

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

DENSIDADES DE PLANTAS APLICADAS A UNIDADES DE MANEJO NO CULTIVO DE
SOJA

MARCOS VINÍCIUS MUNIZ MACHADO

CASCAVEL-PR

2017

MARCOS VINÍCIUS MUNIZ MACHADO

**DENSIDADES DE PLANTAS APLICADAS A UNIDADES DE MANEJO NO CULTIVO DE
SOJA**

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

Orientador: Prof. Dr. Marcio Furlan Maggi

CASCADEL-PR

2017

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Ficha catalográfica elaborada por Rosângela A. A. Silva – CRB 9ª/1810

M132d Machado, Marcos Vinícius Muniz
Densidades de plantas aplicadas a unidades de manejo no cultivo de soja. / Marcos Vinícius Muniz Machado. — Cascavel – PR: UNIOESTE, 2017. 62 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Marcio Furlan Maggi

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, 2017
Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas.
Bibliografia.

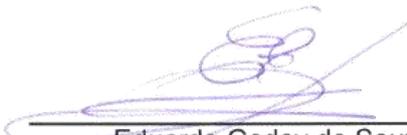
1. Soja - Cultivo. 2. População de plantas. 3. Produtividade da soja. 4. Software – Definição de Unidades de Manejo. 5. Agricultura de precisão. I. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. II. Título.

CDD 20.ed. 633.34

MARCOS VINÍCIUS MUNIZ MACHADO

Densidades de Plantas Aplicadas a Unidades de Manejo no Cultivo de Soja

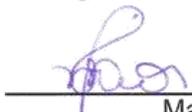
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração Sistemas Biológicos e Agroindustriais, linha de pesquisa Geoprocessamento, Estatística Espacial e Agricultura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


Eduardo Godoy de Souza

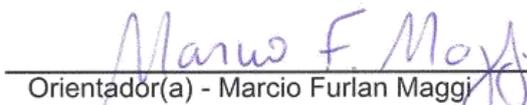
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)


Alcir José Modolo

Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus de Pato Branco


Maritane Prior

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


Orientador(a) - Marcio Furlan Maggi

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

Cascavel, 13 de fevereiro de 2017

BIOGRAFIA

Marcos Vinícius Muniz Machado nasceu no dia 3 de agosto de 1984 na cidade de Itajubá em Minas Gerais. No ano de 2014, concluiu o curso de Graduação em Engenharia Agrícola, pela Universidade Federal de Lavras, em Lavras/MG. Em 2015, ingressou no curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração Sistemas Biológicos e Agroindustriais, nível mestrado, na Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE, campus Cascavel), como bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que de alguma maneira me auxiliaram e deram suporte para a realização deste trabalho;

À UNIOESTE, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PGEAGRI), pela oportunidade de crescimento profissional e pessoal, e à CAPES, pelo apoio concedido para o desenvolvimento deste trabalho;

Ao professor Dr. Marcio Furlan Maggi pelo apoio, confiança e auxílios prestados durante a realização deste trabalho;

A todos os amigos e colegas de laboratório, que de alguma forma contribuíram no desenvolvimento deste trabalho, em especial, Rafaela Greici da Motta Camicia e Regiane Rodrigues do Amarante, pelo apoio e colaboração;

Ao Engenheiro Aldo Tasca, pela cessão da área experimental utilizada neste trabalho;

À minha família, em especial a meu pai, Mauro Cesar, por sempre acreditar no meu potencial e dar o apoio necessário para que eu alcançasse meu objetivo.

DENSIDADES DE PLANTAS APLICADAS A UNIDADES DE MANEJO NO CULTIVO DE SOJA

RESUMO

A agricultura de precisão é essencial para produtores que desejam aumentar sua produtividade e reduzir custos com insumos agrícolas. Uma forma de se utilizar a agricultura de precisão é dividindo-se a área utilizada para cultivo em parcelas individualizadas, com potenciais produtivos semelhantes dentro da parcela e diferentes entre parcelas; essas frações da área total são chamadas de Unidades de Manejo (UMs). Nesse contexto, o objetivo do trabalho foi constatar a efetividade da divisão da área em UMs e definir a densidade de plantas para o cultivo de soja que proporcione maior eficiência produtiva em cada UM em área experimental com 15,5 ha, localizada em Céu Azul/PR. No experimento, a formação das UMs ocorreu seguindo-se as etapas: coleta de amostras de solo para caracterizar os atributos químicos e físicos; seleção de atributos com maior correlação com a produtividade; interpolação e geração de mapas temáticos com os valores dos atributos selecionados nos pontos amostrados; agrupamento de dados e definição de UMs, sendo que todo o processo computacional foi realizado com o auxílio do Software para Definição de Unidades de Manejo (SDUM). Para formação das UMs utilizou-se dos atributos altitude e a resistência a penetração do solo 0-0,1 m, que possuem maior correlação espacial com a produtividade no local trabalhado. A área foi dividida em 2 UMs, 4 curvas de nível (CNs) e 16 parcelas. Aplicou-se no plantio 2 densidades de plantas, 214.000 e 257.000 plantas ha⁻¹, sendo que cada densidade foi aplicada em 8 parcelas diferentes, utilizando o espaçamento entre linhas de 0,70 m. Para caracterizar e quantificar diferenças nas UMs e nas CNs e a eficiência das densidades de plantas nas UMs, a produtividade foi medida em 37 pontos em cada parcela. Constatou-se em relação à produtividade que houve diferença significativa ao nível de 5% entre UMs, sendo que a UM com maior potencial produtivo, localizada na parte mais elevada na área, alcançou maior produtividade. Houve efeito na aplicação das duas diferentes densidades de plantas nas UMs, sendo que as densidades de 214.000 e 257.000 plantas ha⁻¹ alcançaram, respectivamente, produtividade superior na UM2 e na UM1; além disso, existiu diferença na produtividade entre as CNs.

Palavras Chave: Agricultura de Precisão; população de plantas; produtividade da soja; Software para Definição de Unidades de Manejo.

PLANT DENSITIES APPLIED TO MANAGEMENT UNITS IN THE SOYBEAN FARMING

ABSTRACT

Precision agriculture is essential for farmers who want to increase their productivity and reduce costs with agricultural inputs. One way of using precision agriculture is to divide the area used for cultivation into individualized plots with similar productive potentials within the plot and different among plots; these fractions of the total area are called Management Units (MUs). In this context, the objective of the study was to verify the effectiveness of the division of the area in MUs and to define the plant density for the soybean crop that provides greater productive efficiency in each MU in an experimental area with 15.5 ha, located in Céu Azul City, Paraná State, in Brazil. In the experiment, the formation of the MUs occurred following the steps: collection of soil samples to characterize the chemical and physical attributes; selection of attributes with higher correlation with productivity; interpolation and generation of thematic maps with the values of the attributes selected in the sample points; grouping of data and definition of MUs, considering that the entire computational process was performed with the help of the Software for the Definition of Management Units (SDUM). For the formation of MUs, it was used the attributes of altitude and soil penetration resistance 0-0.1 m, attributes that have a greater spatial correlation with productivity in the field. The area was divided into 2 MUs, 4 contour lines (CLs) and 16 plots. In the field, 2 plant densities were applied, 214,000 and 257,000 plants ha⁻¹, and each density was applied in 8 different plots, using line spacing of 0.70 m. In order to characterize and quantify differences in MUs and CLs and the efficiency of plant densities in the MUs, the productivity was measured at 37 points in each plot. Regarding productivity, it was found that there was a significant difference at the level of 5% between MUs, being that the MU with greater productive potential, located in the highest part in the area, achieved higher productivity; the application of the two different plant densities in the MUs generated effect, being that the densities of 214,000 and 257,000 plants ha⁻¹ reached, respectively, higher productivity in MU2 and MU1; also, there was a difference in productivity between CLs.

Keywords: Precision Agriculture; plants population; soy productivity; Software for the Definition of Management Units.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVOS	2
2.2	Objetivos Geral	2
2.2	Objetivos Específicos	2
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
3.1	Importância econômica e aspectos gerais da soja	3
3.2	Conceitos e perspectivas da agricultura de precisão (AP)	3
3.3	Interações entre os atributos do solo e o reflexo na eficiência das culturas	5
3.3.1	Atributos físicos	6
3.3.2	Atributos químicos	8
3.4	Importância da produtividade na detecção da variabilidade espacial de atributos	9
3.5	Relevo e sua conexão com o rendimento das lavouras	10
3.6	Densidade de plantas	11
3.7	Unidades de manejo	12
3.8	Interpolação de dados	14
3.9	Metodologias para geração de unidades de manejo	14
4	MATERIAIS E MÉTODOS	16
4.1	Área Experimental	16
4.2	Dados climatológicos	16
4.3	Grade amostral	17
4.4	Atributos químicos e físicos do solo	17
4.5	Definição de unidades de manejo	19
4.6	Semeadura de soja e adubação	22
4.7	Divisões da área e análises estatísticas realizadas	23
4.8	Colheita e dados de produtividade	24
4.9	Estimação de produtividade na área	26
4.10	Análise descritiva e exploratória dos dados	26
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	27

5.1	Análise exploratória e estatística descritiva.....	27
5.2	Adubação.....	32
5.3	Unidades de manejo	33
5.4	Densidade de plantas	33
5.5	Curvas de nível.....	35
5.6	Estimação de produtividade na área.....	36
6	CONCLUSÃO	39
7	REFERÊNCIAS	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Parâmetros da semeadura realizada	22
Tabela 2 Estatística descritiva dos atributos químicos e físicos do solo para a UM1.....	27
Tabela 3 Estatística descritiva dos atributos químicos e físicos do solo para a UM2.....	28
Tabela 4 Níveis de interpretação e porcentagem encontrada dos atributos químicos do solo na UM1	30
Tabela 5 Níveis de interpretação e porcentagem encontrada dos atributos químicos do solo na UM2.....	31

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Localização da área experimental, Céu Azul/PR	16
Figura 2 Área experimental e pontos amostrais	17
Figura 3 Penetrômetro Digital Falker PenetroLOG.....	18
Figura 4 Drenagem da água das amostras não deformadas em mesa de drenagem	19
Figura 5 Divisões realizadas na área experimental	23
Figura 6 Divisão da área em unidades de manejo e curvas de nível.....	24
Figura 7 Produtividade alcançada nas unidades de manejo aplicando-se as densidades de plantas.....	33
Figura 8 Produtividade alcançada pelas densidades de plantas dentro das unidades de manejo.....	34
Figura 9 Produtividade alcançada nas curvas de nível	35
Figura 10 Comparativo de produtividade média de 2011/2012 e 2012/2013 com a estimativa de produtividade média na safra 2015/2016	37
Figura 11 Dados climatológicos em São Miguel do Iguaçu na safra de soja de 2015/2016 .	38

LISTA DE ABREVIATURAS

Al	Alumínio
ANOVA	Análise de Variância
AP	Agricultura de Precisão
B	Boro
C	Carbono
Ca	Cálcio
Cl	Cloro
CN	Curva de Nível
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
Cu	Cobre
CV	Coeficiente de Variação
Fe	Ferro
GPS	Global Positioning System
H	Hidrogênio
ID	Inverso da Distância
IDP	Inverso da Distância Elevado a uma Potência
IDQ	Inverso do Quadrado da Distância
K	Potássio
M%	Porcentagem de Saturação por Alumínio
Mg	Magnésio
Mn	Manganês
Mo	Molibdênio
N	Nitrogênio
N-P-K	Nitrogênio-Fosforo-Potássio
P	Fosforo
pH	Acidez
RSP	Resistência do Solo a Penetração
S	Enxofre
SDUM	Software para Definição de Unidades de Manejo
UM	Unidade de Manejo
UR	Umidade Relativa
V%	Porcentagem de Saturação por Bases
Zn	Zinco

1 INTRODUÇÃO

O trabalho no campo, quando são aplicados métodos adequados para analisar as características e peculiaridades do solo e o histórico de uso e de produtividade da área, tende a ter maior recompensa, aumento de produtividade e/ou redução no uso de insumos. Neste contexto, a agricultura de precisão (AP) é peça fundamental.

Com a AP é possível minimizar impactos do uso de insumos para o meio ambiente, evitando sua aplicação excessiva na área, reduzindo, com isso, a contaminação de nascentes e outras fontes de água por lixiviação de nutrientes e não modificando as características ideais do solo para o cultivo como o pH e a Capacidade de Troca Catiônica (CTC).

A AP é por vezes contestada pelo seu custo operacional, utilização de equipamentos de alto valor, exigência de grande número de amostras de solo para caracterizar a área e necessidade de se variar a aplicação de insumos em pequenas frações da área total. Porém, existem técnicas mais baratas e acessíveis para produtores com melhores condições financeiras e que seguem os conceitos da AP.

Neste contexto, insere-se a aplicação das Unidades de Manejo (UMs), que dividem a área utilizada para cultivo em parcelas, individualizadas, com potenciais produtivos semelhantes dentro da parcela e diferentes entre parcelas, possibilitando que a aplicação de insumos agrícolas seja individualizada para cada UM, obtendo melhor uso dos insumos e utilizando a área de forma mais eficiente.

A necessidade de coleta de menor número de amostras, com a possibilidade do uso de interpoladores para representação quantitativa dos atributos do solo e da área em mapas temáticos, torna as UMs uma ferramenta econômica e importante dentro da AP.

Na divisão da área em UMs são consideradas variáveis com correlação com a produtividade e a área é dividida em parcelas com grande dimensão e em pequeno número. Assim, não é preciso variar a aplicação de insumos em pequenas frações da área e não há necessidade do uso de máquinas projetadas exclusivamente para a aplicação dessa técnica, tornando possível a utilização de máquinas agrícolas convencionais.

As UMs têm aplicação prática no planejamento agrícola – seja na aplicação variável de adubos, na quantidade e qualidade de operações com máquinas agrícolas no solo, do plantio a colheita, assim como na densidade de plantas, na variação da quantidade de sementes e na distância de plantio, seja dentro da linha ou entre linhas.

O estudo da aplicabilidade das UMs na variação de diferentes insumos agrícolas em regiões e solos distintos possui grande importância no aprimoramento e no alcance da técnica da AP em propriedades agrícolas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Definir a densidade de plantas para a área experimental, no cultivo de soja, que proporcione a maior eficiência produtiva em cada UM.

2.2 Objetivos Específicos

- Quantificar os atributos físicos e químicos do solo na área experimental;
- Avaliar e quantificar a influência do relevo dentro das UMs, avaliando a produtividade atingida em diferentes curvas de nível (CNs);
- Quantificar a eficiência produtiva das densidades de plantas de soja nas UMs;
- Mensurar a produtividade alcançada nas UMs;
- Estimar a produtividade na área com a aplicação das densidades de semeadura com maior eficiência produtiva nas UMs.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Importância econômica e aspectos gerais da soja

No contexto mundial a soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é considerada como uma das principais culturas produzidas (MESSINA, 2010). A soja é uma cultura de clima tropical (FAGAN, 2007), de ciclo anual (90 a 160 dias) e tem sua origem no extremo Oriente (CAVALETT, 2008). Essa cultura é uma leguminosa que proporciona nutrição e óleo, tanto para dieta animal como para a humana (MESSINA, 2010).

A cultivar soja é intolerante a temperaturas próximas a 0 °C (CHEESBROUGH, 1990; NOURI; TOORCHI; KOMATSU, 2011; KRATSCH; WISE, 2000). No campo, pouco crescimento é observado para essa cultura em temperaturas abaixo de 7 °C (LITTLEJOHNS; TANNER, 1976). Assim, baixa temperatura no final do ciclo de crescimento é um fator limitante na sua produtividade (SOLDATI; KELLER, 1985).

Com isso, a produção de soja concentra-se, em sua maior parte, nos Estados Unidos e no Brasil, devido às condições ambientais mais favoráveis ao seu cultivo (FAGAN, 2007). No Brasil, a soja figura entre as principais culturas de importância econômica, por ter alta representação entre as commodities comercializadas e grande potencial produtivo para atender o crescente mercado consumidor (CARVALHO, 2013).

O desenvolvimento de variedades geneticamente adaptadas às diferentes condições de clima, solo e latitude proporcionaram o cultivo da soja em todas as regiões do Brasil (ALAMBERT, 2010); porém, o país tem potencial para aumentar a sua participação no mercado internacional de soja, pois ainda possui áreas disponíveis para aumentar a sua produção (SILVA NETO, 2011).

Apesar da soja ser cultivada em larga escala mundialmente, a produtividade dessa cultura pode ser otimizada, e, atualmente, segundo Carvalho (2013), como a demanda por alimentos é crescente, a procura por alternativas que visem o aumento dessa produtividade tem sido investigada, como a seleção de novas cultivares, a resistência a pragas, as condições ideais de fertilidade, os sistemas de condução das plantas, entre outros.

3.2 Conceitos e perspectivas da agricultura de precisão (AP)

Conceitua-se a técnica da AP como um conjunto de ferramentas aplicadas a agricultura, que permite realizar um sistema de gerenciamento agrícola baseado nas variabilidades espacial e temporal da unidade produtiva, visando aumentar a produção e o retorno financeiro e reduzir o impacto ambiental causado pela agricultura. (SWINTON; LOWENBERG-DEBOER, 1998; MOLIN, 2001; BLACKMORE et al. 2003).

Com a identificação da existência de variabilidade espacial e/ou temporal, a abordagem mais usada para aplicação da AP é a elaboração de mapas georreferenciados da área para seus respectivos fatores de produção, definindo-se a área de manejo, caso exista variabilidade e permitindo o tratamento diferenciado de cada região (ALVES, 2009). A partir da análise das variações espaciais e temporais dos fatores de produção torna-se possível que o agricultor defina como aplicar, no momento e local adequados, as quantidades necessárias de insumos à produção agrícola (SILVA; MORETTO; RODRIGUES, 2004).

Assumindo-se a variabilidade de recursos e características na análise da área, reconhece-se que a área produtiva não é uniforme e nela há aptidões agronômicas distintas, mesmo em uma propriedade cuja dimensão não seja extensa (MAPA, 2013). Assim, a abordagem da AP visa utilizar estratégias para resolver os problemas da desuniformidade das lavouras (MAPA, 2013).

Para atingir tal objetivo, a AP preconiza a aplicação do manejo racional da cultura e do uso do solo. Esse manejo é consequência do estudo da relação entre produtividade, atributos do solo e do relevo – principais limitações da produção de uma área. Busca-se através deste estudo evitar a exaustão química e a degradação de seus atributos físicos (MOLIN, 2004; MOLIN et al., 2006; TSCHIEDEL; FERREIRA, 2002).

A busca de métodos de gestão para responder a variabilidade no campo é um dos principais pilares da AP. Busca-se, em tais métodos, mensurar a variabilidade das culturas no campo com a adoção de novas tecnologias (CID-GARCIA; ALBORNOZ; RIOS-SOLIS, 2013).

A AP detém um conjunto de ferramentas que combina sensores, sistemas de informação, máquinas adaptadas e gestão de conhecimento (ANSELM I, 2012). Com as ferramentas da AP coleta-se um maior número de informações por unidade de área, tornando possível o gerenciamento para identificar e tratar a variabilidade da área (ANSELM I, 2012).

O principal benefício da adoção da técnica da AP na propriedade é o uso eficiente dos insumos agrícolas. Como resultado dessa adoção, pode-se ter um ou mais dos seguintes efeitos positivos: redução nos custos pela diminuição no uso dos insumos; redução na poluição da água e do ambiente; e aumento da produtividade agrícola pela aplicação mais eficiente dos insumos (COSTA; GUILHOTO, 2013)

Existem resultados práticos e de pesquisa mostrando que, aplicando-se insumos a taxa variável, utilizando-se a técnica da AP, quando comparada com a aplicação pela maneira tradicional há uma significativa redução no uso de insumos, evitando-se desperdícios e gerando ganhos econômicos e ambientais (INAMASU et al. 2011).

Segundo Akune (2015), embora exista a percepção da importância do uso da AP, sua implantação depende de diversos fatores relacionados ao perfil da propriedade e do

produtor rural. Assim, recomenda-se a aplicação dos conceitos da AP somente se houver potencial de retorno econômico e ambiental e, nesse caso, é necessário que haja a variabilidade espacial, pois a variação pode ser suficientemente reduzida e, neste caso, a lavoura pode ser considerada próxima do uniforme (INAMASU; BERNARDI, 2014).

Com os devidos cuidados iniciais em relação a variabilidade espacial e, conseqüente, viabilidade econômica, Akune (2015) cita que, no Brasil, em função da extensão territorial do país aliada a grande variação edafoclimática, a AP tem potencial para ser ferramenta fundamental no desenvolvimento de técnicas que promovam o sucesso dos sistemas de cultivo.

Segundo Inamasu e Bernardi (2014), o ciclo de aplicação da AP é de melhoria contínua e o seu uso cabe a todos os processos envolvidos na produção agrícola no campo. Assim, mesmo que se tenha obtido melhora significativa aperfeiçoando um processo, ainda podem haver diversos outros a serem melhorados. Na aplicação da AP, identificar a variabilidade e analisar a causa da variação da produtividade é fundamental para aperfeiçoar o uso dessa técnica.

No contexto do cultivo da soja, o gerenciamento eficiente no agronegócio através da adoção de tecnologias que visem à redução dos riscos e custos e ao aumento da produtividade de maneira sustentável tem importância especial e possibilita ao profissional da área agrícola a participação em mercados cada vez mais globalizados e competitivos (EMBRAPA, 2013).

3.3 Interações entre os atributos do solo e o reflexo na eficiência das culturas

Existem diversas inter-relações entre os atributos físicos, químicos e biológicos no solo que controlam os processos e os aspectos relacionados à sua variabilidade. Qualquer alteração ocorrida no solo modifica diretamente sua atividade biológica e sua estrutura, refletindo na sua fertilidade e podendo promover prejuízos à qualidade do solo e à produtividade das culturas (NAJM; SANTOS; BRANCALIÃO, 2014).

Com isso, é de extrema relevância o estudo da variabilidade espacial das propriedades do solo para aumentar a eficiência do uso de fertilizantes e outros insumos agrícolas nas lavouras (FLORES; ALBA, 2014). Essa variabilidade é influenciada por fatores intrínsecos (materiais de origem do solo) e fatores extrínsecos (práticas de gestão agrícola) (DAVATGAR; NEISHABOURI; SEPASKHAH, 2012).

Porém, estudos que têm por objetivo o manejo específico das lavouras devem levar em consideração, além da variabilidade espacial, a variabilidade temporal dos fatores que influenciam a produtividade das culturas (RODRIGUES, 2013).

A estimação de dados de atributos do solo possui grande importância para a adoção do manejo diferenciado em áreas heterogêneas (COMPAGNON et al., 2014), pois

diferenças nas características físicas e químicas fazem com que os solos respondam diferentemente à mecanização, à adubação e à correção (EMBRAPA, 2013).

A caracterização dos atributos químicos e físicos do solo por meio de amostragens capazes de representar as variações destes atributos é indispensável para a aplicação ideal de insumos agrícolas em cada local e, com isso, conseqüentemente, otimizar o processo de produção e reduzir os impactos ambientais (BOTTEGA et al., 2013).

A variabilidade dos atributos no solo tem sido largamente estudada (KRAVCHENKO; BULLOCK, 2000; SCHEPERS et al., 2004; RODRIGUES; CORÁ; FERNANDES, 2012). Sendo que Rodrigues, Corá e Fernandes (2012), estudando a relação entre produtividade e atributos do solo, encontraram alta correlação entre estes fatores.

3.3.1 Atributos físicos

A manutenção de uma boa qualidade física do solo é imprescindível para o sucesso no cultivo agrícola, com o objetivo de maximizar a produtividade e manter a sustentabilidade. No entanto, o solo por ser a base da produção agrícola, sofre alterações significativas em seus atributos físicos (OLIVEIRA et al., 2012).

A qualidade física do solo está associada ao crescimento das plantas e é determinada pela disponibilidade de água e ar e pela resistência que o solo oferece ao crescimento das raízes (ROMERO et al., 2014). Atributos do solo como densidade e porosidade total permitem verificar se o solo apresenta condições adequadas para o desenvolvimento das raízes, além de indicarem se há problemas de compactação (RAMIREZ-LOPEZ; REINA-SANCHEZ; CAMACHO-TAMAYO, 2008).

Segundo Vizzoto (2014), a densidade do solo expressa a relação entre a quantidade de matéria seca por unidade de volume de solo, sendo que neste volume é incluído o volume de sólidos e o de poros. Assim, ocorrendo modificação do espaço poroso haverá uma mudança na densidade do solo (VIZZOTO, 2014).

O volume total de poros é representado pela porosidade total do solo (HILLEL, 1980). Essa porosidade pode ser dividida em macroporos e microporos, sendo que os macroporos têm menor resistência e podem se deformar, formando, conseqüentemente, poros de menor diâmetro, os quais suportam maiores pressões (VIZZOTTO, 2014).

A porosidade do solo exerce influência direta na retenção de água e na disponibilidade de ar no solo. Os macroporos têm importante papel na movimentação de gases no solo e são chamados de porosidade de aeração (VALICHESKI et al., 2012), enquanto que os microporos têm grande importância na retenção e na disponibilidade de água no solo.

Duas características importantes que fornecem apoio para determinar a capacidade de suprimento de nutrientes e fornecimento de água e ar no solo para o desenvolvimento das plantas são a textura e a estrutura do solo (BAZZI, 2011).

A estrutura do solo é uma das propriedades mais importantes, partindo do ponto de vista agrícola (CARVALHO et al., 2014). Essa estrutura pode ser caracterizada como o arranjo das partículas do solo e do espaço poroso entre elas, incluindo o tamanho, a forma e o arranjo dos agregados formados quando as partículas primárias se agrupam em unidades separáveis (FERREIRA, 2010). A estrutura do solo pode ser modificada caso haja alguma alteração na disposição das partículas dos solos (CARVALHO et al., 2014).

A textura do solo corresponde à composição granulométrica do solo. Para determinação da textura utiliza-se a classificação pelo tamanho das partículas presentes no solo, sendo que há três classificações bem definidas: argila, silte e areia (KIEHL, 1979).

Solos formados por partículas pequenas e de diferentes tamanhos normalmente são compactados com mais facilidade, pois as partículas pequenas podem ser encaixadas nos espaços formados entre as partículas maiores, formando, conseqüentemente, camadas de impedimento (TORRES; SARAIVA, 1999).

A compactação do solo, quando excessiva, pode limitar o desenvolvimento do sistema radicular da planta (BICKI; SIEMENS, 1991; SOANE, 1986; SILVEIRA, 2001), além de posteriormente acarretar conseqüências para a parte aérea e produtividade da planta (QUEIROZ-VOLTAN et al., 2000). Define-se compactação do solo como uma alteração no arranjo das partículas constituintes do solo (CAMARGO; ALLEONI, 1997), ocasionando o aumento da densidade do solo (EMBRAPA, 2013). Segundo Rosim (2012), a compactação do solo afeta as propriedades e funções físicas do solo e é uma das principais causas da degradação das áreas agrícolas.

A utilização de máquinas e implementos agrícolas com umidade do solo próxima ao limite de plasticidade apresenta-se como a principal causa que desencadeia a compactação dos solos, pois a água reduz a coesão e atua como lubrificante entre as partículas de solo, permitindo o deslizamento e o empacotamento das partículas quando o solo é submetido a uma pressão (LUCIANO, 2012).

É possível verificar a influência da compactação do solo sobre o desenvolvimento da soja através de um diagnóstico, que associa dados de resistência do solo (profundidade e intensidade) obtidos com auxílio de um penetrômetro, com a distribuição de raízes no perfil do solo (EMBRAPA, 2013).

Os atributos físicos do solo se relacionam entre si determinando a aptidão produtiva e a qualidade do solo. Para Terra et al. (2011), o conhecimento detalhado da variabilidade espacial desses atributos pode auxiliar na determinação de estratégias específicas de manejo que otimizem a produtividade agrícola.

Assim, conhecendo-se essa variabilidade torna-se possível contribuir para o manejo adequado da área produtiva, pois possibilita-se identificar zonas que necessitem de manejo diferenciado (KAMIMURA, 2013).

3.3.2 Atributos químicos

A capacidade produtiva das terras agricultáveis é altamente dependente da capacidade de fornecimento de nutrientes pelo solo (OLIVEIRA et al., 2007). No entanto, com a exploração agrícola é ocasionada uma série de alterações nas propriedades químicas dos solos como a ciclagem de materiais orgânicos, a acidificação do ambiente e a modificação na capacidade de retenção de nutrientes pelo solo (OLIVEIRA et al., 2007) e, conseqüentemente, alterando o fornecimento de nutrientes para as plantas.

Segundo Lopes e Guilherme (2007), um dos aspectos fundamentais que asseguram a boa qualidade dos solos e os seus bons uso e manejo é a presença de nutrientes. Um nutriente é considerado essencial quando este participa de algum composto ou reação sem o qual a planta não tenha a capacidade de completar seu ciclo de vida (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

Os atributos do solo se dividem em macronutrientes e micronutrientes. Os macronutrientes têm maior demanda e são absorvidos em grandes quantidades pelas plantas, enquanto os micronutrientes são absorvidos em menores quantidades (SERRAT et al., 2002). Deve-se ter uma atenção especial com os micronutrientes, pois, segundo Serrat et al. (2002), estes quando em excesso no solo podem ser tóxicos para as plantas.

Os macronutrientes são os seguintes: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e enxofre (S) (LIMA, 2010). Malavolta (1981) e Raij (1983) dividem ainda o grupo dos macronutrientes em primários – N, P e K – e secundários – Ca, Mg e S –, conforme a demanda desses nutrientes pelas plantas. Já os micronutrientes são compostos por: boro (B), zinco (Zn), manganês (Mn), ferro (Fe), molibdênio (Mo), cloro (Cl) e cobre (Cu) (LIMA, 2010). Constatando-se que determinadas áreas apresentam alterações de desenvolvimento e deficiências nutricionais com consequência direta sobre a produtividade da cultura, este fato implica em indícios de ocorrência de variabilidade espacial de nutrientes (SANTOS; PINOTTI; MONTEIRO, 2014). Para se detectar essa variabilidade torna-se necessária a realização da análise do solo.

A finalidade da análise do solo é determinar qual quantidade de nutrientes o solo é capaz de fornecer às plantas e quais quantidades do insumo devem ser aplicadas para se ter um bom rendimento da cultura (BAZZI, 2011). Nessa análise é possível determinar: o pH, a CTC e a disponibilidade de macro e micronutrientes no solo, tal qual os teores de matéria orgânica e de argila presentes no solo (SBCS, 2004). Porém, é impossível prever a produtividade considerando cada atributo isoladamente (RAIJ, 1991). Assim, os efeitos dos

nutrientes do solo sobre a produtividade devem ser estudados de maneira associada, visto que existem interações entre estes atributos (GIMENEZ; MOLIN, 2000). Ao obter informações da variabilidade dos atributos químicos do solo na área produtiva, possibilita-se a realização de um manejo adequado na área (REICHERT; SILVA; SANTOS, 2009). Segundo Serrat (2002), a análise química do solo é de grande importância, pois está relacionada a uma correta recomendação da calagem e adubação do solo.

Com a inserção dos dados de posicionamento e dos teores de nutrientes da análise do solo nas áreas amostradas, é possível se gerar mapas de fertilidade das áreas (LEITE, 2007). Relacionando os mapas de produtividade com mapas de fertilidade do solo seria possível a aplicação de adubo somente nos locais em que este fosse necessário (COSTA et al., 2014).

Conseqüentemente, com a constatação da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo seria adequada a recomendação de doses de nutrientes a taxas variáveis e, utilizando tal método, seriam proporcionadas economia e eficiência na aplicação (CHANG et al., 2003; WANG; JIN; WANG, 2006).

3.4 Importância da produtividade na detecção da variabilidade espacial de atributos

A mensuração da produtividade em diferentes pontos de uma área é um importante parâmetro para se detectar a variabilidade dos recursos empregados e dos atributos disponíveis na produção agrícola ao longo da área analisada.

A produtividade de um talhão é comumente representada por meio de um mapa de produtividade. Segundo Molin (2000), o mapa de produtividade é a informação mais completa para se visualizar a variabilidade espacial da lavoura, sendo que, com uma sequência de mapas de produtividade, torna-se possível indicar, além da produtividade em cada local da lavoura, a variabilidade temporal na área produtiva (MOLIN, 2002).

Na cultura da soja o mapeamento da produtividade está bastante difundido, pois as colhedoras possuem a opção de virem equipadas com monitores de colheita que possibilitam obter mapas de produtividade da área (EMBRAPA, 2014).

O mapa de produtividade de um talhão corresponde a um conjunto de muitos pontos, onde cada ponto representa uma pequena porção da lavoura; para se saber a quantidade de grãos colhidos é utilizado um sensor de fluxo no elevador de grãos. A posição de cada ponto do talhão é obtida por meio de um receptor de GPS que dá o posicionamento da latitude e longitude da máquina (MAPA, 2013).

Mapas de produtividade podem servir como importantes ferramentas na detecção e no manejo das regiões de menor desempenho de uma cultura implantada (SCAVACINI; REIS; OLIVEIRA, 2014) e podem ser utilizados como ponto de partida do ciclo da AP (QUEIROZ; DIAS; MANTOVANI, 2000).

A utilização de mapas de produtividade para caracterizar a variabilidade das lavouras apresenta-se como um importante parâmetro, pois trata da representação gráfica da resposta das plantas às condições de manejo e ao ambiente a que elas são submetidas, sendo considerado o resultado que se obteve com as técnicas empregadas (MOORE, 1998).

A interpretação da variabilidade presente nas lavouras e evidenciada nos mapas de produtividade implica em uma relação entre causas e efeito (MAPA, 2013). Porém, apesar do mapa de produtividade evidenciar regiões com alta e baixa produtividade, ele não explica a causa da variação (HAUSCHILD, 2013).

Assim, os mapas de produtividade são utilizados combinadamente com os dados de solo e da planta para a identificação de problemas e a aplicação de insumos de forma localizada (BAZZI; SOUZA; BETZEK, 2015). Segundo Santi (2013), devido a sua grande relevância para a caracterização da variabilidade produtiva e sua utilização em estratégias de manejo diferenciados, é de fundamental importância a acurácia do mapa.

3.5 Relevo e sua conexão com o rendimento das lavouras

O estudo das formas do relevo que influenciam o escoamento da água sobre a área é fundamental para a compreensão e a quantificação da erosão e da variabilidade dos atributos dos solos (SANCHEZ et al., 2009).

O deslocamento de nutrientes é potencializado pelo declive na área, uma vez que esses nutrientes são conduzidos pelo deflúvio encosta abaixo, resultando em maior estratificação da fertilidade (OLIVEIRA et al., 2015)

O relevo, em grande parte das vezes, é um dos principais fatores que afetam a produtividade das culturas (KUMHALOVA; MOUDRY, 2014), pois a heterogeneidade espacial e temporal na energia local e no balanço hídrico são causados pela variabilidade na elevação, na declividade e no sombreamento decorrente das feições topográficas do local, criando gradientes locais (CHAGAS et al., 2013).

O impacto do relevo no campo é importante para explicar a variabilidade de rendimento das lavouras. O efeito dos atributos topográficos sobre a variação de rendimento pode ser observado quando os dados desses atributos são sobrepostos sobre os dados de produtividade (KUMHALOVA; MOUDRY, 2014).

O relevo da área desempenha um papel importante na distribuição espacial de diversos componentes, como: as partículas de solo, a matéria orgânica, os nutrientes e as condições hidrológicas ao longo da paisagem (MUÑOZ et al., 2014).

Para Carvalho et al. (2003) e Souza et al. (2006), a forma do relevo tem potencial para auxiliar na definição de esquemas amostrais, assim como no mapeamento de zonas de manejos físico e químico do solo.

Diversos estudos realizados demonstram a importância do relevo e o correlacionam com: o teor de água do solo (MOORE et al., 1993; KANG et al., 2003; ZHU; LIN, 2011); a temperatura do solo (BENNIE et al., 2008); e a disponibilidade de N no solo e a produtividade das culturas (RAGHUBANSHI, 1992; GOOVAERTS; CHIANG, 1993; BRUBAKER et al., 1994).

3.6 Densidade de plantas

A disposição e a quantidade de plantas fixadas no solo de uma região é um fator que afeta diretamente a produtividade da lavoura. Assim, alterações na densidade de plantas podem reduzir ou aumentar os ganhos em produtividade e esta característica é consequência direta do espaçamento entre estas linhas (COSTA, 2013) e entre plantas dentro das linhas de plantio.

Segundo Tragnago et al. (2013), quando é estabelecida uma distribuição de plantas adequada na área obtém-se o melhor aproveitamento dos recursos naturais e da cobertura de solo, proporcionando melhores condições para o desenvolvimento das plantas.

No entanto, deve haver cuidado na definição das densidades de plantas, pois com o emprego de densidades superiores à recomendada não há acréscimos na produtividade e isso acarreta aumento nos gastos com sementes e possível acamamento das plantas. Observa-se, também, que a adoção de densidades de plantas inferiores à recomendada pode gerar prejuízos, favorecendo o desenvolvimento de plantas daninhas e podendo resultar em plantas muito ramificadas e de altura reduzida, o que leva a perdas no momento da colheita (COSTA, 2013).

Para Duvick (1997) e Sangoi et al. (2002), há uma densidade de plantas ótima para cada local em que a produtividade das culturas é maximizada. No entanto, a variabilidade espacial e temporal das lavouras sugere que não existe uma densidade de plantas ideal, ou seja, uma densidade que otimize a produtividade na lavoura como um todo (ANSELMINI; MOLIN; KHOSLA, 2014).

Procópio et al. (2014) relatam que é possível ajustar o arranjo ou a disposição espacial das plantas de soja na área, por meio da densidade de plantas, e isso pode refletir em um aumento na produtividade de grãos, sem modificar a sustentabilidade dos sistemas de produção de soja.

Porém, a definição do arranjo espacial de plantas tem que ser cuidadosamente definida, pois, segundo Balbinot Junior et al. (2015), a definição desse arranjo afeta a competição intraespecífica entre plantas e, conseqüentemente, afeta a quantidade de recursos do ambiente – água, luz e nutrientes – disponíveis para cada planta.

Além disso, mudanças no arranjo espacial das plantas de soja, também podem se afetar a velocidade de fechamento das entre-linhas, a produção de fitomassa, a arquitetura das plantas e o acamamento da cultura (BALBINOT JUNIOR, 2015).

Novos trabalhos com ajuste da densidade de plantas de soja são justificados por fatores como: a mudança nas características morfofisiológicas das cultivares de soja, especialmente ocorridas na última década; a crescente expectativa de produtividade de grãos; a semeadura antecipada da soja para possibilitar o cultivo de milho safrinha e/ ou reduzir a incidência de doenças e pragas no final do ciclo; e o aumento do preço das sementes, devido à inserção de novas tecnologias (HIRAKURI; BALBINOT JUNIOR, 2015).

Estudar a densidade de plantas de soja é importante para definir a melhor densidade para cada cultivar disponível (SILVA et al., 2015), assim como definir a melhor densidade de plantas para diferentes tipos de solo e para condições climáticas distintas, pois, segundo Meneses (2013), as condições do meio onde as plantas se desenvolvem são fundamentais para expressar o potencial produtivo das cultivares.

Com a aplicação de sementes em taxa variável, torna-se possível a gestão da variabilidade presente nas lavouras. Assim, entender como a densidade de plantas se desenvolve torna-se fundamental para otimizar a produtividade na lavoura. (ANSELM; MOLIN; KHOSLA, 2014).

3.7 Unidades de manejo (UMs)

Em decorrência da necessidade de técnicas que tornem viável a aplicação da AP em propriedades com menor extensão e para produtores que possuem menores recursos financeiros, surge o conceito de UMs, visando à economia e à melhor alocação de insumos para manutenção ou aumento da produtividade, gerando a melhor aplicação de recursos financeiros no campo.

Conceitua-se uma UM como uma parcela ou subárea dentro da área produtora que expressa características similares de fatores limitantes da produtividade (BAZZI; SOUZA; BETZEK, 2015). A aplicação das UMs possibilita distinguir locais por suas propriedades, onde cada unidade apresenta comportamento e manejo específicos à sua condição (SAFANELLI; BOESING; BOTTEGA, 2015).

As UMs são áreas passíveis de receber as mesmas práticas agrônômicas por apresentarem semelhantes potenciais de resposta e estarem sujeitas aos mesmos riscos e limitações do uso agrícola (MIQUELONI; GIANELLO; BUENO, 2015). Para Luchiarini Junior et al. (2000), uma UM caracteriza-se por ser uma parcela do terreno de igual produção potencial, eficiência do uso de insumos e risco de impacto ambiental.

A determinação das UMs pode ser realizada com diferentes critérios, com o uso de atributos do solo ou parâmetros produtivos das culturas (SAFANELLI; BOESING; BOTTEGA, 2015). Os principais atributos do solo que determinam seu potencial produtivo são aqueles responsáveis por manter a água no solo e fornecer nutrientes às culturas (LUCHIARI JUNIOR et al., 2011).

Dentre os fatores que podem ser usados para delimitar UMs estão: a textura, a estrutura, a agregação e a estabilidade do solo, a relação macro e microporosidade do solo, o grau de compactação e a densidade do solo (LUCHIARI JUNIOR et al., 2011). Outros fatores e recursos que podem ser utilizados para orientar na delimitação de UMs são as características topográficas da área, os mapas de produtividade, os mapas de condutividade elétrica e o histórico da área (VILELA et al., 2011).

Para Alves et al. (2013), entender como a distribuição espacial dos atributos químicos e físicos e a produtividade dos solos atuam na área é importante para se estabelecer práticas de manejo adequadas, não somente à otimização da produtividade agrícola, mas também para a minimização de possíveis danos ambientais.

Existem fatores que podem ser considerados limitantes na adoção de UMs; como exemplo pode-se citar a elevada variabilidade espacial e temporal dos nutrientes do solo. Assim, uma das recomendações para se obter sucesso na determinação das UMs é a utilização de atributos do solo que apresentam baixa variabilidade ao longo do tempo (BOTTEGA, 2014).

O uso de UMs tem como um de seus objetivos reduzir o número necessário de análises de solo para gerar as recomendações de aplicação de insumos (BAZZI; SOUZA; BETZEK, 2015). Com isso, empregando-se a técnica evita-se a utilização de uma grade amostral densa e assim, conseqüentemente, há uma diminuição no custo das análises laboratoriais (SOBJAK, 2012).

Pode-se dizer que as UMs funcionam como unidades de operação localizada de insumos (RODRIGUES; ZIMBACK, 2002). Empregando-se UMs o agricultor deve aplicar insumos agrícolas de forma uniforme dentro de cada UM, ou seja, a aplicação de insumos de maneira variável só ocorre entre UMs.

A identificação das UMs na área permite, além de realizar a aplicação de insumos a taxas variáveis entre unidades, considerar a variação na população de plantas na semeadura, visando um melhor aproveitamento do potencial produtivo de cada planta (AKUNE, 2015). Com isso, é possível adotar uma densidade de plantas para cada UM, conforme as características da subárea, obtendo-se assim um melhor aproveitamento da área produtiva.

Em diversos trabalhos autores obtiveram resultados positivos aplicando UMs na área produtiva. Destacam-se os trabalhos utilizando: dados de produtividade (HORBE et al., 2013; ANUAR et al., 2008; BLACKMORE, 2000; MILANI, 2006; RODRIGUES; ZIMBACK,

2002; STAFFORD et al., 1996); combinação de dados topográficos e condutibilidade elétrica do solo (FRAISSE; SUDDUTH; KITCHEN, 2001); correlação entre mapas de produtividade com atributos do solo (DIACOMO et al., 2012); e, a experiência do agricultor (FLEMING; WESTFALL, 2000).

3.8 Interpolação de dados

Com base em informações coletadas nos pontos amostrados, a interpolação de dados é um procedimento que permite estimar os valores de atributos em locais onde não se realiza a amostragem (BETZEK, 2012). Interpolando-se os dados torna-se possível converter dados pontuais em contínuos no campo de estudo, gerando padrões espaciais que podem ser comparados com outras entidades espaciais contínuas (BAZZI et al., 2010).

Na AP os métodos de interpolação mais utilizados para a geração de mapas temáticos são o inverso da distância elevado a uma potência (IDP) e a krigagem (SCHENATTO, 2014), e a diferença entre esses métodos são os pesos atribuídos às diferentes amostras (MIRANDA; FREITAS; FAGGION, 2009).

No método da krigagem é utilizada a dependência espacial entre as amostras, sendo possível estimar valores de atributos em qualquer ponto da área (CARVALHO; ASSAD, 2005).

A interpolação realizada pelo método IDP baseia-se na existência de correlação espacial positiva dos dados. Este método possui dois casos mais usuais: o inverso da distância (ID) e o inverso do quadrado da distância (IDQ), sendo que a diferença entre eles é o expoente utilizado no cálculo (BAZZI; SOUZA; BETZEK; 2015). O expoente utilizado no cálculo tem a função de atenuar a influência dos pontos mais distantes no valor do atributo no ponto escolhido. Assim, quanto maior a potência, menor a influência dos pontos mais distantes (MAZZINI; SCHETTINI, 2009).

3.9 Metodologias para geração de unidades de manejo (UMs)

Para delimitação das UMs frequentemente são usadas duas diferentes metodologias e estas podem ser classificadas em métodos empíricos e técnicas de agrupamento de dados (XIANG et al., 2007).

A definição de UMs por métodos empíricos utiliza a distribuição de mapas de produtividade e o conhecimento especializado para dividir o talhão em UMs (BLACKMORE, 2000). Porém, a definição de UMs pelo método empírico está sujeito a decisões subjetivas (FRAISSE; SUDDUTH; KITCHEN, 2001).

As técnicas de agrupamento de dados, como os algoritmos K-Means e Fuzzy C-Means, consistem na análise de um agrupamento de dados gerados e são considerados

mais complexos, permitindo um maior grau de diferenciação entre classes (SCHENATTO, 2014). Essa abordagem é considerada muito promissora na definição de UMs (YAN et al., 2007), pois baseia-se em diferentes fontes de dados, possibilitando o uso de um conjunto de fatores importantes para o desenvolvimento das culturas (SOBJAK, 2012).

Para geração de UMs são utilizados softwares como o FuzMe (MINASNU; MCBRATNEY, 2002) e o Management Zone Analyst (FRIDGEN et al., 2004). Porém, com a finalidade da geração dessas unidades, sendo disponibilizado em português e com ferramentas interativas e gratuitas, foi desenvolvido o Software para Definição de Unidades de Manejo, comumente chamado de SDUM (BAZZI; SOUZA; BETZEK, 2015). Este software engloba todas as ferramentas necessárias para se concluir as etapas: análise e correlação de atributos, interpolação de dados e geração de UMs.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Área Experimental

O trabalho foi conduzido em área experimental localizada no município de Céu Azul, região Oeste do estado do Paraná (Figura 1). A área possui aproximadamente 15,5 ha e sua localização geográfica central tem coordenadas geográficas aproximadas de 25 °06'32" S e 53 °49'55" O. A temperatura média anual no município é de 18,5 °C, sendo que o mês mais frio é junho e o mais quente é fevereiro. O clima é quente e temperado, classificado como Cfa na classificação de Köppen. A pluviosidade média anual é 1890 mm. O mês mais seco é agosto, com 100 mm, e o mês com maior precipitação é outubro, com uma média de 231 mm. O solo da área experimental tem textura argilosa e é classificado pela EMBRAPA (2006) como LATOSSOLO VERMELHO Distroférico.

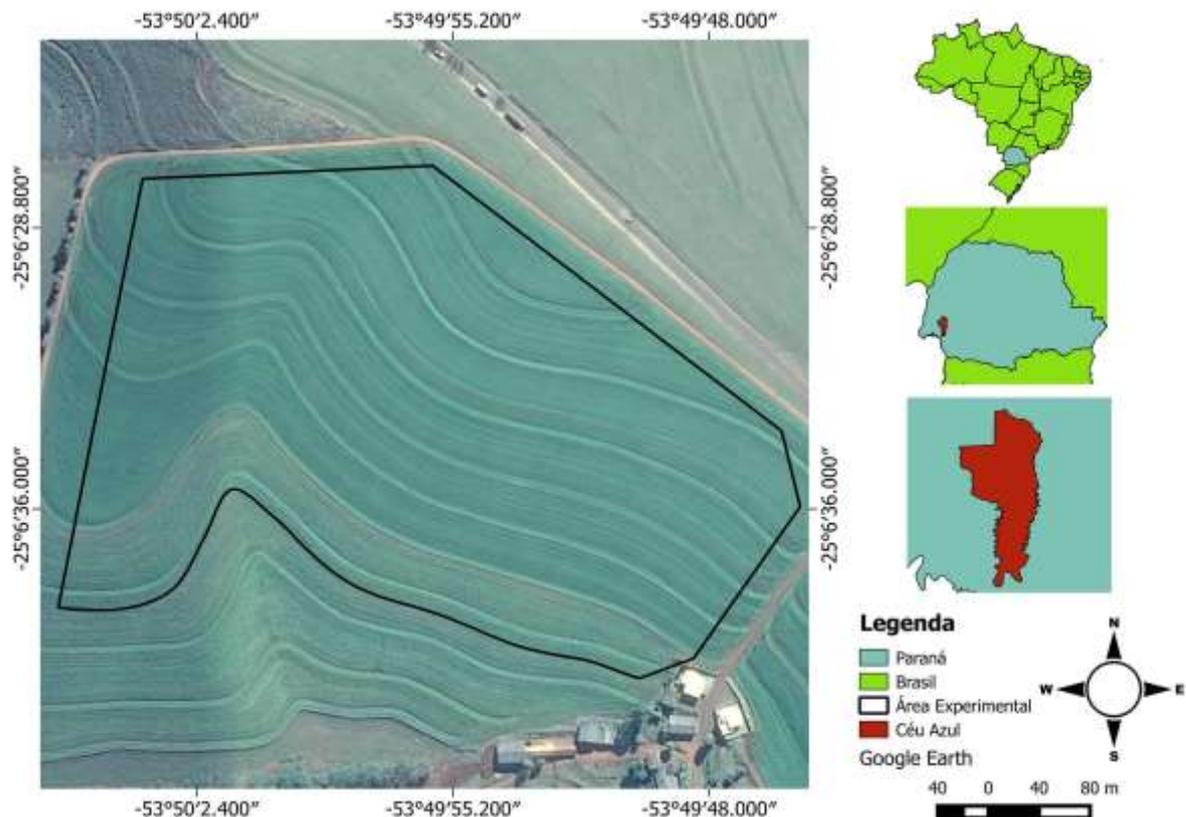


Figura 1 Localização da área experimental, Céu Azul/PR.

4.2 Dados Climatológicos

A coleta dos dados climatológicos analisados foi realizada no município de São Miguel do Iguçu, cidade que está localizada a 52 km da cidade de Céu Azul, em decorrência da ausência de estação meteorológica no local estudado.

Os dados climatológicos: temperatura mínima e máxima absolutas, precipitação e média da umidade relativa (UR) do ar coletados foram disponibilizados pelo Instituto Tecnológico Simepar 2016.

4.3 Grade amostral

A delimitação da área amostrada foi realizada com o aparelho GPS Trimble Geo Explorer XT 2005 utilizando o software PathFinder.

Para composição da grade amostral da área foram utilizados 40 pontos amostrais, estes com diferença nos atributos físicos e químicos do solo e relevo da área. A área experimental e a distribuição dos pontos amostrados estão representadas na Figura 2.

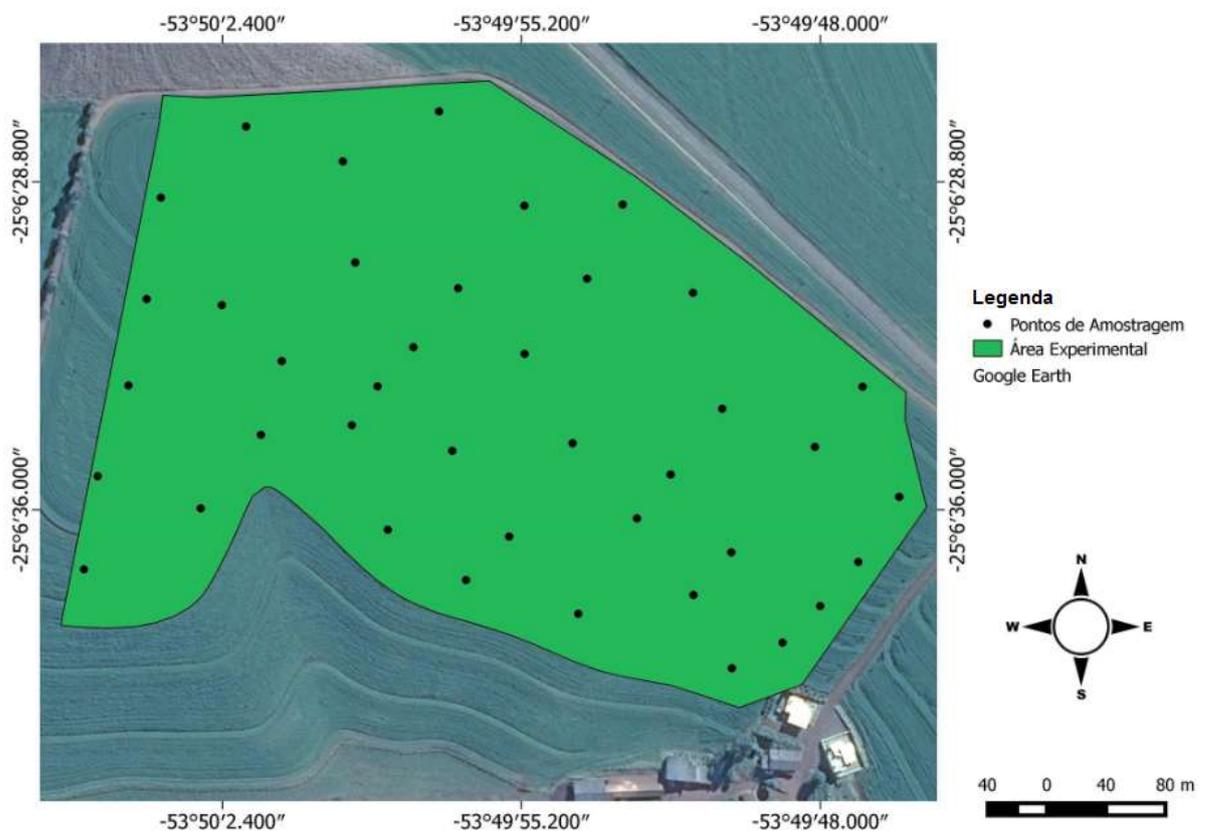


Figura 2 Área experimental e pontos amostrais.

4.4 Atributos químicos e físicos do solo

Nos pontos foram coletadas amostras químicas e físicas do solo no ano de 2015. Em cada ponto foram determinados os atributos relativos a altitude, declividade, atributos químicos, resistência do solo a penetração (RSP), densidade, porosidade total e macro e microporosidade do solo.

Para a determinação dos atributos químicos do solo foram coletadas amostras de solo com uso de trado na profundidade de 0,2 m. Foram coletadas oito amostras simples de

solo em torno dos pontos em um raio de 3 m (adaptado de WOLLENHAUPT; WOLKONSKI; CLAYTON, 1994).

Com as amostras simples coletadas se fez a composição da amostra composta representativa no ponto. O solo coletado foi acondicionado em sacos plásticos e encaminhado para laboratório para análise e quantificação dos atributos químicos do solo.

Foram realizadas quatro medições da RSP no entorno do ponto amostral, em solo com umidade na capacidade de campo, em um raio máximo de 3 m, para determinação da compactação do solo. Posteriormente foi calculada a média das medições para representação da RSP no ponto nas profundidades de 0-0,1, 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m. O aparelho utilizado nestas medições foi um penetrômetro eletrônico da marca Falker PenetroLOG (Figura 3), que expressa a RSP com a relação entre a força exercida para fazer penetrar um cone metálico no solo e sua área basal (BRADFORD, 1986).



Figura 3 Penetrômetro Digital Falker PenetroLOG.

Foram coletadas amostras de solo não deformadas com auxílio de anel volumétrico na profundidade de 0,2 m. Para a determinação das macro e microporosidades e da porosidade total as amostras de solo foram retiradas do anel, cobertas com lenços permeáveis e amarradas com barbante. Essas amostras foram mantidas por 24 horas em uma bandeja com água a uma altura de dois terços do anel volumétrico. Após 24 horas as amostras foram drenadas no potencial equivalente a 0,006 Mpa utilizando-se mesa de

drenagem (Figura 4). A densidade aparente do solo foi determinada através do método do volume conhecido e do teor de água do solo (EMBRAPA, 1997).



Figura 4 Drenagem da água das amostras não deformadas em mesa de drenagem.

Foi usada estação total eletrônica Topcon GPT-7505 para determinar a altitude dos pontos amostrados. Para calcular a declividade dos pontos foi feita a relação entre as distâncias vertical e horizontal entre eles com o software Surfer 10.

4.5 Definição de unidades de manejo

No processo que envolveu a definição de UMs na área experimental utilizou-se o software para definição de unidades de manejo (SDUM). A definição de UMs na área foi realizada por Schenatto (2014) e ocorreu nas seguintes etapas:

- Inserção de dados no SDUM;
- Avaliação de correlação espacial e seleção dos atributos que possuem relação com a produtividade;
- Interpolação de dados; e
- Agrupamento de dados e geração de UMs.

No SDUM foram inseridas as coordenadas dos pontos de contorno e as coordenadas georeferenciadas dos pontos amostrados pertencentes à área experimental. Após esse processo foram inseridos os dados coletados nos pontos amostrais referentes aos atributos físicos e químicos do solo, teor de matéria orgânica, pH do solo e a produtividade do ano agrícola 2012/2013.

Com os dados dos atributos inseridos, foi realizada a avaliação da correlação espacial dos atributos. Nesta etapa, verificou-se quais atributos influenciaram de forma

positiva ou negativa a produtividade e se as amostras dos atributos estavam correlacionadas espacialmente. Neste procedimento foi utilizada a correlação espacial cruzada (BONHAM; REICH; LEADER, 1995) (Equação 1).

$$I_{YZ} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} * Y_i * Z_j}{W \sqrt{m_Y^2 * m_Z^2}} \quad \text{Eq. (1)}$$

Em que:

I_{YZ} - nível de associação entre a variável Y e Z, variando de -1 a 1, sendo: correlação positiva $I_{YZ} > 0$ e correlação negativa $I_{YZ} < 0$;

W_{ij} - elemento ij da matriz de associação espacial, sendo calculado por $W_{ij} = (1/(1 + D_{ij}))$ sendo D_{ij} a distância entre os pontos i e j;

Y_i - valor da variável Y transformada do ponto i. A transformação é realizada para se ter uma média zero, pela fórmula: $Y_i = (Y_i - \bar{Y})$, em que \bar{Y} é a média amostral da variável Y;

Z_j - valor da variável Z transformada no ponto j. A transformação se dá para se ter uma média zero, pela fórmula: $Z_j = (Z_j - \bar{Z})$, em que \bar{Z} é a média amostral da variável Z;

W - soma dos graus de associação espacial obtidos com o uso da matriz W_{ij} , para $i \neq j$;

m_Y^2 - variância amostral da variável Y;

m_Z^2 - variância amostral da variável Z.

Para a seleção dos atributos seguiu-se o procedimento proposto por Bazzi (2011):

- 1) Foram removidas camadas com autocorrelação espacial não significativa a 95% de confiabilidade;
- 2) Eliminação das camadas que se apresentavam autocorrelacionadas entre si e que não apresentavam correlação com a produtividade;
- 3) Ordenação das camadas que sobraram em ordem decrescente em relação ao grau de correlação com a produtividade para, então, eliminar camadas redundantes, com correlação entre si;
- 4) As camadas que restaram foram utilizadas como base de dados para geração de UMs.

Após este procedimento de seleção de variáveis, Schenatto (2014) relata que restaram os atributos altitude e RSP 0-0,1 m selecionados para o agrupamento de dados e a geração de UMs.

Os dados de altitude e RSP 0-0,1 m dos pontos amostrados foram interpolados com o uso do interpolador inverso do quadrado da distância (IDQ) (Equação 2) (SHEPARD, 1968). Assim, foi possível estimar os dados desses atributos na área em sua totalidade. Com os dados estimados gerou-se os seus respectivos mapas temáticos.

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{Z_i}{D_i^2} \right)}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{D_i^2} \right)} \quad \text{Eq. (2)}$$

Em que:

Z - valor do atributo Z para o ponto a ser interpolado;

Z_i - valor de Z referente ao vizinho i;

D_i - distância entre o ponto a ser interpolado (Z) e o dado amostrado.

Com os mapas temáticos gerados, foi utilizado o algoritmo Fuzzy C-Means para o agrupamento de dados e, com o uso do SDUM, as UMs foram geradas. Na definição de UMs estabeleceu-se que a área fosse dividida em duas frações, onde cada fração da área representa uma UM.

Para definição de UMs o algoritmo Fuzzy C-Means tem como base o número de agrupamentos que se almeja aplicar no algoritmo (BEZDEK, 1981), sendo que o número de agrupamentos A_i corresponde às divisões em UMs que pode ser definida pelo usuário. Para cada agrupamento A, calcula-se o vetor V_i que é dado pela média ponderada dos dados em A (Equação 3) (BEZDEK, 1981).

$$V_i = \frac{\sum_{k=1}^n [A_i(X_k)]^m X_k}{\sum_{k=1}^n [A_i(X_k)]^m} \quad \text{Eq. (3)}$$

Em que:

V_i - corresponde ao centro do agrupamento A_i ;

A_i - agrupamento A;

m - medida de distância permitida entre pontos e centroides;

X - conjunto de dados da altitude e resistência a penetração 0 - 0,1 m na área.

Sendo que o cálculo da pertinência do elemento X_k à classe A_i (Equação 4) (BEDZEK, 1981) é realizada para cada X_k .

$$A_i(X_k) = \left[\sum_{j=1}^c \left(\frac{\|X_k - V_i\|^2}{\|X_k - V_j\|^2} \right)^{\frac{1}{m-1}} \right]^{-1} \quad \text{Eq. (4)}$$

Em que:

$\|X_k - V_i\|^2$ - distância entre X_k e V_i .

4.6 Semeadura de soja e adubação

A semeadura de soja ocorreu em 17 de outubro de 2015 e a cultivar de soja usada foi a Syngenta 1359 de ciclo superprecoce, que possui 90% de efetividade na germinação de sementes. O espaçamento entre linhas de semeadura foi atribuído pelo produtor, sendo 0,70 m. Tal espaçamento é incomum para semeadura de soja, mas pela experiência do produtor e a disponibilização da área para realizar o trabalho esse manejo não sofreu interferência, apenas as densidades foram atribuídas no trabalho, sendo aplicadas respeitando o espaçamento usado pelo agricultor.

Já para a realização da adubação considerou-se os resultados obtidos nas análises químicas do solo. Visou-se com a realização da adubação suprir a carência de nutrientes no solo e a necessidade nutricional das plantas de soja na área. A área é manejada com sistema de plantio direto e para controle de plantas daninhas foram aplicados herbicidas de pré e pós-emergência.

No plantio visou-se variar o espaçamento entre plantas na linha de cultivo, devido a diferenças em atributos e na capacidade produtiva em diferentes pontos da área e, para isso, foram determinadas duas diferentes densidades de semeadura para aplicação na área.

Na Tabela 1 pode-se observar as densidades de plantas (plantas ha^{-1}), a densidade de semeadura (sementes ha^{-1}) e outros parâmetros de semeadura. As densidades de semeadura (sementes ha^{-1}) aplicadas foram 10% superiores às densidades de plantas (plantas ha^{-1}) desejadas no trabalho, pois a taxa de germinação das sementes da cultivar de soja escolhida é de 90%.

Tabela 1 Parâmetros da semeadura realizada

Espaçamento entre plantas na linha de plantio (m)	Sementes m^{-1}	Plantas estabelecidas m^{-1}	Densidade de semeadura (sementes ha^{-1})	Densidade de plantas estabelecida (plantas ha^{-1})
0,06	17	15	243.000	214.000
0,05	20	18	286.000	257.000

4.7 Divisões da área e análises estatísticas realizadas

No planejamento experimental a área foi dividida em 2 UMs, 4 CNs e em 16 parcelas (Figura 5).

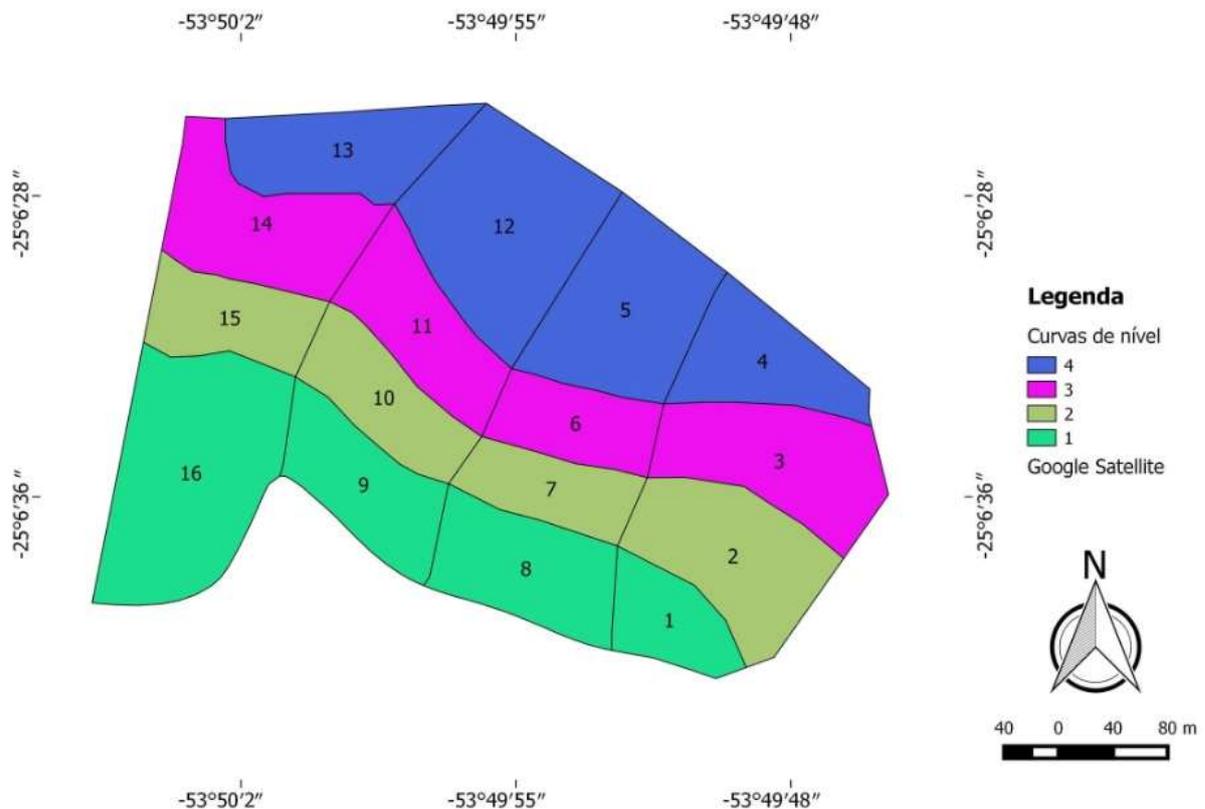


Figura 5 Divisões realizadas na área experimental.

A UM1 é composta pelas curvas de nível 1 e 2 e a UM2, UM com maior potencial produtivo, é composta pelas curvas de nível 3 e 4; essa composição ocorreu pela alta correlação da produtividade com a variação da altitude da área.

A área possui diferença de altitude de 25,1 metros, sendo que o ponto mais baixo e o mais alto da área possuem, respectivamente, 651,3 e 676,4 metros. A divisão da área em CNs ocorreu demarcando isolinhas, ou seja, linhas com a mesma altitude, sendo que CN1 foi inserida entre 651,3 e 656,3 m, a CN2 entre 656,4 e 661,3 m, a CN3 de 661,4 a 666,3 m, e a CN4 de 666,4 a 676,4 m.

Cada densidade de semeadura foi aplicada em parcelas sendo 2 por CN, 4 por UM e 8 na área total.

As análises estatísticas foram realizadas em duas etapas:

- Para comparação do desempenho produtivo das CNs realizou-se análise de variância estatística e posteriormente foi realizado teste de Tukey;
- Foi realizada análise estatística pelo teste t-Student entre UMs para comparação da produtividade alcançada pelas UMs; e

- Em cada UM foi realizado teste t-Student para comparação da produtividade obtida pelas densidades de plantas.

Para a análise estatística de comparação do desempenho produtivo das densidades de plantas dentro das CNs (Figura 6), utilizou-se de delineamento inteiramente ao acaso (DIC) e esquema fatorial em parcelas subdivididas. O fator principal foi representado pelas CNs e o fator secundário pelas densidades de plantas.

Na análise estatística entre UMs foi utilizado esquema fatorial em parcelas subdivididas, em que o fator principal foi representado pelas UMs e o fator secundário pelas densidades de plantas.

Na Figura 6 está representada a área dividida em UMs e CNs para comparação nas análises estatísticas.

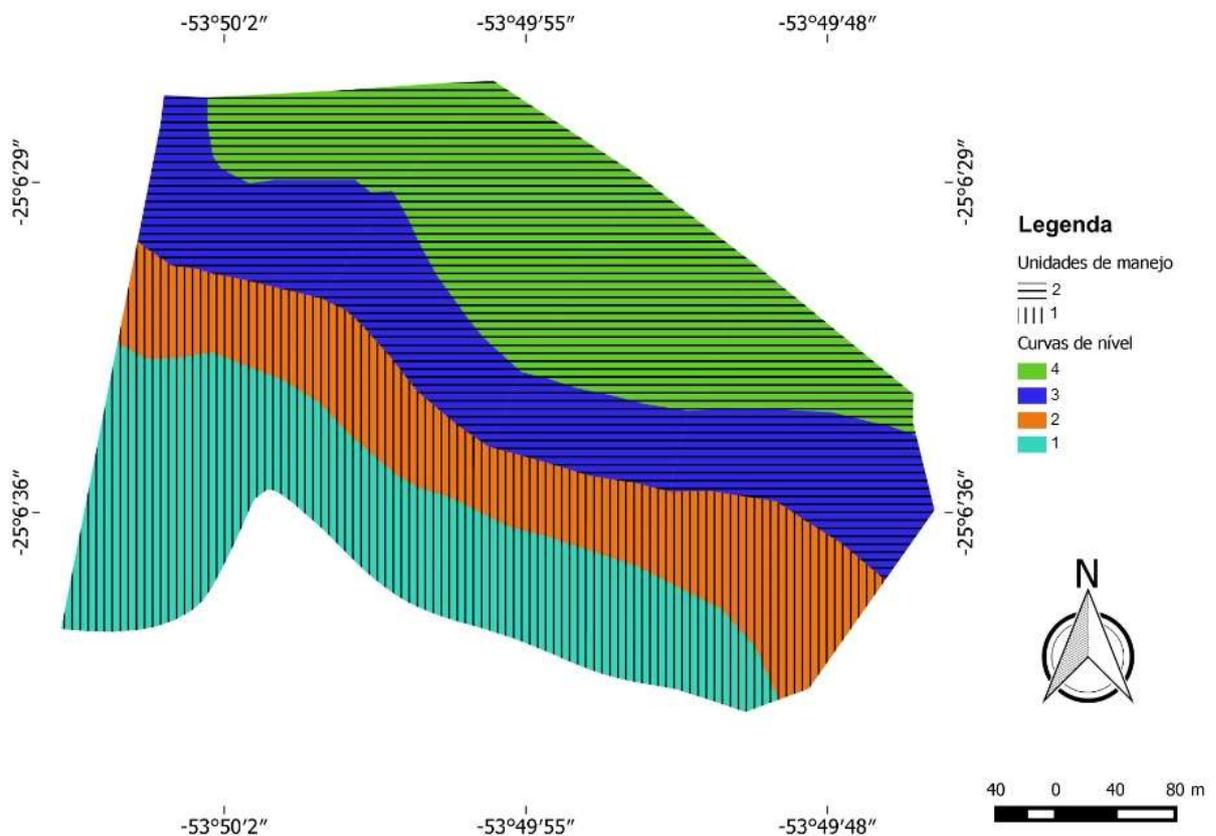


Figura 6 Divisão da área em unidades de manejo e curvas de nível.

4.8 Colheita e dados de produtividade

A colheita foi realizada em 15 de fevereiro de 2016. Para caracterizar a produtividade da área, obtiveram-se dados com o uso de monitor de colheita acoplado a colhedora da marca CASE, modelo CASE IV. Os dados obtidos posteriormente foram filtrados para excluir possíveis erros e representar com veracidade a produtividade na área.

A filtragem dos dados de produtividade seguiu as seguintes etapas:

1) Eliminação de erros de posicionamento, pontos localizados fora do talhão, ocasionados por falha no GPS ou erro do operador;

2) Descarte de pontos com largura da plataforma da colhedora inferior à largura informada ao sistema;

3) Retirada de pontos com distância nula;

4) Análise exploratória dos dados e eliminação de valores discrepantes do conjunto de dados. Para isso, foram calculadas as medidas de posição: quartil superior, quartil inferior e amplitude interquartílica. No cálculo do limite superior e inferior utilizou-se da metodologia proposta por Tukey (1977), procedendo-se à eliminação de pontos cujos valores de produtividade estiverem fora destes limites estabelecidos (Equações 5, 6, 7, 8 e 9).

$$QS = 0,75(N + 1) \quad \text{Eq. (5)}$$

$$QI = 0,25(N + 1) \quad \text{Eq. (6)}$$

$$AI = QS - QI \quad \text{Eq. (7)}$$

$$LS = QS + 1,5AI \quad \text{Eq. (8)}$$

$$LI = QI - 1,5AI \quad \text{Eq. (9)}$$

Em que:

N - número de dados;

QS - quartil superior;

QI - quartil inferior;

AI - Amplitude interquartílica;

LS - limite superior;

LI - limite inferior.

Com os dados de produtividade filtrados, no intuito de estimar a produtividade atingida nas parcelas constituintes da área, foi coletada a produtividade atingida em 37 pontos ao redor de um raio de 15 m do centroide de cada parcela; a média da produtividade desses pontos representou a produtividade média estimada em cada parcela.

4.9 Estimação de produtividade na área

Com os resultados da produtividade obtida nas parcelas que compõem a área, estimou-se a produtividade média que viria a ser alcançada no ano agrícola 2015/2016 utilizando-se apenas a densidade de plantas que alcançou maior produtividade em cada UM.

A produtividade média estimada para a safra 2015/2016 foi comparada com a produtividade média obtida nos anos agrícolas 2011/2012 e 2012/2013, na mesma área em estudo, quando ainda não havia ocorrido o estabelecimento de UMs e era aplicada apenas uma densidade de semeadura, que visava atender a capacidade produtiva da área.

4.10 Análise descritiva e exploratória dos dados

Para os dados das análises químicas e físicas do solo realizou-se análise exploratória, com a finalidade de identificar e avaliar a homogeneidade e a normalidade, tendo sido calculadas: as medidas de posição (mínimo, máximo, média e mediana); de dispersão (desvio padrão e coeficiente de variação); e de forma e de distribuição (coeficiente de assimetria e curtose e normalidade).

Na avaliação da normalidade dos dados, com 5% de significância, foram realizados os testes de Anderson Darling e Kolmogorov-Smirnov, sendo considerados normais os dados que apresentaram normalidade em pelo menos um dos testes.

Para os dados de produtividade nas UMs, CNs e densidades de semeadura foi calculado o coeficiente de variação (CV) para avaliar a dispersão dos dados.

O CV foi classificado de acordo com Pimentel-Gomez e Garcia (2002), sendo considerado baixo, quando $CV \leq 10\%$ (homocedasticidade); médio, quando $10\% < CV \leq 20\%$; alto, quando $20\% < CV \leq 30\%$; e muito alto, quando $CV > 30\%$ (heterocedasticidade).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise exploratória e estatística descritiva

Os resultados encontrados para os atributos químicos e físicos do solo e a análise exploratória e descritiva dos dados estão representados na Tabela 2 para a UM1 e na Tabela 3 para a UM2, onde observa-se que as duas UMs atingiram resultados semelhantes de CV na maioria dos atributos analisados, exceto nos atributos: Mn, areia, densidade e na RSP 10-20 m.

Tabela 2 Estatística descritiva dos atributos químicos e físicos do solo para a UM1

Análise química e física do solo para a unidade de manejo 1								
Atributo (unidade)	Mínimo	Média	Mediana	Máximo	DP	CV	Assimetria	Curtose
P (mg dm ⁻³)*	9,71	24,24	22,87	68,41	12,60	53,0(ma)	0,33(a)	7,15(C)
C (g dm ⁻³)	17,78	24,19	25,06	31,08	3,12	12,8(m)	-0,83(c)	0,69(A)
Acidez (pH)	5,00	5,66	5,70	6,20	0,29	5,2(b)	-0,44(a)	0,11(A)
Al (cmolc dm ⁻³)*	0,00	0,00	0,00	0,08	0,02	458(ma)	0,65(a)	21,00(C)
H + Al (cmol dm ⁻³)	3,42	4,59	4,61	6,21	0,77	16,8(m)	-0,08(a)	-0,50(A)
Ca (cmol dm ⁻³)	5,06	6,62	6,43	9,39	1,06	16,1(m)	0,54(a)	0,81(C)
Mg (cmol dm ⁻³)*	2,03	2,80	2,71	3,75	0,50	17,8(m)	0,57(a)	-0,77(B)
K (cmol dm ⁻³)	0,32	0,68	0,70	1,14	0,26	39,2(ma)	-0,28(a)	-1,25(B)
Cu (mg dm ⁻³)	8,57	12,09	11,84	15,71	1,96	16,2(m)	0,38(a)	-0,36(A)
Zn (mg dm ⁻³)*	2,53	4,99	4,75	15,32	2,63	52,6(ma)	0,27(a)	12,82(C)
Fe (mg dm ⁻³)*	21,16	31,09	28,42	46,67	7,22	23,2(a)	1,11(b)	0,11(A)
Mn (mg dm ⁻³)*	129,05	204,13	200,54	306,43	39,50	19,4(m)	0,27(a)	1,36(C)
CTC	12,99	14,69	14,57	16,61	1,02	7,0(b)	0,36(a)	-0,93(B)
M%*	0,00	0,62	0,00	3,35	0,93	149(ma)	2,01(b)	2,09(C)
Soma de bases	7,59	10,10	9,96	12,92	1,49	14,8(m)	0,29(a)	-0,68(A)
V%	55,00	68,49	68,11	78,20	6,33	9,2(b)	0,18(a)	-0,25(A)
Argila (%)	61,00	67,00	67,00	74,00	3,30	4,9(b)	0,00(a)	-0,28(A)
Silte (%)	14,00	20,19	20,00	25,00	2,62	13,0(m)	0,22(a)	0,23(A)
Areia (%)	8,00	12,81	13,00	17,00	2,40	18,8(m)	-0,24(a)	-0,48(A)
Porosidade total (cm ⁻³)	0,42	0,45	0,45	0,49	0,02	4,4(b)	0,29(a)	-0,64(A)
Macroporosidade (cm ⁻³)	0,06	0,11	0,12	0,16	0,02	22,3(a)	-0,66(a)	-0,11(A)
Microporosidade (cm ⁻³)	0,31	0,34	0,34	0,37	0,02	5,5(b)	0,14(a)	-1,38(B)
Densidade (g cm ⁻³)	1,24	1,33	1,33	1,45	0,06	4,7(b)	0,14(a)	-0,76(B)
RSP_0_10 (MPa)	1,68	2,41	2,42	3,32	0,39	16,2(m)	-0,05(a)	1,11(C)
RSP_10_20 (MPa)	1,81	2,29	2,32	2,71	0,22	9,7(b)	-0,34(a)	-0,31(A)
RSP_0_20 (MPa)	1,76	2,34	2,37	2,83	0,24	10,4(m)	-0,38(a)	0,68(A)
RSP_20_30 (MPa)*	1,63	1,95	2,02	2,27	0,23	12,0(m)	-0,87(b)	-1,74(B)
Altitude (m)	651,34	657,39	657,80	665,66	3,78	0,6(b)	-0,33(a)	-0,52(A)
Declividade (%)*	0,03	1,38	0,29	7,82	2,37	171(ma)	1,38(b)	2,66(C)

DP - Desvio Padrão; CV - Coeficiente de Variação: baixo (b); médio (m), alto (a), muito alto (ma); Simetria: Simétrica (a), Assimétrica positiva (b), Assimétrica negativa (c); Curtose: Mesocúrtica (A), Platicúrtica (B), Leptocúrtica (C); *Não normalidade dos dados a 5% de significância

Tabela 3 Estatística descritiva dos atributos químicos e físicos do solo para a UM2

Análise química e física do solo para a unidade de manejo 2								
Atributo (unidade)	Mínimo	Média	Mediana	Máximo	DP	CV	Assimetria	Curtose
P (mg dm ⁻³)*	6,61	17,40	16,33	45,33	8,84	50,8(ma)	0,36(a)	4,78(C)
C (g dm ⁻³)	17,78	23,23	23,80	28,28	2,87	12,4(m)	-0,60(a)	0,63(A)
Acidez (pH)	5,10	5,57	5,60	5,90	0,24	4,3(b)	-0,39(a)	0,68(A)
Al (cmolc dm ⁻³)*	0,00	0,01	0,00	0,08	0,02	318(ma)	0,94(b)	11,19(C)
H + Al (cmol dm ⁻³)	3,69	4,76	4,61	6,21	0,76	16,0(m)	0,58(a)	-0,95(B)
Ca (cmol dm ⁻³)	4,40	7,07	7,07	8,77	1,15	16,2(m)	0,00(a)	0,94(C)
Mg (cmol dm ⁻³)*	1,91	2,66	2,76	3,49	0,53	19,8(m)	-0,58(a)	-1,50(B)
K (cmol dm ⁻³)	0,18	0,62	0,58	0,99	0,23	37,8(ma)	0,52(a)	-0,95(B)
Cu (mg dm ⁻³)	8,00	10,49	10,29	14,15	1,74	16,6(m)	0,34(a)	0,25(A)
Zn (mg dm ⁻³)*	1,70	4,16	3,43	11,43	2,27	54,5(ma)	0,97(b)	5,37(C)
Fe (mg dm ⁻³)	20,02	32,95	34,24	52,51	8,76	26,6(a)	-0,44(a)	-0,13(A)
Mn (mg dm ⁻³)	131,74	204,10	187,45	304,35	50,62	24,8(a)	0,99(b)	-0,60(A)
CTC	13,01	15,10	14,91	16,41	0,97	6,4(b)	0,60(a)	0,03(A)
M%*	0,00	3,03	1,74	16,77	4,91	162(ma)	0,79(b)	5,00(C)
Soma de bases	7,25	10,35	10,56	12,68	1,52	14,7(m)	-0,42(a)	-0,10(A)
V%	55,73	68,21	69,04	77,46	6,52	9,6(b)	-0,38(a)	-0,40(A)
Argila (%)	60,00	68,84	70,00	74,00	3,67	5,3(b)	-0,95(c)	0,73(A)
Silte (%)*	19,00	21,42	21,00	26,00	2,39	11,1(m)	0,53(a)	-0,51(A)
Areia (%)	6,00	9,74	9,00	16,00	2,51	25,8(a)	0,88(b)	0,95(C)
Porosidade total (cm ⁻³)	0,42	0,44	0,44	0,47	0,02	3,7(b)	-0,13(a)	-0,51(A)
Macroporosidade (cm ⁻³)*	0,07	0,10	0,10	0,16	0,02	20,0(m)	0,76(b)	1,69(C)
Microporosidade (cm ⁻³)	0,30	0,34	0,34	0,36	0,01	4,2(b)	-0,60(a)	1,13(C)
Densidade (g cm ⁻³)*	1,25	1,39	1,37	1,98	0,15	11,0(m)	0,48(a)	12,79(C)
RSP_0_10 (MPa)	1,59	2,05	2,00	2,61	0,30	14,6(m)	0,50(a)	-0,95(B)
RSP_10_20 (MPa)	1,69	2,23	2,24	2,72	0,23	10,4(m)	-0,05(a)	1,16(C)
RSP_0_20 (MPa)	1,73	2,16	2,15	2,63	0,24	11,0(m)	0,22(a)	-0,05(A)
RSP_20_30 (MPa)	1,34	1,88	1,88	2,29	0,22	11,7(m)	0,06(a)	1,46(C)
Altitude (m)	662,03	668,50	669,54	676,41	4,22	0,6(b)	-0,74(a)	-0,70(A)
Declividade (%)*	0,09	1,03	0,39	10,13	2,25	218(ma)	0,86(b)	17,40(C)

DP - Desvio Padrão; CV - Coeficiente de Variação: baixo (b); médio (m), alto (a), muito alto (ma); Simetria: Simétrica (a), Assimétrica positiva (b), Assimétrica negativa (c); Curtose: Mesocúrtica (A), Platicúrtica (B), Leptocúrtica (C); *Não normalidade dos dados a 5% de significância

Para ambas as UMs a acidez (pH do solo), CTC, V%, argila, porosidade total, microporosidade e altitude obtiveram CV baixo, apresentando homogeneidade dos dados. Outros autores encontraram resultados semelhantes de CV para argila (BAZZI, 2011) e para CTC (SCHENATTO, 2014) em solos no Oeste do Paraná com características semelhantes ao solo utilizado no trabalho, enquanto que, Santos et al. (2001) encontraram resultados semelhantes de CV para o pH do solo.

Os atributos C, H + Al, Ca, Mg, Cu, soma de bases, silte, RSP em 0-10 m, 0-20 m e 20-30 m alcançaram CV médio nas duas UMs. Resultados semelhantes para esses atributos foram encontrados por Bazzi (2011), excetuando-se os encontrados para Cu.

Entretanto, Schenatto (2014) obteve resultados semelhantes para Cu, apresentando CV médio.

Nas duas UMs para Fe e macroporosidade encontrou-se resultados de CV alto e nos atributos remanescentes (P, Al, K, M% e declividade) obteve-se CV muito alto. Segundo Cavalcante et al. (2007) valores altos de CV encontrados para atributos químicos podem indicar efeitos residuais de adubações realizadas em anos anteriores.

Em relação às medidas de forma, na UM1 os atributos Fe, M%, declividade e RSP 20-30 m apresentaram assimetria positiva, representando que o valor da média dos dados é superior ao valor da mediana, e o nutriente C apresentou assimetria negativa, apresentando média dos dados inferior à mediana, enquanto os demais atributos alcançaram resultados que apontam simetria dos dados. Já na UM2, para os dados de Al, Fe, Mn, areia e macroporosidade obtiveram-se resultados que indicam assimetria positiva, enquanto os atributos silte e declividade apresentaram assimetria negativa. Entretanto, os atributos remanescentes na UM2, correspondendo à maioria dos dados, apresentaram distribuição simétrica.

Os atributos P, Al, Ca, Zn, Mn, M%, RSP 0-10 m e declividade, na UM1, e os dados de P, Al, Ca, Zn, M%, areia, macroporosidade, microporosidade, densidade, RSP 10-20 e 20-30 m e declividade, na UM2, obtiveram coeficiente de curtose classificado como leptocurtica, enquanto que, o Mg, K, CTC, microporosidade, densidade e RSP 20-30 m na UM1 e o H + Al, Mg, K e RSP 0-10 m na UM2 atingiram resultados para o coeficiente de curtose que indicam distribuição platicúrtica. Já os atributos remanescentes nas duas UMs apresentaram coeficiente de curtose que indicam distribuição mesocúrtica, indicando, segundo Gonçalves (1978), grau de curtose semelhante ao da curva de distribuição normal.

Não apresentaram normalidade dos dados a 5% de significância os atributos: P, Al, Mg, Zn, Fe, Mn, M%, RSP 20-30 m e declividade na UM1; P, Al, Mg, Zn, CTC, silte, macroporosidade, densidade e declividade na UM2.

Analisando-se os resultados nas UMs, como a maior parte dos atributos alcançou: CV baixo, homogeneidade dos dados; simetria, proximidade entre média e mediana; coeficiente de curtose mesocúrtica, curva de distribuição de dados semelhante a curva de distribuição normal; tem-se confiabilidade na divisão da área nas UMs definidas.

Os níveis de interpretação do teor dos atributos químicos no solo (muito alto, alto, média, baixo, muito baixo), indicados por Costa e Oliveira (2001), são apresentados na Tabela 4 para a UM1 e na Tabela 5 para a UM2. Como representação dos resultados calculou-se a porcentagem de cada atributo inserida nos níveis de classificação.

Tabela 4 Níveis de interpretação e porcentagem encontrada dos atributos químicos do solo na UM1

Classificação dos atributos químicos e físicos para a unidade de manejo 1					
Atributos	Níveis				
	Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito alto
P (mg dm ⁻³)		≤3,0	3,1 - 6,0	6,1 - 9,0	>9,0 100%
K (cmol dm ⁻³)		≤0,10	0,11 - 0,20	0,21 - 0,30	>0,30 100%
Ca (cmol dm ⁻³)		≤2,0	2,1 - 4,0	>4,0 100%	
Mg (cmol dm ⁻³)	<0,40	0,40 - 0,60	0,61 - 0,80	>0,80 100%	
C (g dm ⁻³)	<9,0	9,0 - 14,0	14,0 - 20,0 9,5%	20,0 - 35,0 90,5%	>35,0
Cu (mg dm ⁻³)		<0,8	0,8 - 1,7	>1,7 100%	
Zn (mg dm ⁻³)		<3,0 9,5%	3,0 - 7,0 85,7%	>7,0 4,8%	
Fe (mg dm ⁻³)		<15,0	15,0 - 40,0 90,5%	>40,0 9,5%	
Mn (mg dm ⁻³)		<15,0	15,0 - 30,0	>30,0 100%	
CTC (cmolc dm ⁻³)	≤5,00	5,00 - 8,00	8,01 - 15,00 66,7%	15,01 - 20,00 33,3%	>20,00
Al (cmolc dm ⁻³)	≤0,10 100%	0,11 - 0,50	0,51 - 1,0	1,1 - 2,0	>2,0
V%	≤25,0	26,0 - 50,0	51,0 - 70,0 66,7%	71,0 - 90,0 33,3%	>90,0

Padrões de referência de Costa e Oliveira (2001)

Tabela 5 Níveis de interpretação e porcentagem encontrada dos atributos químicos do solo na UM2

Classificação dos atributos químicos e físicos para a unidade de manejo 2					
Atributos	Níveis				
	Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito alto
P (mg dm ⁻³)		≤3,0	3,1 - 6,0	6,1 - 9,0	>9,0
				10,5%	89,5%
K (cmol dm ⁻³)		≤0,10	0,11 - 0,20	0,21 - 0,30	>0,30
			5,3%		94,7%
Ca (cmol dm ⁻³)		≤2,0	2,1 - 4,0	>4,0	
				100%	
Mg (cmol dm ⁻³)	<0,40	0,40 - 0,60	0,61 - 0,80	>0,80	
				100%	
C (g dm ⁻³)	<9,0	9,0 - 14,0	14,0 - 20,0	20,0 - 35,0	>35,0
			5,3%	94,7%	
Cu (mg dm ⁻³)		<0,8	0,8 - 1,7	>1,7	
				100%	
Zn (mg dm ⁻³)		<3,0	3,0 - 7,0	>7,0	
		36,7%	52,6%	10,5%	
Fe (mg dm ⁻³)		<15,0	15,0 - 40,0	>40,0	
			84,2%	15,8%	
Mn (mg dm ⁻³)		<15,0	15,0 - 30,0	>30,0	
				100%	
CTC (cmolc dm ⁻³)	≤5,00	5,00 - 8,00	8,01 - 15,00	15,01 - 20,00	>20,00
			52,6%	47,4%	
Al (cmolc dm ⁻³)	≤0,10	0,11 - 0,50	0,51 - 1,0	1,1 - 2,0	>2,0
	100%				
V%	≤25,0	26,0 - 50,0	51,0 - 70,0	71,0 - 90,0	>90,0
			57,9%	42,1%	

Padrões de referência de Costa e Oliveira (2001)

Verifica-se que o Al é o único atributo que possui classificação muito baixa (menor que 0,10 cmolc dm⁻³) e que está presente com essa classificação em 100% dos pontos amostrados em ambas as UMs. A ausência ou a quantidade insuficiente de Al no solo exclui os benefícios que esse nutriente traz para o sistema solo-planta. Além disso, a presença de Al em quantidade adequada no solo pode trazer benefícios como aumento na solubilidade e na disponibilidade de ferro (FOY, 1974) e bloqueio de cargas negativas da parede celular da planta, promovendo maior absorção de fósforo (MULLETE; HANNON, 1974).

A ocorrência do nutriente Cu em 100% dos pontos amostrais nas duas UMs apresentou classificação muito alta com teor desse nutriente acima de 8 mg dm⁻³. Deve-se ter atenção na disponibilidade do atributo Cu, pois, segundo Santos et al. (2004), a presença desse atributo em altas concentrações no solo pode ocasionar mudanças drásticas nos tecidos vegetais, em nível bioquímico e fisiológico, que podem resultar em perdas no potencial produtivo das plantas.

Na UM1 ambos os atributos P e K apresentaram classificação muito alta em 100% das amostras, enquanto na UM2 P e K obtiveram resultados que apontam classificação muito alta, estando presentes, respectivamente, em 89,5 e 94,7% dos pontos amostrados.

Os nutrientes Ca, Mg e Mn apresentaram nível de classificação alto quanto a sua presença no solo em 100% das amostras em ambas as UMs. O atributo C também apresentou classificação alta com presença em 90,5% na UM1 e 94,7% na UM2.

Os elementos P, K, Ca, Mg e C são macronutrientes e, apesar de estarem presentes em alta concentração no solo, não apresentam toxicidade para as plantas, pois estas possuem alta demanda desses nutrientes, diferentemente do Mn, que, estando presente em alta concentração no solo pode representar toxicidade para as plantas de soja caracterizado por encarquilhamento dos folíolos e pontos necróticos de coloração marrom escura no limbo foliar (SFREDO; BORKERT, 2004).

Apresentaram nível de classificação médio: na UM1 os atributos Zn (85,7%), Fe (90,5%), CTC (66,7) e V% (66,7%); e na UM2 os atributos Zn (52,6%), Fe (84,2%), CTC (52,6%) e V% (57,9%).

5.2 Adubação

Interpretando-se as análises químicas realizadas (Tabelas 2 e 3), os níveis de classificação (Tabelas 4 e 5) e seguindo-se as recomendações de Costa e Oliveira (2001), os resultados encontrados para os micronutrientes Fe, Mn, Zn e para os macronutrientes C, Ca, Mg, P, K nas UMs são considerados adequados, enquanto a quantidade de Cu e Al estão fora do padrão para o cultivo de soja. Porém, estes mesmos autores recomendam uma adubação de 50 a 60 Kg de P_2O_5 para obter um acréscimo de P e, conseqüentemente, aumentar a produtividade nas UMs. Para atender à recomendação, foi aplicado o adubo mineral NPK na seguinte formulação 8-40-00 em toda a área em uma quantidade de 125 kg ha^{-1} , feita diretamente no solo juntamente com a semeadura.

5.3 Unidades de Manejo

Com os resultados obtidos na realização do teste t-Student constatou-se, com nível de significância de 5%, em relação à produtividade que há diferença entre UMs.

Na Figura 7 observa-se a produtividade atingida em $t\ ha^{-1}$ nas UMs.

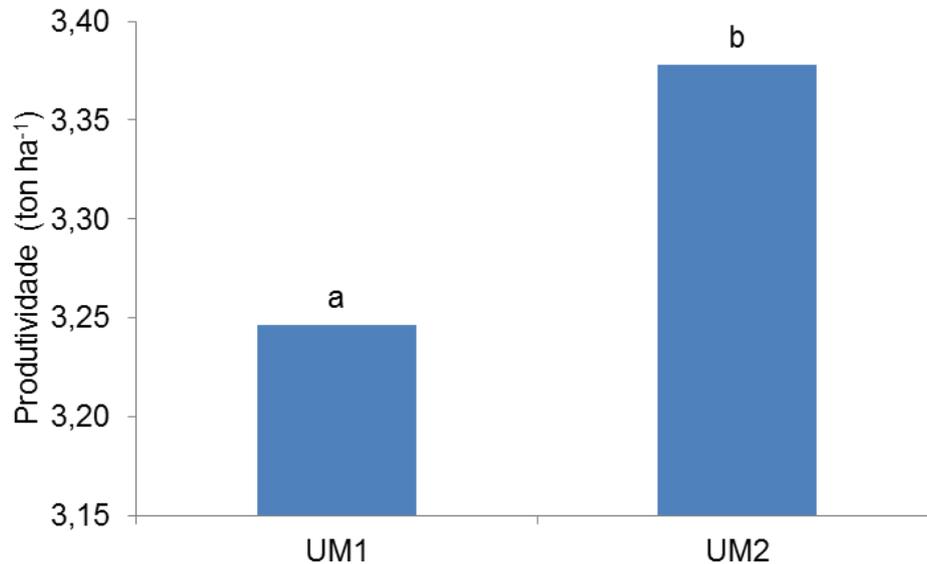


Figura 7 Produtividade alcançada nas unidades de manejo aplicando-se as densidades de plantas.

UM1 – Unidade de Manejo 1; UM2 – Unidade de Manejo 2; Produtividades seguidas com mesma letra não diferem no teste t-Student a nível de 5%

Observa-se que a UM2 alcançou produtividade de $3,38\ t\ ha^{-1}$, enquanto a UM1 atingiu $3,25\ t\ ha^{-1}$; assim, constata-se que a UM2 obteve produtividade 4,1% superior a UM1.

Em consonância com os resultados encontrados no teste t-Student na comparação de produtividade entre UMs, outros autores encontraram resultados significativos que evidenciam a efetividade da aplicação de UMs para gerir a produtividade na área (ALVES, 2013; HORBE et al., 2013; SANTI et al., 2013).

Os dados de produtividade nas UMs para o ano agrícola 2015/2016, com relação a dispersão e homogeneidade dos dados, apresentaram CV médio e, em consequência, possuem média dispersão dos dados.

5.4 Densidades de plantas

Com a realização do teste t-Student entre as densidades de semeadura em cada UM, com 5% de significância, em relação a produtividade obtiveram-se resultados que

evidenciaram diferenças significativas na aplicação das densidades de plantas dentro das UMs.

As produtividades obtidas pelas densidades de plantas nas UMs estão representadas em $t\ ha^{-1}$ na Figura 8.

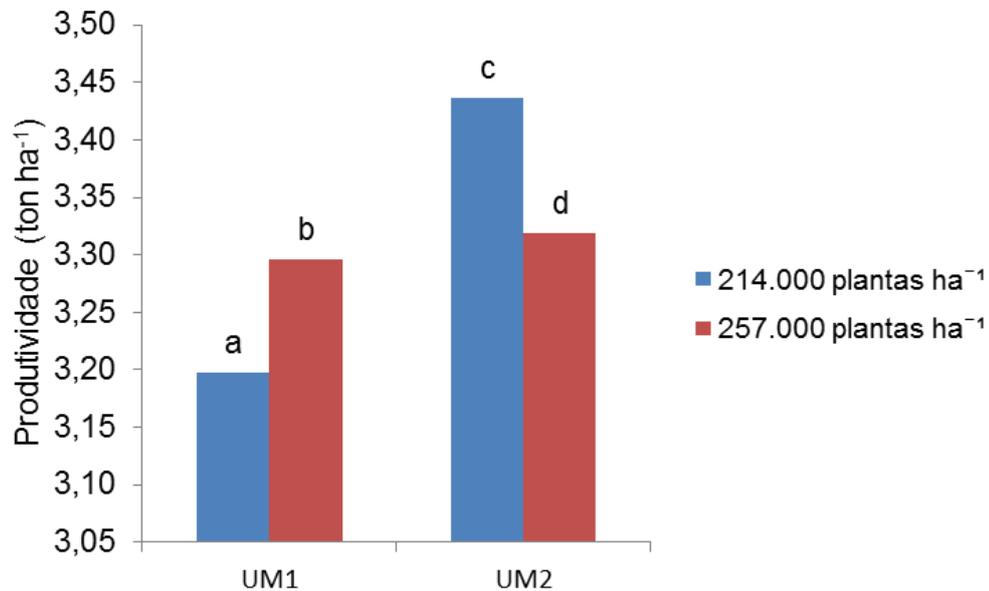


Figura 8 Produtividade alcançada pelas densidades de plantas dentro das unidades de manejo
 UM1 – Unidade de Manejo 1; UM2 – Unidade de Manejo 2; Produtividades seguidas com mesma letra não diferem no teste t-Student a nível de 5%

Realizando-se o teste t-Student para as densidades de plantas na UM1, observou-se que houve diferença significativa na produtividade e a densidade com número de plantas superior, 257.000 plantas ha^{-1} atingiu 3,30 $t\ ha^{-1}$, enquanto a densidade 214.000 plantas ha^{-1} alcançou 3,19 $t\ ha^{-1}$, obtendo, assim, uma produtividade 3,1% superior.

Com a realização do teste t-Student para as densidades de plantas na UM2 observou-se também que existe diferença em relação à produtividade, aplicando-se as duas densidades de plantas e a densidade de 214.000 plantas ha^{-1} alcançou 3,44 $t\ ha^{-1}$, enquanto a densidade de 257.000 plantas ha^{-1} atingiu 3,32 $t\ ha^{-1}$. Com isso, observa-se que a menor densidade obteve uma produtividade 3,34% superior à mais elevada.

Os resultados encontrados na aplicação das densidades de plantas estão de acordo com os resultados encontrados por outros autores que obtiveram efeito significativo da variação da densidade de plantas na produtividade (CRUZ et al., 2016; PETTER et al., 2016; PRICINOTTO; ZUCARELI, 2014).

Em seu experimento Cruz et al. (2016) e Costa (2013) atingiram maior produtividade aplicando maiores densidades de plantas, resultados que se assemelham aos alcançados na UM1. Segundo Balbinot Junior et al. (2015), em algumas situações, a reduzida densidade

de plantas pode limitar a produtividade de grãos, provavelmente em razão do menor aproveitamento de recursos do meio.

Porém, em oposição a estes resultados, Petter (2016), Pricinotto e Zucareli (2014) atingiram em seus experimentos produtividade superior aplicando menor densidade de plantas, resultado em conformidade com o observado na UM2. Para Balbinot Junior et al. (2015), altas densidades de plantas afetam a competição intraespecífica entre plantas, afetando a quantidade de recursos do ambiente disponíveis para cada planta.

Na literatura também existem trabalhos que obtiveram baixa resposta da soja às variações de densidade de plantas (PROCÓPIO et al., 2013; DE LUCA; HUNGRIA, 2014).

Avaliando-se a dispersão dos dados de produtividade no período 2015/2016, observou-se que as densidades de plantas apresentaram CV baixo e, conseqüentemente, homogeneidade dos dados.

5.5 Curvas de nível

Realizando-se a ANOVA para comparação da produtividade alcançada pelas CNs, percebeu-se que existe diferença a nível de 5% de significância. Para identificação das diferenças, realizou-se o teste de Tukey, com nível de significância de 5%, na comparação das médias das produtividades alcançadas nas CNs.

Na Figura 9 estão representadas as produtividades alcançadas em $t\ ha^{-1}$, realizando o plantio de soja nas diferentes CNs.

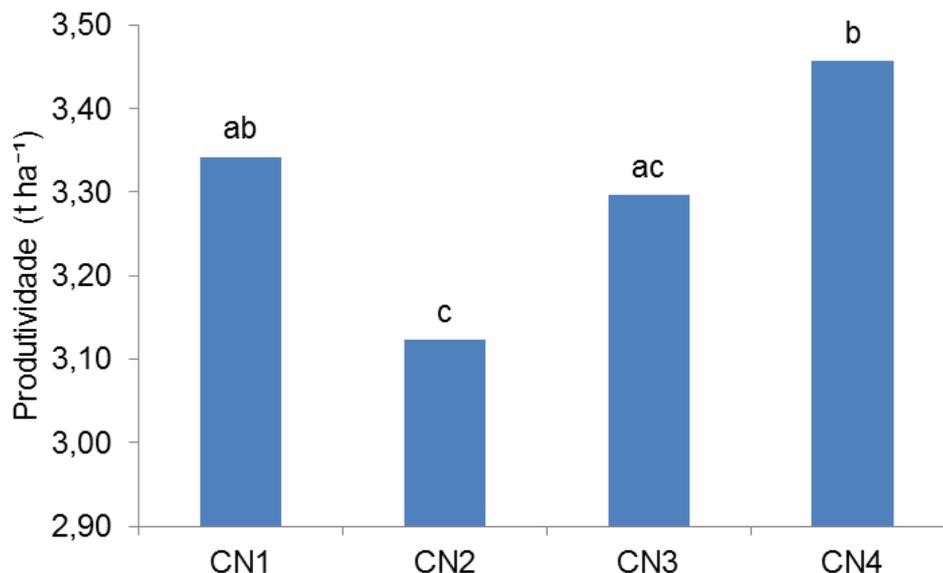


Figura 9 Produtividade alcançada nas curvas de nível
 CN1 – Curva de Nível 1; CN2 – Curva de Nível 2; CN3 – Curva de Nível 3; CN4 – Curva de Nível 4; Produtividades seguidas com mesma letra não diferem no teste de Tukey a nível de 5%

Observa-se na figura 9 que as produtividades alcançadas pelas CNs foram: 3,342 t ha⁻¹ na CN 1, 3,123 t ha⁻¹ na CN 2, 3,296 t ha⁻¹ na CN 3 e 3,457 t ha⁻¹ na CN 4.

Realizando-se o teste de Tukey, ao nível de 5% de significância, na comparação das produtividades nas CNs observou-se que:

- A CN4 obteve produtividade superior às CN 3 e 2 e semelhante à CN1;
- A produtividade alcançada pela CN1 foi superior à CN2 e semelhante à CN3;
- A CN3 alcançou produtividade superior à CN2.

Os resultados encontrados: semelhança entre a produtividade alcançada na curva mais elevada (CN4) e na curva localizada na região mais baixa (CN1); as produtividades reduzidas nas curvas intermediárias (CN2 e CN3) podem ter sido ocasionadas pela influência da variação da RSP e da diferença da declividade em diferentes pontos na área.

Na literatura, Munhoz et al. (2014) e de Oliveira et al. (2015) obtiveram resultados efetivos da influência dos atributos topográficos na produtividade e, em contraposição, Bendahan e Veiga (2002) encontraram resultados semelhantes no rendimento e em parâmetros produtivos em diferentes níveis topográficos.

Com relação à dispersão dos dados observou-se que os dados de produtividade das CNs apresentaram CV baixo e, conseqüentemente, homogeneidade dos dados.

5.6 Estimação de produtividade na área

Com os dados de produtividade obtidos no ano agrícola 2015/2016 foi possível estimar a produtividade média que viria a ser atingida na área no período em questão com a aplicação das densidades de plantas 257.000 e 214.000 plantas ha⁻¹, respectivamente, na UM1 e UM2, que seria 3,37 t ha⁻¹.

Comparativamente, a produtividade média de 3,37 t ha⁻¹ é superior ao valor obtido na mesma área no ano agrícola 2011/2012 de 2,44 t ha⁻¹, porém é inferior à produtividade média atingida na safra 2012/2013 de 3,93 t ha⁻¹.

As produtividades médias alcançadas em t ha⁻¹ nos períodos citados estão representadas na Figura 10.

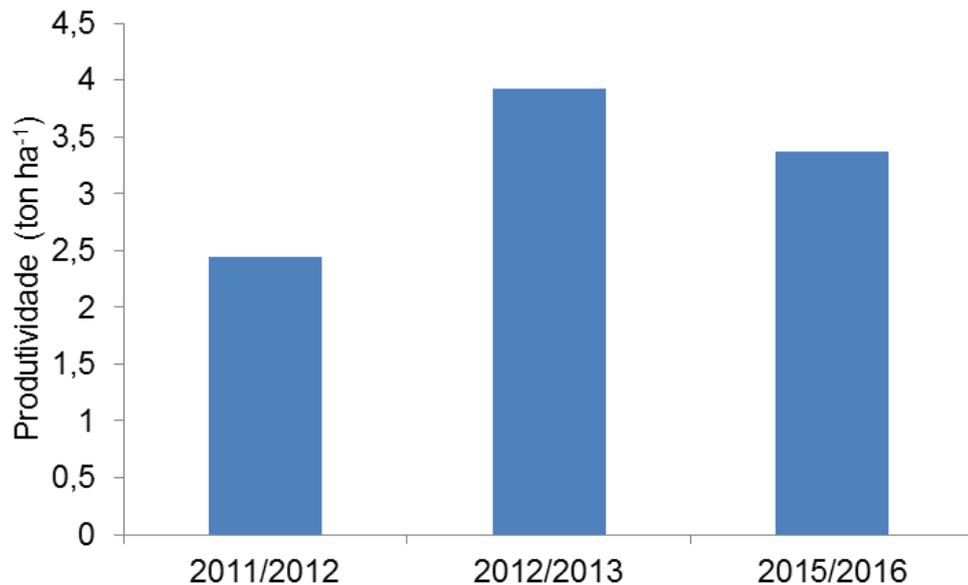


Figura 10 Comparativo de produtividade média de 2011/2012 e 2012/2013 com a estimativa de produtividade média na safra 2015/2016

Com relação aos dados climatológicos, a temperatura ideal para o desenvolvimento da soja é 30 °C, considerando que temperaturas abaixo de 10 e acima de 40 °C limitam o crescimento e tornam a temperatura fator limitante no cultivo da soja (FARIAS; NEPOMUCENO; NEUMAIER, 2007).

Observa-se nos dados coletados (Figura 11) pelo Instituto Tecnológico Simepar 2016 que no período de cultivo da soja 2015/2016 em todos os meses a temperatura mínima (Figura 11a) foi superior a 10 °C e a temperatura máxima (Figura 11b) foi inferior a 40 °C, não tornando a temperatura fator limitante no desenvolvimento da soja durante o ciclo. A UR (Figura 11c) na safra 2015/2016 se manteve acima de 70%, em condições ideais para o cultivo de soja, não sendo considerado um fator limitante da manutenção de água pelas plantas. Já com relação à precipitação (Figura 11d) houve chuvas irregulares durante o ciclo da soja no período de 2015/2016, sendo que a disponibilidade de água para as plantas de soja tem maior importância em dois períodos distintos no desenvolvimento das plantas: germinação-emergência e floração-enchimento de grãos. No período de floração-enchimento de grãos a planta de soja tem a exigência hídrica de 7 a 8 mm/dia (FARIAS; NEPOMUCENO; NEUMAIER, 2007). Na safra 2015/2016 o período de floração-enchimento da soja foi em janeiro, sendo que neste mês não foi atingida a exigência hídrica para soja neste estágio. Assim, considera-se que a água disponível para a soja durante seu ciclo pode ter limitado o desenvolvimento das plantas de soja na safra 2015/2016.

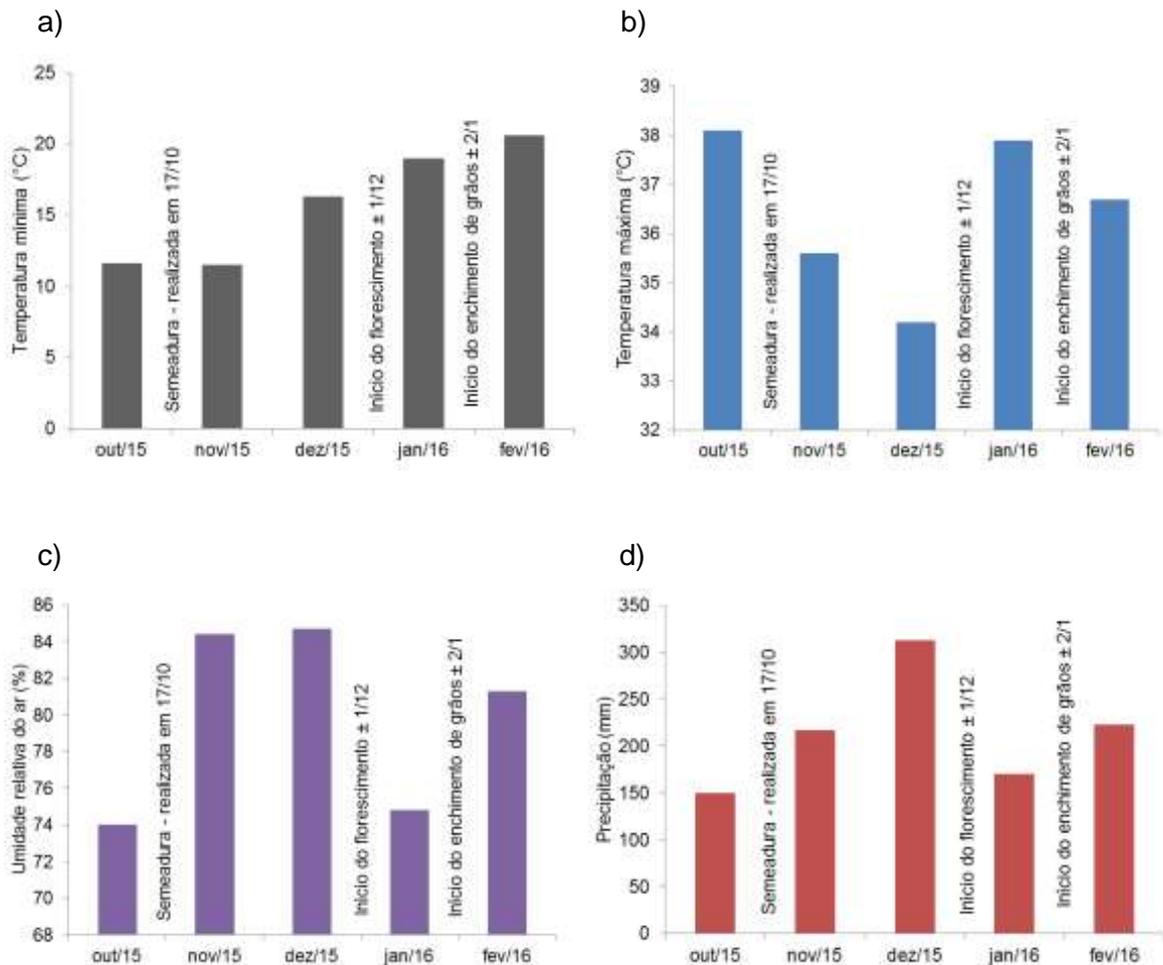


Figura 11 Dados climatológicos em São Miguel do Iguçu na safra de soja de 2015/2016: a) temperatura mínima (°C); b) temperatura máxima (°C); c) umidade relativa (%); e, d) precipitação (mm).

Fonte Instituto Tecnológico Simepar (2016)

Assim, analisando-se dados climatológicos cedidos pelo Instituto Tecnológico Simepar de 2015/2016 e dados do trabalho de Schenatto (2014) em 2012/2013 na mesma área, deve-se considerar, em relação à produtividade nos anos agrícolas 2012/2013 e 2015/2016, que em 2012/2013 houve melhor distribuição de chuvas que em 2015/2016 e este fator possibilitou que a produtividade em 2012/2013 fosse superior.

No ano agrícola 2012/2013, comparado a 2015/2016, ocorreu maior quantidade de chuvas no período de floração-enchimento de grãos e foi possível suprir a necessidade hídrica das plantas de soja no seu período de maior exigência hídrica, enquanto que em 2015/2016 o índice de precipitação na floração-enchimento de grãos foi insuficiente e não supriu a exigência hídrica da soja para este período.

6 CONCLUSÃO

A divisão em UMs, considerando-se o relevo da área e a RSP 0-0,1 m, demonstrou ser uma técnica efetiva para gerir a produtividade.

A densidade de plantas de 257.143 plantas ha⁻¹, em comparação com a densidade de 214.285 plantas ha⁻¹, alcançou maior produtividade e é a mais recomendada para aplicação na UM1.

Para a UM2 em relação às densidades de plantas, 257.143 e 214.285 plantas ha⁻¹, a densidade reduzida é a recomendada, pois atingiu maior produtividade.

Com relação às CNs não se obteve resultados conclusivos da influência da altitude e declive no potencial produtivo da área, sendo que outras variáveis podem ter interferido diretamente na produtividade alcançada no período estudado.

7 REFERÊNCIAS

- AKUNE, V. S. da C. **Cultivo de milho verde em sucessão ao arroz no Vale Ribeira, SP: subsídios para adoção de zonas de manejo**. 2015. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista. Botucatu, SP, 2015.
- ALAMBERT, M. R. **Estimação estocástica de parâmetros produtivos da soja**. 2010. Dissertação (Mestrado Profissional em Agroenergia). Fundação Getúlio Vargas – Escola de Economia de São Paulo. São Paulo, SP, 2010.
- ALVES, E. A. **Variabilidade espacial e temporal da qualidade do café cereja produzido na região das serras de Minas**. 2009. 135p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 2009.
- ALVES, S. M. de F.; ALCÂNTARA, G. R.; REIS, E. F. dos; QUEIROZ, D. M. de; VALENTE, D. S. M. Definição de zonas de manejo a partir de mapas de condutividade elétrica e matéria orgânica. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.29, n.1, p.104-114, jan/fev. 2013.
- ANSELMÍ, A. A. **Adoção da agricultura de precisão no Rio Grande do Sul**. 2012. Dissertação (Mestrado em Agronegócios). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, 2012.
- ANSELMÍ, 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.
- ANUAR, A. R.; GOH, K. J.; HEOH, T. B.; AHMED, O. H. Transforming Spation-Temporal Yield laps to Classified Management Zone Maps for efficient management of Oil Palm. **American Journal of Applied Sciences**, Al Ain, v. 5, n. 10, p. 1392-1396, 2008.
- BALBINOT JUNIOR, A. A.; PROCOPIO, S. de O.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C. **Densidade de plantas na cultura da soja**. Documento 364. Londrina: Embrapa Soja, 2015.
- BAZZI, C. B. **Software para definição e avaliação de unidades de manejo em agricultura de precisão**. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel, PR, 2011.
- BAZZI, C. L.; SOUZA, E. G. de; BETZEK, N. M. **Software para definição de unidades de manejo: teoria e prática**. Cascavel: UNIOESTE/PGEAGRI, 2015.
- BAZZI, C. L.; SOUZA, E. G. de; URIBE-OPAZZO, M. A.; KONOPATZKI, M. R. S. Influência do tipo de interpolador em mapas de resistência a penetração. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2010, Ribeirão Preto. **Anais... Ribeirão Preto: CONBAP**, 2010.
- BEDZEK, J. C. **Patter recognition with fuzzy objective function algorithms**. New York: Plenum Press, 1981. 256 p.
- BENDAHAN, A. B.; VEIGA, J. B. da **Relação entre as características do solo e de pastagens na microrregião de Castanhal, Pará**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 04. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2002.

BENNIE, J.; HUNTLEY, B.; WILTSHIRE, A.; HILL, M.O.; BAXTER, R. Slope, aspect and climate: spatially explicit and implicit models of topographic microclimate in chalk grassland. **Ecological Modelling**, v. 216, 2008, p. 47–59.

BETZEK, N. M. **Comparação de três métodos de interpolação na construção de mapas temáticos**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel, PR, 2012.

BICKI, T.J.; SIEMENS, J.C. Crop response to wheel traffic soil compaction. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v.34, p.909-913, 1991.

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

BLACKMORE, S.; GODWIN, R.; FOUNTAS, S. The analysis of special and temporal trends in yield map data over six years. **Biosystems Engineering**, London, v.84, n.4, p. 455-466, 2003.

BONHAM C. D.; REICH R. M.; LEADER K. K. Spacial cross-correlation of *Bouteloua gracilis* with site factors. **Grassland Science**, Nasushiobara, v. 41, n. 1, p. 196-201, 1995.

BOTTEGA, E. L.; QUEIROZ, D. M. de; PINTO, F. de A. de C.; SOUZA, C. M. A. de. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistemas de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. **Ciência Agrônômica (online)**, v.44, n.1, p. 1-9, 2013.

BOTTEGA, E. L. **Utilização de zonas de manejo para a produção de soja no cerrado brasileiro**. 2014. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 2014.

BRADFORD, J.M. Penetrability. In: KLUTE, A. (Ed.) **Methods of soil analysis, physical, chemical and mineralogical methods**. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 463-78.

BRUBAKER, S.C.; JONES, A.J.; FRANK, K.; LEWIS, D.T. Regression models for estimating soil properties by landscape position. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, 1994, p. 1763–1767.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L.R.F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba, SP: ESALQ, 1997. 132p

CARVALHO, J. R. P.; ASSAD, E. D. Análise espacial da precipitação pluviométrica no Estado de São Paulo: comparação de métodos de interpolação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 377-384, 2005.

CARVALHO, L. C.; BUENO, R. C. O. de F.; CARVALHO, M. M.; FAVORETO, A. L.; GODOY, A. F. Novas técnicas de arranjos de semeadura na cultura da soja. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer – Goiânia, v. 9, n. 17, p. 1940, 2013.

CARVALHO, M. A. de; RUIZ, H. A.; COSTA, L. M. da; PASSOS, R. R.; ARAUJO, C. A. de S. Composição granulométrica, densidade e porosidade de agregados de Latossolo Vermelho sob duas coberturas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 10, p. 1010-1016, out. 2014.

CARVALHO, M.P.; TAKEDA, E.Y.; FREDDI, O.S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.6, p.695-703, 2003.

CAVALCANTE, E. G. S.; ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1329-1339, 2007.

CAVALETT, O. **Análise do ciclo de vida da soja**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos). Universidade Estadual de Campinas – Faculdade de Engenharia de Alimentos. Campinas, SP, 2008.

CHAGAS, C. da S.; FONTANA, A.; CARVALHO JUNIOR, W. de; CAIRES, S. M. de. Atributos topográficos na diferenciação de Argissolos. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 6, p. 1441-1453, dez. 2013.

CHANG, J.; CLAY, D.E.; CARLSON, C.G.; CLAY, S.A.; MALO, D.D.; BERG, R.; KLEINJAN, J.; WIEBOLD, W. Different techniques to identify management zones impact nitrogen and phosphorus sampling variability. **Agronomy Journal**, Madison, v.95, p. 1550-1559, 2003.

CHEESBROUGH, T. M. Decreased growth temperature increases soybean stearyl-acyl carrier protein desaturase activity. **Plant Physiology**, Peoria, v. 93,1990, p. 555–559.

CID-GARCIA, N. M.; ALBORNOZ, V.; RIOS-SOLIS, Y. A. Rectangular shape management zone delineation using integer linear programming. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 93, p. 1-9, abril 2013.

COMPAGNON, A. M.; ZERBATO, C.; VOLTARELLI, M. A.; ROSALEN, D. L.; FURLANI, C. E. A. Métodos de interpolação aplicados na espacialização da resistência mecânica do solo à penetração. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2014, São Pedro. **Anais...São Pedro: CONBAP**, 2014.

COSTA, C. C. da; GUILHOTO, J. J. M. Impactos potenciais da agricultura de precisão sobre a economia brasileira. **Revista de economia e agronegócio**, São Carlos, v.10, n.2, p. 178-204, 2013.

COSTA, E. D. **Arranjo de plantas, características agronômicas e produtividade de soja**. 2013. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu. Botucatu, 2013.

COSTA, J. M.; OLIVEIRA, E. F. **Fertilidade do solo e nutrição de plantas**: culturas: soja-milho-trigo-algodão-feijão. 2. ed. Campo Mourão: COAMO, Cascavel: COODETEC, 2001. 93p.

COSTA, N. R.; CARVALHO, M. de P.; DAL BEM, E. A.; DALCHIAVON, F. C.; CALDAS, R. R. Produtividade de laranja correlacionada com atributos químicos do solo visando a zonas específicas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 44, n. 4, p. 391-398, dez. 2014.

CRUZ, S. C. S.; SENA-JUNIOR, D. G.; 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**, Cassilândia, v. 3, n. 1, p. 1–6, 2016.

DAVATGAR, N.; NEISHABOURI, M. R.; SEPASKHAH, A. R. Delineation of site specific nutrient management zones for a paddy cultivated area based on soil fertility using fuzzy clustering. *Geoderma*, local, v.173-174, p. 111-118, março 2012.

DE LUCA, M. J.; HUNGRIA, M. Plant densities and modulation of symbiotic nitrogen fixation in soybean. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 71, n. 3, p. 181-187, 2014.

DIACONO, M.; CASTRIGNANO, A.; TROCCOLI, A.; BENEDETTO, D. de; BASSO, B.; RUBINO, P. Spatial and temporal variability of wheat grain yield and quality in a Mediterranean environment: A multivariate geostatistical approach. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.131, p. 49-62, 2012.

DUVICK, D. N. What is yield? In: EDMEADES, G.O.; BANZIGER, M.; MICKELSON, H.R.; PEÑA-VALDIVIA, C.B. (Ed), **Developing Drought and Low N-tolerant maize**. CMMYT, El Batán, Mexico, p. 332-335. 1997.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Agricultura de precisão, resultados de um novo olhar**, Brasília, 2014.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA – CNPS, 1997. 212 p.

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

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Tecnologias de produção de soja – região central do Brasil 2014**. Sistemas de Produção 16. Londrina: Embrapa Soja, 2013.

FAGAN, E. B. **A cultura de soja: modelo de crescimento e aplicação da estrobilurina piraclostrobina**. 2007. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, SP, 2007.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. Ecofisiologia da Soja. **Circular Técnica 48**. Londrina: Embrapa Soja, 2007.

FERREIRA, M. M. **Caracterização física do solo**. In: LIER, Q. de J. van. Física do solo. Viçosa: SBCS, 2010. p.1-27.

FLEMING, K. L.; WESTFALL, D. G. Evaluating farmer defined management zone maps for variable rate fertilizer application. **Precision Agriculture**, v. 2, n. 2, p.201-215, 2000.

FLORES, C. A.; ALBA, J. M. F. **A pedologia e a agricultura de precisão**. In: EMBRAPA. **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília: EMBRAPA, 2014.

FOY, C. D. Effects of aluminum on plant growth. In: CARSON, E. W. (Ed.). **The plant root and its environment**. Charlottesville: University Press of Virginia, 1974. p. 601-642.

FRAISSE, C. W., SUDDUTH, K. A.; KITCHEN, J. R. Delineation of site-specific management zones by unsupervised classification of topographic attributes and soil electrical conductivity. **International Journal of the American Society of Agricultural and Biological Engineers**, Joseph, v. 1, n. 44, p. 155-166, 2001.

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**, Madison, v. 96, p. 100-108, 2004.

GIMENEZ, L. M.; MOLIN, J. P. **Geração de um índice de fertilidade para definição de zonas de manejo em agricultura de precisão**. 2000. ESALQ/USP. Disponível em: <<http://www.ler.esalq.usp.br/download/gmap/iniciacao/GeracaodeumIndiceLGimenez2000.pdf>>. Acesso em: 14 mar. 2016.

GONÇALVES, F. A. **Estatística descritiva**: uma introdução. São Paulo: Atlas, 1978.

GOOVAERTS, P.; CHIANG, C.N. Temporal persistence of spatial patterns for mineralizable N and selected soil properties. **Soil Science Society of America Journal**, v. 57, 1993, p. 372–381.

HAUSCHILD, F. E. **Técnicas de agricultura de precisão para definição de zonas de manejo**. 2013. Dissertação (Mestrado em Agricultura de Precisão). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, 2013.

HILLEL, D. **Fundamentals of soil physical**. New York, Academic Press. 1980. 413 p.

HIRAKURI, M. H.; BALBINOT JUNIOR, A. A. **Análise econômica de diferentes densidades de semeadura na cultura da soja**. Comunicado técnico 87. Londrina: Embrapa Soja, 2015.

HÖRBE, 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**, New York, v.14, p.450-465, 2013.

INAMASU, R. Y.; BERNARDI, A. C. de C.; NAIME, J. de M.; QUEIROS, L. R.; RESENDE, Á. V. de; VILELA, M. de F.; BASSOI, L. H.; PEREZ, N. B.; FRAGALLE, E. P. **Estratégia de implantação, gestão e funcionamento da Rede Agricultura de Precisão**. In: EMBRAPA INSTRUMENTAÇÃO. Agricultura de precisão um novo olhar. São Carlos: EMBRAPA, 2011.

INAMASU, R. Y.; BERNARDI, A. C. de C. **Agricultura de precisão**. In: EMBRAPA. Agricultura de precisão resultados de um novo olhar. Brasília: EMBRAPA, 2014.

KAMIMURA, K. M.; SANTOS, G. R. dos; OLIVEIRA, M. S. de; DIAS JUNIOR, M. de S.; GUIMARÃES, P. T. G. Variabilidade espacial de atributos físicos de um latossolo vermelho-amarelo, sob lavoura cafeeira. **Revista Brasileira Ciências do Solo**, Viçosa, v. 37, p. 877-888, 2013.

KANG, S.; DOH, S.; LEE, D.; LEE, D.; JIN, V.L.; KIMBALL, J.S. Topographic and climatic controls on soil respiration in six temperate mixed-hardwood forest slopes, Korea. **Global Change Biology**, v. 9, 2003, p. 1427–1437.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia** – relação solo-planta. São Paulo: CERES, 1979.

KRATSCHE, H. A.; WISE, R. R. The ultrastructure of chilling stress. **Plant, Cell & Environment**, v. 23, 2000, p. 337–350.

KRAVCHENKO, A. N.; BULLOCK, D. G. Correlation of corn and soybean grain yield with topography and soil properties. **Agronomy Journal**, Madison, v. 92, n. 1, p. 75-83, 2000.

KUMHALOVA, J.; MOUDRY, V. Topographical characteristics for precision agricultura in conditions of the Czech Republic. **Applied Geography**, v. 50, p. 90-98, 2014.

LEITE, C. W. **Agricultura de precisão – aplicada a fertilidade do solo para produção de sementes de arroz irrigado**. 2007. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Sementes). Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, RS, 2007.

LIMA, A.F. **Desenvolvimento de métodos para o preparo de amostras de fertilizantes visando à determinação de cobre, cádmio e chumbo por espectrometria de absorção atômica com chama**. 2010. 66 f. Dissertação (Mestrado em química). Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2010.

LITTLEJOHNS, D. A.; TANNER, J.W. Preliminary studies on the cold tolerance of soybean seedlings. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 56, 1976, p. 371–375.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. **I – Fertilidade do solo e produtividade agrícola**. 2007. Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras. Disponível em: <<http://people.ufpr.br/~nutricao/deplantas/fertisolo.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2016.

LUCHIARI JUNIOR, A.; BORGHI, E.; AVANZI, J. C.; FREITAS, A. A. de; BORTOLON, L.; BORTOLON, E. S. O.; UMMUS, M. E.; INAMASU, R. Y. **Zonas de Manejo: teoria e prática**. In: EMBRAPA INSTRUMENTAÇÃO. Agricultura de precisão, um novo olhar. São Carlos: EMBRAPA, 2011.

LUCHIARI JUNIOR, A.; SHANAHAN, J.; LIEBIG, M.; SCHLEMMER, M.; SCHEPERS, J. S.; FRANCIS, D.; PAYTON, S. Strategies for establishing management zones for site specific nutrient management. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 5, 2000, Minneapolis. **Proceedings...** Minneapolis: University of Minnesota, 2000.

LUCIANO, R. V.; ALBUQUERQUE, J. A.; COSTA, A. da; BATISTELLA, B.; WARMLING, M. T. Atributos físicos relacionados à compactação de solos sob vegetação nativa em região de altitude no Sul do Brasil. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 36, n. 6, p. 1733-1744, Dec. 2012.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola, adubos e adubação**. 3 ed. São Paulo: Ceres. 1981.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e avaliações**. 2 ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

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

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretária de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. **Agricultura de Precisão: boletim técnico**. 3. ed. Brasília: MAPA, 2013. 36 p.

MENEZES, P. C. de. **Semeadura cruzada de soja em sistemas de manejo do solo**. 2013. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Universidade Federal de Mato Grosso. Rondonópolis, 2013.

MESSINA, M.J. Legumes and soybeans: overview of their nutritional profiles and health effects. **American Journal of Clinical Nutrition, Rockville**, v. 70, 2010, p. 439–450.

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

MINASNU, B.; MCBRATNEY, A. B. **FuzzyMe 3.0**. Australian Center for Precision Agriculture. The University of Sydney. 2002.

MIQUELONI, D. P.; GIANELLO, E. M.; BUENO, C. R. P. Variabilidade especial de atributos e perda de solo na definição de zonas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.45, n.1, p. 18-28, jan/mar. 2015.

MIRANDA, F. A.; FREITAS, S. R. C.; FAGGION, P. L. Integração e interpolação de dados de anomalias ar livre utilizando-se a técnica de RNA e Krigagem. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 15, n. 3, p. 428-443, 2009.

MOLIN, J. P. **Agricultura de precisão – o gerenciamento da variabilidade**. Piracicaba, 2001.

MOLIN, J. P. Definição de Unidades de Manejo a Partir de Mapas de Produtividade. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 22, n. 1, p. 83-92, 2002.

MOLIN, J. P.; MILANI, M.; NESRALLAH, M. G. T.; CASTRO, C. N. de; GIMENEZ, L. M. Utilização de dados georreferenciados na determinação de parâmetros de desempenho em colheita mecanizada. **Engenharia Agrícola**, Piracicaba, v.2, n.3, p. 759-767, 2006.

MOLIN, J. P. Geração e interpretação de mapas de produtividade para agricultura de precisão. In: BOREM, A.; GIÚDICE, M. P.; QUEIROZ, D. M.; MANTOVANI, E. C.; FERREIRA, L. R.; VALLE, F. X. R.; GOMIDE, R. L. **Agricultura de Precisão**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2000. p. 237-258.

MOLIN, J. P. Tendências da agricultura de precisão no Brasil. In: Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão, 2004, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba – ESALQ/USP, 2004. P. 1-10.

MOORE, I.D.; GESSLER, P.E.; NIELSEN, G.A.; PETERSON, G.A. Soil attribute prediction using terrain analysis. **Soil Science Society of America Journal**, v. 57, 1993, p. 443–452.

MOORE, M. **An investigation into the accuracy of yield maps and their subsequent use in crop management**. Tese (Doutorado). Cranfield: Cranfield University, 1998. 379p.

MULLETE, K. J.; HANNON, N. J. Insoluble phosphorus usage by eucalyptus. **Plant Soil**, v. 41, n. 1, p. 199-205, 1974.

MUÑOZ, J. D.; STEIBEL, J. P.; SNAPP, S.; KRAVCHENKO, A. N. Cover crop effect on corn growth and yield as influenced by topography. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 189, p. 229-239, 2014.

NAJM, C. C.; SANTOS, A. E. dos; BRANCALIÃO, S. R. Atributos químicos e condutividade elétrica em zonas de manejo de um argissolo submetido a altas doses de torta de filtro na cultura da cana. **Revista Científica Eletrônica Uniseb**. Ribeirão Preto: UNISEB, n.3, ano 2, p.238-246, janeiro-julho, 2014.

NOURI, M. Z.; TOORCHI, M.; KOMATSU, S. **Proteomics approach for identifying abiotic stress responsive proteins in soybean**. Aleksandra Sudaric (Ed.), Soybean—Molecular Aspects of Breeding, InTech (2011).

OLIVEIRA, F. A. de; SFREDO, G. J.; CASTRO, C. de; KLEPKER, D. **Fertilidade do solo e nutrição de plantas**. Circular Técnica 50. Londrina: Embrapa Soja, 2007.

OLIVEIRA, L. B. T. de; SANTOS, A. C. dos; LIMA, J. dos S.; NEVES NETO, D. N. Spatial variability of yield response and morphological Marandu grass depending on the chemical and topographical. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 16, n. 4, p. 772-783, dez. 2015.

OLIVEIRA, P. R. de; CENTURION, J. F.; CENTURION, M. A. P. da C.; FRANCO, H. B. J.; PEREIRA, F. de S.; BARBARO JUNIOR, L. S.; ROSSETTI, K. de V. Qualidade física de um Latossolo Vermelho cultivado com soja submetido a níveis de compactação e de irrigação. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 2, p. 587-597, abr. 2012.

PETTER, F. A.; SILVA, J. A.; ZUFFO, A. M.; ANDRADE, F. R.; PACHECO, L. P.; ALMEIDA, F. A. de. Elevada densidade de semeadura aumenta a produtividade da soja? Respostas da radiação fotossinteticamente ativa. **Bragantia [online]**, online, v. 75, n. 2, p. 173-183, 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/article_plus.php?pid=S0006-87052016000200173&tlng=pt&lng=en> Acesso em: 14 out. 2016.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**. Volume 11. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.

PRICINOTTO, L. F.; ZUCARELI, C. Paclobutrazol no crescimento e desempenho produtivo da soja sob diferentes densidades de semeadura. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 27, n. 4, p. 65-74, 2014.

PROCÓPIO, S. de 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**, online, v. 8, n.2, p. 212-221, maio-agosto, 2014.

QUEIROZ, D. M.; DIAS, G. P.; MANTOVANI, E. C. Agricultura de precisão na produção de grãos. In: BORÉM, A.; GIÚDICE, M. P.; QUEIROZ, D. M.; MANTOVANI, E. C.; FERREIRA, L. R.; VALLE, F. X. R.; GOMIDE, R. L. (Eds.). **Agricultura de precisão**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2000. p.2-42.

QUEIROZ-VOLTAN, R. B.; NOGUEIRA, S. S. S.; MIRANDA, M. A. C. Aspectos da estrutura da raiz e do desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, 2000, p. 929-938

RAGHUBANSHI, A.S. Effect of topography on selected soil properties and N mineralization in a dry tropical forest. **Soil Biology and Biochemistry**, n. 24, 1992, p. 145–150.

RAIJ, B. van **Avaliação da fertilidade do solo**. Instituto da potassa e Fosfato: Instituto Internacional da Potassa, Piracicaba SP, 1983. 142p.

RAIJ, B. van **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Agronômica Ceres; Piracicaba: Potafos, 1991. 343 p.

RAMIREZ-LOPEZ, L.; REINA-SANCHEZ, A.; CAMACHO-TAMAYO, J. H. Variabilidad espacial de atributos físicos de un Typic Haplustox de los Llanos Orientales de Colômbia. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 1, p. 55-63, Mar. 2008.

REICHERT, J. M.; SILVA, L. S.; SANTOS, D. R. **Fluxo de nutrientes**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2009. p. 67-80.

RODRIGUES, J. B. T.; ZIMBACK, C. R. L. Delimitação de zonas de manejo através da análise e classificação de mapas de produtividade de milho e soja. **Energia na agricultura**, Botucatu, v.17, n.1, p.44-61, 2002.

RODRIGUES, M. S. **Análise espacial e temporal de atributos do solo e da produtividade das culturas visando manejo específico em áreas agrícolas**. 2013. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal, SP, 2013.

RODRIGUES, M. S.; CORÁ, J. E.; FERNANDES, C. Spatial relationships between soil attributes and corn yield in no-tillage system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 2, p. 599-609, 2012.

ROMERO, E. M.; RUIZ, H. A.; FERNANDES, R. B. A.; COSTA, L. M. da. Condutividade hidráulica, porosidade, resistência mecânica e intervalo hídrico ótimo em Latossolos artificialmente compactados. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 10, p. 1003-1009, Oct. 2014.

ROSIM, D. C.; DE MARIA, I. C.; SILVA, R. L.; SILVA, Á. P. da. Compactação de um latossolo vermelho distroférrico com diferentes quantidades e manejos de palha em superfície. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 4, p. 502-508, 2012.

SAFANELLI, J. L.; BOESING, B. F.; BOTTEGA, E. L. Estabelecimento de zonas de manejo a partir da resposta espectral do solo relacionada ao teor de matéria orgânica. In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, João Pessoa, **Anais...João Pessoa: SBSR**, 2015.

SANCHEZ, R. B.; MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, Z. M. de; PEREIRA, G. T.; FILHO, M. V. M. Variabilidade espacial de atributos do solo e de fatores de erosão em diferentes pedoformas. **Bragantia**, Campinas, v.68, n.4, p.1095-1103, 2009.

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

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

SANTOS, A. O.; MAZIERO, J. V. G.; CAVALLI, A. C.; VALERIANO, M. M.; OLIVEIRA, H. de; MORAES, J. F. L.; KIYOSHI, Y. Monitoramento localizado da produtividade de milho cultivado sob irrigação. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 88-95,2001.

SANTOS, G. N.dos; PINOTTI, E. B.; MONTEIRO, A. A. Variabilidade espacial dos atributos físicos e químicos do solo e indicadores de plantabilidade na cultura do milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2014, São Pedro. **Anais...São Pedro: CONBAP**, 2014.

SANTOS, H. P.; MELO, G. W. B. de; LUZ, N. B. da; TOMAS, R. J. **Comportamento fisiológico de plantas de aveia (Avena Strigosa) em solos com excesso de cobre**. Comunicado técnico 49. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2004.

SBCS - Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre, 2004.

SCAVACINI, A. T.; REIS, E. F. dos; OLIVEIRA, D. G. de Distribuição espacial do número de plantas por metro correlacionados com a produtividade sob sistema de plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2014, São Pedro. **Anais...**São Pedro: CONBAP, 2014.

SCHENATTO, K. **Utilização de métodos de interpolação e agrupamento para definição de unidades de manejo em agricultura de precisão**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel, PR, 2014.

SCHEPERS, A. R.; SHANAHAN, J. F.; LIEBIG, M. A.; SCHEPERS, J. S.; JOHNSON, S. H.; LUCHIARI, A. Appropriateness of management zones for characterizing spatial variability of soil properties and irrigated corn yields across years. **Agronomy Journal**, Madison, v. 96, n. 1, p. 195-203, 2004.

SERRAT, B. M.; LIMA, M. R. de; GARCIAS, C. E.; FANTIN, E. R.; CARNIERI, I. M. R. S. A.; PINTO, L. S. **Conhecendo o solo**. 1 ed. Curitiba: UTFPR/Setor de Ciências Agrárias/Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, 2002. 27 p.

SFREDO, G. J.; BORKERT, C. M. **Deficiências e toxicidades de nutrientes em plantas de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2004.

SHEPARD, D. A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data. In: **Proceedings** of the 1968 23rd ACM National Conference. p. 517–524, 1968.

SILVA NETO, S. P. da. **A evolução da produtividade da soja no Brasil**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2011.

SILVA, C. B.; MORETTO, A. C.; RODRIGUES, R. L. Viabilidade econômica da agricultura de precisão: O caso do Paraná. In: Congresso da SOBER, 42, 2004, Cuiabá. **Anais eletrônicos...** Cuiabá: SOBER, 2004.

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

SILVEIRA, G. M. **Preparo do solo: técnicas e implementos**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2001. 292 p.

SIMEPAR. Instituto Tecnológico SIMEPAR. 2016.

SOANE, B.D. Process of soil compaction under vehicular traffic and means of alleviating it. In: LAL, R.; SANCHEZ, P.A.; CUMMINGS, R.W. **Land clearing and development in the tropics**. Rotterdam: Balkema Publisher, 1986. p.265-297.

SOBJAK, R. **Seleção de variáveis para definição de unidades de manejo através da lógica fuzzy c-means**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel, PR, 2012.

SOLDATI, A.; KELLER, E. R. **Soybeans Adapted to Cooler Regions**. Westview Press, Boulder, USA (1985).

SOUZA, Z.M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA G.T.; MONTANARI, R. Otimização amostral de atributos de Latossolos considerando aspectos solo-relevos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.3, p.829-36, 2006.

STAFFORD, J. V.; AMBLER, B.; LARK, R. M.; CATT, J. Mapping and interpreting yield variation in cereal crops. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 14, n. 2, p. 101-119, 1996.

SWINTON, S. M.; LOWENBERG-DEBOER, J. Evaluating the profitability of site-specific farming. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 11, n.4, p. 439-446, 1998.

TERRA, V. S. S.; REISSER JÚNIOR, C.; TIMM, L. C.; CARVALHO, F. L. C.; PEREIRA, J. F. M. **Variabilidade espacial dos atributos físicos numa área cultivada com pêssego**. In: EMBRAPA INSTRUMENTAÇÃO. Agricultura de precisão um novo olhar. São Carlos: EMBRAPA, 2011.

TORRES, E.; SARAIVA, O.F. Camadas de impedimento mecânico do solo em sistema agrícolas com soja. **Circular Técnica**, n. 23. Londrina: EMBRAPA-CNPSoja, 1999. 58p.

TRAGNAGO, J. L.; SECCON, J. P. R.; QUAINI, J. P.; BONETTI, L. P. Estudo da interação entre tipos de crescimento, mistura de tipos de crescimento e densidade de semeadura de soja. **XVIII Seminário UNICRUZ**. Cruz Alta/RS. 2013. Universidade de Cruz Alta.

TSCHIEDEL, M.; FERREIRA, M. F. Introdução à agricultura de precisão: conceitos e vantagens. **Ciência Rural [online]**, v.32, n.1, p.159-163, 2002.

TUKEY, J. W. **Exploratory data analysis**. Addison-Wesley Publishing Company Reading—Menlo Park, Cal., London, Amsterdam, Don Mills, Ontario, Sydney, XVI, 688 S., 1977.

VALICHESKI, R. R.; GROSSKLAUS, F.; STÜRMERL, S. L. K.; TRAMONTIN, A. L.; BAADE, E. S. A. S. Desenvolvimento de plantas de cobertura e produtividade da soja conforme atributos físicos em solo compactado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 9, p. 969-977, Set. 2012.

VILELA, M. de F.; HURTADO, S. M. C.; RESENDE A. V. de; CORAZZA E. J.; MARCHÃO R. L.; OLIVEIRA C. M. de; GOULART A. M. C. **Mapeamento preliminar de zonas de manejo em sistema de produção milho-soja no Cerrado**. In: EMBRAPA INSTRUMENTAÇÃO. Agricultura de precisão um novo olhar. São Carlos: EMBRAPA, 2011.

VIZZOTTO, V. R. **Desempenho de mecanismos sulcadores em semeadora-adubadora sobre os atributos físicos do solo em várzea no comportamento da cultura da soja**. 2014. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, 2014.

WANG B. H.; JIN, L.; WANG, B. Improvement of soil nutrient management via information technology. **Better Crops**, Norcross, v.90, n.3, p.30-2, 2006.

WOLLENHAUPT, N. C.; WOLKONSKI, R. P.; CLAYTON, M. K. Mapping soil test phosphorus and potassium for variable-rate fertilizer applications. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v.7, n. 4, p. 441-448, 1994.

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. **Agricultural Sciences in China**, Maryland, v.6, n.2, p. 180-188, fev.2007.

YAN, L.; ZHOU, S.; FENG, L.; HONG-YI, L. Delineation of site-specific management zones using fuzzy clustering analysis in a coastal saline land. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 56, n. 2, p. 174-186, 2007.

ZHU, Q.; LIN, H. Influences of soil, terrain, and crop growth on soil moisture variation from transect to farm scales. **Geoderma**, 163 (2011), p. 45–54.