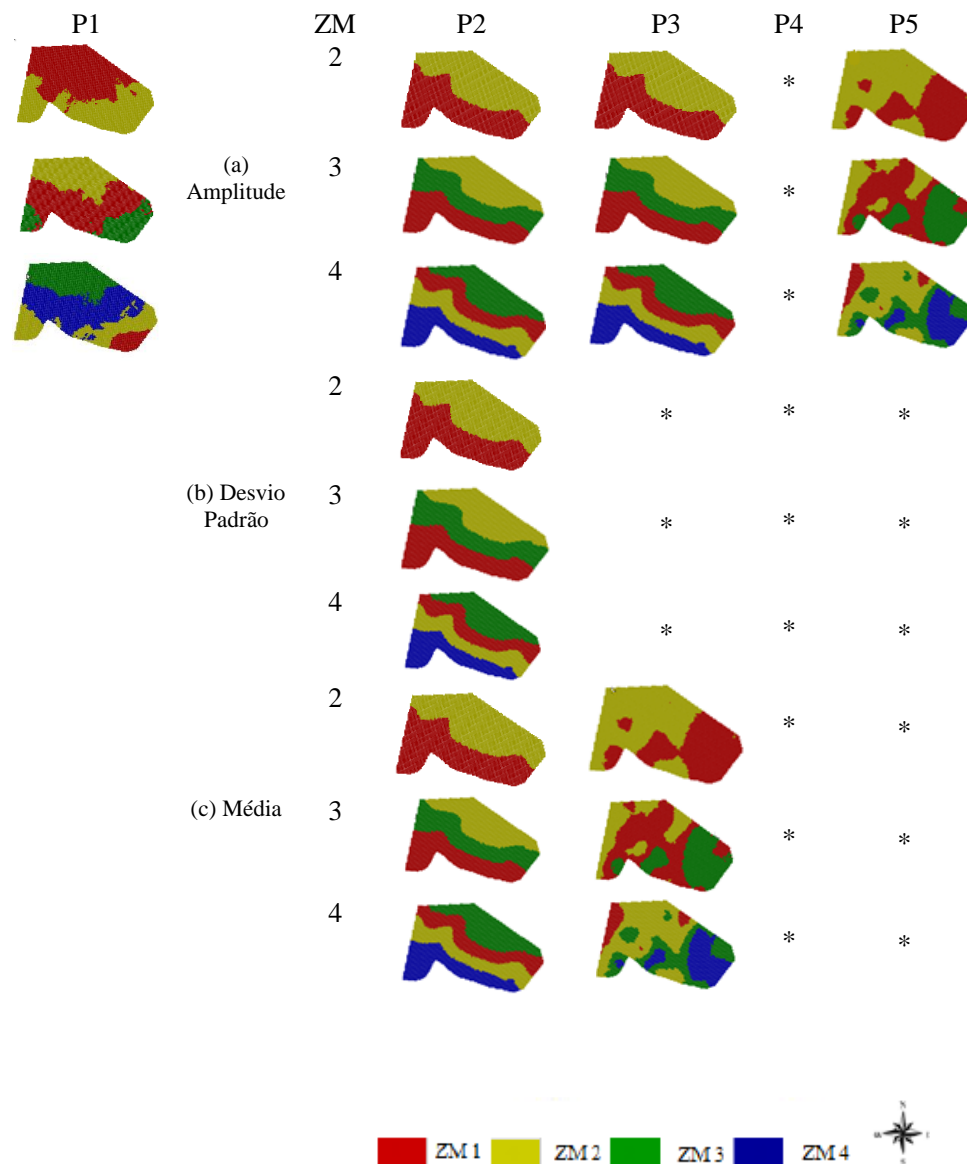


Figura 3 Mapas temáticos para a área A com 2, 3 e 4 zonas de manejo, geradas com os métodos de normalização (a) Amplitude; (b) Desvio padrão e (c) Média.

Notas: P1 – safra 2013/2014; P2 – média normalizada safras 2013/2014 e 2014/2015; P3 – média normalizada safras 2013/2014, 2014/2015 e 2015/2016; P4 – média normalizada safras 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016, 2016/2017 e 2017/2018; P5 – média normalizadas safras 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016, 2016/2017 e 2017/2018; (*) não restaram atributos na seleção para gerar ZMs.

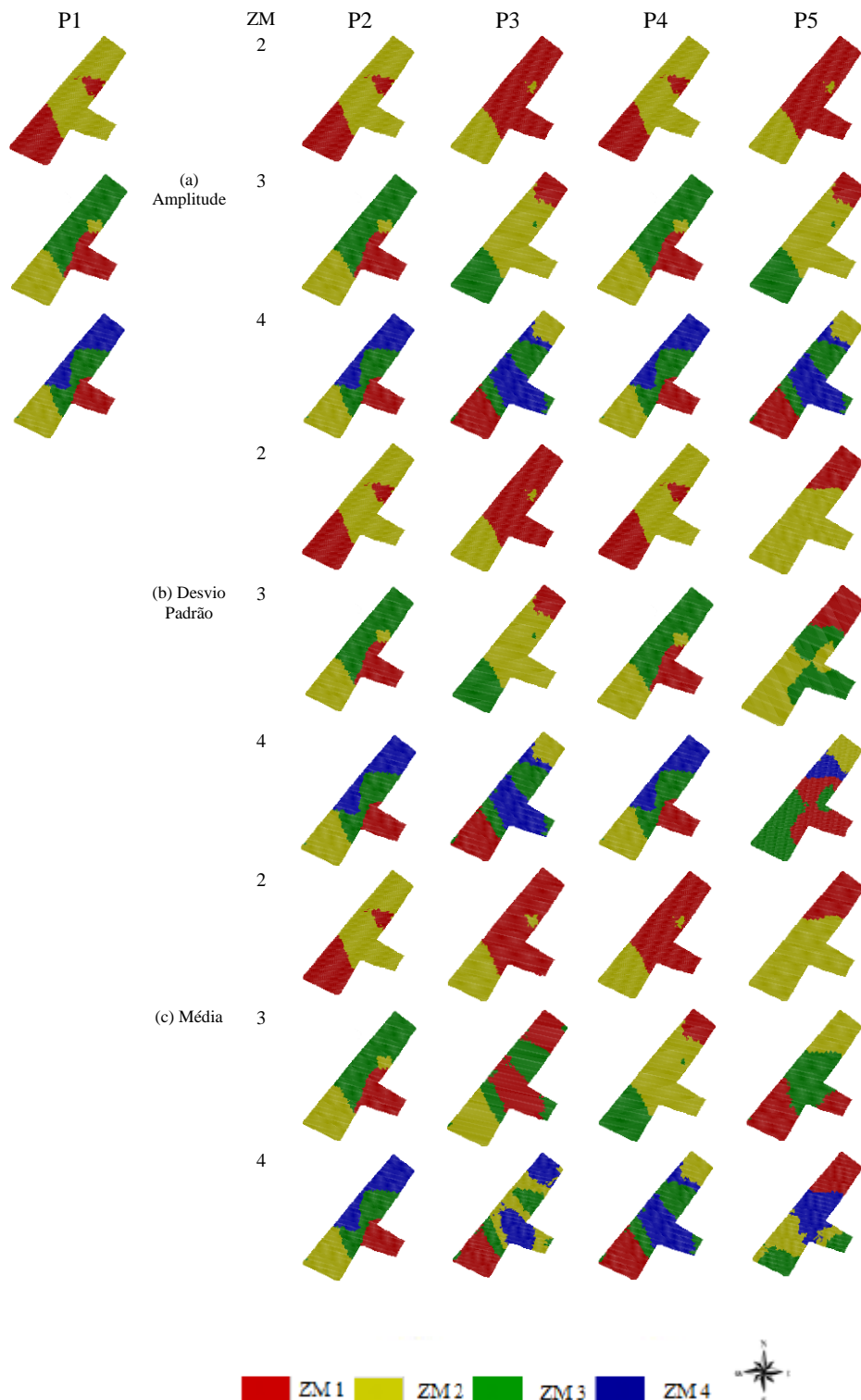


Figura 4 Mapas temáticos para a área B com 2, 3 e 4 zonas de manejo, geradas com os métodos de normalização (a) Amplitude; (b) Desvio Padrão e (c) Média.

Notas: P1 – safra 2012/2013; P2 – média normalizada safras 2012/2013 e 2013/2014; P3 – média normalizada safras 2012/2013, 2013/2014 e 2014/2015; P4 – média normalizada safras 2012/2013, 2013/2014, 2014/2015 e 2015/2016; P5 – média normalizada safras 2012/2013, 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016 e 2016.

Em ambas as áreas se verificou que as melhores opções de divisões em ZMs foram em duas e três classes, sendo que, para área A, a divisão em três classes foi tida como melhor opção somente quando utilizaram-se dados de 2 anos. Já na área B, com exceção à situação

em que se utilizou P3 e P5 para delimitação das ZMs e o método de normalização pela Média (e Desvio Padrão para P3), foram definidas como ideais as divisões em 3 classes (Tabela 6).

Tabela 6 Índices de avaliação FPI, MPE e VR, para as áreas A e B, considerando os diferentes métodos de normalização

Área	Ano	Método Normalização	Nº Classes	Anova				FPI	MPE	VR1	VR2	
				ZM1	ZM2	ZM3	ZM4					
A	P1	Não Normalizado	2	a A	b B	-	-	0,120	0,023	8,8	-	
		Amplitude	3	ab AB	b B	c C	-	0,095	0,019	7,4	24,2	
	P2	Desvio Padrão	3	ab AB	b B	c C	-	0,095	0,019	6,5	10,8	
		Média	3	a AB	a B	a C	-	0,095	0,019	3,1	10,2	
	P3	Amplitude	2	a A	a A	-	-	0,120	0,023	6,3	9,5	
		Desvio Padrão	-	-	-	-	-	*	*	*	*	
		Média	2	a A	a A	-	-	0,084	0,016	1,5	-1,4	
	P4	Amplitude	-	-	-	-	-	*	*	*	*	
		Desvio Padrão	-	-	-	-	-	*	*	*	*	
	P5	Amplitude	2	a A	a A	-	-	0,084	0,016	-1,5	*	
		Desvio Padrão	-	-	-	-	-	*	*	*	*	
	B	P1	Não Normalizado	3	a A	b B	c C	-	0,143	0,030	77,5	-
			Amplitude	3	a A	b B	c C	-	0,143	0,030	73,3	56,3
		P2	Desvio Padrão	3	a A	b B	c A	-	0,143	0,030	73,2	39,7
			Média	3	a A	b B	c A	-	0,143	0,030	73,1	46,0
P3		Amplitude	3	a A	a A	b B	-	0,072	0,016	53,7	57,3	
		Desvio Padrão	3	a A	a A	b B	-	0,072	0,016	49,8	36,6	
		Média	2	a A	b B	-	-	0,064	0,012	49,5	41,7	
P4		Amplitude	3	a A	b B	c C	-	0,143	0,030	66,8	56,3	
		Desvio Padrão	3	a A	b B	c A	-	0,143	0,030	51,1	39,7	
P5		Amplitude	3	a A	a A	b B	-	0,072	0,016	39,9	41,5	
		Desvio Padrão	2	a A	b B	-	-	0,040	0,008	-4,4	-	
			Média	2	a A	b B	-	-	0,139	0,026	-5,6	-

Notas: P1 – safra 2013/2014; P2 – média normalizada safras 2013/2014 e 2014/2015; P3 – média normalizada safras 2013/2014, 2014/2015 e 2015/2016; P4 – média normalizada safras 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016, 2016/2017 e 2017/2018; P5 – média normalizadas safras 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016, 2016/2017 e 2017/2018; ZMs: Zonas de Manejos; FPI: Índice de Desempenho Fuzzy; MPE: Índice de Partição da Entropia Modificada; VR (%): Redução da Variância; VR1 – Análise com dados especificado em ano (P1, P2, P3, P4 ou P5); VR 2 – Análise realizada com P5; Onde consta (*) não restaram atributos na seleção para gerar ZMs.

Conforme análise de variância, os dados de produtividade tiveram diferença média significativa entre zonas somente quando se utilizaram os dados do primeiro ano na área A. Apesar disso, foi possível a redução da variância quando se utilizou até três safras, indicando uma boa divisão. Já na área B, a ANOVA indicou a possibilidade de divisão em até três zonas quando utilizados os dados de um ou dois anos (P1 e P2), fazendo uso do método de normalização pela Amplitude. Já para P3 e P5 foi possível indicar duas zonas com médias de produtividade distintas quando se fez uso da Média e Desvio Padrão como métodos de normalização. Apesar disso, com P5 não foi possível identificar redução da variância pois VR < 0. Em P4, foi possível a divisão em três ZMs quando utilizados os dados normalizados pela Amplitude e pelo Desvio padrão.

Verificou-se ainda que tanto para VR1 como VR2, os melhores resultados foram quando utilizaram-se dados não normalizados (VR1 – P1) e dados normalizados pela Amplitude (VR1 e VR2), indicando que este método facilitou a análise dos resultados.

Schenatto et al. (2017b) relatam que o método de normalização pela amplitude também foi o que apresentou melhores resultados de VR, indicando que os dados de produtividade foram melhor separados entre as zonas geradas.

Como forma de verificar se a utilização de um único ano de produtividade seria suficiente para seleção das variáveis, conforme os resultados acima, os dados de produtividade de cada ano foram correlacionados espacialmente com os atributos do solo (Tabela 7). Conforme pode ser verificado, apesar de haver algumas divergências em relação a alguns anos, todas as variáveis utilizadas para delineamento das ZMs apresentadas correlacionaram-se com a produtividade em algum momento, indicando que a produtividade, mesmo sendo referente a uma única safra pode ser utilizada para seleção de atributos para delineamento de ZMs. Destaca-se aqui a altitude, RSP 0 – 0,1 m e RSP 0,2 – 0,3 m para a área A e altitude, areia, argila, MO, RSP 0 – 0,1 m e RSP 0 – 0,2 m para a área B. Autores como Córdoba et al. (2013), Córdoba et al. (2016), Peralta et al. (2015) utilizaram a altitude e a RSP para delinear ZM.

Tabela 7 Seleção e eliminação de variáveis (atributos) para geração de zonas de manejo para as áreas A e B com dados originais

Área	Atributos	Milho 2014	Soja 2015	Soja 2016	Milho 2017	Soja 2018
A	Altitude	+	**	**	**	**
	Areia	*	*	*	*	*
	Argila	*	*	*	*	*
	Declividade	*	*	*	*	*
	Macro	*	*	*	*	*
	MO	**	**	**	**	**
	Micro	*	*	*	*	*
	pH	*	*	*	*	*
	Por. solo	*	*	*	*	*
	RSP 0 – 0,1 m	X	**	**	**	X
	RSP 0 – 0,2 m	*	*	*	*	*
	RSP 0,1- 0,2 m	*	*	*	*	*
	RSP 0,2 – 0,3 m	*	**	X	*	*
Silte	*	*	*	*	*	
B	Atributos	Soja 2013	Soja 2014	Soja 2015	Soja 2016	Milho 2016
	Altitude	X	**	X	X	X
	Areia	+	+	**	**	+
	Argila	+	**	+	+	+
	Macro	*	*	*	*	*
	MO	**	X	+	+	**
	Micro	*	*	*	*	*
	pH	*	*	*	*	*
	Por. solo	*	*	*	*	*
	RSP 0 – 0,1 m	X	+	X	X	X
	RSP 0,1 – 0,2 m	**	X	+	+	**
	RSP 0,2 – 0,3 m	*	*	*	*	*
	RSP 0,3 – 0,4 m	*	*	*	*	*
Silte	+	*	*	*	*	

Notas: [*] - Eliminados por não apresentarem autocorrelação espacial; [**] - Eliminados por não apresentarem correlação espacial com a produtividade; [+]- Eliminados por serem redundantes; [X] - Seleccionadas para geração das ZMs.

5.4 Conclusões

- As variáveis altitude e RSP tiveram correlação com a produtividade das culturas da soja e do milho em ambas as áreas estudadas, indicando que devem ser utilizadas para geração de zonas de manejo (ZMs) em AP;
- O número de safras influenciou negativamente na análise de correlação espacial entre a produtividade e os atributos do solo, possivelmente pela redução da variabilidade dos dados, pois constatou-se que o CV foi reduzido quando se utilizaram mais conjuntos de dados para análise;
- O método de normalização que apresentou os melhores resultados de VR e ANOVA foi o da Amplitude, apesar de que o da Média apresentou a maior redução do CV para todos os conjuntos de dados;
- A técnica de delineamento de ZMs proporcionou a obtenção de bons resultados para a divisão de ambas as áreas estudadas.

5.5 Agradecimentos

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), e aos proprietários, pela concessão das áreas experimentais.

5.6 Referências

ARNO, J.; MARTINEZ-CASASNOVAS, J. A.; RIBES-DASI, M.; ROSELL, J. R. Clustering of grape yield maps to delineate site-specific management zones. **Spanish Journal of Agricultural Research**, online, v. 9, n. 3, p. 721-729, 2011.

APARECIDO, L.E.O.; ROLIM, G.S.; RICHETTI, J.; SOUZA, P.S.; JOHANN, J.A. Köppen, Thornthwaite and Camargo climate classifications for climatic zoning in the State of Paraná, Brazil. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 40, n. 4, p.405-417, 2016.

ARSLAN, H. Spatial and temporal mapping of groundwater salinity using ordinary kriging and indicator kriging: The case of Bafra Plain, Turkey. **Agriculture Water Management**, online, v. 113, n. 1, p. 57-63, 2012.

BAZZI, C. L.; SOUZA, E.G.; KONOPATZKI, M.R.; NÓBREGA, L.H.P.; URIBE-OPAZO, M.A. Management zones applied to pear orchard. **International Journal of Food Agriculture and Environment**, v. 13, n. 1, p. 86-92, 2015.

BAZZI, C.L., SOUZA, E.G., URIBE-OPAZO, M.A., NÓBREGA, L.H.P., ROCHA, D.M. Management zones definition using soil chemical and physical attributes in a soybean area. **Engenharia Agrícola**, v. 33, p.952-964, 2013.

BETZEK N.M.; SOUZA, E.G.; BAZZI, C.L.; SCHENATTO, K.; GAVIOLI, A. Rectification methods for optimization of management zones. **Computers and Electronics in Agriculture** v. 146, p.1-11, 2018.

BLACKMORE, S.; GODWIN, R.J.; FOUNTAS, S. The analysis of spatial and temporal trends in yield map data over six years. **Biosystems Engineering**, v. 84, p.455-466, 2003.

BRASIL. Ministério da Agricultura e da Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: SNDA/DNDV/CLAV, 2009. 395 p.

BOBRYK, C.W.; MYERS, D.B.; KITCHEN, N.R.; SHANAHAN, J.F.; SUDDUTH, K.A. Validating a Digital Soil Map with Corn Yield Data for Precision Agriculture Decision Support. **Agronomy Journal**, v. 108, p.957-965, 2016.

BOYDELL, B.; MCBRATNEY, A. B. Identifying potential within-field management zones from cotton yield estimates. **Precision Agriculture**, online, v. 3, n. 1, p. 9-23, 2002.

BUNSELMEYER, H. A.; LAUER, J. G. Using Corn and Soybean Yield History to Predict Subfield Yield Response. **Agronomy Journal**, v. 107, n. 2, p. 558-562, 2015.

CASTRIGNANÒA, A.; BUTTAFUOCO, G.; QUARTOC, R.; PARISID, D.; VICARRA ROSSELE, R.A.; TERRIBILEF, F.; LANGELLAF, G.; VENEZIAD, A. A geostatistical sensor data fusion approach for delineating homogeneous management zones in Precision Agriculture. **Catena**, v. 167, p. 293-304, 2018.

CÓRDOBA, M.; BRUNO, C.; COSTA, J. L.; BALZARINI, M. Subfield management class delineation using cluster analysis from spatial principal components of soil variables. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 97, p. 6-14, 2013.

CÓRDOBA, M.; BRUNO, C.; COSTA, J. L.; PERALTA, N. R.; BALZARINI, M. Protocol for multivariate homogeneous zone delineation in precision agriculture. **Biosystems Engineering**, n. 143, p. 95-107, 2016.

CZAPLEWSKI, R.L.; REICH, R.M. Expected value and variance of Moran's bivariate spatial autocorrelation statistic under permutation. **Fort Collins**, CO: Research Paper, 1993.

DAIGH, A.L.M.; DICK, W.A.; HELMERS, M.J.; LAL, R.; LAUER, J.G.; NAFZIGER, E.; PEDERSON, C.H.; STROCK, J.; VILLAMIL, M.; MUKHERJEE, A. CRUSE, R. Yields and yield stability of no-till and chisel-plow fields in the Midwestern US Corn Belt. **Field Crops Research**, v. 218, p. 243-253, 2018.

DEMATTÊ, J. A. M.; DEMATTÊ, J. L. I.; ALVES, E. R.; BARBOSA, R. N.; MORELLI, J. L. Precision agriculture for sugarcane management: a strategy applied for Brazilian conditions. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 36, n. 1, p. 111, 2014.

DIKER, K.; HEERMANN, D.F.; BRODAHL, M.K. Frequency analysis of yield for delineating yield response zones. **Precision Agriculture**, v. 5, p. 435-444, 2004.

DOBERMANN, A.; PING, J. L.; ADAMCHUK, V. I.; SIMBAHAN. G. C.; FERGUSON, R. B. Classification of crop yield variability in irrigated production fields. **Agronomy Journal**, Madison, v. 95, n. 1, p. 1105-1120, 2003.

DOERGE, T.A. **Management Zone Concepts**. Potash & Phosphate Institute, Norcross, GA, 2000.

DRIEMEIER, C.; LING, L.Y.; SANCHES, G.M.; PONTES, A.O.; MAGALHAES, P.S.G.; FERREIRA, J.R. A computational environment to support research in sugarcane agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 130, p. 13-19, 2016.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solo**. Rio de Janeiro: CNPSO, 2013, 412 p.

FARID, H. U.; BAKHSH, A.; AHMAD, N.; AHMAD, A.; MAHMOOD-KHAN, Z. Delineating site-specific management zones for precision agriculture. **Journal of Agricultural Science**, online, v. 154, n. 1, p. 273-286, 2016.

FERGUSON, R. B.; HERGERT, G. W. Soil Sampling for Precision Agriculture. **Precision Agriculture**, p. 1-4, 2009.

FRANZEN, D. W.; HOPKINS, D. H.; SWEENEY, M. D.; ULMER, M. K.; HALVORSON, A. D. Evaluation of soil survey scale for zone development of Site-Specific Nitrogen Management. **Agronomy Journal**, v. 94, p. 381-389, 2002.

FRIDGEN, J. J.; KITCHEN, N. R.; SUDDUTH, K. A.; DRUMMOND, S. T.; WIEBOLD, W. J.; FRAISSE, C. W. Management zone analyst (MZA): software for subfield management zone delineation. **Agronomy Journal**, v. 96, n. 1, p. 100-108, 2004.

GAVIOLI, A.; SOUZA, E. G.; BAZZI, C. L.; GUEDES, L. P. C.; SCHENATTO, K. Optimization of management zone delineation by using spatial principal components. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 127, p. 302-310, 2016.

GOMES, F. P.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 305p.

ILIADIS, L. S.; VANGELOUDH, M.; SPARTALIS, S. An intelligent system employing an enhanced fuzzy C-Means clustering model: Application in the case of forest fires. **Computers and Electronics in Agriculture**, online, v. 70, n. 2, p. 276-284, 2010.

JAYNES, D. B.; COLVIN, T. S.; KASPAR, T. C. Identifying potential soybean management zones from multi-year yield data. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 46, n. 1, p. 309-327, 2005.

KITCHEN, N. R.; SUDDUTH, K. A.; MYERS, D. B.; DRUMMOND, S. T.; HONG, S. Y. Delineating productivity zones on claypan soil fields using apparent soil electrical conductivity. **Computers and Electronics in Agriculture**, online, v. 46, n. 3, p. 285-308, 2005.

LARSCHEID, G.; BLACKMORE, B. S. Interactions between farm managers and information systems with respect to yield mapping. In: ROBERT, P. C.; RUST, R. H.; LARSON, W. E. (Ed.). **Precision Agriculture**. WI: ASA, CSSA, SSSA, 1996. p. 1153-1163.

LI, Y.; SHI, Z.; WU, H.; LI, F.; LI, H. Definition of management zones for enhancing cultivated land conservation using combined spatial data. **Environmental Management**, online, v. 52, n. 4, p. 792-806, 2013.

MICHELAN, R.; SOUZA, E. G.; URIBE-OPAZO, M. A. Determinação e remoção do tempo de atraso em mapas de colheita de milho. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 29, n. 2, p.147-155, 2007.

MIELKE, P.W.; BERRY, K.J. Permutation Methods: a distance function approach. **Springer**, New York, NY, 2007.

MILLIGAN, G. W.; COOPER, M. C. A study of standardization of variables in cluster analysis. **Journal of Classification**, online, v. 5, n. 2, p. 181-204, 1988.

MOLIN, J. P. Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade. **Engenharia Agrícola**, v. 22, n. 1, p. 83-92, 2002.

MOSHIA, M.E.; KHOSLA, R.; LONGCHAMPS, L.; REICH, R.; DAVIS, J.G.; ESTFALL, D.G. Precision Manure Management across Site-Specific Management Zones: Grain Yield and Economic Analysis. **Agronomy Journal**, v. 2016, p. 2146-2156, 2014.

PERALTA, N.R., COSTA, J.L. Delineation of management zones with soil apparent electrical conductivity to improve nutrient management. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 99, p. 218-226, 2013.

PERALTA, N. R.; COSTA, J. L.; FRANCO, M. C.; BALZARINI, M. Delimitación de zonas de manejo con modelos de elevación digital y profundidad de suelo. **Interciencia**, v. 38, n. 6, p. 418-424, 2013.

PERALTA, N. R.; COSTA, J. L.; BALZARINI, M.; FRANCO, M. C.; CÓRDOBA, M.; ULLOCK, D. Delineation of management zones to improve nitrogen management of wheat. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 110, p. 103-113, 2015.

RAMOS, F.T.; SANTOS, R.T.; CAMPELO JUNIOR, J.H.; MAIA, J.C.S. Defining management zones based on soil attributes and soybean productivity. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 2, p. 427-436, 2017.

SOARES FILHO, R.; CUNHA, J. P. A. R. Agricultura de precisão: particularidades de sua adoção no Sudoeste de Goiás – Brasil. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 4, p. 689-698, 2015.

SCHENATTO, K.; SOUZA, E.G.; BAZZI, C.L.; BETZEK, N.M.; GAVIOLI, A.; BENEDEZZI, H.M. Use of the farmer's experience variable in the generation of management zones. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 38, n. 4, 2017a.

SCHENATTO, K.; SOUZA, E. G.; BAZZI, C. L.; BIER, V. A.; GAVIOLI, A.; BETZEK, N. M.; BENEDEZZI, H.M. Normalization of data for delineating management zones. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 14, p. 238-248, 2017b.

SCHENATTO, K.; SOUZA, E. G.; BAZZI, C. L.; BIER, V. A.; BETZEK, N. M.; GAVIOLI, A. Data Interpolation in the definition of management zones. **Acta Scientiarum Technology**, v. 38, n. 1, p. 31-40, 2016.

SPAROVEK, G.; SCHBUG, E. A theoretical case study for soil erosion control in Brazilian sugar cane production. **Soil tillage and precision agriculture**, v. 61, p. 47-54, 2001.

SOBJAK, R.; SOUZA, E. G.; BAZZI, C. L.; URIBE-OPAZO, M. A.; BETZEK, N. M. Redundant variables and the quality of management zones. **Engenharia Agrícola**, v. 36, n. 1, p. 78-93, 2016.

SUN, Y.; KANG, S.; LI, F.; ZHANG, L. Comparison of interpolation methods for depth to groundwater and its temporal and spatial variations in the Minqin oasis of northwest China. **Environmental Modelling & Software**, online, v. 24, n. 10, p. 1163-1170, 2009.

SWINDELL, J. E. G. Mapping the spatial variability in the yield potential of arable land through GIS analysis of sequential yield maps. In: STAFFORD, J. V. (Ed.). **Precision Agriculture**. Oxford: BIOS Scientific Publishes Ltd, 1997, p. 827-834.

VALENTE, D. S. M.; QUEIROZ, D. M.; PINTO, F. A. C.; SANTOS, N. T.; SANTOS, F. L. Definition of management zones in coffee production fields based on apparent soil electrical conductivity. **Scientia Agricola**, v. 69, n. 3, p. 173-179, 2012.

XIANG, L.; PAN, Y.; GE, Z.; ZHAO, C. Delineation and scale effect of precision agriculture management zones using yield monitor data over four years. **Agriculture Sciences in China**, online, v. 6, n. 2, p. 180-188, 2007.

6 ARTIGO 2 – PRODUTIVIDADE DA SOJA EM ZONAS DE MANEJO COM A APLICAÇÃO DE DIFERENTES DENSIDADES DE SEMEADURA¹

RESUMO: O trabalho avaliou a eficiência da sementeira à taxa variada para cultura da soja em duas zonas de manejo (ZMs), as quais foram definidas com base em atributos estáveis e correlacionados com a produtividade, por meio do algoritmo de agrupamento Fuzzy C-means e o interpolador krigagem. A sementeira foi realizada nas safras 2015/2016 e 2017/2018, com variação de 20% de sementes e espaçamento entre linhas de 0,70 m. Em cada ZM foram estabelecidas 8 parcelas em que variou-se maior e menor densidade de sementes. A produtividade foi medida com monitor de colheita acoplado em uma colhedora. Os dados foram filtrados e submetidos à análise descritiva, os mapas de produtividade foram gerados utilizando-se o interpolador inverso do quadrado da distância para cada densidade de sementeira. Na ZM com maior potencial produtivo (ZM 1), a produtividade foi de 3,39 e 3,18 t ha⁻¹, na ZM de menor potencial produtivo (ZM 2) foi de 3,30 e 3,11 t ha⁻¹, para os anos de 2016 e 2018, respectivamente. Estimou-se por meio do interpolador maior produtividade com a aplicação de 15 plantas m⁻¹. Pela análise econômica, sugere-se, dentro do estudado, a aplicação de 214.000 plantas ha⁻¹ nas duas ZMs.

Palavras-chave: agricultura de precisão, produção de grãos, unidades de manejo.

PRODUCTIVITY OF SOYBEAN IN MANAGEMENT ZONES WITH APPLICATION OF DIFFERENT SOWING DENSITIES

ABSTRACT: The present study aimed to assess the efficiency of sowing at variable rates for soybean cultivation in two management zones (MZs) which were defined based on stable attributes and correlated with productivity using the Fuzzy C-means clustering algorithm and the kriging interpolation. Seeding was carried out in the 2015/2016 and 2017/2018 crops with a variation of 20% of seeds and crop row spacing of 0.70 m. In each MZ, 8 plots with higher and lower seed density were established. Productivity was measured using a harvest monitor connected to a harvester. Data were filtered and submitted to descriptive analysis. Productivity maps were generated using the inverse square distance interpolation for each seeding density. In the MZ with the highest productive potential (MZ 1), the productivity was 3.39 and 3.18 t ha⁻¹, and in the MZ with the lowest productive potential (MZ 2), the productivity was 3.30 and 3.11 t ha⁻¹ for the years 2016 and 2018, respectively. Interpolation estimated higher productivity with the application of 15 plants m⁻¹. Based on the economic analysis, it is suggested in this study the application of 214,000 plants ha⁻¹ in both MZs.

Keywords: precision agriculture, grain production, management zones.

6.1 Introdução

A agricultura de precisão (AP) visa à gestão precisa dos insumos agrícolas para aumentar os lucros, diminuindo perdas e preservando o meio ambiente (BIER; SOUZA, 2017) e preconiza a utilização localizada de insumos de acordo com a necessidade local, tendo como elemento-chave a variabilidade espacial da produção e dos fatores a ela relacionados.

¹ Artigo aceito para publicação no periódico Ciência Rural, com classificação B1 no QUALIS/CAPES na área de Ciências agrárias.

Entretanto, a aplicação localizada utiliza de equipamentos especiais que podem elevar o investimento inicial em maquinário a valores que o pequeno agricultor não possa arcar. Uma alternativa é dividir os talhões em zonas de manejo (também conhecidas como unidades de manejo) homogêneas, com o objetivo de se poder aplicar insumos agrícolas à taxa constante, mas ainda tirando-se proveito de variabilidade espacial.

A definição de ZMs é a delimitação de subáreas com características topográficas, de solo e de culturas semelhantes dentro de um talhão. Entre as muitas variáveis que podem ser usadas para esta definição, as que são estáveis e espacialmente correlacionadas com a produtividade são frequentemente recomendadas para uso (DOERGE, 2000; GAVIOLI et al., 2016). A delimitação de ZMs é uma maneira de classificar a variabilidade espacial dentro de um talhão (BAZZI et al., 2015).

As ZMs podem gerar várias estratégias de gerenciamento específicas da área (SCHENATTO et al., 2016), incluindo a semeadura com diferentes densidades (MILANI et al., 2006). O interesse em maximizar o rendimento das culturas tem estimulado o uso de um manejo intensivo. Para Sangoi et al. (2002), há uma população ótima em que a produtividade das culturas é maximizada. O desempenho do milho, por exemplo, é frequentemente afetado pelo manejo diferenciado, porque o milho é sensível aos fatores ambientais e alterações no arranjo de plantas (LICHT et al., 2016). Já na cultura da soja, as densidades menores, em torno de 10 a 15 plantas m^{-1} , estão sendo utilizadas com sucesso, pois além de não reduzirem significativamente a produtividade, proporcionam redução nos custos de produção pela redução nos gastos com sementes (TOURINO et al., 2002).

Trabalhos têm demonstrado que a alteração na taxa de semeadura pode ocasionar incremento no rendimento de grãos. Ludwig et al. (2011) avaliaram diferentes cultivares de soja em três populações de plantas (250, 400 e 550 mil plantas ha^{-1}); os autores obtiveram melhores resultados para a população de 550 mil plantas ha^{-1} . Por outro lado, Petter et al. (2016) relataram que densidades de 20 e 30 plantas m^{-2} proporcionaram maior rendimento de grãos e melhor aproveitamento eficiência de radiação fotossinteticamente ativa. Já Ribeiro et al. (2017) testaram quatro densidades populacionais (300, 400, 500 e 600 mil plantas por ha^{-1}) em seis cultivares, e descrevem que independentemente da cultivar de soja, a densidade de plantas de até 600.000 ha^{-1} , não afeta o rendimento de grãos.

Além disso, estudos sobre a redução do espaçamento entre linhas demonstram que, para algumas variedades de soja, esta redução pode acarretar ganho de produtividade (WALKER et al., 2010); entretanto, em variedades que apresentam maior plasticidade, a produtividade final nem sempre é influenciada quando se utilizam espaçamentos maiores do que o recomendado. Neste sentido, a redução do espaçamento entre fileiras de 57 para 19 cm (PROCÓPIO et al., 2014), diminuiu a produtividade de soja BRS 294 PR. Autores como

Worku e Astatkie (2011) e Gulluoglu et al. (2017) vêm testando o uso de espaçamentos com até 70 cm para cultivares de soja.

Neste contexto, o trabalho teve como objetivo avaliar o rendimento da cultura de soja com a aplicação das densidades 171.200, 214.000 e 257.000 plantas ha⁻¹, com espaçamento entre linhas de 0,70 m, em ZMs pré-estabelecidas em área agrícola comercial.

6.2 Material e métodos

Os dados utilizados neste estudo foram coletados em uma propriedade rural localizada no município de Céu Azul, situado no Oeste do Paraná, com coordenadas geográficas centrais de latitude 25°06'32"S e longitude 53°49'55"O e elevação média de 752 m. A área amostral possui 15,5 ha (hectares), Latossolo Vermelho Distroférico típico (EMBRAPA, 2006) e cultivado em um sistema de plantio direto há mais de 14 anos, com uma sequência de soja, trigo, aveia e milho.

A composição de atributos químicos e granulometria da área apresentaram em uma profundidade de 0 – 0,2 m valores médios de P (Fósforo): 23,45 mg dm⁻³ (2016) e 22,04 mg dm⁻³ (2017); K (Potássio): 0,61 Cmol_c dm⁻³ (2016) e 0,55 Cmol_c dm⁻³(2017); MO (matéria orgânica): 34,83 e 30,91 g dm⁻³, respectivamente, para 2016 e 2017; pH: 5,4 (2016) e 5,2 (2017); areia: 19,22 %; silte: 19,28 % e argila: 61,48% (2016). Os resultados dos dados climáticos são apresentados na Figura 1.

A semeadura da cultura foi realizada em duas ZMs estabelecidas por Schenatto et al. (2016) (Figura 2a), subdivididas neste estudo em quatro regiões que consideraram, ainda, o relevo da área e as curvas de nível, também subdivididas em quatro parcelas, conforme apresentado na Figura 2b, compondo 4 tratamentos e 4 repetições. Dimensões: ZM1: 8,51 ha, ZM 2: 7,01 ha; Parcelas: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9,10, 11, 12, 13, 14, 15 e 16 com 0,36; 1,32; 1,07; 0,85; 1,40; 0,57; 0,49; 0,79; 0,76; 0,69; 1,05; 1,55; 0,79; 1,23; 0,67 e 1,93 ha, respectivamente.

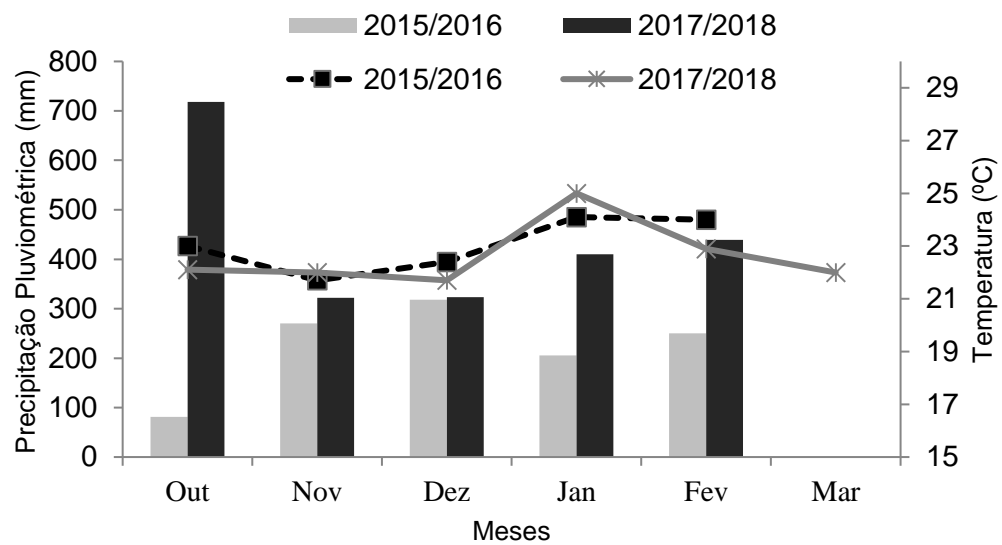


Figura 1 Médias mensais de precipitação pluviométrica e temperatura para as safras 2015/2016 e 2017/2018, para o município de Céu Azul- PR.
Fonte: Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR).

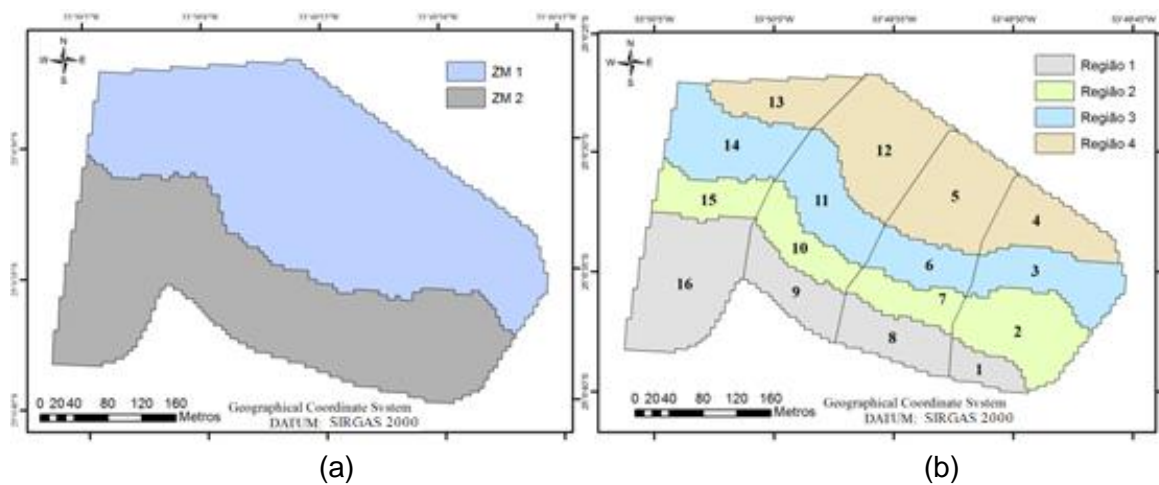


Figura 2 (a) Representação das zonas de manejo com duas classes utilizando o algoritmo de agrupamento Fuzzy C-means e o interpolador krigagem. (b) Área de estudo dividida em parcelas.

Notas: ZM1: Zona de Manejo 1
ZM2: Zona de manejo 2

Fonte: Adaptado de Schenatto et al. (2016).

No delineamento das ZMs foram utilizadas como variáveis candidatas, a granulometria do solo (conteúdos de argila, areia e silte), a resistência do solo à penetração, a elevação e a declividade, correlacionando-as com dados de produtividade da soja coletados nas safras 2011/2012 e 2012/2013 (SCHENATTO et al., 2016). Os mapas temáticos foram gerados pelo método de agrupamento Fuzzy C-means, utilizando o software SDUM (BAZZI et al., 2015)

com interpolação krigagem, com a apresentação da zona de manejo 1 (ZM 1) como a de maior potencial produtivo e zona de manejo 2 (ZM 2) como a de menor potencial produtivo.

A semeadura da soja (*Glycine max*) Syngenta 1359 foi realizada com semeadora da marca Stara com monitor à taxa variável acoplado, sendo semeado 15 sementes m^{-1} nas parcelas ímpares e 18 sementes m^{-1} nas pares (Figura 2b). Juntamente com a semeadura, em 17 de outubro de 2015, houve aplicação de 145 $kg\ ha^{-1}$ fertilizante químico formulado 08-40-00 e a colheita foi realizada em 23 de fevereiro de 2016. Em 19 de outubro de 2017 realizou-se novamente a semeadura da mesma cultivar, sendo semeado 12 sementes m^{-1} nas parcelas ímpares e 15 sementes m^{-1} nas pares (Figura 2b); neste caso, a colheita realizou-se em 22 de fevereiro de 2018.

Em ambos os anos o espaçamento entre linhas foi de 70 cm, embora não muito usual, o produtor vem utilizando tal espaçamento com resultados satisfatórios e justifica, inclusive, pela economia de semente; autores como Machado et al. (2018), Rambo et al. (2003) e Pires et al. (2000) dizem que essa resposta pode estar relacionada à plasticidade fenotípica que as plantas de soja apresentam, uma vez que compensam o aumento de espaçamento com o aumento da produção individual de vagens, contribuindo para maior tolerância a essa variação. O desbaste foi realizado 15 dias após emergência garantindo-se o número de plantas e a sua distribuição espacial correspondente à população dos respectivos tratamentos (214.000 e 257.000 plantas ha^{-1} na safra 2015/2016; e 171.200 e 214.000 plantas ha^{-1} para a safra 2017/2018) para os dois anos de estudo.

A produtividade foi medida com monitor AFS PRO 600 (Case IH, Racine, EUA) de colheita acoplado em uma colhedora da marca CASE IH 2388 (CASE IH, Sorocaba, Brasil). O arquivo proveniente do monitor de colheita foi convertido, por meio do programa AFS CASE e filtrado, conforme sugerido por Michelan et al. (2007).

Para cada uma das 16 parcelas filtradas com dados da produtividade, foi realizada análise exploratória, sendo calculada a medida de posição (média), de dispersão (desvio padrão), e de forma da distribuição (coeficiente de variação e variância). As médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade no software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2013).

Para a interpolação dos dados foi utilizado o interpolador inverso do quadrado da distância (IQD), conforme sugerido por Betzek et al. (2017), sendo posteriormente construídos os mapas de produtividade utilizando-se o programa computacional ArcGis. Os mapas foram construídos para cada densidade de semeadura e posteriormente realizou-se álgebra de mapas, encontrando-se o mapa da diferença entre o mapa da produtividade da cultura utilizando maior e menor densidade de semeadura.

Para análise econômica do ajuste das populações à área de estudo foi utilizado o preço de venda da soja de R\$ 60,00 e R\$ 63,00 por saca de 60 kg para 2016 e 2018,

respectivamente. O custo de aquisição das sementes de soja foi de R\$ 5,50 kg⁻¹ em 2015 e R\$ 5,78 kg⁻¹ em 2017. Para calcular quantas sementes existiam em um quilo de soja, utilizou-se os valores disponibilizados pelo fabricante do peso de mil sementes de soja, o qual baseia-se no diâmetro da semente.

O custo com aquisição de sementes (R\$ ha⁻¹) foi obtido pela multiplicação entre a quantidade de sementes aplicadas em um ha e o preço de 1 semente. Neste valor foi acrescida a taxa de correção (5%) proveniente da correlação estatística. Já a receita (R\$ ha⁻¹) foi obtida pelo produto entre a produtividade média (t ha⁻¹) e o preço da tonelada (R\$).

6.3 Resultados e discussão

6.3.1 Produtividade obtida

A produtividade média total foi de 3,36 e 3,14 t ha⁻¹ (toneladas por hectare) para a soja em 2016 e 2018, estando 16,7% acima e 5,7% abaixo da produtividade média nacional do mesmo período, que foi de 2,88 e 3,33 t ha⁻¹ (EMBRAPA SOJA, 2016; EMBRAPA SOJA 2018). Comparativamente, nos anos agrícolas de 2011/2012 e 2012/2013, quando foram aplicadas, em média, 257.000 plantas ha⁻¹ nesta área, a produção foi de 2,44 e 3,93 t ha⁻¹, respectivamente.

No primeiro ano de estudo nos talhões onde aplicou-se 15 plantas m⁻² a produtividade média foi de 3,36 t ha⁻¹; já nos talhões com 18 plantas m⁻², a produtividade média reduziu para 3,34 t ha⁻¹; uma diferença média de 0,02 t ha⁻¹ a mais para a menor densidade de semeadura. Já no segundo ano de estudo para a soja, produziu-se em média 3,08 t ha⁻¹ com 12 plantas m⁻² e 3,20 t ha⁻¹ com 15 plantas m⁻², resultado que vem ao encontro de Tourino et al. (2002), que relataram uso de densidades de 10 a 15 plantas m⁻², não reduzindo significativamente a produtividade, mantendo os níveis de produtividade, no espaçamento 0,60 m, e até aumentando-a na densidade menor, com espaçamento de 0,45 m.

Os valores de produtividade da soja obtidos são apresentados na Tabela 1, onde constata-se que a média de produção para a soja (2015/2016) na ZM 1 foi de 3,39 t ha⁻¹, sendo 3,43 e 3,36 t ha⁻¹ para 15 e 18 plantas m⁻², respectivamente. Já na safra 2017/2018 a produção na ZM 1 foi de 3,18 t ha⁻¹, sendo 3,14 e 3,21 t ha⁻¹ para 12 e 15 plantas m⁻², apresentando uma diferença de aproximadamente 0,07 t ha⁻¹.

Tabela 1 Análise descritiva da produtividade da soja ano 2015/2016 e 2017/2018

Ano	ZM	Parcela	Nº pontos	Média (t ha ⁻¹)	Erro médio estim.	Desvio Padrão (t ha ⁻¹)	CV (%)	Mín. (t ha ⁻¹)	Máx. (t ha ⁻¹)
15/16	2	1	314	3,45a	0,042	0,75	21,71	1,7	5,2
	2	2	915	3,29a	0,021	0,62	18,89	1,7	5,2
	1	3	698	3,48a	0,026	0,70	20,20	1,8	5,2
	1	4	721	3,41a	0,024	0,63	18,57	1,7	5,2
	1	5	1050	3,34a	0,021	0,68	20,52	1,7	5,2
	1	6	400	3,28a	0,029	0,58	17,75	1,7	5,2
	2	7	438	3,14a	0,024	0,51	16,40	1,7	5,2
	2	8	571	3,41a	0,030	0,72	21,26	1,8	5,2
	2	9	599	3,37a	0,027	0,66	19,54	1,7	5,2
	2	10	484	3,21a	0,031	0,68	21,18	1,7	5,2
	1	11	654	3,50a	0,024	0,62	17,71	1,7	5,2
	1	12	1209	3,37a	0,016	0,55	16,44	1,7	5,2
	1	13	606	3,40a	0,031	0,77	22,52	1,7	5,2
	1	14	931	3,37a	0,021	0,64	19,01	1,7	5,2
	2	15	454	3,23a	0,025	0,54	16,79	1,7	5,1
	2	16	1310	3,35a	0,018	0,67	19,98	1,7	5,2
17/18	2	1	330	2,50b	0,034	0,62	19,32	1,2	5,1
	2	2	905	3,21a	0,020	0,61	19,15	1,4	5,1
	1	3	905	3,10ab	0,013	0,38	12,53	2,0	4,1
	1	4	571	3,39a	0,023	0,56	15,82	1,9	4,7
	1	5	782	3,46a	0,019	0,55	15,98	2,0	5,0
	1	6	393	3,16ab	0,019	0,39	12,30	2,1	4,3
	2	7	486	3,35a	0,034	0,75	22,40	1,2	5,6
	2	8	522	3,39a	0,030	0,68	20,08	1,7	5,2
	2	9	551	3,22a	0,027	0,64	19,90	1,6	5,1
	2	10	565	3,08ab	0,028	0,66	21,44	1,2	5,1
	1	11	617	3,11ab	0,017	0,44	14,20	1,6	4,5
	1	12	799	3,51a	0,017	0,49	14,06	2,1	4,9
	1	13	601	2,90ab	0,031	0,77	22,82	1,2	5,1
	1	14	825	2,78b	0,016	0,46	16,71	1,3	4,2
	2	15	448	3,04ab	0,025	0,53	17,08	1,6	4,6
	2	16	1273	3,12ab	0,018	0,65	20,92	1,4	5,0

Notas: Zona 1: Maior potencial produtivo, Zona 2: Menor potencial produtivo, toneladas por hectare (t ha⁻¹), Porcentagem (%), Coeficiente de variação (CV). Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Verificou-se que a média da ZM 2 foi 3,30 e 3,11 t ha⁻¹ de soja para 2016 e 2018, respectivamente. Nesta região houve uma produção maior com densidade de 18 plantas m⁻¹ (média 3,31 t ha⁻¹) enquanto a densidade de 15 plantas m⁻¹ apresentou produtividade de 3,30 t ha⁻¹ no primeiro ano de estudo; já no segundo ano de testes, com 15 plantas m⁻¹ (3,20 t ha⁻¹), produziu-se mais que com 12 plantas m⁻¹ (3,03 t ha⁻¹).

Abstrai-se da Tabela 1, que as parcelas com maiores produtividades para a soja foram as 12, 11 e 3 com 3,51 (17/18); 3,50 (15/16) e 3,48 (15/16) t ha⁻¹, respectivamente, seguidas das parcelas 1, 4, 8 e 13, com 3,45; 3,41, 3,41 e 3,40 t ha⁻¹ (relativas a 15/16). Observa-se que, das citadas, exceto a número 8, todos estão no grupo com a aplicação de 15 plantas m⁻¹, resultado que pode ser explicado para a safra 2015/2016 pelo relato de Ribeiro et al. (2017), que diz que a baixas densidades, as plantas de soja tendem a produzir mais ramos e, conseqüentemente, aumentar o número de vagens por planta e o número de grãos por vagem, havendo compensação do menor número de plantas por área, o que resultou em maior produção por indivíduo. No geral as menores produções médias foram observadas nas parcelas na ZM 2. O desvio padrão na safra de soja, nos anos em estudo, variou de 0,38 a 0,77 para a variável produtividade; o coeficiente de variação (CV) dos dados variou de 12,30% a 22,80%, esses médios valores de CV, também foram constatados por Santi et al. (2013) em produções de soja, milho e trigo.

Observou-se que não houve diferença estatística para o parâmetro zona de manejo, para os dois anos de estudo. O mesmo foi observado para a densidade de semeadura na safra 2015/2016, em que as médias não diferiram estatisticamente entre si. Em 2017/2018 houve algumas diferenças estatísticas de produções entre as parcelas, mas mantendo-se estatisticamente iguais entre as ZMs.

6.3.2 Mapas de produtividade

Os mapas de produtividade da cultura de soja construídos com os resultados obtidos com a aplicação das densidades de 15 e 18 plantas m⁻¹ (safra 2015/2016) podem ser visualizados nas Figuras 3a e 3b. Já nas Figuras 3d e 3e, tem-se os mapas construídos com os resultados obtidos com a aplicação de 12 e 15 plantas m⁻¹ (safra 2017/2018). Em ambos os casos se observa que a área foi dividida em cinco classes de cores para demonstrar as zonas de produtividade.

Na safra 2015/2016, constatou-se que com a aplicação de 18 plantas m⁻¹, 57,20% da área (8,9 ha) apresentou produtividade entre 3,1 e 3,8 t ha⁻¹. Na Figura 3b a produtividade de 3,1 a 3,8 t ha⁻¹ foi encontrada em 56,83% da área plantada. Os valores para maior e menor densidade de semeadura tiveram pequena variação; desta forma, é possível constatar no mapa da diferença da produtividade (Figura 3c), que 55% da área apresenta valores negativos, denotando-se maior produtividade quando foi usada a densidade de semeadura de 15 plantas m⁻¹; já a densidade maior de semeadura produziu mais em 45% da área. Ressalta-se que estes valores são válidos para a cultivar do estudo e utilizando-se o espaçamento de 0,70 m.

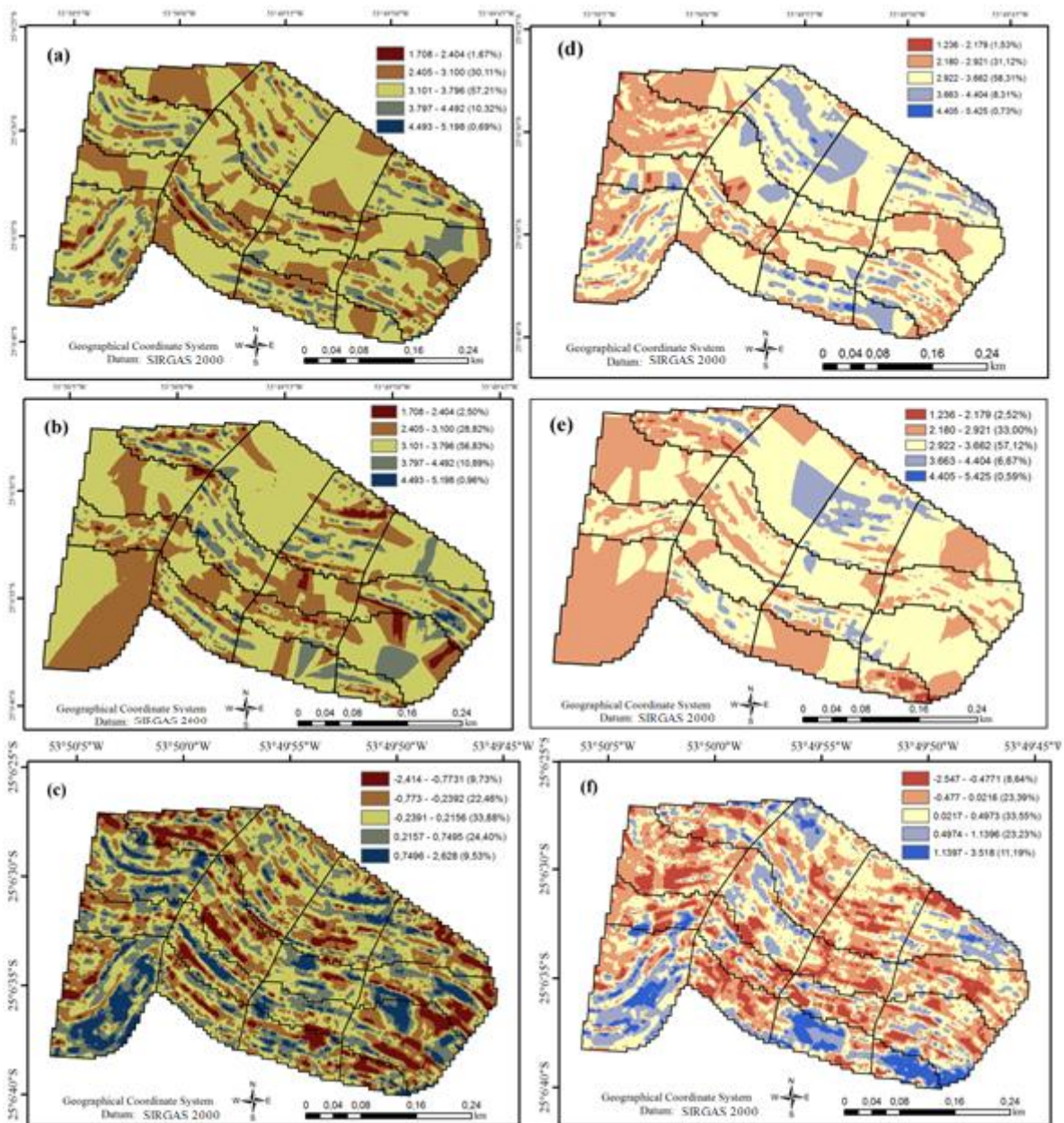


Figura 3 (a) Mapa de produtividade da soja feito somente com aplicação de 18 plantas m^{-2} na safra 2015/2016; (b) Mapa de produtividade da soja feito somente com resultados obtidos com a aplicação de 15 plantas m^{-2} na safra 2015/2016; (c) Mapa da diferença de produtividade da soja obtida com as duas densidades de semeadura safra 2015/2016; (d) Mapa de produtividade da soja feito somente com aplicação de 15 plantas m^{-2} na safra 2017/2018; (e) Mapa de produtividade da soja feito somente com resultados obtidos com a aplicação de 12 plantas m^{-2} na safra 2017/2018; (f) Mapa da diferença de produtividade da soja obtida com as duas densidades de semeadura safra 2017/2018.

Com a tabela de atributos, fornecida pelo programa, tem-se produção maior para a menor densidade de semeadura, com diferença aproximada de 0,31 toneladas para a área total. Resultado diferente foi encontrado por Cruz et al. (2016), os quais verificaram aumento da produtividade à medida que se aumentou a população de plantas, o que pode ser justificado por conta do espaçamento, do clima, da variedade ou de outro fator não identificado

nesse trabalho. Já Machado et al. (2018) observaram que as densidades de 16 e 12 plantas m^{-1} propiciaram melhores produtividades de grãos para os genótipos UFUS LVR e UFU 7.910, respectivamente. As densidades de 12 e 14 plantas m^{-1} possibilitaram maiores números de vagens e produtividade para a cultivar UFUS 8.301, com espaçamento de 0,50 m.

Em 2017/2018, com a aplicação da maior densidade de semeadura (15 plantas m^{-1}), ocorreu que 58,31% dos resultados estiveram dentro do intervalo de 2,9 a 3,7 $t ha^{-1}$ (Figura 3d), com média estimada em 3,22 $t ha^{-1}$, para a área total; já com 12 plantas m^{-1} , essa porcentagem para o mesmo intervalo foi de 57,12%, e produção média para esta densidade estimada em 3,08 $t ha^{-1}$.

O mapa da diferença entre as densidades de 15 e 12 plantas m^{-1} (Figura 3f) enfatiza uma diferença maior de produção entre as densidades de semeadura, quando comparado à safra 2015/2016. Cerca de 68% da área apresentou somente valores positivos, denotando-se maior produtividade quando foi usada a densidade de semeadura de 15 plantas m^{-1} , sendo caracterizada uma diferença aproximada de 2 toneladas para a área total.

6.3.3 Análise econômica

Como não houve diferença significativa entre as ZMs, estimando-se a semeadura a taxa constante em toda a área, tem-se para a soja, com a população de 171.200 plantas ha^{-1} seriam necessários 505 kg de soja com custo de R\$ 188,31 ha^{-1} , para 214.000 plantas ha^{-1} , seriam necessários 631 kg de soja com custo de R\$ 223,90 ha^{-1} (2015/2016) e R\$ 235,16 ha^{-1} (2017/2018), enquanto uma população de 257.000 plantas ha^{-1} necessitaria 758 kg de sementes de soja ao custo de R\$ 268,97 ha^{-1} .

A densidade de semeadura com sua respectiva média de produção, e o custo com sementes para a implantação das densidades de semeadura para soja são apresentados na Figura 4. Por meio deste gráfico (Figura 4a), é possível observar um decréscimo na produtividade com o aumento da densidade de sementes de soja na safra 2015/2016 (equivalente a um prejuízo de R\$ 20,00 ha^{-1}) e acréscimo de 12% na aquisição sementes para a implantação da população de 18 plantas m^{-1} em toda a área de plantio (R\$ 45,07 ha^{-1}). Já na Figura 4b, tem-se a comparação da aplicação de 12 e 15 plantas m^{-1} , o que gera um custo de R\$ 47,03 para a aplicação da maior densidade e ocasionou um incremento na receita final de R\$ 126,00 ha^{-1} , sendo nesta situação compensatório o aumento populacional.

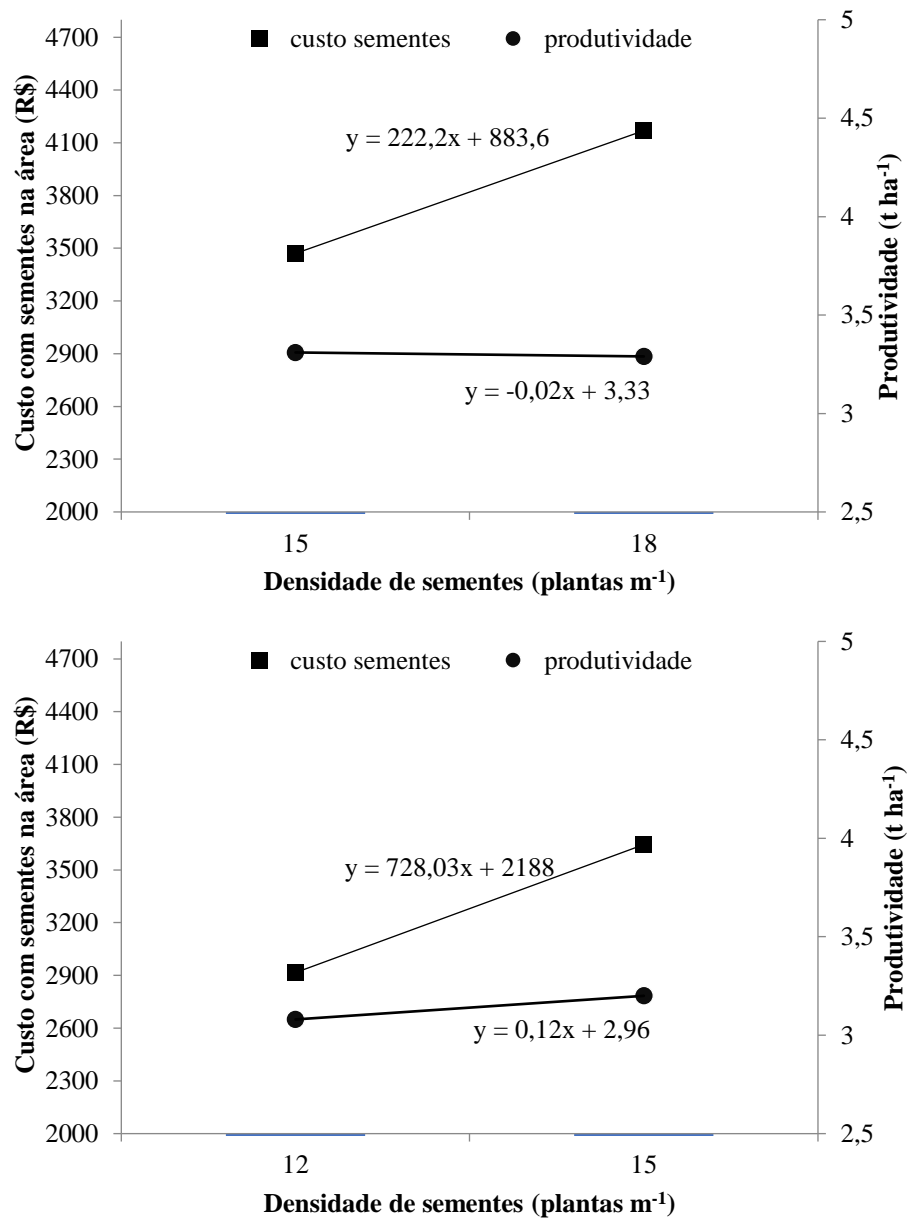


Figura 4 (a) Relação da produtividade de grãos de soja safra 2015/2016 e do custo com sementes com as duas densidades estudadas. (b) População de soja com produtividade de grãos e custos com sementes na safra 2017/2018.

6.4 Conclusões

A zona de manejo (ZM) com maior potencial produtivo apresentou resultados melhores, mas não expressivos no que diz respeito à produtividade, já que não houve diferença estatística entre as médias. As densidades de semeadura produziram diferenças de produções; para a soja com espaçamento entre linhas de 0,70 m, a densidade de 15 plantas m⁻¹ proporcionou as maiores produtividades; e, por meio da análise econômica,

confirma-se ser a utilização desta densidade em toda a área a melhor opção para maximizar o rendimento final.

6.5 Agradecimentos

Agradecimentos à Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), e ao engenheiro agrônomo Aldo Tasca, proprietário da área experimental.

6.6 Referências

BAZZI, C. L.; SOUZA, E.G.; KONOPATZKI, M.R.; NÓBREGA, L.H.P.; URIBE-OPAZO, M.A. Management zones applied to pear orchard. **International Journal of Food Agriculture and Environment**, v. 13, n. 1, p. 86-92, 2015.

BETZEK, N.M.; SOUZA, E.G.; BAZZI, C.L.; SOBJAK, R.; BIER, V.A.; MERCANTE, E. Interpolation methods for thematic maps of soybean yield and soil chemical attributes. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 38, n. 2, p. 1059-1070, 2017.

BIER, A.B.; SOUZA, E.G. Interpolation selection index for delineation of thematic maps. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 136, p. 202-209, 2017.

CRUZ, S. C. S.; JUNIOR, D. G. S.; SANTOS, D. M. A.; LUNEZZO, L. O.; MACHADO, C. G. Cultivo de soja sob diferentes densidades de semeadura e arranjos espaciais. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 3, n. 1, p.1-6, 2016.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação do solo**. Rio de Janeiro: CNPSO, 2006. 412p.

EMBRAPA SOJA. **Soja**. 2016. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1>>. Acesso em: 04 set. 2017.

EMBRAPA SOJA. **Soja em números (safra 2017/2018)**. 2018. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>>. Acesso em: 12 jun. 2018.

GAVIOLI A.; SOUZA, E. G.; BAZZI, C. L.; GUEDES, L. P. C.; CHENATTO, K. Optimization of management zone delineation by using spatial principal components. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 127, p. 302-310, 2016.

GULLUOGLU, L.; BAKAL, H.; SABAGH, A. E.; ARIOGLU, H. Effect of plant density on the yield and agronomical traits of Soybean crops in main cropped soybean production. **Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences**, v. 5, n. 1, p. 31-17, 2017.

LICHT, M. A.; LENSSEN, A. W.; ELMORE, R. W. Corn (*Zea mays* L.) seeding rate optimization in Iowa, USA. **Precision Agriculture**, v. 18, n. 4, p. 452-469, 2017.

LUDWIG, M.P.; DUTRA, L.M.C.; LUCCA FILHO, O.A.; ZABOT, L.; JAUER, A.; UHRY, D. Populações de plantas na cultura da soja em cultivares convencionais e Roundup Ready. **Revista Ceres**, v. 58, n. 3, p. 305-313, 2011.

MACHADO, B.Q.V.; NOGUEIRA, A.P.O.; REZENDE, G.F.; COELHO, F.G.T.; BERNARDES, F.C.; HAMAWAKI, R.L. Agronomic performance of soybean genotypes submitted to different population densities in the city of Uberlândia – MG. **Científica**, v. 46, n. 3, p. 264-273, 2018.

MICHELAN, R.; SOUZA, E. G.; URIBE-OPAZO, M. A. Determinação e remoção do tempo de atraso em mapas de colheita de milho. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 29, n. 2, p. 147-155, 2007.

MILANI, L.; SOUZA, E.G.; URIBE-OPAZO, M.A.; JOHANN, J.A.; PEREIRA, J.O. Unidades de manejo a partir de dados de produtividade. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 28, n. 4, p.591-598, 2006.

PIRES J.F.L.; COSTA, J.A.; THOMAS, A.L.; MAEHLER, A.R. Efeito de populações e espaçamentos sobre o potencial de rendimento da soja durante a ontogenia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 8, p. 1541-1547, 2000.

PETTER, F.A.; SILVA, J.D.; ZUFFO, A.M.; ANDRADE, F.R.; PACHECO, L.P.; ALMEIDA, F.D. Elevada densidade de semeadura aumenta a produtividade da soja? Respostas da radiação fotossinteticamente ativa. **Bragantia**, v. 75, n. 2, p. 173-183, 2016.

PROCÓPIO, S.O.; BALBINOT JUNIOR, A.A.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J.C.; PANISON, F. Semeadura em fileira dupla e espaçamento reduzido na cultura da soja. **Revista Agroambiente On-line**, v. 8, n. 2, p. 212-221, 2014.

RAMBO, L.; COSTAS, J.A.; PIRES, J.L.F.; PARCIANELLO, G.; FERREIRA, F.G. Rendimento de grãos da soja em função do arranjo de plantas. **Ciência Rural**, v. 33, n. 3, p. 405-411, 2003.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2013.

RIBEIRO, A.B.M.; BRUZI, A.T.; ZUFFO, A.M.; ZAMBIAZZI, E.V.; SOARES, I.O.; VILELA, N.J.D.; MOREIRA, S.G. Productive performance of soybean cultivars grown in different plant densities. **Ciência Rural**, v. 47, n. 7, p.1-8, 2017.

SANGOI, L.; GRACIETTI, M.A.; RAMPAZZO, C.; BIANCHETTI, P. Response of Brazilian maize hybrids from different eras to change in plant population. **Field Crops Research**, v. 79, n. 1, p. 39-51, 2002.

SANTI, A.L.; AMADO, T.J.; EITELWEIN, M.T.; CHERUBIN, M.R.; SILVA, R.F.; ROS, C.O. Definição de zonas de produtividade em áreas manejadas com agricultura de precisão. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 3, p. 510-515, 2013.

SCHENATTO, K.; SOUZA, E.G.; BAZZI, C.L.; BIER, V.A.; BETZEK, N.M.; GAVIOLI, A. Data Interpolation in the definition of management zones. **Acta Scientiarum Technology**, v. 38, n. 1, p. 31-40, 2016.

TOURINO, M.C.C.; REZENDE, P.M.; SALVADOR, N. Espaçamento, densidade e uniformidade de semeadura na produtividade e características agrônômicas da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 8, p. 1071-1077, 2002.

WALKER, E.R.; MENGISTU, A.; BELLALLOUI, N.; KOGER, C.H.; ROBERTS, R.K.; LARSON, J.A. Plant population and row-spacing effects on maturity group III soybean. **Agronomy Journal**, v. 102, n. 3, p. 821-826, 2010.

WORKU, M.; ASTATKIE, T. Row and plant spacing effects on yield and yield components of soya bean varieties under hot humid tropical environment of Ethiopia. **Journal of Agronomy & Crop Science**, v. 197, n. 2, p. 67-74, 2011.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos no presente estudo é possível apresentar as principais contribuições:

As matrizes de correlação espacial entre as variáveis e a produtividade obtidas adicionando-se conjuntos de produtividade conforme disponibilidade, possibilitaram observar que, apesar da produtividade não apresentar autocorrelação espacial em alguns casos, este fato não influenciou para a seleção das variáveis, pois, em todos os casos, variáveis estáveis correlacionaram-se espacialmente com o atributo produtividade. No processo de seleção de variáveis para serem utilizadas no delineamento de ZMs, as variáveis altitude e RSP foram as que mais influenciaram a produtividade e foram as mais citadas como selecionadas para gerar as ZMs em ambas as áreas. Verificou-se também que com um número menor de *layers* de produtividade, tem-se maior correlação entre esta variável e os atributos de solo e relevo. O método de normalização que apresentou os melhores resultados de VR e ANOVA foi o da Amplitude, e o da Média apresentou a maior redução do CV para todos os conjuntos de dados. A técnica de definição de zonas de manejo proporcionou obter bons resultados para a divisão de ambas as áreas estudadas, o que foi demonstrado pelos valores dos índices de avaliação de ZMs.

A semeadura à taxa variada em parcelas nas zonas de maior e menor potenciais produtivos demonstrou que a ZM com maior potencial produtivo apresentou resultados melhores, mas não expressivos no que diz respeito à produtividade, já que não houve diferença estatística entre as médias. As densidades de semeadura produziram diferenças de produções, as densidades de 18 e 12 plantas m^{-1} , reduziram a produtividade quando comparadas à densidade intermediária (15 plantas m^{-1}); para a soja com espaçamento entre linhas de 0,70 m, a densidade de 15 plantas m^{-1} proporcionou as maiores produtividades, e por meio da análise econômica, confirma-se ser a utilização desta densidade em toda a área a melhor opção para maximizar o rendimento final.

Como trabalhos futuros sugere-se repetir o experimento do Artigo 1 com outras áreas experimentais e, se possível, com mais anos de produtividade, haja vista que se trata de uma informação extremamente importante para o processo de geração de ZMs. Estudos futuros irão identificar o que ocorrerá com o milho com a semeadura à taxa variada, observando-se que já se possuem dados relativos à safra 2016/2017, sendo necessário se repetir pelo menos mais uma vez esta situação.

APÊNDICES

APÊNDICE A – MATRIZES DE CORRELAÇÕES DA PRODUTIVIDADE ORIGINAL E NORMALIZADA COM VARIÁVEIS CONSIDERADAS NO PROCESSO DE SELEÇÃO PARA DELINEAMENTO DE ZMs – ÁREA A

P1	0,012															
ALTITUDE	0,053*	0,176*														
AREIA	0,024	-0,007	0,006													
ARGILA	-0,017	-0,024	-0,003	0,008												
DECL.	-0,006	-0,045	0,027	-0,001	-0,009											
DS	-0,008	-0,072*	0,032	0,007	0,034*	0,025										
MACRO	0,035*	0,077*	0,01	-0,037*	-0,016	-0,019	0,022									
MO	-0,006	-0,075*	0,055*	-0,029	0,037	0,059*	-0,027	0,060*								
MICRO	-0,022	0,019	-0,050*	0,025	-0,028	-0,014	0,004	-0,044*	0,013							
PH	0	-0,031	-0,036	0,044*	0,022	0,02	0,009	-0,03	-0,033	-0,015						
PT	0,008	0,072*	-0,032	-0,007	-0,034*	-0,025	0,02	-0,056*	0,013	-0,018	0,025					
RSP0-10	-0,057*	-0,079*	-0,047*	0,044*	-0,017	0,001	-0,043*	-0,01	0,038	0,018	-0,001	0,048*				
RSP0-20	-0,057*	-0,052*	-0,051*	0,044*	-0,040*	-0,014	-0,035*	-0,021	0,049*	0,01	0,014	0,042	0,031			
RSP10-20	-0,043*	-0,011	-0,043*	0,034	-0,054*	-0,026	-0,017	-0,027	0,049*	-0,001	0,026	0,024	0,013	-0,001		
RSP20-30	-0,045*	-0,012	-0,061*	0,044*	-0,068*	-0,029	-0,032*	-0,037	0,066*	-0,009	0,029	0,053*	0,045*	0,025	0,041	
SILTE	0,005	0,045*	-0,001	-0,01	-0,023	-0,041*	0,051*	0	0,004	-0,040*	0,041*	-0,031	-0,026	-0,016	-0,014	0,016
	P1	ALTITUDE	AREIA	ARGILA	DECL.	DS	MACRO	MO	MICRO	PH	PT	RSP0-10	RSP0-20	RSP10-20	RSP20-30	SILTE

P2 - A	-0,012														
ALTITUDE	0,064*	0,176*													
AREIA	0,017	-0,007	0,006												
ARGILA	-0,026	-0,024	-0,003	0,008											
DECL.	-0,009	-0,045	0,027	-0,001	-0,009										
MACRO	0,042*	0,077*	0,01	-0,037*	-0,016	0,022									
MO	-0,016	-0,075*	0,055*	-0,029	0,037	-0,027	0,060*								
MICRO	0,02	0,019	-0,050*	0,025	-0,028	0,004	-0,044*	0,013							
PH	-0,009	-0,031	-0,036	0,044*	0,022	0,009	-0,03	-0,033	-0,015						
PT	0,047*	0,072*	-0,032	-0,007	-0,034*	0,02	-0,056*	0,013	-0,018	0,025					
RSP0-10	-0,041*	-0,079*	-0,047*	0,044*	-0,017	-0,043*	-0,01	0,038	0,018	-0,001	0,048*				
RSP0-20	-0,032*	-0,052*	-0,051*	0,044*	-0,040*	-0,035*	-0,021	0,049*	0,01	0,014	0,042*	0,031			
RSP10-20	-0,015	-0,011	-0,043*	0,034	-0,054*	-0,017	-0,027	0,049*	-0,001	0,026	0,024	0,013	-0,001		
RSP20-30	-0,026	-0,012	-0,061*	0,044*	-0,068*	-0,032*	-0,037*	0,066*	-0,009	0,029	0,053*	0,045*	0,025	0,041	
SILTE	0,026	0,045*	-0,001	-0,01	-0,023	0,051*	0	0,004	-0,040*	0,041*	-0,031	-0,026	-0,016	-0,014	0,016
	P2 - A	ALTITUDE	AREIA	ARGILA	DECL.	MACRO	MO	MICRO	PH	PT	RSP0-10	RSP0-20	RSP10-20	RSP20-30	SILTE

P3 - A	-0,011														
ALTITUDE	0,049*	0,176*													
AREIA	0,019	-0,007	0,006												
ARGILA	-0,024	-0,024	-0,003	0,008											
DECL.	0	-0,045	0,027	-0,001	-0,009										
MACRO	0,035*	0,077*	0,01	-0,037*	-0,016	0,022									
MO	-0,006	-0,075*	0,055*	-0,029	0,037	-0,027	0,060*								
MICRO	-0,003	0,019	-0,050*	0,025	-0,028	0,004	-0,044*	0,013							
PH	-0,021	-0,031	-0,036	0,044*	0,022	0,009	-0,03	-0,033	-0,015						
PT	0,023	0,072*	-0,032	-0,007	-0,034*	0,02	-0,056*	0,013	-0,018	0,025					
RSP0-10	-0,038	-0,079*	-0,047*	0,044*	-0,017	-0,043*	-0,01	0,038	0,018	-0,001	0,048*				
RSP0-20	-0,032	-0,052*	-0,051*	0,044*	-0,040*	-0,035*	-0,021	0,049*	0,01	0,014	0,042*	0,031			
RSP10-20	-0,019	-0,011	-0,043*	0,034	-0,054*	-0,017	-0,027	0,049*	-0,001	0,026	0,024	0,013	-0,001		
RSP20-30	-0,039*	-0,012	-0,061*	0,044*	-0,068*	-0,032*	-0,037	0,066*	-0,009	0,029	0,053*	0,045*	0,025	0,041*	
SILTE	0,023	0,045*	-0,001	-0,01	-0,023	0,051*	0	0,004	-0,040*	0,041*	-0,031	-0,026	-0,016	-0,014	0,016
	P3 - A	ALTITUDE	AREIA	ARGILA	DECL.	MACRO	MO	MICRO	PH	PT	RSP0-10	RSP0-20	RSP10-20	RSP20-30	SILTE

P4 - A	-0,008														
ALTITUDE	0,038	0,176*													
AREIA	0,021	-0,007	0,006												
ARGILA	-0,033*	-0,024	-0,003	0,008											
DECL.	-0,011	-0,045	0,027	-0,001	-0,009										
MACRO	0,022	0,077*	0,01	-0,037*	-0,016	0,022									
MO	0,005	-0,075*	0,055*	-0,029	0,037	-0,027	0,060*								
MICRO	0,003	0,019	-0,050*	0,025	-0,028	0,004	-0,044*	0,013							
PH	-0,034*	-0,031	-0,036	0,044*	0,022	0,009	-0,03	-0,033	-0,015						
PT	0,019	0,072*	-0,032	-0,007	-0,034*	0,02	-0,056*	0,013	-0,018	0,025					
RSP0-10	-0,022	-0,079*	-0,047*	0,044*	-0,017	-0,043*	-0,01	0,038	0,018	-0,001	0,048*				
RSP0-20	-0,019	-0,052*	-0,051*	0,044*	-0,040*	-0,035*	-0,021	0,049*	0,01	0,014	0,042*	0,031			
RSP10-20	-0,012	-0,011	-0,043*	0,034	-0,054*	-0,017	-0,027	0,049*	-0,001	0,026	0,024	0,013	-0,001		
RSP20-30	-0,026	-0,012	-0,061*	0,044*	-0,068*	-0,032*	-0,037	0,066*	-0,009	0,029	0,053*	0,045*	0,025	0,041	
SILTE	0,034*	0,045*	-0,001	-0,01	-0,023	0,051*	0	0,004	-0,040*	0,041*	-0,031	-0,026	-0,016	-0,014	0,016
	P4 - A	ALTITUDE	AREIA	ARGILA	DECL.	MACRO	MO	MICRO	PH	PT	RSP0-10	RSP0-20	RSP10-20	RSP20-30	SILTE

P4 - A	0,265*														
ALTITUDE	-0,101*	0,372*													
AREIA	-0,100*	0,148*	0,102*												
ARGILA	0,021	-0,153*	-0,065*	0,048*											
MACRO	0,037	-0,049	-0,023	0,004	-0,009										
MICRO	0,033*	-0,01	-0,006	0,007	0	-0,002									
MO	0,097*	0,186*	0,059*	-0,095*	-0,025	0,033*	0,210*								
PH	-0,025	0,059*	0,039*	-0,028*	0,008	-0,015	0,018	-0,001							
PT	0,063*	-0,055*	-0,027	0,01	-0,009	-0,004	0	-0,004	-0,011						
RSP0-10	-0,130*	-0,007	0,031	0,018	-0,019	-0,017	-0,088*	0,008	-0,032*	0,043*					
RSP10-20	-0,055*	-0,066*	-0,005	0,03	-0,003	0,016	-0,051	-0,003	0,01	0,033*	0,038*				
RSP20-30	0,022	-0,008	-0,013	0,001	-0,008	0,029*	0,04	-0,002	0,017	-0,015	0,008	0,015			
RSP30-40	-0,014	-0,023	-0,012	0,023	-0,022*	0,013	-0,012	-0,01	-0,01	0,008	0,022	0,005	-0,005		
SILTE	0,01	0,118*	0,036*	-0,032*	0,004	-0,008	0,084*	0,020*	-0,003	-0,033*	-0,034*	-0,001	-0,023*	0,025	
	P4 -	ALTITUDE	AREIA	ARGILA	MACRO	MICRO	MO	PH	PT	RSP0-10	RSP10-20	RSP20-30	RSP30-40	SILTE	
P5 - A	0,250*														
ALTITUDE	-0,023	0,372*													
AREIA	-0,081*	0,148*	0,102*												
ARGILA	-0,004	-0,153*	-0,065*	0,048*											
MACRO	0,028	-0,049	-0,023	0,004	-0,009										
MICRO	0,023	-0,01	-0,006	0,007	0	-0,002									
MO	0,124*	0,186*	0,059*	-0,095*	-0,025	0,033*	0,210*								
PH	-0,012	0,059*	0,039*	-0,028*	0,008	-0,015	0,018	-0,001							
PT	0,046*	-0,055	-0,027	0,01	-0,009	-0,004	0	-0,004	-0,011						
RSP0-10	-0,132*	-0,007	0,031	0,018	-0,019	-0,017	-0,088*	0,008	-0,032*	0,043*					
RSP10-20	-0,079*	-0,066*	-0,005	0,030*	-0,003	0,016	-0,051	-0,003	0,01	0,033*	0,038*				
RSP20-30	0,017	-0,008	-0,013	0,001	-0,008	0,029*	0,04	-0,002	0,017	-0,015	0,008	0,015			
RSP30-40	-0,014	-0,023	-0,012	0,023	-0,022*	0,013	-0,012	-0,01	-0,01	0,008	0,022	0,005	-0,005		
SILTE	0,032	0,118*	0,036*	-0,032*	0,004	-0,008	0,084*	0,020*	-0,003	-0,033*	-0,034*	-0,001	-0,023*	0,025	
	P5 - A	ALTITUDE	AREIA	ARGILA	MACRO	MICRO	MO	PH	PT	RSP0-10	RSP10-20	RSP20-30	RSP30-40	SILTE	
P2 - D	0,304*														
ALTITUDE	-0,149*	0,372*													
AREIA	-0,117*	0,148*	0,102*												
ARGILA	0,04	-0,153*	-0,065*	0,048*											
MACRO	0,041*	-0,049	-0,023	0,004	-0,009										
MICRO	0,037*	-0,01	-0,006	0,007	0	-0,002									
MO	0,076*	0,186*	0,059*	-0,095*	-0,025	0,033*	0,210*								
PH	-0,033	0,059*	0,039*	-0,028*	0,008	-0,015	0,018	-0,001							
PT	0,071*	-0,055*	-0,027	0,01	-0,009	-0,004	0	-0,004	-0,011						
RSP0-10	-0,133*	-0,007	0,031*	0,018	-0,019	-0,017	-0,088*	0,008	-0,032*	0,043*					
RSP10-20	-0,049*	-0,066*	-0,005	0,030*	-0,003	0,016	-0,051	-0,003	0,01	0,033*	0,038*				
RSP20-30	0,024	-0,008	-0,013	0,001	-0,008	0,029*	0,04	-0,002	0,017	-0,015	0,008	0,015			
RSP30-40	-0,01	-0,023	-0,012	0,023	-0,022*	0,013	-0,012	-0,01	-0,01	0,008	0,022	0,005	-0,005		
SILTE	-0,005	0,118*	0,036*	-0,032*	0,004	-0,008	0,084*	0,020*	-0,003	-0,033*	-0,034*	-0,001	-0,023*	0,025	
	P2 - D	ALTITUDE	AREIA	ARGILA	MACRO	MICRO	MO	PH	PT	RSP0-10	RSP10-20	RSP20-30	RSP30-40	SILTE	
P3 - D	0,270*														
ALTITUDE	-0,032*	0,372*													
AREIA	-0,078*	0,148*	0,102*												
ARGILA	-0,011	-0,153*	-0,065*	0,048*											
MACRO	0,034	-0,049	-0,023	0,004	-0,009										
MICRO	0,029	-0,01	-0,006	0,007	0	-0,002									
MO	0,130*	0,186*	0,059*	-0,095*	-0,025	0,033*	0,210*								
PH	-0,009	0,059*	0,039*	-0,028*	0,008	-0,015	0,018	-0,001							
PT	0,056*	-0,055	-0,027	0,01	-0,009	-0,004	0	-0,004	-0,011						
RSP0-10	-0,142*	-0,007	0,031	0,018	-0,019	-0,017	-0,088*	0,008	-0,032*	0,043*					
RSP10-20	-0,077*	-0,066*	-0,005	0,030*	-0,003	0,016	-0,051*	-0,003	0,01	0,033*	0,038*				
RSP20-30	0,017	-0,008	-0,013	0,001	-0,008	0,029*	0,04	-0,002	0,017	-0,015	0,008	0,015			
RSP30-40	-0,025	-0,023	-0,012	0,023	-0,022*	0,013	-0,012	-0,01	-0,01	0,008	0,022	0,005	-0,005		
SILTE	0,038	0,118*	0,036*	-0,032*	0,004	-0,008	0,084*	0,020*	-0,003	-0,033*	-0,034*	-0,001	-0,023*	0,025*	
	P3 - D	ALTITUDE	AREIA	ARGILA	MACRO	MICRO	MO	PH	PT	RSP0-10	RSP10-20	RSP20-30	RSP30-40	SILTE	

P4 - D	0,187*														
ALTITUDE	-0,065*	0,372*													
AREIA	-0,081*	0,148*	0,102*												
ARGILA	0,009	-0,153*	-0,065*	0,048*											
MACRO	0,03	-0,049	-0,023	0,004	-0,009										
MICRO	0,026	-0,01	-0,006	0,007	0	-0,002									
MO	0,093*	0,186*	0,059*	-0,095*	-0,025	0,033*	0,210*								
PH	-0,018	0,059*	0,039*	-0,028	0,008	-0,015	0,018	-0,001							
PT	0,051*	-0,055	-0,027	0,01	-0,009	-0,004	0	-0,004	-0,011						
RSP0-10	-0,111*	-0,007	0,031*	0,018	-0,019	-0,017	-0,088*	0,008	-0,032*	0,043*					
RSP10-20	-0,051*	-0,066*	-0,005	0,030*	-0,003	0,016	-0,051	-0,003	0,01	0,033*	0,038*				
RSP20-30	0,017	-0,008	-0,013	0,001	-0,008	0,029*	0,04	-0,002	0,017	-0,015	0,008	0,015			
RSP30-40	-0,014	-0,023	-0,012	0,023	-0,022*	0,013	-0,012	-0,01	-0,01	0,008	0,022	0,005	-0,005		
SILTE	0,016	0,118*	0,036*	-0,032*	0,004	-0,008	0,084*	0,020*	-0,003	-0,033*	-0,034*	-0,001	-0,023*	0,025*	
P4 - D	ALTITUDE	AREIA	ARGILA	MACRO	MICRO	MO	PH	PT	RSP0-10	RSP10-20	RSP20-30	RSP30-40	SILTE		
P5 - D	0,159*														
ALTITUDE	0,013	0,372*													
AREIA	-0,058*	0,148*	0,102*												
ARGILA	-0,016	-0,153*	-0,065*	0,048*											
MACRO	0,02	-0,049	-0,023	0,004	-0,009										
MICRO	0,015	-0,01	-0,006	0,007	0	-0,002									
MO	0,113*	0,186*	0,059*	-0,095*	-0,025	0,033*	0,210*								
PH	-0,005	0,059*	0,039*	-0,028*	0,008	-0,015	0,018	-0,001							
PT	0,032	-0,055	-0,027	0,01	-0,009	-0,004	0	-0,004	-0,011						
RSP0-10	-0,105*	-0,007	0,031	0,018	-0,019	-0,017	-0,088*	0,008	-0,032*	0,043*					
RSP10-20	-0,069*	-0,066*	-0,005	0,03	-0,003	0,016	-0,051	-0,003	0,01	0,033*	0,038*				
RSP20-30	0,012	-0,008	-0,013	0,001	-0,008	0,029*	0,04	-0,002	0,017	-0,015	0,008	0,015			
RSP30-40	-0,013	-0,023	-0,012	0,023	-0,022*	0,013	-0,012	-0,01	-0,01	0,008	0,022	0,005	-0,005		
SILTE	0,036*	0,118*	0,036*	-0,032*	0,004	-0,008	0,084*	0,020*	-0,003	-0,033*	-0,034*	-0,001	-0,023*	0,025	
P5 - D	ALTITUDE	AREIA	ARGILA	MACRO	MICRO	MO	PH	PT	RSP0-10	RSP10-20	RSP20-30	RSP30-40	SILTE		
P2 - M	0,305*														
ALTITUDE	-0,141*	0,372*													
AREIA	-0,113*	0,148*	0,102*												
ARGILA	0,037	-0,153*	-0,065*	0,048*											
MACRO	0,04	-0,049	-0,023	0,004	-0,009										
MICRO	0,039*	-0,01	-0,006	0,007	0	-0,002									
MO	0,084*	0,186*	0,059*	-0,095*	-0,025	0,033*	0,210*								
PH	-0,032	0,059*	0,039*	-0,028*	0,008	-0,015	0,018	-0,001							
PT	0,071*	-0,055	-0,027	0,01	-0,009	-0,004	0	-0,004	-0,011						
RSP0-10	-0,135*	-0,007	0,031	0,018	-0,019	-0,017	-0,088*	0,008	-0,032*	0,043*					
RSP10-20	-0,051*	-0,066*	-0,005	0,030*	-0,003	0,016	-0,051	-0,003	0,01	0,033*	0,038*				
RSP20-30	0,025	-0,008	-0,013	0,001	-0,008	0,029*	0,04	-0,002	0,017	-0,015	0,008	0,015			
RSP30-40	-0,011	-0,023	-0,012	0,023	-0,022*	0,013	-0,012	-0,01	-0,01	0,008	0,022	0,005	-0,005		
SILTE	-0,002	0,118*	0,036*	-0,032*	0,004	-0,008	0,084*	0,020*	-0,003	-0,033*	-0,034*	-0,001	-0,023*	0,025	
P2 - M	ALTITUDE	AREIA	ARGILA	MACRO	MICRO	MO	PH	PT	RSP0-10	RSP10-20	RSP20-30	RSP30-40	SILTE		
P3 - M	0,266*														
ALTITUDE	-0,009	0,372*													
AREIA	-0,069*	0,148*	0,102*												
ARGILA	-0,021	-0,153*	-0,065*	0,048*											
MACRO	0,031	-0,049	-0,023	0,004	-0,009										
MICRO	0,028	-0,01	-0,006	0,007	0	-0,002									
MO	0,141*	0,186*	0,059*	-0,095*	-0,025	0,033*	0,210*								
PH	-0,005	0,059*	0,039*	-0,028*	0,008	-0,015	0,018	-0,001							
PT	0,053*	-0,055	-0,027	0,01	-0,009	-0,004	0	-0,004	-0,011						
RSP0-10	-0,142*	-0,007	0,031*	0,018	-0,019	-0,017	-0,088*	0,008	-0,032*	0,043*					
RSP10-20	-0,081*	-0,066*	-0,005	0,030*	-0,003	0,016	-0,051*	-0,003	0,01	0,033*	0,038*				
RSP20-30	0,016	-0,008	-0,013	0,001	-0,008	0,029*	0,04	-0,002	0,017	-0,015	0,008	0,015			
RSP30-40	-0,027	-0,023	-0,012	0,023	-0,022*	0,013	-0,012	-0,01	-0,01	0,008	0,022	0,005	-0,005		
SILTE	0,046*	0,118*	0,036*	-0,032*	0,004	-0,008	0,084*	0,020*	-0,003	-0,033*	-0,034*	-0,001	-0,023*	0,025*	
P3 - M	ALTITUDE	AREIA	ARGILA	MACRO	MICRO	MO	PH	PT	RSP0-10	RSP10-20	RSP20-30	RSP30-40	SILTE		

P4 - M	0,208*														
ALTITUDE	-0,039*	0,372*													
AREIA	-0,074*	0,148*	0,102*												
ARGILA	-0,004	-0,153*	-0,065*	0,048*											
MACRO	0,03	-0,049	-0,023	0,004	-0,009										
MICRO	0,026	-0,01	-0,006	0,007	0	-0,002									
MO	0,114*	0,186*	0,059*	-0,095*	-0,025	0,033*	0,210*								
PH	-0,013	0,059*	0,039*	-0,028*	0,008	-0,015	0,018	-0,001							
PT	0,050*	-0,055	-0,027	0,01	-0,009	-0,004	0	-0,004	-0,011						
RSP0-10	-0,121*	-0,007	0,031	0,018	-0,019	-0,017	-0,088*	0,008	-0,032*	0,043*					
RSP10-20	-0,062*	-0,066*	-0,005	0,030*	-0,003	0,016	-0,051	-0,003	0,01	0,033*	0,038*				
RSP20-30	0,017	-0,008	-0,013	0,001	-0,008	0,029*	0,04	-0,002	0,017	-0,015	0,008	0,015			
RSP30-40	-0,018	-0,023	-0,012	0,023	-0,022*	0,013	-0,012	-0,01	-0,01	0,008	0,022	0,005	-0,005		
SILTE	0,029	0,118*	0,036*	-0,032*	0,004	-0,008	0,084*	0,020*	-0,003	-0,033*	-0,034*	-0,001	-0,023*	0,025	
	P4 - M	ALTITUDE	AREIA	ARGILA	MACRO	MICRO	MO	PH	PT	RSP0-10	RSP10-20	RSP20-30	RSP30-40	SILTE	
P5 - M	0,197*														
ALTITUDE	0,009	0,372*													
AREIA	-0,061*	0,148*	0,102*												
ARGILA	-0,02	-0,153*	-0,065*	0,048*											
MACRO	0,024	-0,049	-0,023	0,004	-0,009										
MICRO	0,02	-0,01	-0,006	0,007	0	-0,002									
MO	0,128*	0,186*	0,059*	-0,095*	-0,025	0,033*	0,210*								
PH	-0,005	0,059*	0,039*	-0,028*	0,008	-0,015	0,018	-0,001							
PT	0,039	-0,055	-0,027	0,01	-0,009	-0,004	0	-0,004	-0,011						
RSP0-10	-0,120*	-0,007	0,031	0,018	-0,019	-0,017	-0,088*	0,008	-0,032*	0,043*					
RSP10-20	-0,074*	-0,066*	-0,005	0,030*	-0,003	0,016	-0,051	-0,003	0,01	0,033*	0,038*				
RSP20-30	0,014	-0,008	-0,013	0,001	-0,008	0,029*	0,04	-0,002	0,017	-0,015	0,008	0,015			
RSP30-40	-0,018	-0,023	-0,012	0,023	-0,022*	0,013	-0,012	-0,01	-0,01	0,008	0,022	0,005	-0,005		
SILTE	0,041*	0,118*	0,036*	-0,032*	0,004	-0,008	0,084*	0,020*	-0,003	-0,033*	-0,034*	-0,001	-0,023*	0,025	
	P5 - M	ALTITUDE	AREIA	ARGILA	MACRO	MICRO	MO	PH	PT	RSP0-10	RSP10-20	RSP20-30	RSP30-40	SILTE	
SOJA2014	0,338*														
ALTITUDE	-0,021	0,372*													
AREIA	-0,068*	0,145*	0,105*												
ARGILA	-0,016	-0,153*	-0,062*	0,048*											
DS	-0,063*	0,055*	0,028	-0,01											
MACRO	0,02	-0,049	-0,024	0,004	-0,009										
MO	0,182*	0,186*	0,054*	-0,095*	-0,025	0,210*									
MICRO	0,052*	-0,01	-0,007	0,007	0	0,038*	-0,002								
PH	-0,018	0,059*	0,039*	-0,028	0,008	0,018	-0,015	-0,001							
PT	0,063*	-0,055	-0,028	0,01	-0,009	0	-0,004	-0,004	-0,011						
RSP0-10	-0,158*	-0,007	0,035*	0,018	-0,019	-0,088*	-0,017	0,008	-0,032*	0,043*					
RSP10-20	-0,076*	-0,066*	-0,004	0,030*	-0,003	-0,051	0,016	-0,003	0,01	0,033*	0,038*				
RSP20-30	0,036	-0,008	-0,016	0,001	-0,008	0,04	0,029*	-0,002	0,017	-0,015	0,008	0,015			
RSP30-40	-0,014	-0,023	-0,012	0,023	-0,022*	-0,012	0,013	-0,01	-0,01	0,008	0,022	0,005	-0,005		
SILTE	0,04	0,118*	0,032*	-0,032*	0,004	0,084*	-0,008	0,020*	-0,003	-0,033*	-0,034*	-0,001	-0,023*	0,025	
	SOJA2014	ALTITUDE	AREIA	ARGILA	MACRO	MO	MICRO	PH	PT	RSP0-10	RSP10-20	RSP20-30	RSP30-40	SILTE	
SOJA2015	0,183*														
ALTITUDE	0,168*	0,372*													
AREIA	0,015	0,145*	0,105*												
ARGILA	-0,086*	-0,153*	-0,062*	0,048*											
MACRO	0,005	-0,049	-0,024	0,004	-0,009										
MO	0,154*	0,186*	0,054*	-0,095*	-0,025	0,210*									
MICRO	0,001	-0,01	-0,007	0,007	0	0,038	-0,002								
PH	0,032	0,059*	0,039*	-0,028*	0,008	0,018	-0,015	-0,001							
PT	0,006	-0,055	-0,028	0,01	-0,009	0	-0,004	-0,004	-0,011						
RSP0-10	-0,089*	-0,007	0,035*	0,018	-0,019	-0,088*	-0,017	0,008	-0,032*	0,043*					
RSP10-20	-0,086*	-0,066*	-0,004	0,030*	-0,003	-0,051	0,016	-0,003	0,01	0,033*	0,038*				
RSP20-30	-0,003	-0,008	-0,016	0,001	-0,008	0,04	0,029*	-0,002	0,017	-0,015	0,008	0,015			
RSP30-40	-0,036	-0,023	-0,012	0,023	-0,022*	-0,012	0,013	-0,01	-0,01	0,008	0,022	0,005	-0,005		
SILTE	0,089*	0,118*	0,032*	-0,032*	0,004	0,084*	-0,008	0,020*	-0,003	-0,033*	-0,034*	-0,001	-0,023*	0,025*	
	SOJA2015	ALTITUDE	AREIA	ARGILA	MACRO	MO	MICRO	PH	PT	RSP0-10	RSP10-20	RSP20-30	RSP30-40	SILTE	

SOJA2016	-0,001																	
ALTITUDE	-0,061*	0,372*																
AREIA	-0,015	0,145*	0,105*															
ARGILA	0,032*	-0,153*	-0,062*	0,048*														
MACRO	0	-0,049*	-0,024	0,004	-0,009													
MO	-0,045*	0,186*	0,054*	-0,095*	-0,025	0,210*												
MICRO	-0,001	-0,01	-0,007	0,007	0	0,038	-0,002											
PH	-0,016	0,059*	0,039*	-0,028	0,008	0,018	-0,015	-0,001										
PT	-0,001	-0,055	-0,028	0,01	-0,009	0	-0,004	-0,004	-0,011									
RSP0-10	0,032*	-0,007	0,035*	0,018	-0,019	-0,088*	-0,017	0,008	-0,032*	0,043*								
RSP10-20	0,034*	-0,066*	-0,004	0,03	-0,003	-0,051	0,016	-0,003	0,01	0,033*	0,038*							
RSP20-30	0,003	-0,008	-0,016	0,001	-0,008	0,04	0,029*	-0,002	0,017	-0,015	0,008	0,015						
RSP30-40	0,016	-0,023	-0,012	0,023	-0,022*	-0,012	0,013	-0,01	-0,01	0,008	0,022	0,005	-0,005					
SILTE	-0,032*	0,118*	0,032*	-0,032*	0,004	0,084*	-0,008	0,020*	-0,003	-0,033*	-0,034*	-0,001	-0,023*	0,025				
	SOJA2016	ALTITUDE	AREIA	ARGILA	MACRO	MO	MICRO	PH	PT	RSP0-10	RSP10-20	RSP20-30	RSP30-40	SILTE				
MILHO2016	0,241*																	
ALTITUDE	0,211*	0,372*																
AREIA	0,083*	0,145*	0,105*															
ARGILA	-0,062*	-0,153*	-0,062*	0,048*														
MACRO	-0,034	-0,049	-0,024	0,004	-0,009													
MO	0,018	0,186*	0,054*	-0,095*	-0,025	0,210*												
MICRO	-0,035*	-0,01	-0,007	0,007	0	0,038*	-0,002											
PH	0,038*	0,059*	0,039*	-0,028*	0,008	0,018	-0,015	-0,001										
PT	-0,062*	-0,055*	-0,028	0,01	-0,009	0	-0,004	-0,004	-0,011									
RSP0-10	0,049*	-0,007	0,035*	0,018	-0,019	-0,088*	-0,017	0,008	-0,032*	0,043*								
RSP10-20	-0,028	-0,066*	-0,004	0,030*	-0,003	-0,051	0,016	-0,003	0,01	0,033*	0,038*							
RSP20-30	-0,019	-0,008	-0,016	0,001	-0,008	0,04	0,029*	-0,002	0,017	-0,015	0,008	0,015						
RSP30-40	0,005	-0,023	-0,012	0,023	-0,022*	-0,012	0,013	-0,01	-0,01	0,008	0,022	0,005	-0,005					
SILTE	0,043*	0,118*	0,032*	-0,032*	0,004	0,084*	-0,008	0,020*	-0,003	-0,033*	-0,034*	-0,001	-0,023*	0,025				
	MILHO2016	ALTITUDE	AREIA	ARGILA	MACRO	MO	MICRO	PH	PT	RSP0-10	RSP10-20	RSP20-30	RSP30-40	SILTE				