

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
COLÉGIO POLITÉCNICO DA UFSM
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA DE
PRECISÃO**

FELIPE PESINI

**RELAÇÃO DA POPULAÇÃO DE PLANTAS DE SOJA (*Glycine max* L.)
POR AMBIENTES PRODUTIVOS DEFINIDOS PELO MAPA DE
COLHEITA**

Santa Maria, RS

2019

Felipe Pesini

**RELAÇÃO DA POPULAÇÃO DE PLANTAS DE SOJA (*Glycine max* L.) POR
AMBIENTES PRODUTIVOS DEFINIDOS PELO MAPA DE COLHEITA**

Dissertação de mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Agricultura de Precisão**.

Orientador: Dr. Telmo Jorge Carneiro Amado
Co-orientador: Dr. Lúcio De Paula Amaral

Santa Maria, RS
2019

Pesini, Felipe

RELAÇÃO DA POPULAÇÃO DE PLANTAS DE SOJA (Glicine max L.) POR AMBIENTES PRODUTIVOS DEFINIDOS PELO MAPA DE COLHEITA / Felipe Pesini.- 2019.

71 p.; 30 cm

Orientador: Telmo Jorge Carneiro Amado

Coorientador: Lúcio De Paula Amaral

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Politécnico, Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, RS, 2019

1. Agricultura de precisão 2. População de plantas 3. Mapa de colheita I. Jorge Carneiro Amado, Telmo II. De Paula Amaral, Lúcio III. Título.

Felipe Pesini

**RELAÇÃO DA POPULAÇÃO DE PLANTAS DE SOJA (*Glicine max* L.) POR
AMBIENTES PRODUTIVOS DEFINIDOS PELO MAPA DE COLHEITA**

Dissertação de mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestrado em Agricultura de Precisão**.

Aprovado em 27 de agosto de 2019:



Telmo Jorge Carneiro Amado, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)



Lúcio De Paula Amaral, Dr. (UFSM)
(Co-orientador)



José Alan de Almeida Acosta, Dr. (Drakkar Solos)



David Peres da Rosa, Dr. (IFRS – Campus Sertão, RS)

Santa Maria, RS
2019

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais: Domingos Pesini e Juleide Fátima Chiesa Pesini, por todo o amor, ensinamentos e dedicação destinados por toda a minha vida, ao meu orientador, Prof. Dr. Telmo Jorge Carneiro Amado, pela orientação e auxílio em todas as minhas dúvidas e dificuldades encontradas durante o desenvolvimento desta dissertação, bem como ao co-orientador Prof. Dr. Lúcio de Paula Amaral.

Em especial a minha namorada Amanda dos Santos, pela ajuda, apoio e compreensão durante meu mestrado. Aos colegas Elias Amorim Martins, João Pedro Carlan da Rosa, TailorPompeo da Silva, Alisson Pegoraro da Rosa e Diogo Sefstrom Mello, pela ajuda no campo no levantamento dos dados e a colega Andria Santos Gabriel no trabalho de modelagem dos mapas.

Muito obrigado ao Presidente da Drakkar Solos, Dr. José Alan de Almeida Acosta pelos ensinamentos passados durante a minha trajetória na empresa e durante o mestrado. A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, que participaram construindo o conhecimento, ajudando com a minha formação.

Para finalizar, meu agradecimento a DRAKKAR SOLOS por fornecer toda a sua estrutura física e apoio financeiro utilizado no trabalho de pesquisa. Aos proprietários da Fazenda Santa Lúcia, Tiago e Luiz Fernando Cadore por permitir realizar este trabalho dentro de sua propriedade.

RESUMO

RELAÇÃO DA POPULAÇÃO DE PLANTAS DE SOJA (*Glicine max L.*) POR AMBIENTES PRODUTIVOS DEFINIDOS PELO MAPA DE COLHEITA

AUTOR: Felipe Pesini

ORIENTADOR: Telmo Jorge Carneiro Amado

CO-ORIENTADOR: Lúcio De Paula Amaral

O Brasil tem destaque mundial na produção da soja, os agricultores buscam novas tecnologias para melhorar sua rentabilidade. A Agricultura de Precisão é uma ferramenta essencial para detectar problemas dentro da propriedade e ajudar no momento de tomadas de decisão. No campo observamos muitos talhões que a população de plantas da soja fica bastante manchado mesmo fazendo a semeadura em taxa fixa e muitas vezes isso pode afetar a produtividade. O objetivo do trabalho foi avaliar a variabilidade da população de plantas da soja em diferentes ambientes produtivos definidos pelo mapa de colheita. O trabalho foi realizado em uma lavoura comercial de 35,05 hectares e foi utilizado a cultivar de soja NS 5959, a semeadura foi realizada em taxa variável, com uma variação de somente 5% conforme o potencial produtivo do talhão, justamente para avaliar o comportamento da população final de plantas. No estádio R6 foi gerado um grid amostral de 0,25 ha, ou seja, uma parcela a cada 50 metros, cada parcela foi avaliada 6,75 m² e contado a população final de plantas. Foi colhido este talhão e gerado o mapa de colheita, logo após coletado o solo com amostras georeferenciadas com um grid de 2 ha. Após vários ciclos de amostragem georeferenciada de solo e intervenções em taxa variável a área estudada apresentou um bom equilíbrio de nutrientes, suprimindo assim as demandas da cultura da soja que estava implantada. A Saturação de Bases, Cálcio, Magnésio, Potássio, Cobre e Manganês tiveram correlação negativa, enquanto o Fósforo, Boro e Enxofre tiveram correlação positiva com a produtividade da soja. A variabilidade de população de plantas finais apresentou uma amplitude de 26,16% e um CV de 4,95%, mostrando que o ambiente teve uma influência na perda de sementes viáveis no solo. Com a análise de componentes principais foi possível identificar as medidas responsáveis pelas maiores variações entre os resultados, reduzindo o volume de 18 atributos iniciais para 5, direcionando o estudo. O excesso de população de plantas causou acamamento da cultivar e reduziu a produtividade de soja. Com a população de 31 plantas.m⁻² a produtividade foi de 3984,4 kg.ha⁻¹, quando a população aumentou para 36 plantas.m⁻² a produtividade foi de 3785,7 kg.ha⁻¹ e na máxima população, de 39 plantas.m⁻² a produtividade foi de 3625,2 kg.ha⁻¹, tratamento este que diferiu estatisticamente com o primeiro tratamento descrito, causando perda de produtividade com excesso de plantas e gerando variabilidade no mapa de colheita. É uma diferença de 359,2 kg.ha⁻¹, na cotação média do ano no valor de R\$65,00 a saca é um valor de R\$389,13/ha de diferença. Isso mostra a insegurança do agricultor no momento da semeadura, que por medo da qualidade da semente, clima e condição de semeadura acabam colocando mais sementes do que deveria, acarretando aumento do custo e diminuindo a produtividade.

Palavras-chave: Agricultura de precisão. População de plantas. Mapa de colheita.

ABSTRACT

RELATION OF POPULATION OF SOYBEAN (*Glycine max* L.) PLANTS BY PRODUCTIVE ENVIRONMENTS DEFINED BY THE HARVEST MAP

AUTHOR: Felipe Pesini

ADVISOR: Telmo Jorge Carneiro Amado

CO-ADVISOR: Lúcio De Paula Amaral

Brazil has world prominence in soy production, farmers seek new technologies to improve their profitability. Precision Farming is an essential tool for detecting problems within the property and assisting in decision making. In the field we observed many plots that the soybean plant population gets very stained even if sowing at a fixed rate and this can often affect productivity. The objective of this work was to evaluate the variability of soybean plant population in different productive environments and its impact on crop maps. The work was carried out in a commercial field of 35.05 hectares and the soybean cultivar NS 5959 was used. Sowing was carried out at a variable rate, with a variation of only 5% according to the productive potential of the field, precisely to evaluate the behavior of the final plant population. At stage R6 a 0.25 ha sample grid was generated, ie one plot every 50 meters, each plot was evaluated 6.75 m² and the final plant population was counted. This field was harvested and the harvest map was generated, soon after the soil was collected with georeferenced samples with a 2 ha grid. After several cycles of georeferenced soil sampling and variable rate interventions, the studied area presented a good nutrient balance, thus meeting the demands of the soybean crop that was implanted. Saturation of Bases, Calcium, Magnesium, Potassium, Copper and Manganese were negatively correlated, while Phosphorus, Boron and Sulfur were positively correlated with the soybean study. The population variability of final plants presented an amplitude of 26.16% and a CV of 4.95%, showing that the environment had an influence on the loss of viable seeds in the soil. With the principal component analysis it was possible to identify the measures responsible for the largest variations among the results, reducing the volume from 18 initial attributes to 5, directing the study. Excess plant population caused the cultivar to become bedridden and reduced soybean yield. With a population of 31 plants.m⁻² the productivity was 3984.4 kg.ha⁻¹, when the population increased to 36 plants.m⁻² the productivity was 3785.7 kg.ha⁻¹ and in the maximum population, of 39 plants.m⁻² yield was 3625.2 kg.ha⁻¹, which treatment differed statistically with the first treatment described, causing variability in the harvest map. It is a difference of 359.2 kg.ha⁻¹, in the average price of the year in the amount of R\$ 65.00 the bag is a value of R\$ 389.13/ha difference. This shows the insecurity of the farmer at the time of sowing, which for fear of seed quality, climate and sowing condition end up putting more seeds than it should, resulting in increased cost and decreased productivity.

Keywords: Precision Agriculture. Plant population. Harvest map.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Principais mecanismos de uma semeadora adubadora.....	20
Figura 2 - Dosador de sementes pneumático.....	21
Figura 3 - Modelo conceitual sobre os principais impactos do arranjo espacial de plantas de soja sobre o desempenho agrônômico da cultura	24
Figura 4 - Mapa da altitude da Lavoura 8 em relação ao nível do mar.....	31
Figura 5 - Mapa da taxa variável de semente.m ² executado na safra 2017/2018.....	32
Figura 6 - Distribuição da precipitação durante o ciclo da cultura da soja da safra 2017/2018	33
Figura 7 – Malha amostral de população de plantas (Plantas.m ⁻²) realizado em CR7	35
Figura 8 - Malha amostral de coleta de solo com uma amostra a cada 2 ha	37
Figura 9 - Malha amostral com a delimitação dos "buffer" com o raio de 10 metros.....	38
Figura 10 - Mapa dos níveis de pH na camada de 0 a 10 cm da Lavoura no ano de 2018	41
Figura 11 - Mapa dos níveis de Saturação de Bases (V%) na camada de 0 a 10 cm no ano de 2018.....	44
Figura 12 - Mapa dos níveis de Fósforo (mg.dm ⁻³) na camada de 0 a 10cm no ano de 2018..	45
Figura 13 - Mapa dos níveis de Potássio (mg.dm ⁻³) na camada 0 a 10 cm no ano de 2018.....	46
Figura 14 - Mapa dos níveis de Enxofre (mg.dm ⁻³) na camada 0 a 10 cm no ano de 2018	47
Figura 15 - Dendograma da matriz de distâncias, pelo método de agrupamento por ligação simples.....	48
Figura 16 - Representação da relação entre fatores (fator 1 e fator 2) e variáveis não rotacionadas.....	52
Figura 17 - Representação da relação entre fatores (fator 1 e fator 2) e variáveis rotacionadas.....	54
Figura 18 - Gráfico da distribuição da nuvem de variáveis, no círculo de correlações.....	56
Figura 19 - Mapa de variabilidade de população de plantas (Plantas.m ⁻²) de soja em no estádio R5 na safra 2017/2018.....	57
Figura 20 - Mapa de perda de plantas entre Sementes.m ² aplicadas X Plantas.m ⁻² estabelecidas na safra 2017/2018	58
Figura 21 - Mapa de produtividade (kg.ha ⁻¹) da soja na safra 2017/2018.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Faixas de interpretação dos coeficientes da análise de correlação	39
Tabela 2 - Estatística descritiva dos atributos químicos do solo e de manejo.....	42
Tabela 3 - Características químicas do solo na profundidade de 0 a 10 cm depois da colheita da área no ano de 2018.	43
Tabela 4 - Características químicas do solo na profundidade de 10 a 20 cm depois da colheita da área no ano de 2018.	43
Tabela 5 - Autovalores e percentual da variância explicada de cada componente.	50
Tabela 6 - Contribuição das variáveis na formação dos componentes a partir do “Factor loadings” antes da rotação nos eixos	51
Tabela 7 - Contribuição das variáveis na formação dos componentes após a rotação	53
Tabela 8- Correlação de Pearson entre os fatores de solo e manejo.....	55
Tabela 9 - Resposta da população de plantas da cultivar NS 5959 na produtividade da safra 2017/2018	60
Tabela 10 - Matriz de correlação de Pearson entre as variáveis originais e as componentes principais e a contribuição de cada variável em relação a cada fator, após a normalização dos dados.....	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AP	Agricultura de Precisão
ACP	Análise de Componentes Principais
Bo	Boro
CTC	Capacidade de Troca de Cátions
CQFS RS/SC	Comissão de Química e Fertilidade do Solo RS/SC
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
Cu	Cobre
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GNSS	Sistema de Posicionamento Global por Satélite
GPS	Sistema de Posicionamento Global
HA	Hectare
K	Potássio
Mn	Manganês
MO	Matéria Orgânica
N	Nitrogênio
P	Fósforo
RS	Rio Grande do Sul
S	Enxofre
Zn	Zinco

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GERAL.....	14
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3 REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1 AGRICULTURA DE PRECISÃO.....	15
3.2 A CULTURA DA SOJA	18
3.3 SEMEADORA	19
3.4 VARIABILIDADE DO ESTANDE DE PLANTAS DE SOJA	21
3.5 MAPAS DE COLHEITA	25
3.6 ANÁLISES GEOESTATÍSTICA E MULTIVARIADA.....	27
4 MATERIAL E MÉTODOS	30
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
6 CONCLUSÕES	62
REFERÊNCIAS	63
ANEXO A	71

1 INTRODUÇÃO

A atividade agrícola vem crescendo em ritmo acelerado no Brasil, atendendo a necessidade de aumento da demanda por alimentos, aumento a produtividade horizontal por unidade de área e conseqüentemente na sua permanência na atividade através da melhoria da rentabilidade. Neste segmento a soja é a cultura que tem maior participação na área plantada e na receita gerada. Para conseguir alta produtividade o agricultor precisa ser mais eficiente, dinâmico e atualizado com as novas tecnologias disponíveis.

O cenário mundial caracteriza-se, atualmente, pela globalização dos mercados, pela crescente aceleração tecnológica e pela acessibilidade da informação e do conhecimento, fazendo com que o setor agrícola nacional passe a utilizar novos conceitos, métodos e técnicas, para poder atender as necessidades dos consumidores, fornecendo produtos com qualidade, preços mais acessíveis e possibilitando maior competitividade no mercado mundial. Neste contexto, um conjunto de técnicas que vem sendo adotadas e surtindo efeitos positivos em produtividade e rentabilidade é a Agricultura de Precisão (AP), que permite caracterizar a variabilidade espacial de atributos de solo, das culturas e da produtividade, auxiliando o produtor na escolha de melhores estratégias de manejo, a partir disso, averiguar os fatores limitantes, propondo alternativas de tomada de decisões diferenciadas de acordo com as necessidades de cada metro quadrado da sua lavoura.

Com o uso dos mapas de produtividade foi possível ter uma ferramenta a mais para entender a variabilidade espacial na lavoura, a fim de que se possa correlacioná-los com demais atributos que influenciam a produtividade da cultura durante o ciclo. Contudo, em algumas situações não é possível explicar totalmente essas causas, sendo oportuna a associação com outras informações para investigar tal variabilidade

Em lavouras com histórico de vários anos de amostragem de solo com AP, a variação química, com relação à disponibilidade de nutrientes tende a diminuir. Porém, outros fatores podem se tornar limitantes ao potencial produtivo das culturas, como por exemplo, a variabilidade espacial da população de plantas. Neste caso, a utilização de técnicas que identificam os atributos que influenciam nesta variabilidade podem se tornar uma estratégia para melhoria do potencial produtivo da área como um todo.

No campo, por diversos fatores ligados a qualidade da semente, qualidade de distribuição no momento da semeadura, fatores de solo que afetam a germinação/emergência, pragas e doenças é possível observar uma grande variabilidade espacial de população de plantas estabelecidas. A população de plantas estabelecida na maioria das vezes não é

quantificada, isso pode impactar fortemente na produtividade da cultura da soja (*Glycine max* L.), já que este é o primeiro fator de rendimento.

Dentre os cuidados na instalação da cultura da soja, está no arranjo espacial das plantas que afeta expressivamente a velocidade de fechamento das entre linhas, a produção de fitomassa, a arquitetura das plantas, a severidade de doenças, o acamamento, resultando em influências na produtividade da cultura. Isso ocorre porque o arranjo afeta a competição intraespecífica e, conseqüentemente, a quantidade de recursos do ambiente, água, luz e nutrientes disponíveis para cada planta. No campo, o que se encontra é aumento da densidade de semeadura além da recomendação da obtentora da cultivar, isto em decorrência da insegurança do agricultor sobre a qualidade de sua semente, possibilidade de ataque de pragas e doenças. Este aumento da densidade pode implicar no incremento do acamamento, refletindo negativamente no desempenho produtivo da cultura e no aumento do custo de semente, sendo uma prática desnecessária.

Estandes desuniformes e mapa de produtividades com grande amplitude são comuns em lavouras no Brasil. Diversos estudos relacionados à atributos de solo e produtividade estão disponíveis, entretanto, quanto a variabilidade de população do mesmo talhão na correlação da produtividade, as informações são limitadas.

Com a possibilidade de semeadura em taxa variável, agricultores e pesquisadores começam a entender como é o comportamento de cada cultivar em diferentes ambientes de produção. Todas as safras são lançadas novas cultivares, com tetos produtivos maiores, mas faltam informações da densidade ideal para cada situação. As ferramentas de agricultura de precisão podem ajudar a buscar a melhor resposta, podendo ser ajustada esta informação na safra seguinte.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a relação da população das plantas de soja (*Glycine max* L.) em diferentes ambientes produtivos definidos pelo mapa de colheita.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Utilizar a Análise de Componentes Principais (ACP) para reduzir o número de atributos analisados, buscando os que causam maior variabilidade dentro do conjunto para direcionar o estudo.
- b) Correlacionar a produtividade com todos os nutrientes e os fatores de manejo para entender o aumento ou perda em diferentes níveis.
- c) Mensurar em um ano com ótima precipitação como se comporta a produtividade em diferentes populações e analisar se a fertilidade aumenta ou diminuí a produtividade.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 AGRICULTURA DE PRECISÃO

A Agricultura de Precisão (AP) consiste em um sistema de gerenciamento agrícola baseada na variação espacial e temporal da unidade produtiva, visa o aumento de retorno econômico, e resulta na sustentabilidade e à minimização do efeito ao meio ambiente (BRASIL, 2012). Esta técnica surgiu há muito anos, antes mesmo do período da Revolução Industrial, com agricultores que tinham por finalidade maximizar a produção física e econômica das culturas, variando a aplicação de insumos de acordo com os tipos de solos e o desempenho das culturas, em busca de melhor rendimento produtivo (KELLOG, 1957).

O conceito inicial da AP tem sua origem em 1929, onde alguns pesquisadores estudaram a variabilidade da acidez dos solos e, a partir de tal variabilidade foi possível a aplicação de calcário ponto a ponto para a correção de tal acidez (ELIAS, 1998). Goering (1993) relata que os pesquisadores Bauer e Linsley em 1929 recomendaram amostragem de solo utilizando o processo de malhas em 100 metros quadrados para determinar no campo a necessidade de aplicação diferencial de calcário, na época, alguns agricultores obtiveram reduções significantes nos custos de produção com aplicação diferenciada de insumo.

O termo surgiu nos países europeus e posteriormente nos Estados Unidos da América como *Precision Farming* ou *Precision Agriculture*, traduzido para o português como Agricultura de Precisão. Estes termos foram utilizados para definir o sistema que veio resgatar a capacidade de conhecer cada metro quadrado da lavoura, detalhes que foram perdidos à medida que as áreas cultivadas foram crescendo (MOLIN, 2001). A inviabilidade de tratar especificamente cada local da lavoura, antes da AP, fez da agricultura uma atividade baseada em valores médios, ou seja, a partir de uma amostragem reduzida e pouco representativa da área as decisões são tomadas e as recomendações de intervenção são feitas com base em valores médios, padronizados para toda a área, como se essa fosse homogênea.

O tratamento localizado ou sítio-específico só pôde ser operacionalizado em grande escala graças à incorporação à agricultura do Sistema de Posicionamento Global (GPS), por volta de 1990. Esse foi, sem dúvida, o maior impulso para a difusão da AP. A primeira aplicação da tecnologia GPS na agricultura brasileira foi para a aviação agrícola, por volta de 1995. O dispositivo popularmente conhecido como “barra de luz” foi o precursor, aplicado para orientar a pulverização aérea, posteriormente, foi aplicado à pulverização terrestre. Hoje esta constelação de satélites e muitas outras são utilizadas para orientar o deslocamento das

máquinas em diversas outras operações (MAPA, 2011). Esta técnica auxilia o produtor na escolha das melhores estratégias de manejo, permitindo identificar a variabilidade presente nas áreas e, a partir disso, averiguar os fatores limitantes, propondo alternativas de manejo diferenciado de acordo com as necessidades de cada zona de manejo (PES et al., 2006).

A adoção de técnicas com maior precisão na distribuição dos insumos oportuniza um manejo mais adequado do ecossistema, mitigando o impacto ambiental de maneira significativa, a partir de uma aplicação eficiente, em doses diferenciadas em cada ponto da lavoura, o que é capaz de garantir a produtividade, portanto, o sucesso da agricultura (AMADO et al., 2011).

Outra maneira genérica de descrever a AP é abordada por McBratney et al. (2005), como sendo a maneira de fazer agricultura com mais decisões corretas por unidade de área terra e tempo, incorporando lucratividade. Essa definição envolve os elementos de tempo, espaço e lucratividade à implementação da AP, tais como melhorias nas operações de manejo do solo e das culturas, na qualidade do produto, na conservação do meio ambiente e no rendimento por área, ao invés de restringir apenas a espacialização da informação.

Em níveis de produção e produtividade, ocorreu um avanço na agricultura mundial e brasileira com a modernização da agricultura e, com os pacotes tecnológicos da revolução verde, resultando na elevação da produtividade. Outro ponto que auxiliou essa elevação foi as descobertas científicas (ARTUZO, 2015).

No que se refere aos benefícios econômicos e os custos associados à AP, esses não são fáceis de serem mensurados. A viabilidade econômica está atrelada a uma série de variáveis de difícil controle, tais como a variabilidade dos campos, diferentes condições naturais, distintas situações de produção, diferentes metodologias de análises econômicas e dificuldades em mensurar os benefícios da tecnologia e da melhoria da proteção ambiental. Por isso, é necessário não focar apenas nos custos adicionais provenientes da adoção, mas nos benefícios que ela pode trazer. Espera-se então que, no balanço final, os benefícios superem os custos (ROBERT, 2002).

A literatura afirma que a amostra georreferenciada, realização dos mapas de fertilidade, a aplicação de corretivos e fertilizantes, a taxa variável é utilizada pela quase totalidade dos adotantes da AP, geralmente, com malha amostral previamente definido, variando entre 1 a 5 hectares, não esclarecendo se esse é o ideal ou se está relacionado a questões operacionais e econômicas, sendo que Lencsés, Takács e Takács-György (2014) afirmam que o custo da análise influencia no tamanho da malha amostral utilizada.

Os principais procedimentos abordados no gerenciamento da fertilidade do solo através da AP baseiam-se em quatro etapas básicas: a amostragem com obtenção da informação georreferenciada sobre o estado de fertilidade do solo ao longo do talhão de cultivo, o processamento e gerenciamento dos dados, a aplicação “*in situ*” dos insumos agrícolas requeridos e a avaliação dos resultados (SARAIVA; CUGNASCA; HIRAKAMA, 2000). A partir destes procedimentos, a informação obtida de maneira espacializada nas áreas de cultivo possibilita o manejo agrícola mais detalhado e o aprimoramento em busca de maior eficiência ao longo do tempo.

Na fase de amostragem do solo, é necessária a delimitação da malha ou grade amostral (grid) e também a definição do número de amostras a serem coletadas. Na identificação da variabilidade espacial, a amostragem em grade amostral espaçada regularmente tem sido a mais utilizada (HURTADO et al., 2008). Esta fase é considerada a etapa mais crítica de todo o processo e, por isso, merece maior atenção. Na amostragem georreferenciada, os critérios para o dimensionamento da malha amostral e do número de pontos a serem coletados, ainda, não estão claramente definidos. Entretanto, esse dimensionamento implica em efeitos na qualidade da informação expressa no mapa final para diagnóstico de atributos da fertilidade do solo. Aumentando-se o tamanho das quadrículas da malha amostral e reduzindo o número de amostras a serem coletadas numa determinada área de cultivo, distorções nos mapas diagnósticos podem ocorrer (RESENDE et al., 2006). A escolha dessa malha altera os custos e a acurácia na representação das propriedades do solo analisado (MONTEZANO; CORAZZA; MURAOKA, 2006).

Comercialmente no Brasil, o tamanho da malha e o número de amostras coletadas por talhão, muitas vezes, estão atreladas ao custo operacional da agricultura de precisão e não à representatividade agronômica dos dados obtidos a partir da amostragem do solo (RESENDE et al., 2010). Não existe um padrão quanto à definição do tamanho de quadrícula da malha amostral, de forma geral, o que se observa, são empresas prestadoras de serviço em AP no Brasil trabalhando com amostragem de solo com densidade de uma a cada cinco hectares, e isso ocorre sem qualquer justificativa (NANNI et al., 2011).

Em estudos na região do Cerrado empregando tamanho de quadrículas variando entre 0,25 e 9,0 hectares, Resende et al. (2006) observaram dependência espacial para os principais atributos de fertilidade do solo nas amostragens com quadrículas de até 2,25 ha, exceto o P, que somente apresentou dependência na amostragem mais densa. Diversos trabalhos (AMADO et al., 2009; COUTO; KLAMT, 1999) mostram que a matéria orgânica, pH, K, Ca,

Mg e textura, normalmente, possuem gradiente com maior continuidade espacial em contraposição aos micronutrientes e ao P, os quais requerem uma amostragem mais densa.

3.2 A CULTURA DA SOJA

A soja (*Glycine max* L.) é uma planta da família das leguminosas originária da Ásia e que foi domesticada há cerca de 4500-4800 anos na região com o objetivo de utilizar o grão na dieta humana. A difusão da cultura ocorreu inicialmente na Europa em 1739, nos Estados Unidos em 1765 e no Brasil em 1882 no estado da Bahia, seguido por São Paulo em 1891 chegando ao Rio Grande do Sul no ano de 1914. A cultura se propagou no Rio Grande do Sul e até meados da década de 1930, esta era a região produtora de soja com a finalidade de utilizar o grão nas propriedades, como fonte de proteína na alimentação de suínos (MUNDSTOCK; THOMAS, 2005).

O berço da soja no estado do Rio Grande do Sul apresenta duas versões. A primeira versão e mais conhecida é a famosa história do pastor Albert Lehenbauer que teria trazido a Soja em uma garrafinha dos EUA e espalhou as sementes pela comunidade (1923). Recentemente surgiu outra versão, que é do comerciante João Adão Jost, de origem alemã, residente em Três de Maio/RS, próximo a Santa Rosa/RS. Jost soube das sementes em uma de suas viagens a Santa Cruz do Sul, sua terra Natal, onde teria ouvido sobre esse novo grão com estrangeiros vindos ao Brasil em função dos negócios de tabaco. Assim, ao importar dos EUA um picador de cana-de-açúcar, solicitou que os importadores lhe enviassem junto sementes de Soja que teria ouvido falar em Santa Cruz. Jost era guarda-livros (contador) e tinha uma mercearia onde vendia produtos aos colonos. Visionário e comerciante espalhou as sementes entre seus clientes e pessoas influentes em 1922, entre elas o Pastor Lehenbauer. Há documentos oficiais da compra e distribuição de Jost (DRAKKAR AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2019).

Somente a partir da década de 1960 surgem as primeiras lavouras comerciais que se integraram rapidamente no sistema de rotação de verão com milho e em sucessão as culturas do trigo, cevada, aveia branca e aveia preta, sendo dessecada e utilizada como cobertura no inverno. Coincidentemente, a partir daquela década ocorreu grande demanda por óleo e proteína em todo o mundo, e o cultivo da soja se expandiu diante da avidez do mercado por alimento energético e proteico, tendo como fator facilitador a introdução de cultivares adaptadas às condições de clima do estado e pela melhoria das condições químicas dos solos

do RS. O Rio Grande do Sul, por exemplo, passou de 650 hectares nos anos 40 para 600 mil hectares na década de 70 (CHRISTENSEN, 2004).

A soja destaca-se no Brasil como o principal produto agrícola, com potencial para crescer ainda mais em produção, em função do aumento da produtividade e área cultivada. Com o desempenho apresentado nos últimos anos, vem sendo um dos mais importantes produtos da economia brasileira, atuando na geração de divisas, e através do enorme complexo, na geração de empregos (FREITAS & MENDONÇA, 2016).

Na temporada 2018/19, a oleaginosa apresentou crescimento na área plantada de 1,9% em relação à safra passada, correspondendo ao plantio de 35,8 milhões de hectares. A produção nacional atingiu 114,4 milhões de toneladas, constituindo-se na segunda maior safra da nossa série, continuando como maior exportador do grão do mundo. O complexo soja, composto pela soja em grãos e seus derivados, como óleo e farelo de soja, foi o principal produto exportado em 2017, representando 14,10% de toda a exportação brasileira, ou seja, US\$ 30,69 bilhões, ficando à frente de produtos importantes como minérios, petróleo e combustíveis (CONAB, 2019).

3.3 SEMEADORA

De acordo com Silveira (2001), muitos especialistas consideram a semeadora como a máquina agrícola mais importante depois do trator, uma vez que dos resultados por ela entregue, depende o sucesso subsequente da lavoura. Segundo Mialhe (2012), plantio é a denominação geral utilizada para o ato de se colocar no solo sementes, órgãos e propagação vegetativas ou mudas, sendo que dependendo do tipo de órgão de propagação, esta operação pode receber diferentes nomenclaturas, tais como, semeadura quando a propagação é feita através de sementes ou ainda transplante, quando a propagação é feita através de mudas.

Quanto à forma de acionamento, estas podem ser manuais, de tração animal, motorizadas e tratorizadas (montadas, semi-montadas e de arrasto). Quanto ao tamanho das sementes, geralmente são divididos em máquinas para grãos miúdos e/ou graúdos. Os mecanismos de dosagem das sementes podem ser classificados em linha (discos de alvéolos, rotor acanelado, correias perfuradas e pneumáticos) e a lança (rotor centrífugo, canhão centrífugo e difusor) (BALASTREIRE, 2000).

Referente à semeadura de soja, atualmente em sua maioria são utilizadas semeadoras de precisão em linha, com distribuidores de discos perfurados ou alveolados. Estas são capazes de distribuir as sementes de forma uniforme, mantendo-se uma distância constante

entre as mesmas. Estes implementos são constituídos de sistemas comuns independentemente do fabricante, os quais podem ser verificados na figura 01.

Figura 1 – Principais mecanismos de uma semeadora adubadora



Fonte: Adaptado de John Deere (2019).

De acordo com Balastreire (2000), existem dois sistemas de dosagem de sementes que são utilizados com maior frequência em semeadoras adubadoras de precisão, sendo eles o sistema de disco perfurado vertical ou horizontal e o sistema de dosagem pneumático. Os dosadores pneumáticos utilizam discos perfurados ou alveolados na posição vertical, com as sementes são presas a cada alvéolo pelo vácuo presente na parte posterior do disco, e com movimento rotacional deste mecanismo, na parte de baixo as sementes são dosadas, graças a um sistema de corta a sucção (Figura 02). Esse dosador tem como principal vantagem a precisão de dosagem bem como a ausência de dano mecânica às sementes, uma vez que o transporte destas ocorre com o mínimo de atrito, sendo que o contato com o disco é estabelecido pela sucção de ar (PORTELLA, 2001).

Apesar da maioria dos sistemas de dosagem de semente possuir transmissões mecânicas, acionadas pelo movimento do rodado da semeadora, existem no mercado máquinas de alta precisão e tecnologia embarcada, capazes de fazer o acionamento das transmissões de forma eletro-hidráulica. Estes sistemas permitem a semeadura de acordo com mapas de prescrição, disponibilizados nos monitores do trator, os quais foram previamente gerados.

Figura 2 - Dosador de sementes pneumático



Fonte: Adaptado de John Deere (2019).

3.4 VARIABILIDADE DO ESTANDE DE PLANTAS DE SOJA

O alcance de elevada produtividade de soja passa pela maximização dos seus componentes, o primeiro a ser definido é o número de plantas por metro quadrado (COX et al., 2010). Este componente varia com a cultivar (grupo de maturação e tipo de crescimento), época de semeadura, arquitetura da planta e região de cultivo.

O número de plantas é ajustado a priori, por meio do conhecimento da população ideal para uma dada condição (LEE et al., 2008), podendo esse ajuste influenciar a definição de outros componentes. Sua definição tem como determinantes a densidade e a velocidade de semeadura (JASPER et al., 2011), qualidade de sementes (COX; CHERNEY, 2011), tratamento de sementes (REZNIKOV et al., 2016), sistema de cultivo (GESCH et al., 2012), umidade e temperatura do solo (HELMS et al., 1996), dentre outros. Todos esses fatores podem atuar tanto em benefício como em prejuízo da obtenção do número de plantas desejado.

A semente de soja considerada de alta qualidade deve ter alto vigor, germinação e sanidade, bem como garantias de purezas física e varietal (genética) e não conter sementes de plantas daninhas. Esses fatores respondem pelo desempenho da semente no campo, culminando com o estabelecimento da população de plantas requerida pela cultivar, aspecto fundamental, que contribui para que sejam alcançados altos níveis de produtividade (KRZYZANOWSKI, 2004).

Na operação de semeadura da soja, o estande adequado e a uniformidade de distribuição de sementes também são apontados como fatores de grande influência na produtividade. Esses fatores podem ser afetados por inúmeras variáveis, sendo a velocidade de semeadura uma das mais importantes (KURACHI et al., 1989).

A maior expressão do potencial produtivo das variedades cultivadas de soja depende das condições do meio aonde as plantas irão se desenvolver. O acúmulo de plantas em alguns pontos da lavoura pode provocar o desenvolvimento de plantas mais altas, menos ramificadas, com menor produção individual, diâmetro de haste reduzido ou mesmo sujeitas ao acamamento (ENDRES, 1996). A principal decorrência do acamamento é a desorganização do dossel com conseqüente alteração da distribuição da radiação solar. Folhas que recebam plena radiação podem ser sombreadas e vir a senescer. Outras, parcialmente sombreadas, podem, repentinamente, vir a receber alta radiação solar. Como resultado, a eficiência no uso da radiação é reduzida drasticamente e a produção de fotoassimilados cai sensivelmente.

Como resultado, a planta enfrenta repentinamente um estresse que afeta tanto o crescimento vegetativo como reprodutivo. A maior perda no rendimento de grãos acontece a partir do início da formação de legumes e essa perda deve-se a diminuição do número de legumes por planta e não à diminuição do número de grãos/legume ou tamanho dos grãos (MUNDSTOCK; THOMAS, 2005). Do contrário, quando por fatores do ambiente ficam poucas plantas, a soja caracteriza-se por apresentar capacidade de compensação, por meio de ramificação ou crescimento em altura, permitindo que as plantas ocupem os espaços livres da lavoura. Contudo, essa característica é dependente da cultivar, fertilidade do solo, disponibilidade hídrica, temperatura e radiação solar (MUNDSTOCK; THOMAS, 2005).

A chamada plasticidade fenotípica da soja permite que a planta se adapte a condições de espaço disponível, modificando sua morfologia (TOYOTA et al., 2017). Essa característica permite que a planta produza estruturas vegetativas e reprodutivas em consonância com o aumento do espaço disponível para cada planta (AGUDAMU; SHIRAIWAB, 2016). Essa capacidade se dá em virtude do aumento do número de nós, ramos, gemas axilares, flores, legumes e grãos ao longo de sua haste principal (EGLI, 2013). Uma planta de soja possui gemas axilares em cada nó, as quais podem desenvolver ramos, racemos ou mesmo permanecerem dormentes (AGUDAMU; SHIRAIWAB, 2016). Quando recursos do meio como a água, luz e nutrientes estão disponíveis, a planta de soja tem melhores condições para a emissão de ramos laterais, podendo emitir um número adicional de nós. Com isso, aumenta-se o número de legumes por unidade de planta, principalmente com o decréscimo da

população. Essa capacidade permite a cultura alcançar resultados de produtividade de grãos similares, mesmo em uma ampla faixa de população de plantas.

Para a cultura da soja, Dalchiavon & Carvalho (2012) em uma gleba de 8 hectares encontraram uma variabilidade de 19% na população de plantas de 22% de produtividade. Johann et al. (2004) encontraram uma variabilidade de 23% na população de plantas e Mattioni et al. (2011) avaliando um campo de semente de soja encontraram uma variabilidade de 10%. Diferentemente da desuniformidade de distribuição, em estandes com menor número de plantas, o decréscimo na produtividade de grãos deve ocorrer, mesmo em ambientes com disponibilidade satisfatória de recursos e mesmo que as cultivares apresentem ampla capacidade compensação (SUHRE et al., 2014). Esse decréscimo ocorre a partir de um ponto onde a compensação, por parte das plantas remanescentes, não é suficiente para sustentar a produtividade.

Para que possam expressar o máximo de seu potencial produtivo, as plantas necessitam estar em número e distribuídas de modo a alcançar máxima eficiência no uso dos recursos de produção (EGLI, 1994). Para isso, tanto competição inter como intraespecífica devem ser os menores possíveis. Tanto espécies como genótipos de uma mesma espécie adequam-se de maneira diferenciada a espaçamento entre fileiras e população de plantas, em resposta as suas características morfológicas (SUHRE et al., 2014). Particularidades relacionadas ao dossel são importantes nessa adequação, pois definem o modo como cada material ocupa o espaço e intercepta radiação solar (BELLALLOUI et al., 2015).

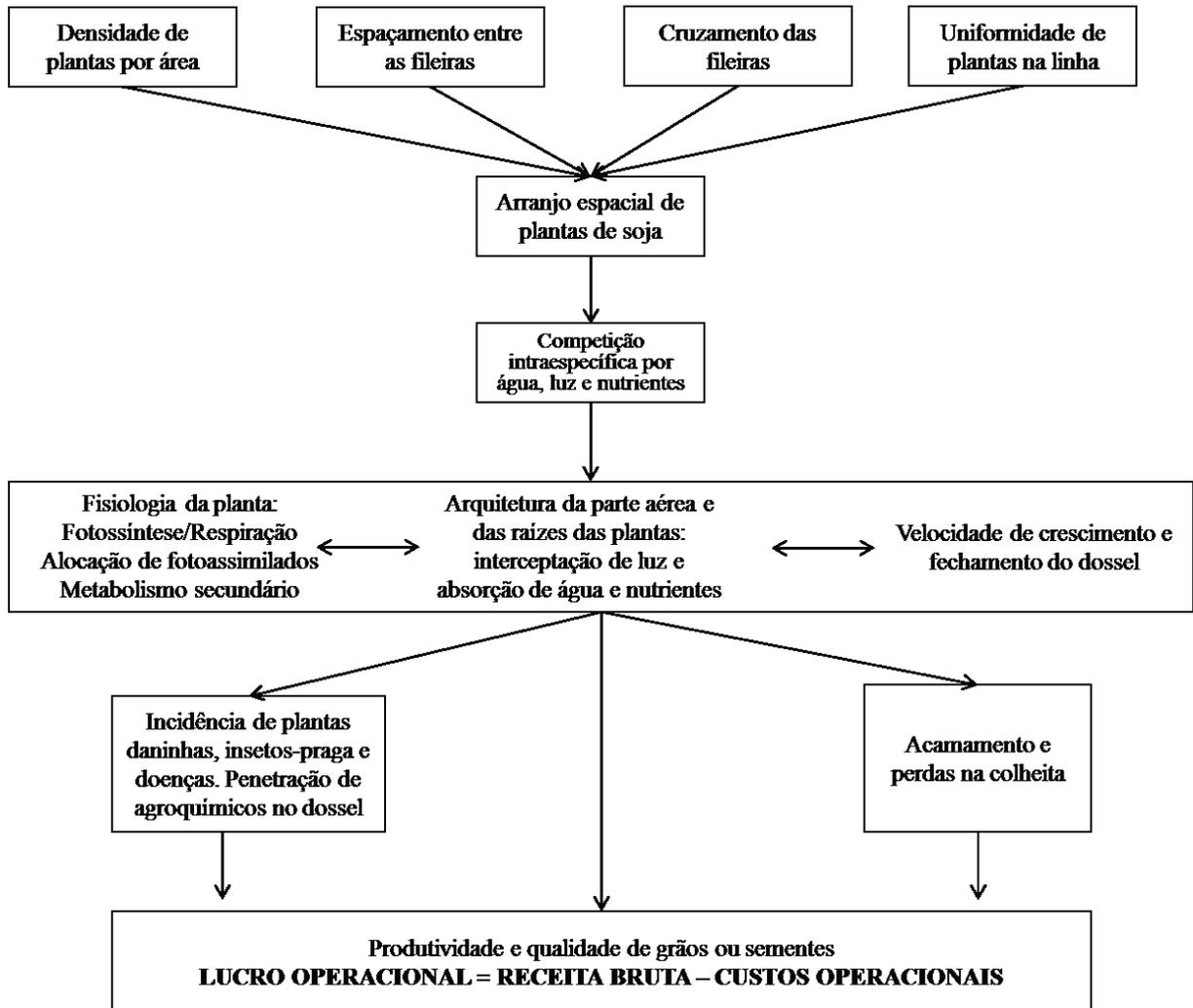
Mesmo que sua correlação algumas vezes seja baixa ou mesmo não significativa, a população de plantas é um insumo básico para a produtividade e a que tem maior relação com a produtividade de grãos. Com isso, pode haver a possibilidade de que o sistema de produção avance para uma racionalização ou mesmo uma releitura da população de novas cultivares, de acordo com a capacidade produtiva do solo e/ou do ambiente (LEE et al., 2008).

Quando há ocorrência de chuvas intensas após a semeadura, tanto em sistema convencional como em semeadura direta, pode haver formação de uma camada de solo endurecida sobre o sulco de semeadura (JIA et al., 2016). Logo após a semeadura também podem ocorrer períodos com ausência de chuvas, diminuindo a umidade do solo e prejudicando o processo de germinação e emergência. Tudo isso, aliado ao ataque de pragas ou mesmo doenças de solo, podem vir a prejudicar o estabelecimento do estande de plantas (REZNIKOV et al., 2016).

O arranjo espacial das plantas pode ser alterado via mudança no espaçamento entre as fileiras, na densidade de semeadura, no cruzamento das fileiras e na uniformidade de

distribuição das plantas na linha (WERNER et al., 2016). Os principais impactos do arranjo espacial de plantas sobre a cultura da soja são apresentados no modelo conceitual apresentado na Figura 3.

Figura 3 - Modelo conceitual sobre os principais impactos do arranjo espacial de plantas de soja sobre o desempenho agrônômico da cultura



Fonte: Adaptado por Hirakuri; Conte, Balbinot Junior, 2017

A semeadura em taxa variável permite variar o número de sementes de acordo com o potencial produtivo de cada local dentro da área de cultivo (ANSELMINI 2012), de acordo com atributos previamente determinados e localizados geograficamente, o que se reflete em um número variável de plantas por unidade de área. Segundo estudo de Werlang (2018), a semeadura precisa e/ou por zonas de manejo, está em ampla expansão nos últimos anos, muitos agricultores já estão em busca de empregar tal prática e muitos outros pretendem adquirir semeadoras que proporcionem a mesma.

3.5 MAPAS DE COLHEITA

Mapa de colheita, também conhecido como mapa de produtividade refere-se a uma das ferramentas da Agricultura de Precisão que permite, através de um conjunto de pontos, obter informação da produtividade da cultura em cada ponto específico da área de cultivo, os quais são identificados geograficamente (ANSELMINI, 2012).

Inúmeras ferramentas estão sendo sugeridas e testadas, na tentativa de identificar manchas com valores distintos de produção em uma área, ferramentas como imagens de satélite, fotografias aéreas e a videografia. Mas, nenhuma informação demonstra com maior fidelidade as condições de cultivo do que a resposta da cultura em produtividade (MOLIN, 2002). Primeiramente é preciso entender as funções de um mapeamento de produtividade, para só então conseguir o interesse e o empenho dos agricultores na obtenção de dados com qualidade. Como já mencionado, os mapas de produtividade mostram a resposta real da cultura ao manejo adotado, ou seja, a resposta às condições presentes na lavoura durante a safra, representadas pelos diversos fatores de produção. Dessa forma, o mapeamento da produtividade gera a informação mais adequada para a visualização da variabilidade espacial das lavouras, o que pode auxiliar na identificação de fatores limitantes à produção e seu tratamento de forma localizada, sendo esta a ideia principal da AP (MOLIN, AMARAL & COLAÇO, 2015).

Para a geração do mapa de produtividade é necessário que a colhedora possua os equipamentos listados a seguir (SILVA et al., 2011):

- Sensor de produtividade.

Dentre os sistemas pesquisados, grande parte dos sistemas usados atualmente para monitorar a produtividade de grãos, está montado no topo do elevador de grãos limpos, sensor de peso.

- Sensor de umidade de grãos.

O sensor do tipo capacitivo é o mais utilizado para medir o teor de umidade dos grãos colhidos. Sua localização, geralmente, ocorre no sistema de transporte do grão, dentro do elevador de grãos limpos, próximo ao sensor de produtividade.

- Sensor de velocidade de colheita.

São quatro os tipos de sensores disponíveis no mercado para medir a velocidade de deslocamento da colhedora: Sensor magnético; Radar; Ultrassom; Receptor GNSS.

- Sensor indicador da posição da plataforma da colhedora.

É um sensor que emite um sinal para o monitor de colheita quando o cabeçote da colhedora está na posição levantado, mostrando desta forma, a interrupção momentânea da

colheita. Esse sensor ajuda a controlar o cálculo da área colhida e obtenção de dados de colheita incorretos, emitindo apenas um sinal de interrupção de coleta de dados.

- Monitor de funções das operações.

O monitor de funções das operações é montado na cabina da colhedora, conectado a todos os sensores e permite monitorar todas as operações que estão sendo medidas para calcular o mapa de produtividade. O monitor permite ao operador da máquina fornecer informações ao sistema sobre as especificações do equipamento, informar dados de referência da cultura colhida, fornecendo, desta maneira, informações que facilitarão posterior avaliação do mapa de produtividade.

- Receptor GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*).

A unidade de posicionamento da colhedora consiste em um receptor GNSS. Este receptor registra a posição atual da colhedora baseando-se em dados enviados por satélites visíveis orbitando ao redor da Terra. Os dados coletados pela colhedora são armazenados em um cartão de memória, para posterior transferência em um computador, visando serem processados em um programa SIG para a visualização dos mapas de produtividade.

O uso de mapas de produtividade para caracterizar a variabilidade das lavouras tem-se mostrado um parâmetro para a representação gráfica da resposta das plantas às condições de manejo e ambiente submetidas, sendo considerado o resultado que se obteve com as técnicas empregadas (MOORE, 1998). Por outro lado, as ferramentas de análise disponíveis atualmente podem, em algumas situações, não explicar totalmente as causas da variabilidade na produtividade dos cultivos, sendo oportuna a associação com outras informações para investigar tal variabilidade (COELHO, 2003). Em trabalhos realizados numa lavoura de 57 hectares, em Palmeira das Missões (RS), utilizando a ferramenta do mapa de produtividade, Amado et al. (2004) encontraram diferenças de rendimento de 1.500 a 4.200 kg⁻¹ por hectare de soja e de 4.500 a 9.000kg ha⁻¹ de milho, em uma área com fertilidade do solo considerada adequada para o desenvolvimento das culturas analisadas. Esse estudo demonstra a grande variabilidade de produção encontrada nesta área, a qual indica à necessidade de se levar em conta a variabilidade existente no seu manejo.

A simples mensuração e a representação digital de um atributo isolado do solo geralmente não é eficiente para estabelecer relação causa-efeito com a produtividade de uma cultura. É frequente que a representação espacial de um nutriente, mesmo com uma malha intensa, não apresente correlação com o mapa de produtividade (SANTI et al., 2012).

A variabilidade existente no solo é consequência da ação dos fatores que o formam sobre o material de origem, juntamente com a interferência antrópica através da atividade

humana. Embora se trabalhe de forma a uniformizar os sistemas, todo o manejo também conduz à variabilidade (SCHLINDWEIN & ANGHINONI, 2002). No momento da semeadura, por exemplo, existem outras fontes de variabilidade no solo, como o cultivo em linhas e a conseqüente aplicação localizada de fertilizantes e sementes (SOUZA et al., 1997).

Em relação ao mapa de colheita, Werlang (2018) destaca que os índices de utilização do mesmo, são de fato baixíssimos, e são semelhantes ao que ocorrem em outros países, tal tecnologia é pouco utilizada em vista de que atualmente muitas colhedoras são equipadas com sensor de colheita. Entretanto ressalta que os agricultores alegam a falta de confiabilidade nos sensores e dificuldades técnicas para coleta e transferência de dados e na elaboração e interpretação dos mapas.

Invariavelmente, para Molin, Amaral & Colaço (2015) o objetivo dos agricultores é a obtenção de altas produtividades com o menor custo possível, sempre focando um melhor retorno econômico da atividade agrícola. Nesse contexto, a estimativa da quantidade média que uma lavoura produz já não é suficiente quando se pensa em AP, uma vez que a ideia principal é a gestão localizada da produção. Logo, o mapeamento da produtividade passa a ser uma ferramenta essencial para essa finalidade.

A produtividade agrícola também pode indicar o comportamento das operações de gerenciamento agrícola, uma vez que contém todos os fatores que influenciaram no desenvolvimento do cultivo. Como o lucro da propriedade depende, basicamente, da quantidade e qualidade do cultivo, os mapas de produtividade tornam-se uma parte vital de um sistema de agricultura eficiente (SILVA et al., 2011).

3.6 ANÁLISES GEOESTATÍSTICA E MULTIVARIADA

A análise geoestatística fornece um conjunto de elementos para interpretar a aleatoriedade dos dados da variável, considerando que os mesmos tenham uma dependência entre si no espaço de referência, determinando assim, que os dados dessa variável apresentem continuidade espacial, o que estabelece uma função de correlação espacial (GIOTTO et al., 2013).

O semivariograma é uma das ferramentas mais utilizadas para representar a continuidade espacial de uma função aleatória em uma determinada direção de um vetor. Assim, o estudo da continuidade ou dependência espacial da variável em estudo é realizado por meio dessa ferramenta (GIOTTO et al., 2013). De acordo com Duarte (2000), o semivariograma é um método geoestatístico para diagnosticar a presença da correlação entre

as unidades amostradas. A krigagem é uma técnica usada na geoestatística para estimar valores para locais não amostrados, considerando os parâmetros do semivariograma, que resulta em valores sem tendência e com variância mínima (SILVA et al., 2008).

O inverso do quadrado das distâncias (*IDW*) é um modelo matemático utilizado na interpolação de dados, o modelo baseia-se na dependência espacial, isto é, supõe que quanto mais próximo estiver um ponto do outro, maior deverá ser a correlação entre seus valores. Dessa forma, atribui maior peso para as observações mais próximas do que para as mais distantes. Assim, o modelo consiste em se multiplicar os valores das observações pelo inverso das suas respectivas distâncias ao ponto de referência para a interpolação dos valores (VARELLA, 2014).

O procedimento de interpolação pelo Inverso do Quadrado da Distância é um dos métodos mais antigos de interpolação espacial e também um dos mais utilizados, tem as características de ser um método de fácil entendimento, seguro e relativamente preciso, desde que haja uma definição correta do raio de pesquisa e realiza a interpolação a partir de um único ponto próximo. Sua aplicação é recomendada quando o “gride de amostragem” for de formato retangular uniforme, com boa densidade de pontos e a variabilidade espacial do atributo pesquisado não for significativa (GIOTTO et al., 2016).

A análise de conglomerados, também chamada de análise de cluster é uma técnica usada para classificar objetos ou casos em grupos relativamente homogêneos chamados conglomerados. Os objetos, em cada conglomerado, tendem a ser semelhante entre si, mas diferentes de objetos em outros conglomerados não havendo qualquer informação, a priori, sobre a composição do grupo, ou conglomerado, para qualquer de seus objetos, sendo sugeridos pelos dados.

Os processos de aglomeração podem se hierárquicos ou não-hierárquicos. Na aglomeração hierárquica é estabelecida uma ordem, ou estrutura em forma de árvore, que produz sequência de partições em classes cada vez mais vastas. O que não ocorre na aglomeração não-hierárquica, na qual se produz, diretamente, uma partição em um número fixo de classes. No entanto, o método mais comum é o da classificação hierárquica, onde os objetos são agrupados à semelhança de uma classificação taxonômica e representada em um gráfico com uma estrutura em árvore, denominada dendograma.

Para proceder esta classificação, faz-se necessário definir matematicamente o que venha ser caracterizado proximidade, ou seja, à distância entre dois objetos, definindo-se a partir daí o critério de agrupamento de duas classes. A forma de mensuração mais utilizada é a Distância Euclidiana.

Uma amostragem direcionada pode ser capaz de proporcionar a coleta de um maior número de informação que podem, em um segundo momento, serem reduzidas por meio de critérios objetivos como, por exemplo, o seu grau de contribuição sobre o rendimento de grãos (CHERUBIN et al., 2011). Esta premissa, no entanto, é dificultada quando as interpretações dos resultados são realizadas somente por métodos estatístico univariados (SILVA et al., 2010) mas pode ser melhor atendida quando associada a uma análise estatística multivariada. Neste sentido, a análise de componentes principais (ACP) tem por objetivo descrever os dados contidos num quadro indivíduos-variáveis numéricos: p variáveis serão mediadas com n indivíduos. Esta é considerada um método fatorial, pois a redução do número de variáveis não se faz por uma simples seleção de algumas variáveis, mas pela construção de novas variáveis sintéticas, obtidas pela combinação linear das variáveis iniciais, por meio dos fatores (BOUROCHE, 1982).

A ACP é uma técnica matemática da análise multivariada, que possibilita investigações com um grande número de dados disponíveis. Possibilita, também, a identificação das medidas responsáveis pelas maiores variações entre os resultados, sem perdas significativas de informações. Além disso, transforma um conjunto original de variáveis em outro conjunto: os componentes principais (CP) de dimensões equivalentes. Essa transformação, em outro conjunto de variáveis, ocorre com a menor perda de informação possível, sendo que esta também busca eliminar algumas variáveis originais que possuam pouca informação. Essa redução de variáveis só será possível se as p variáveis iniciais não forem independentes e possuírem coeficientes de correlação não-nulos (VICINI, 2005).

Dentre os programas para trabalhar com dados geoestatísticos, combinado a máquina, há o Apex®, programa computacional com ferramentas SIG (Sistemas de Informações Geográficas) de gerenciamento de mapas e informações coletadas em campo, incluindo algumas ferramentas de gerenciamento da frota agrícola. Esse programa permite criar e manipular os mapas gerados em campo pelo sistema de mapeamento de produtividade, bem como gerenciar rastreabilidade de talhões, culturas, variedades, produtividade, máquinas, fertilizantes, agroquímicos, dentre outros (JOHN DEERE, 2019). Outro programa é CR Campeiro®, oriundo de um projeto de extensão rural do Departamento de Engenharia Rural do Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Maria, é um programa para a gestão de procedimentos que envolvem o uso de geotecnologias como sistemas de posicionamento global (GPS) aplicados no manejo de culturas agrícolas, seja em mapeamentos de fertilidade do solo, mapa de produtividade e aplicação localizada de insumos (GIOTTO, 2016).

4 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em um talhão comercial de soja de 35,4 hectares denominado Lavoura 8 na Fazenda Santa Lúcia, no município de Pejuçara/RS delimitado pela Latitude 28°32'58.26"S e Longitude 53°33'35.67"O. Essa área foi selecionada em função que desde 2008 está se trabalhando para homogeneizar os atributos químicos do solo através da amostragem em gride e correções em taxas variáveis de fertilizantes e corretivos. Outro fator decisivo é que tanto a semeadora como a colhedora deste agricultor possui sistema para registro de dados.

De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima, dessa região está situado na Zona Climática Fundamental Temperada (C), apresentando clima do tipo fundamental úmido (f) e variedade específica subtropical (Cfa). Desse modo, o clima local é descrito como subtropical úmido (Cfa), com chuva bem distribuída durante o ano e temperatura média do mês mais quente superior a 22 °C.

O solo na propriedade é do tipo Latossolo Vermelho (STRECK et al., 2008), possuem boa drenagem, sendo profundos e com perfil bastante homogêneo. Por serem solos muito intemperizados, têm CTC variando entre 10 a 13 cmol.dm⁻³, basicamente promovida por teores de argila (35 a 50%) e bons teores de matéria orgânica (3 a 4,5%). O relevo é de topografia leve a suavemente-ondulada, com altitude média de 415 m em relação ao nível do mar, conforme a Figura 4.

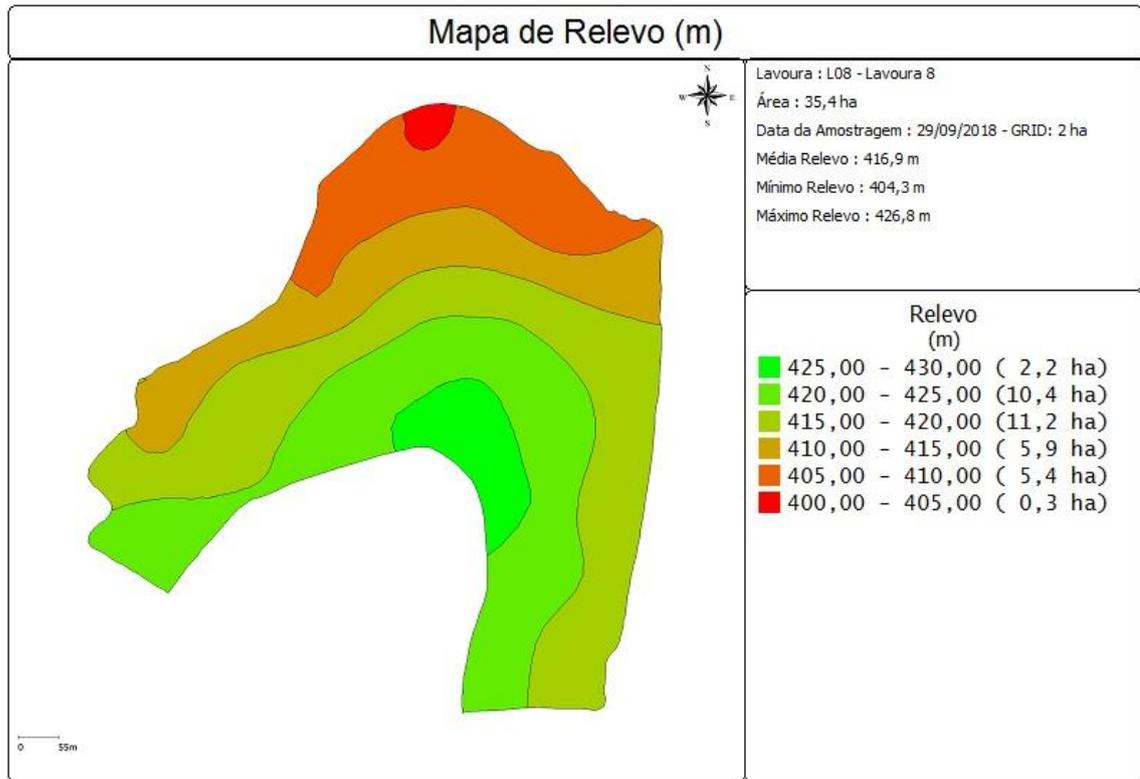
No inverno antes da semeadura da soja, a cultura que tinha sobre a área era Aveia Branca (*Avena sativa*) semeada dia 05 de maio de 2017 com uma semeadora configurada com espaçamento entre linhas de 0,17 m. A colheita foi realizada no dia 15 de outubro com uma produtividade média de 1.800 kg.ha⁻¹. A adubação utilizada para a aveia branca + soja foi de 195 kg.ha⁻¹ de MAP e 245 kg.ha⁻¹ de KCl sendo aplicada a lanço sobre a cultura da aveia branca, na forma de sistema, no mês de julho.

A cultivar de soja utilizada foi a NS 5959 IPRO® da Nidera Sementes®, possui um ciclo de crescimento indeterminado, grupo de maturação 5.9, com recomendação de população de 32 a 40 plantas.m⁻² e com um ciclo médio de 125 dias. A principal característica desta cultivar é a baixa capacidade de engalhamento, justificativa para o uso desta alta população recomendado pela detentora. O lote de semente utilizada possuía 95% de germinação e 92 % de vigor.

No tratamento de sementes foi utilizado o fungicida Maxim® XL (1 mL.kg⁻¹) e os fungicidas/inseticidas Standak® Top (1 mL.kg⁻¹) e Cruiser® (1 mL.kg⁻¹). No momento da

semeadura foi aplicado inoculante na linha de semeadura através de um sistema de jato dirigido instalado junto aos discos de corte da semente, aplicando 4 doses por hectare de *Bradyrhizobium japonicum* e *Bradyrhizobium elkanii*, responsáveis por fornecer o nitrogênio (N) que a soja necessita através de uma simbiose.

Figura 4 - Mapa da altitude da Lavoura 8 em relação ao nível do mar



Fonte: Autor, 2019

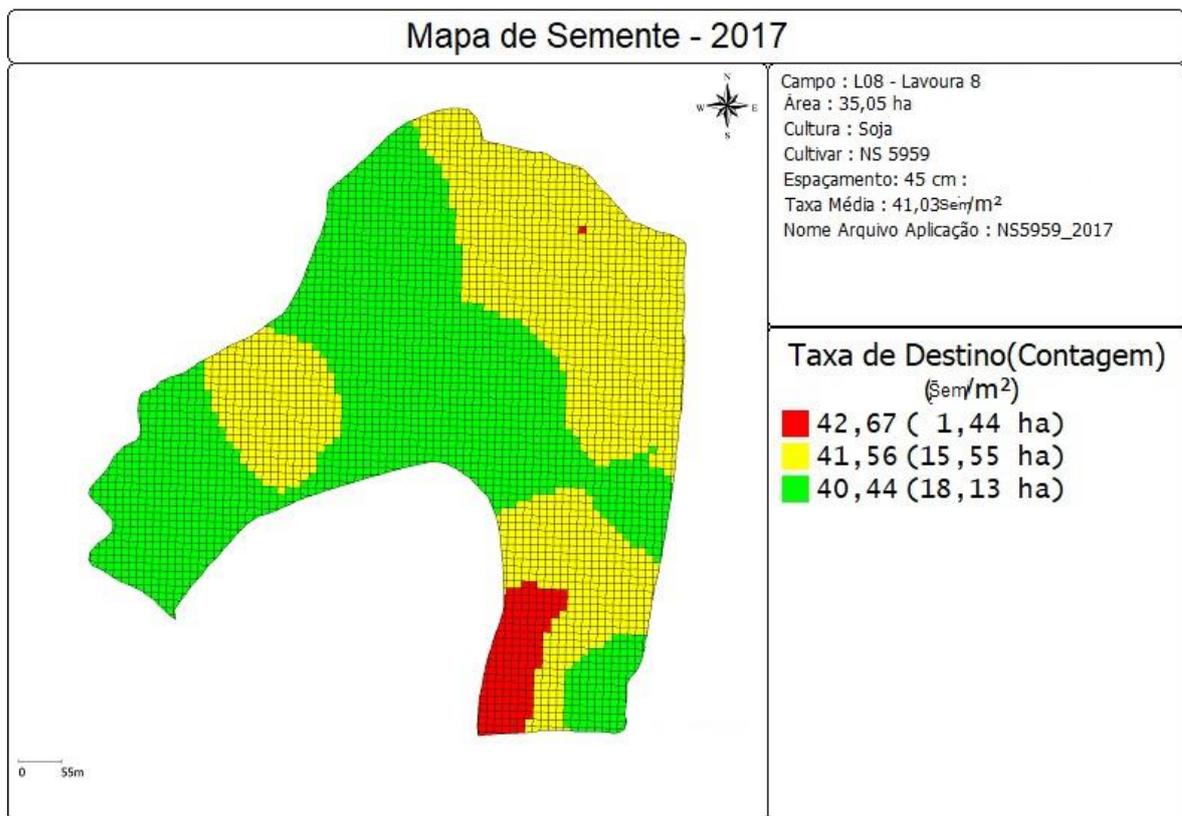
A semeadura da soja foi realizada no dia 22 de outubro de 2017, dentro da janela recomendada para a cultivar. A semeadora utilizada foi modelo Victoria Top Control 5400 da marca Stara®, ano 2014, com 13 linhas espaçadas 0,45 m entre elas. Esta semeadora possui somente o reservatório de semente, distribuidor de sementes pneumático, sendo tracionada por um trator de 180 cv, munido de piloto automático, com velocidade de deslocamento de 5 km.h⁻¹. A semeadura foi realizada em taxa variável conforme potencial produtivo de cada zona de manejo. Como na literatura não tem parâmetros concretos de como fazer a distribuição de sementes, criamos os seguintes parâmetros:

- Zona de baixa potencial produtivo do talhão, média histórica das últimas 3 safras de soja abaixo de 97% da produtividade: 42,57 sem.m⁻².

- Zona com médio potencial produtivo do talhão, média histórica das últimas 3 safras de soja de 97 a 103% da produtividade: 41,56 sem.m⁻².
- Zona com maior potencial produtivo do talhão, média histórica das últimas 3 safras de soja acima de 103% da produtividade: 40,44 sem.m⁻².

A média final foi de 41,03 sem.m⁻², com uma variação entre a taxa máxima e a taxa mínima de 5,5%. A variabilidade não foi alta por se tratar de lavoura comercial, visando a rentabilidade, e por segurança foi tomado esta decisão. Isso foi criado com o objetivo teórico de ficar com uma população mais estável, ou seja, por experiência de outros cultivos foi observado uma perda maior de plantas nas zonas de baixa produtividade e problemas de acamamento de plantas nas zonas de alta produtividade.

Figura 5 - Mapa da taxa variável de sementes.m⁻² executado na safra 2017/2018



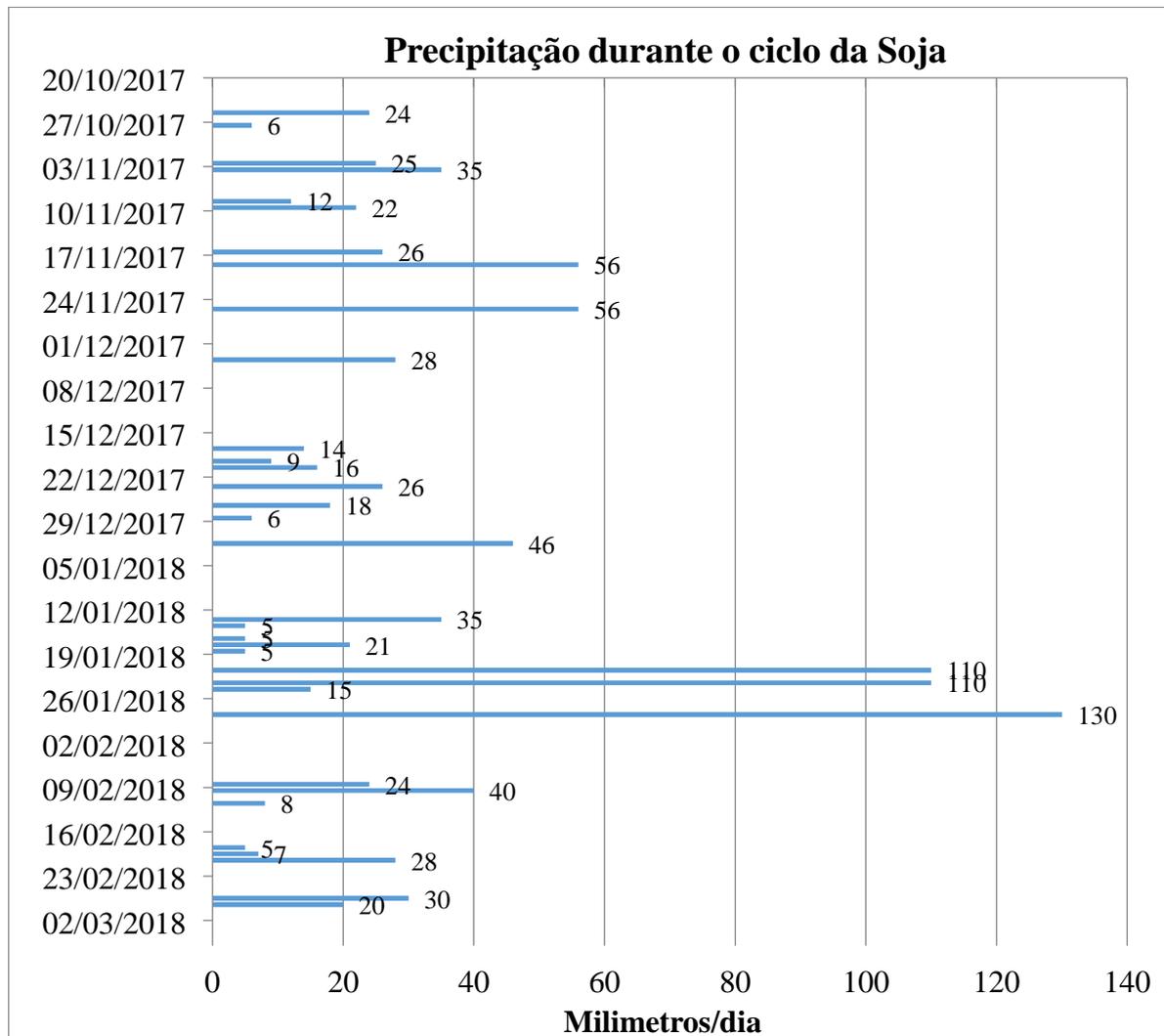
Fonte: Autor, 2019

No manejo de plantas daninhas, foi realizado uma aplicação de herbicida pós-emergência da soja de Glifosato (2 L.ha⁻¹) visando a eliminação das mesmas pós-semeadura da soja. No manejo fitossanitário durante o desenvolvimento da cultura foi realizado 4 aplicações de fungicida e 3 aplicações de inseticida. A primeira aplicação de Fox® (0,4 L.ha⁻¹)

¹), segunda aplicação de Elatus® (0,2 kg.ha⁻¹) + Cypess (0,3 L.ha⁻¹) + Engeo Pleno® (0,25 L.ha⁻¹), a terceira aplicação foi de Sphere Max (0,2 L.ha⁻¹) + Previnil® (1,7 L.ha⁻¹) + Galil® (0,3 L.ha⁻¹) e a quarta aplicação de Sphere Max (0,2 L.ha⁻¹) + Cypess (0,3 L.ha⁻¹) + Abamectina (0,4 L.ha⁻¹). Todas as aplicações foram realizadas com adjuvante conforme recomendação de cada empresa e respeitado a temperatura e velocidade do vento, sendo a maioria das aplicações realizadas de madrugada para evitar fitoxidade dos produtos.

A precipitação foi bem distribuída durante o ciclo da cultura da soja, conforme é demonstrado na Figura 6.

Figura 6 - Distribuição da precipitação durante o ciclo da cultura da soja da safra 2017/2018



Fonte: Autor, com dados levantados na propriedade estudada (2019)

O maior período sem chuva foi de 13 dias, no período de 01 de janeiro a 13 de janeiro de 2018, porém a chuva do dia 01 foi de 46 mm, ou seja, volume para uma boa reserva no

solo. A soma acumulada durante o ciclo da soja passou dos 1020 mm, bem acima do ideal para a cultura. Para Franke (2000), a obtenção de produtividade considerável na soja exige uma demanda hídrica entre 450 a 850 mm, considerando alterações climáticas que ocorram por todo o ciclo.

A metodologia para avaliação de população de plantas foi feita com o auxílio de sistema de Posicionamento Global por Satélite (GNSS) para a geolocalização na lavoura, utilizando grid amostral de 0,25 hectare, ou seja, 137 pontos amostrais, gerado através do programa CR CAMPEIRO 7 (Figura 7), onde cada ponto amostral foi feito a contagem de plantas em 3 metros de lineares, em 5 linhas com espaçamento de 0,45 metros entre-linhas, gerando uma parcela de 6,75 m². Essa contagem foi realizada quando a soja se encontrava no estádio R7 (FEHR; CAVINESS, 1977) e a informação gerada foi população de plantas (Plantas.m⁻²). Subtraindo a taxa de aplicação de semente foram calculadas quantas plantas.m⁻² se perdeu durante o estabelecimento/desenvolvimento da cultura.

Para a realização da colheita na área de estudo e geração dos dados de campo utilizou-se o conjunto mecanizado disponível na propriedade, composto por uma colhedora da marca John Deere®, modelo 9570 STS com motor de 275 cv de potência nominal e capacidade do tanque graneleiro de 8.800 litros com plataforma de corte modelo Hydrflex 625 com largura de colheita de 7,62 m.

Para a geração dos dados de colheita que possibilitam a geração dos mapas de produtividade essa colhedora contava com um sensor de produtividade. Este sensor encontra-se montado no topo do elevador de grãos, é um sensor de impacto, os grãos são acelerados pelas pás do elevador de grão limpo e lançados contra a placa, a deformação da placa é medida estabelecendo uma relação de massa. Realizou-se a calibração do sensor de produtividade para obter valores mais próximos do real. A calibração do sensor envolveu a comparação dos valores de pesos de várias cargas obtidos pelo sensor e o valor do peso obtido em balança. Os valores reais dos pesos das cargas são digitados no monitor de produtividade onde o programa do monitor de produtividade estabelece então, a curva de calibração para realizar a correção.

O sensor de teor de umidade de grãos encontra-se montado no topo do elevador de grãos limpos, logo abaixo do sensor de produtividade. O próprio fluxo de grãos abastece a câmara de processamento do sensor de umidade conforme, após a leitura feita pelo sensor, o êmbolo localizado dentro da câmara de leitura do sensor de umidade se estende removendo a massa de grãos já analisado, o êmbolo se retrai novamente para realizar uma nova leitura de umidade dos grãos. Estava configurado a frequência de leitura de três leituras por minuto.

Realizou-se a conferência do valor de umidade obtido pelo sensor de teor de umidade dos grãos da máquina e comparado com o valor de umidade obtido na cooperativa para fazer a correção. O valor da correção da umidade foi obtido pela diferença dos valores de umidade do sensor de teor de umidade dos grãos da máquina e o valor de umidade obtida na cooperativa, este valor foi inserido no campo de correção de umidade no monitor da máquina que realizou a calibração do valor.

Figura 7 – Malha amostral de população de plantas (Plantas.m⁻²) realizado em CR7



Fonte: Autor, adaptado do Gogle Earth, junho de 2019.

Para o georeferenciamento dos pontos de colheita de rendimento e umidade foi utilizado o receptor de posição modelo Star Fire 3000, o qual recebe sinal de satélites GPS e o Sistema Orbital Global de Navegação por Satélite (GLONASS), além do sinal sistema RTK (*Real Time Kinematic*).

Para acompanhamento visual do rendimento da lavoura, configuração, geração dos arquivos necessários para gerar os mapas de produtividade e transferências de dados foi utilizado o monitor GS 2630. As transferências de dados foram realizadas pela cópia dos dados armazenados no cartão de memória do monitor. Utilizou-se o programa computacional Apex® para realizar a exportação dos dados de colheita para extensão de arquivo em formato shape1 para possibilitar trabalhar com os dados dos mapas de produtividade com o programa computacional SMS®.

Para a caracterização da variabilidade espacial dos atributos da fertilidade do foi realizado a amostragem em Grid pós-colheita da soja, no mês de abril, na profundidade de 0 a 10 cm e alguns pontos de 10 a 20 cm para ver a situação do perfil, conforme o Manual de adubação e calagem da Comissão de Química e Fertilidade do Solo RS/SC (CQFS RS/SC, 2016), feito com a metodologia manual com pá de corte. Foi coletado uma amostra a cada 2 hectares (Figura 8), cada amostra é composta por 5 sub-amostras, coletadas em um raio de 10 metros ao redor do ponto central georeferenciado.

Este trabalho de Agricultura de precisão começou no ano de 2008, sendo realizada 3 coletas ao longo dos anos e essa última em estudo no ano de 2018, sendo que as intervenções em taxa variável todos os anos. Os atributos levantados foram: Argila, CTC, pH, Saturação de Bases, Saturação de Alumínio, Saturação de Potássio, Matéria orgânica, Cálcio, Magnésio, Fósforo, Potássio, Enxofre, Cobre, Zinco Boro e Manganês.

Com a finalidade de caracterizar a variação horizontal dos atributos no solo, plantas e produtividade os mesmos foram analisados por meio da estatística descritiva, extraindo-se as medidas de posição (mínimo, média, máximo e mediana) e dispersão (variâncias, desvio padrão, assimetria, curtose e coeficiente de variação).

Geoestatísticos e matemáticos defendem que o número mínimo de amostras que possibilitam boa eficiência da operação de krigagem deve ser superior a 50 (OLIVER, 2010). Isso porque, para a construção de semivariogramas confiáveis, é necessário grande número de pares de pontos. Isso implica, por exemplo, que situações em que poucas amostras de solo foram coletadas para o levantamento da fertilidade de uma lavoura não o permitirão o máximo desempenho da krigagem. Neste caso, para os mapas de fertilidade que continham somente 18 pontos amostrais foi utilizado o inverso do quadrado das distâncias, é um modelo matemático utilizado na interpolação de dados, o modelo baseia-se na dependência espacial, isto é, supõe que quanto mais próximo estiver um ponto do outro, maior deverá ser a correlação entre seus valores. Dessa forma, atribui maior peso para as observações mais próximas do que para as mais distantes. Assim, o modelo consiste em se multiplicar os

valores das observações pelo inverso das suas respectivas distâncias ao ponto de referência para a interpolação dos valores (VARELLA, 2014).

Figura 8 - Malha amostral de coleta de solo com uma amostra a cada 2 ha



Fonte: Autor, adaptado do Google Earth (2019)

O método do inverso da distância apresenta como característica marcante a formação de contornos concêntricos ao redor dos pontos amostrais, chamados de olhos de boi ou bull'seyes, principalmente quando as amostras estão em baixa densidade. No entanto, julga-se que a presença dos olhos de boi dificilmente representa a realidade e, portanto, a obtenção de mapas com esse comportamento deve ser cuidadosamente interpretada.

Para avaliar o comportamento espacial dos componentes da produtividade e de plantas, foi utilizado técnicas de geoestatísticas, por meio de semivariogramas experimentais (VIEIRA, 2000), sendo os ajustes realizados por meio de modelos teóricos (esférico, exponencial, gaussiano e linear) utilizando-se o programa computacional Gamma Design

Software – GS+ (ROBERTSON, 1998). Os modelos dos semivariogramas foram ajustados com base no melhor coeficiente de determinação (r^2) e avaliados pela técnica de validação cruzada.

Para melhor organizar os dados, e ter bom número de pontos de leitura da produtividade gerados no mapa de colheita, visando correlacioná-los com os resultados de plantas e fertilidade, foram criados “buffers” com 10 metros de raio (Figura 9), com referência a malha de 137 pontos (Figura 7), sendo os pixels que estiverem dentro deste círculo, foi feito a média e dispostos em uma planilha Excel[®]. Este ajuste foi feito usando o programa SMS[®].

Figura 9 - Malha amostral com a delimitação dos "buffer" com o raio de 10 metros.



Fonte: Autor, adaptado do Gogle Earth, junho de 2019.

De posse dos dados e para avaliação dos atributos avaliados, foi realizada análise multivariada utilizando a técnica de agrupamento hierárquico ou análise de cluster. Essa análise teve por objetivo reunir, os atributos de manejo e fertilidade em grupos, de tal forma que existisse homogeneidade dentro do grupo e heterogeneidade entre grupos, isto é, formar grupos de com características químicas e de manejo semelhantes. Para realizar a análise de agrupamento foi utilizada como medida de similaridade à distância Euclidiana e o algoritmo de agrupamento pelo Método da Ligação Completa, onde os atributos são combinados pela menor distância máxima entre eles (HAIR JR. et al., 2005).

Posteriormente, buscando elucidar quais os atributos que mais apresentavam correspondência em diferenciar variação de plantas, fertilidade e produtividade foram submetidas à análise multivariada de componentes principais (ACP). Para tal, cada atributo analisado foi considerado como variáveis independentes, totalizando assim 18 variáveis, sendo elas atributos de solo (Argila, CTC, Matéria Orgânica, Fósforo, Potássio, Enxofre, Boro, Zinco, Manganês, pH, Saturação de Bases, Saturação de Potássio e Altitude) de plantas (sementes.m² e plantas.m²) e produtividade (kg.ha⁻¹). Os componentes foram ranqueados em função do seu grau de explicação sobre a variância dos rendimentos (COELHO, 2003), sendo considerados como altamente significativos os atributos com escores > 0,70. A ACP foi procedida por meio do programa computacional STATISTICA[®] versão 7.0 (STATSOFT, 2004).

Para identificar possíveis relações e intensidade de associação entre as variáveis, optou-se se por trabalhar com a análise de correlação observando os parâmetros de interpretação apresentados na Tabela 1. Foram considerados significantes os coeficientes que apresentaram valores de “p”<0,01(**) e “p”<0,05(*) (HAIR et al., 2005).

Tabela 1 - Faixas de interpretação dos coeficientes da análise de correlação

Valor do coeficiente “r”	Força de associação
± 0,91 – ± 1,00	Muito forte
± 0,71 – ± 0,90	Alta
± 0,41 – ± 0,70	Moderada
± 0,21 – ± 0,40	Pequena, mas definida
± 0,01 – ± 0,20	Leve, quase imperceptível

Fonte. Hair et al., 2005.

Para entender melhor o comportamento da produtividade x plantas.m², foi classificado dentro do talhão as 8 parcelas com a menor população (31 plantas.m²), 8 com a maior

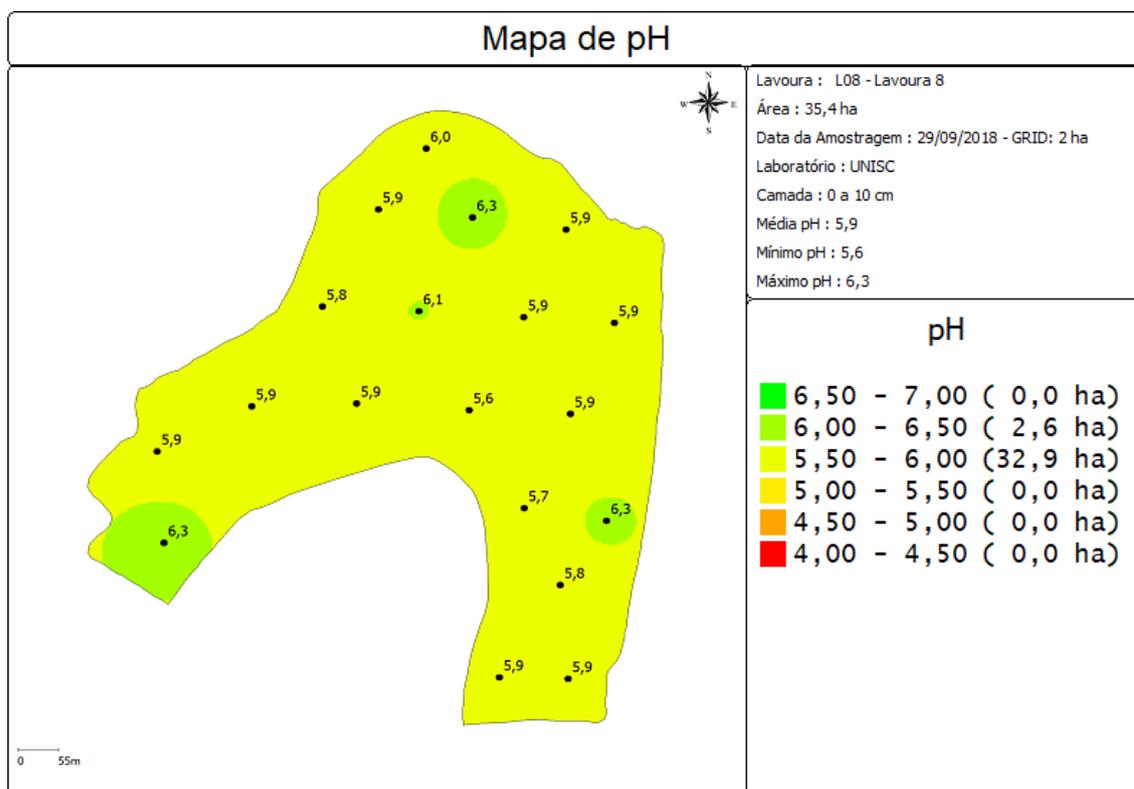
população (39 plantas.m⁻²) e 8 parcelas com a população média (36 plantas.m⁻²) e submetidas à análise de variância ($p < 0,05$) utilizando o programa computacional SISVAR (Versão 5.7) e quando da significância dos resultados pelo teste F, as médias foram comparadas entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com as análises dos atributos químicos do solo foi possível fazer a estatística descritiva dos pontos coletados após a colheita, bem como os dados de semente, planta e produtividade, mostrado na Tabela 2. A heterogeneidade ou variabilidade de um ou mais atributos pode ser classificada conforme a magnitude do seu coeficiente de variação – CV% (FREDDI et al., 2006), a qual é classificado em: a) baixa ($CV \leq 10\%$), b) média ($10\% < CV \leq 20\%$), c) alta ($20\% < CV \leq 30\%$) e d) muito alta ($CV > 30\%$) (GOMES & GARCIA, 2002). No trabalho nenhum dos atributos químicos foi superior a 30%, mostrando a regularidade ou homogeneidade das amostras na área.

De acordo com a CQFS RS/SC (2016), observando a camada de 0 a 10 cm não há necessidade de calagem, pois o pH (Figura 10) está acima de 5,5, Saturação de Bases (V%) (Figura 11) acima de 65% e saturação de alumínio abaixo de 10% (Tabela 3).

Figura 10 - Mapa dos níveis de pH na camada de 0 a 10 cm da Lavoura no ano de 2018



Fonte: Autor (2019)

Tabela 2 - Estatística descritiva dos atributos químicos do solo e de manejo

Atributos	Média	Mínimo	Máximo	Mediana	Variância	Assimetria	Curtose	Desvio padrão	CV (%)
Produtividade kg.ha ⁻¹	3795,51	2864,13	4239,44	3877,13	59118,47	-1,26	1,66	243,14	6,40
Plantas.m ⁻²	35,38	31,56	40,44	35,41	3,07	0,18	-0,08	1,75	4,95
Sementes.m ⁻²	41,02	40,44	42,67	40,86	0,37	0,55	-0,55	0,61	1,49
Dif. Sem.m ⁻² - Plantas.m ⁻²	-5,64	-0,89	-10,00	-5,78	3,18	0,34	0,17	1,78	31,57
Argila	45,05	38,46	49,73	46,11	10,06	-0,69	-0,88	3,17	7,04
Matéria Orgânica (%)	3,65	2,99	4,36	3,64	0,07	0,20	0,63	0,26	7,14
CTC efetiva	11,69	10,19	13,47	11,62	0,53	0,16	-0,80	0,73	6,24
Sat. Bases (%)	77,65	68,38	84,61	77,61	10,33	-0,19	0,02	3,21	4,14
pH (H ₂ O)	5,94	5,63	6,28	5,91	0,02	0,39	0,33	0,13	2,23
Cálcio (cmolc.dm ⁻³)	5,67	4,71	7,08	5,65	0,23	0,25	-0,63	0,48	8,55
Magnésio (cmolc.dm ⁻³)	2,97	2,37	3,68	2,94	0,07	0,66	0,25	0,26	8,92
Fósforo (mg.dm ⁻³)	14,53	9,19	19,71	14,43	5,39	0,09	-0,60	2,32	15,97
Potássio (mg.dm ⁻³)	179,42	116,96	320,84	171,42	1840,83	1,12	1,32	42,90	23,91
Sat. de Potássio (%)	3,88	2,64	6,36	3,82	0,56	0,97	1,26	0,75	19,27
Enxofre (mg.dm ⁻³)	14,31	9,67	23,79	13,60	7,32	1,07	1,13	2,71	18,91
Zinco (mg.dm ⁻³)	1,04	0,54	1,73	1,04	0,06	0,11	-0,42	0,25	24,15
Cobre (mg.dm ⁻³)	4,85	2,88	8,21	4,57	2,10	0,59	-0,72	1,45	29,91
Boro (mg.dm ⁻³)	0,25	0,20	0,30	0,25	0,00	0,06	-1,54	0,04	14,81
Manganês (mg.dm ⁻³)	35,87	17,64	56,63	35,37	55,12	0,43	0,20	7,42	20,70
Altitude (m)	417,13	404,64	426,48	418,11	33,43	-0,40	-0,74	5,78	1,39

Legenda: CV: Coeficiente de Variação; Dif. Sem.m⁻² - Plantas.m⁻²: Diferença entre Sementes aplicadas.m⁻² x Plantas finais.m⁻²

Fonte: Autor (2019)

Após varias intervenções de aplicação de fertilizante e corretivos em taxa variável a área apresentou um bom equilíbrio de nutrientes, porém algumas pequenas manchas necessitam ainda de correção. Segundo Resende et al. (2010), mesmo em solos de alta fertilidade, existem diferenças entre regiões do talhão, evidenciando que a utilização uniforme do corretivo ou fertilizante em área total em taxa fixa ocasionaria desperdício por parte do produtor, podendo resultar em degradação do meio ambiente e redução dos lucros.

Tabela 3 - Características químicas do solo na profundidade de 0 a 10 cm depois da colheita da área no ano de 2018.

Argila	MO	pH	SMP	CTC	CTC pH7	Al	Ca	Mg	H+Al
%		cmolc.dm ⁻³							
45	3,6	5,9	6,5	9,1	11,7	0	5,7	2,9	2,5
Saturação (%)			P	K	S	Zn	Cu	B	Mn
Bases	Al	Potássio	mg.dm ⁻³						
77,8	0	4	14,6	186	14,6	1	4,8	0,2	36

Fonte: Autor (2019)

Passando para o segundo critério de intervenção, na camada de 10 a 20 cm (Tabela 4) tem 15,3% de Saturação de Alumínio, mas abaixo do nível crítico de intervenção que é superior a 30%, não necessitando a correção de calcário em profundidade. No sistema plantio direto, as culturas de grãos apresentam seu desenvolvimento máximo quando o pH do solo está próximo de 6,0, nessa condição, a solubilidade do Al e do Mn é baixa e estes não causam fito toxidez.

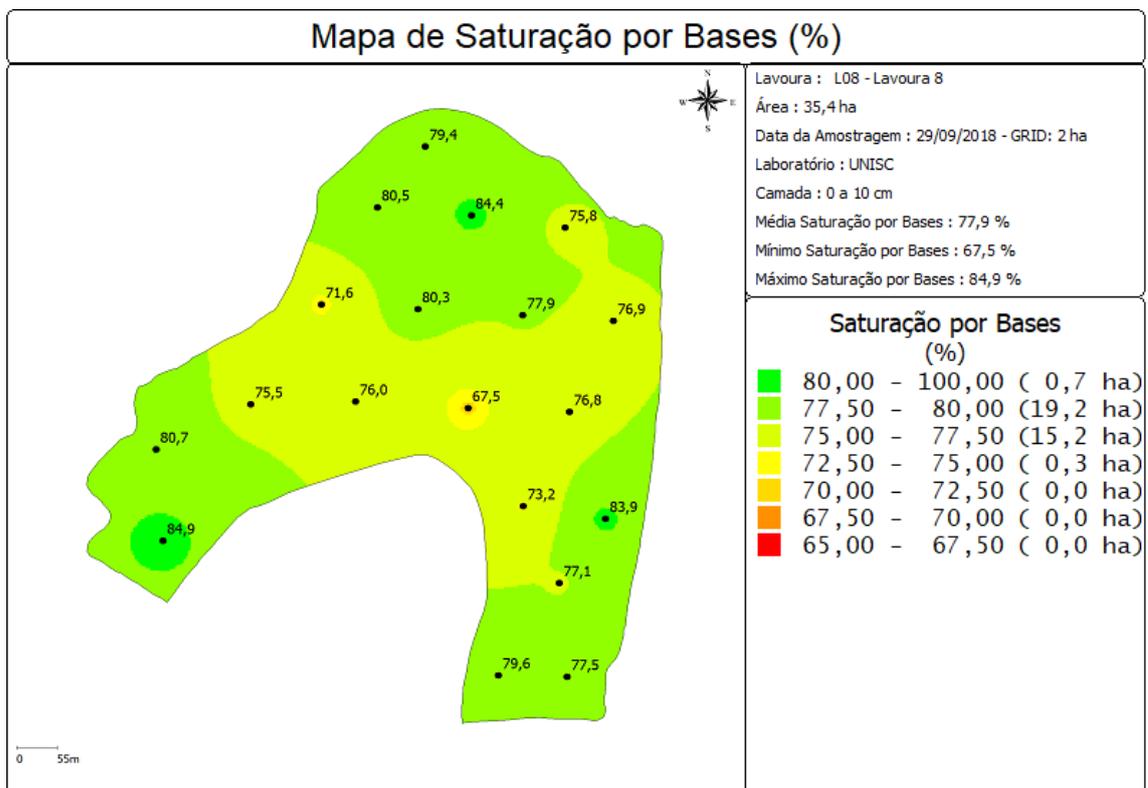
Tabela 4 - Características químicas do solo na profundidade de 10 a 20 cm depois da colheita da área no ano de 2018.

Argila	MO	pH	SMP	CTC	CTC pH7	Al	Ca	Mg	H+Al
%		cmolc.dm ⁻³							
55	2	4,8	6	5,2	8,8	0,8	2,9	1,4	4,4
Saturação (%)			P	K	S	Zn	Cu	B	Mn
Bases	Al	Potássio	mg.dm ⁻³						
50,1	15,3	1,6	5,9	56	26,3	0,7	7,3	0,2	51

Fonte: Autor (2019)

O pH é a medida da concentração (atividade) de íons de hidrogênio na solução do solo e determina, juntamente com outros fatores, a disponibilidade de nutrientes (EMBRAPA, 2004). Em solos com pH excessivamente baixo ocorre a diminuição na disponibilidade de nutrientes como fósforo, cálcio, magnésio, potássio e molibdênio, e aumento da solubilização de íons como zinco, cobre, ferro, manganês e alumínio que, dependendo do manejo do solo e da adubação utilizados, podem atingir níveis tóxicos às plantas (BRASIL, 1998).

Figura 11 - Mapa dos níveis de Saturação de Bases (V%) na camada de 0 a 10 cm no ano de 2018



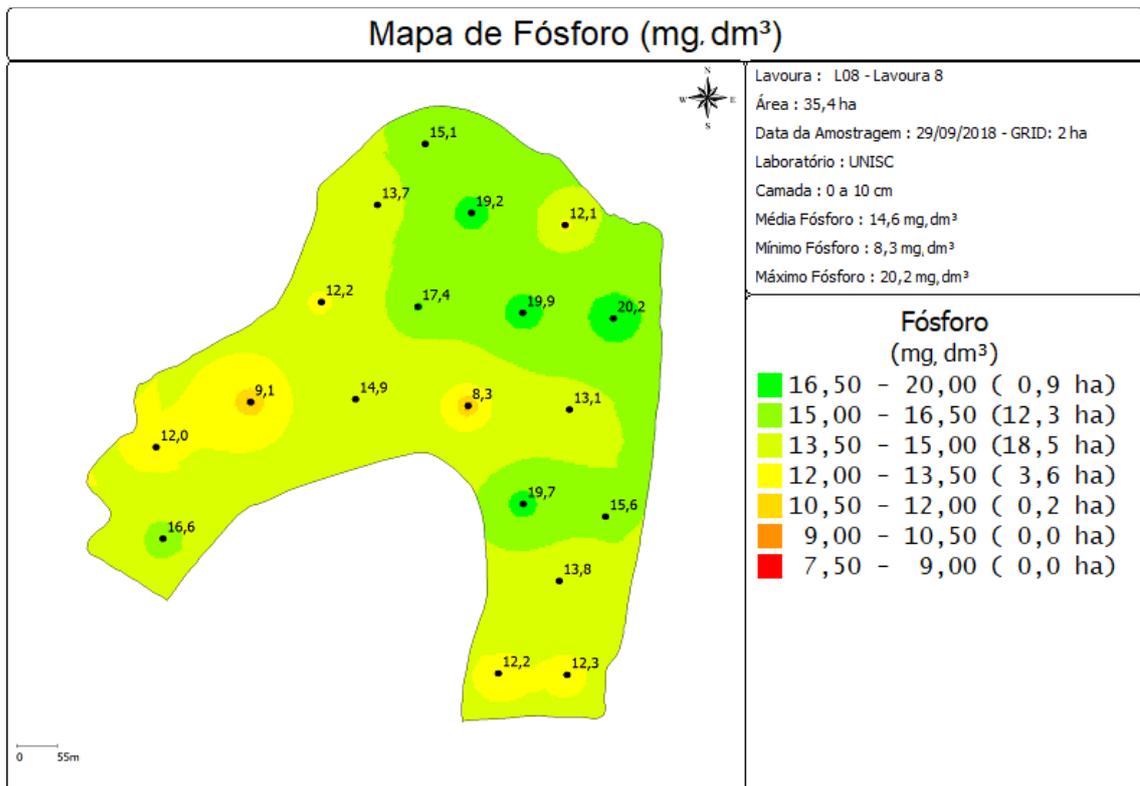
Fonte: Autor (2019)

Costuma-se dizer que o solo que apresentar a saturação por bases (V%) maior que 50% é considerado um solo eutrófico e menor que 50% distrófico ou pouco fértil. Os solos distrófico podem apresentar pobreza de bases trocáveis (Ca) e um alto teor de Al^{+3} trocável ou uma percentagem de saturação por Al^{+3} maior que 50%, o que os caracterizariam como solos "álidos", ou seja, Al^{+3} trocável igual ou maior que $0,3 \text{ cmolc.dm}^{-3}$ (LOPES, 2004). Um V% baixo significa que as cargas negativas dos colóides do solo estão adsorvendo mais H^+ e Al^{+3} e pequena quantidade de cátions trocáveis (K^+ , Ca^{+2} e Mg^{+2}). Nestas condições, o solo será ácido e poderá conter Al^{+3} em nível de toxidez para a planta (BRAGA, 2004).

A lavoura apresentou um teor de fósforo de $14,6 \text{ mg.dm}^{-3}$ (Figura 12), que para a classe 2 de argila (média de 44%) é considerado alto. Para a camada de 10 a 20 cm (Tabela 4) como é utilizada a adubação a lanço e o fósforo apresenta baixa mobilidade, a média está em $5,9 \text{ mg.dm}^{-3}$, teor considerado Baixo. Este gradiente de fertilidade também foi encontrado por Corassa (2015), que no caso do P, também é condicionado pela sua baixa mobilidade e concentração natural nos Latossolos (AMADO et al., 2010).

O Fósforo tem funções importantes na planta, como constituinte de compostos de alta energia, como ATP, derivados do inositol (fitinas), fosfolipídios e outros ésteres. A absorção deste elemento por parte da planta é mais ou menos constante e a taxa de acumulação média geralmente não ultrapassa $0,4 \text{ kg.ha}^{-1}/\text{dia}$ (MOOY et al., 1973), o que determina que a sua disponibilidade na solução do solo seja fundamental para alcançar altas taxas de absorção e, dessa maneira, suprir as necessidades das plantas para obtenção de altos rendimentos.

Figura 12 - Mapa dos níveis de Fósforo (mg.dm^{-3}) na camada de 0 a 10cm no ano de 2018

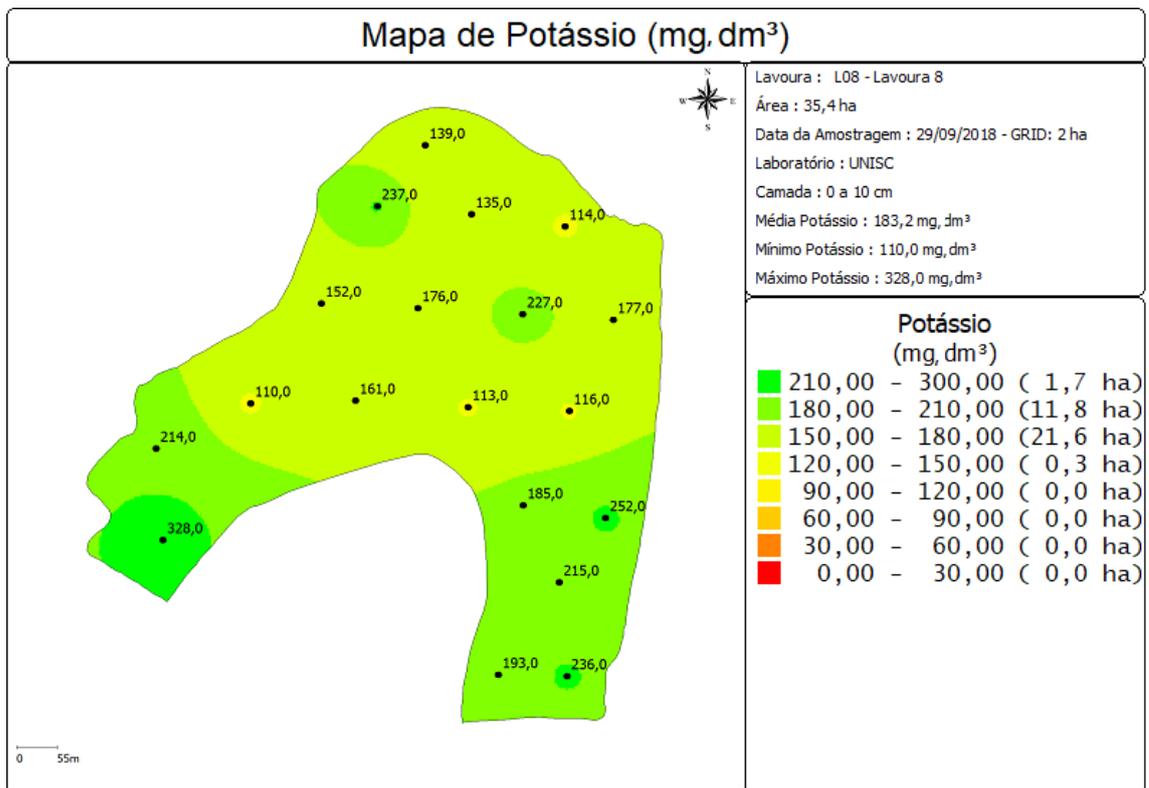


Fonte: Autor (2019)

A média de potássio após a colheita na camada de 0 a 10 cm foi de $183,1 \text{ mg.dm}^{-3}$ (Figura 13), pela média de CTC ($11,7 \text{ cmolc.dm}^{-3}$) o teor crítico seria de 90 mg.dm^{-3} , ou seja, a área não apresenta nenhum ponto de deficiência deste nutriente. Já na camada de 10 a 20 cm

(Tabela 4) esse teor caiu bastante, apresentando uma média de 56 mg.dm^{-3} , considerado teor baixo. Depois do N, o K é o elemento absorvido em maiores quantidades pela planta de soja, sendo que a cada 1.000 kg de grãos produzidos, são extraídos 20 kg de K. Sob condições de baixo teor de K no solo, pode haver deficiência desse elemento nas folhas, sendo constatados sintomas como haste verde, retenção folhar e formação de frutos partenocárpicos na soja. O K é também um elemento importante no processo de formação de nódulos fixadores de N, assim como no controle das seguintes doenças fúngicas: seca da vagem e da haste (*Phomopsis*), crestamento foliar e mancha púrpura das sementes (*Cercospora kikuchii*) e cancro da haste (*Diaporthe phaseolorum*) (TANAKA et al., 2004).

Figura 13 - Mapa dos níveis de Potássio (mg.dm^{-3}) na camada 0 a 10 cm no ano de 2018

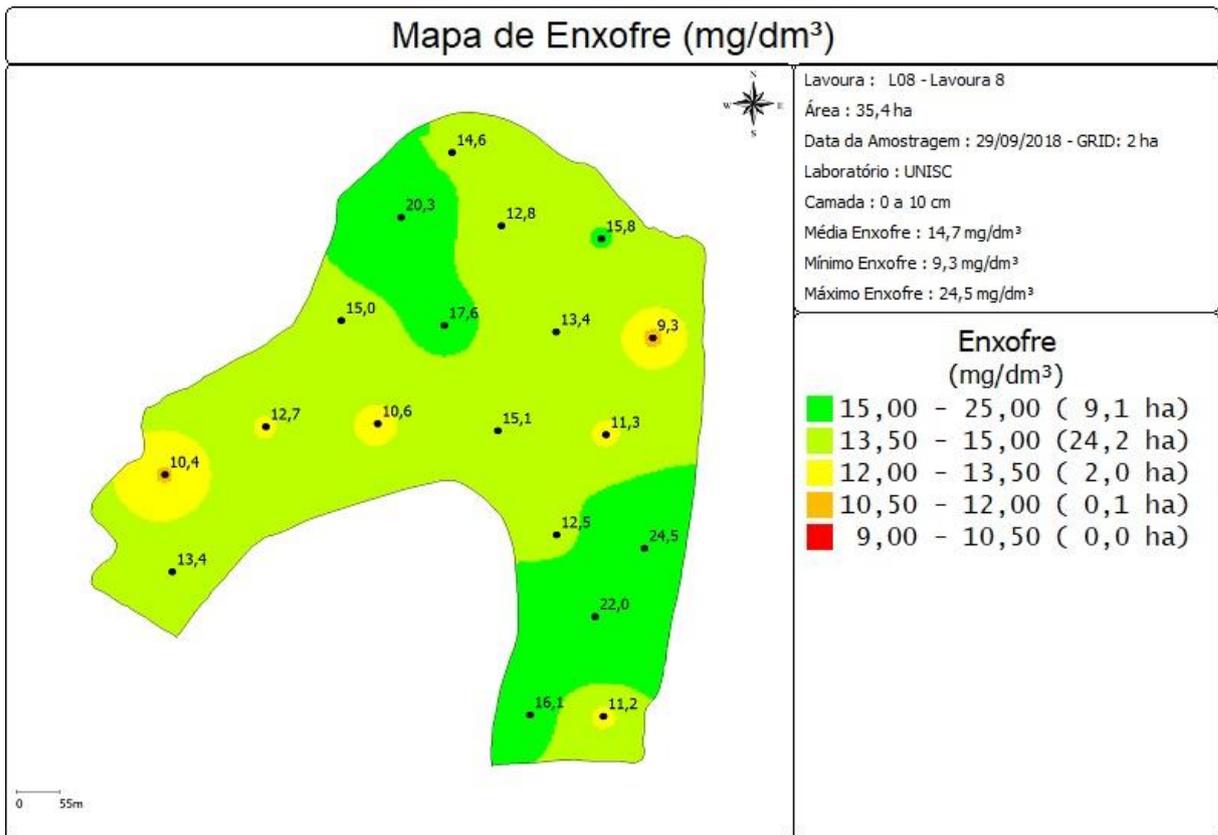


Fonte: Autor (2019)

O teor de enxofre na camada de 0 a 10 cm apresentou uma média $14,6 \text{ mg.dm}^{-3}$ (Figura 14), para a cultura da soja é considerado o teor alto. Na camada de 10 a 20 cm o teor foi de $26,3 \text{ mg.dm}^{-3}$, teor considerado muito alto, mostrando a mobilidade que este elemento tem no perfil. Esses bons teores no solo retratam o manejo que o produtor fez ao longo do tempo utilizando enxofre elementar em taxa variável, geralmente intervindo a cada 3 anos. Dos macronutrientes essenciais para as plantas, o S é um dos elementos menos estudado. É

absorvido na forma de sulfato e, além de ser um componente essencial das proteínas, ele ajuda a manter a cor verde das folhas, promove a nodulação, estimula a formação das sementes e estimula o crescimento das plantas. Os sintomas de deficiência de S na planta são de fácil percepção, observados nas folhas novas com cor amarelada e nervuras ainda mais claras, colmos e caules mais escuros e amarelados, com diminuição do crescimento das plantas. A falta de S que ocorre em lavoura geralmente está atribuída ao uso de adubos concentrados que não tem S, os quais podem ser substituídos por fontes tradicionais, como superfosfato simples e o sulfato de amônio. O S no solo encontra-se na sua maioria na forma orgânica, por via microbiana, sendo convertido em produtos disponíveis às plantas. O S pode ser comparado com o P em exigências das culturas, que necessitam dos dois elementos mais ou menos nas mesmas quantidades (MALAVOLTA, 1980).

Figura 14 - Mapa dos níveis de Enxofre ($\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$) na camada 0 a 10 cm no ano de 2018



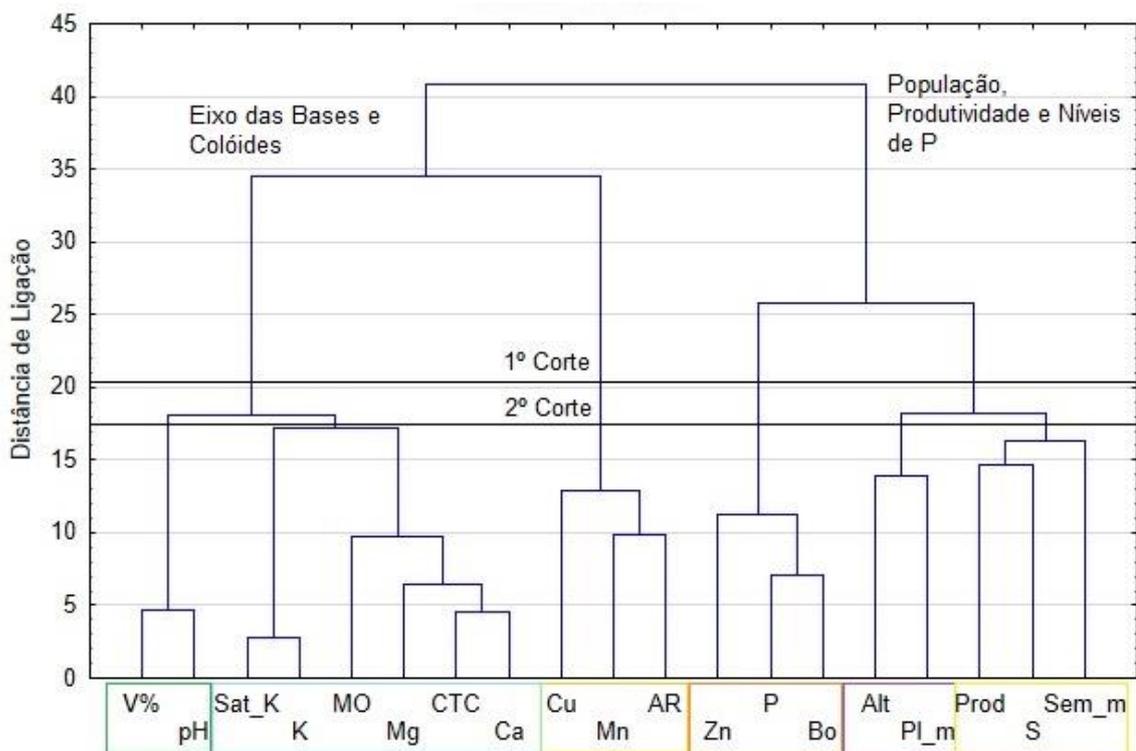
Fonte: Autor (2019)

Na análise dos micronutrientes na camada de 0 a 10 cm, o Cobre ($4,8 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$), Manganês ($36 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$) Zinco ($1 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$) apresentam uma classificação de alto, já Boro ($0,2 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$) está médio. De acordo com a CQFS RS/SC (2016) na maioria dos solos

apresenta disponibilidade adequada de micronutrientes (Zn, Cu, B, Mn), não tendo havido incremento no rendimento com a sua aplicação, apesar de, às vezes, as plantas indicarem aspecto visual de algum efeito, que, no entanto, não se traduz em aumento de rendimento das culturas. Em adição, deve ser considerado que a maioria dos fertilizantes fosfatados e o calcário apresentam alguns desses nutrientes em sua composição.

A Figura 15 mostra o dendograma considerando o método do vizinho mais próximo, como o algoritmo de agrupamento dos dados, e será considerada a distância euclidiana como medida de dissimilaridade. O dendograma, a seguir, é formado com base nos pares de atributos mais similares, ou seja, com a menor distância entre eles. Estes atributos formados em grupos vão reunir-se em razão de similaridade decrescente.

Figura 15 - Dendograma da matriz de distâncias, pelo método de agrupamento por ligação simples



Fonte: Autor (2019)

No dendograma a escala vertical indica o nível de similaridade, e no eixo horizontal são marcados os atributos, na ordem em que são agrupados. As linhas verticais partem dos indivíduos, e têm altura correspondente ao nível em que os indivíduos são considerados semelhantes. No primeiro corte no gráfico, separam-se quatro grupos homogêneos distintos. O primeiro grupo é formado pelas variáveis das bases e colóides: saturação de bases, pH,

Potássio, Saturação de Potássio, Cálcio, Magnésio, Matéria Orgânica e CTC. Estes resultados corroboram com os encontrados por VALADÃO (2010), mostrando uma forte relação da Matéria Orgânica com a CTC, ocorrendo essa maior ligação do que com o teor de argila, assim pode-se inferir que a MO contribui de forma efetiva para a manutenção da fertilidade desses solos e sua conservação deve ser priorizada nas práticas agrícolas.

O aumento da CTC em função da MO ocorre devido a geração de cargas negativas pela quebra nas cadeias de C que formam os radicais R-COH (carboxila) e R-OH (hidroxila), bem como, pela elevada superfície específica da MO. Com o aumento na capacidade do solo em reter cátions ocorre simultaneamente aumento na SB e, no caso em estudo, isso se deve principalmente ao aumento de Ca no complexo sortivo, conforme evidenciado nas relações do primeiro componente principal (RAIJ, 1991).

No segundo grupo está a Argila, Manganês e Cobre, o terceiro grupo está representado o Fósforo, Boro e Zinco e no quarto grupo os fatores de manejo, sendo a Produtividade, plantas.m², sementes.m², altitude e Enxofre.

Na Tabela 5 apresenta-se o resultado dos autovalores, bem como a porcentagem de variância explicada por cada componente, e também a variância acumulada pelas mesmas. Numa análise fatorial, considerando-se 18 variáveis, poderia ter 18 fatores que corresponderiam às variáveis originais. A escolha do número de fatores pode levar em conta diferentes critérios. Um deles está em incluir, na análise, aquelas componentes que conseguem sintetizar uma variância acumulada em torno de 70% ou o critério foi sugerido por KAISER (1960) apud MARDIA (1979), incluindo-se somente aquelas componentes cujos valores próprios são superiores a 1. Portanto, os dados serão resumidos pelas cinco primeiras componentes principais. Pode-se observar que os cinco primeiros fatores possuem autovalores, que correspondem a 34,17%, 24,88%, 13,28%, 6,81% e 5,66% da variância total, explicada pelos autovalores do modelo, ou seja, explicam juntos 84,8% das variações das medidas originais. Estes dados diferem dos obtidos por Santi et al. (2012) e Corassa (2015), que estudando a relação de atributos químicos com a produtividade das culturas através da ACP, conseguiram explicar 53,83% e 43,69% respectivamente no primeiro componente. A menor variância explicada pelo primeiro componente está relacionada ao número de variáveis utilizadas, que para o presente estudo foi de 18, enquanto Corassa (2015) trabalhou com 80 variáveis e Santi et al. (2012) com 32 variáveis. A menor variância para o primeiro componente, também remete a existência de um elevado autovalor para um segundo componente.

Tabela 5 - Autovalores e percentual da variância explicada de cada componente.

Número de componentes	Autovalores			
	Extração dos componentes principais			
	Autovalores	% da variância explicada	Autovalores acumulados	% da variância acumulada
1	6,15	34,17	6,15	34,17
2	4,48	24,88	10,63	59,05
3	2,39	13,28	13,02	72,33
4	1,23	6,81	14,25	79,14
5	1,02	5,66	15,26	84,80
6	0,86	4,76	16,12	89,56
7	0,75	4,19	16,88	93,75
8	0,38	2,10	17,25	95,85
9	0,37	2,05	17,62	97,90
10	0,17	0,93	17,79	98,83
11	0,09	0,48	17,88	99,31
12	0,05	0,30	17,93	99,61
13	0,03	0,18	17,96	99,79
14	0,02	0,11	17,98	99,90
15	0,01	0,07	18,00	99,97
16	0,00	0,02	18,00	100,00
17	0,00	0,00	18,00	100,00
18	0,00	0,00	18,00	100,00

Fonte: Autor (2019)

No ANEXO A mostra a matriz de correlação entre as variáveis originais e as componentes principais e a contribuição de cada variável em relação a cada fator. Os valores que estão em destaque representam a contribuição de cada variável em cada fator, ou seja, correlações significativas estão em vermelho e ocorrem quando $p < 0,500$, ou ainda, são as que melhor o explicam este fator. Neste caso, no primeiro componente se destaca o Magnésio (-0,94), Cálcio (-0,88), Potássio (-0,87), Saturação de Bases (-0,87), Matéria Orgânica (-0,81), Saturação de potássio (-0,79), CTC (-0,77), pH (-0,75), Boro (-0,33), Zinco (-0,35) e Produtividade (0,22).

Observamos que o volume de fatores continua alto, então é processada novamente essa matriz utilizando uma técnica chamada *Factor loadings*. Na Tabela 6, podem-se visualizar as ponderações de cada variável que irão compor a combinação linear. Os valores em destaque são os que possuem uma significância maior que 0,7. O resultado mostra no fator

1 um grupo bem claro de variáveis, que são as bases do solo (Cálcio, Magnésio, Potássio e pH), bem como fatores determinantes nas ligações do solo (CTC e Matéria Orgânica).

Tabela 6 - Contribuição das variáveis na formação dos componentes a partir do “Factor loadings” antes da rotação nos eixos

Variável	Fator (1)	Fator (2)	Fator (3)	Fator (4)	Fator (5)
Semente.m ⁻²	0,14	-0,33	0,05	0,44	-0,51
Plantas.m ⁻²	0,06	0,13	0,45	0,13	-0,51
Argila	-0,09	0,91	0,32	0,01	0,06
Boro	-0,32	0,91	0,25	-0,16	-0,04
Cálcio	-0,89	0,17	0,13	0,24	0,03
Cobre	-0,02	0,61	-0,69	0,08	-0,07
CTC	-0,79	0,43	0,29	0,05	0,08
Enxofre	-0,32	-0,09	0,18	0,47	0,62
Fósforo	-0,28	-0,86	0,13	-0,26	-0,04
Potássio	-0,88	0,16	0,09	-0,28	0,01
Magnésio	-0,95	0,18	-0,03	0,10	-0,05
Matéria Orgânica	-0,82	0,13	0,21	0,03	-0,14
pH	-0,74	-0,36	-0,25	0,27	-0,08
Altitude	0,05	0,33	0,85	-0,25	-0,11
Zinco	-0,35	-0,61	-0,39	-0,43	0,05
Manganês	-0,05	0,81	-0,18	-0,29	0,03
Saturação de Potássio	-0,79	0,04	0,02	-0,37	-0,02
Saturação de Bases	-0,86	-0,26	-0,27	0,21	-0,13
Produtividade	0,23	-0,55	0,55	0,11	0,27

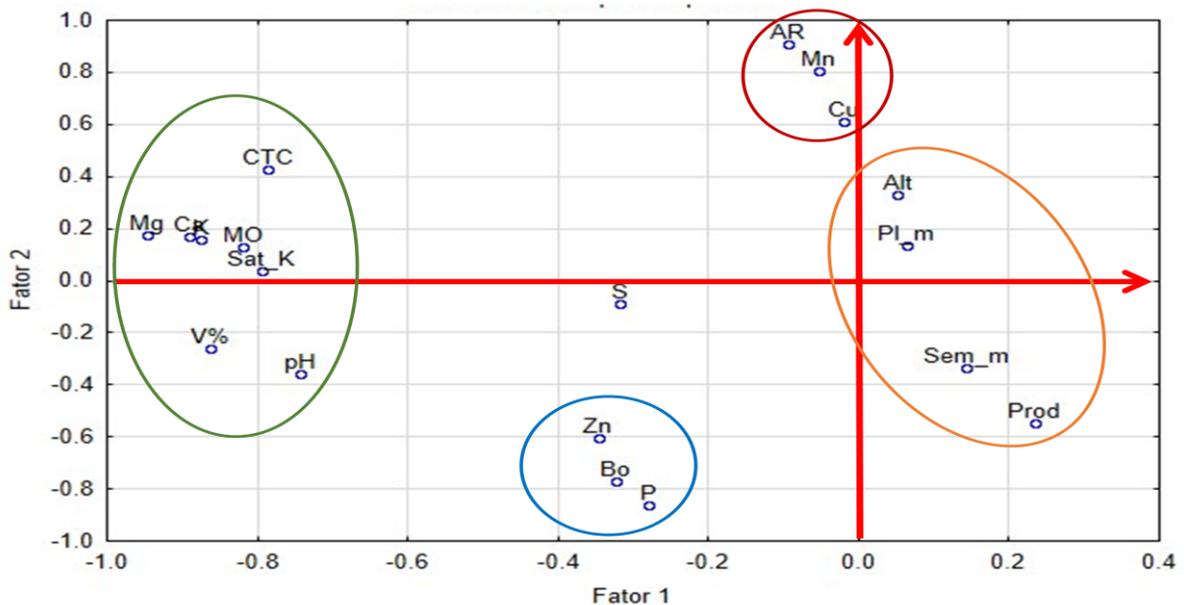
Fonte: Autor (2019)

Para que haja uma melhor visualização desses fatores, optou-se em utilizar os gráficos de dispersão, ou os planos fatoriais, que examinam a localização das variáveis num sistema de coordenadas criado pelos fatores. Deve-se levar em consideração que, se a variância for nula, ou próxima de zero, significa todos os indivíduos estão próximos, ou em cima, da origem do plano principal da nuvem de pontos e possuem baixa representatividade. Pode-se, então, interpretar o plano principal da nuvem de pontos como sendo o plano que torna máxima a variância do conjunto dos n pontos projetados sobre ele.

A Figura 16 corresponde à relação entre as variáveis das Bases do solo e das Ligações, da Análise Fatorial não rotacionada. Observa-se que as variáveis formam grupos por similaridades de explicação, ou seja, estão agrupadas por fatores. As variáveis que melhor representam as bases formam um grupo distinto dos demais, e são representadas pelos

elementos: Cálcio, Magnésio, Potássio, Saturação de Potássio, Saturação de Bases, pH, CTC e Matéria Orgânica, estando localizadas distantes da origem, sendo estas que possuem uma maior representatividade em relação ao segundo grupo, pois se forem traçadas perpendiculares em relação a esse fator, pode-se verificar que essas variáveis são as que estão localizadas mais distante da origem. As variáveis que melhor representam o segundo grupo, e formam outro grupo distinto, são: Fósforo, Boro e Zinco. O restante das variáveis possui baixa representatividade, por estarem localizadas próximas à origem do plano fatorial.

Figura 16 - Representação da relação entre fatores (fator 1 e fator 2) e variáveis não rotacionadas.



Fonte: Autor (2019)

Por apresentar mais de um grupo de variáveis significativas no mesmo fator, ou em fatores diferentes, recorre-se à realização de rotações, pois, desta forma, mantêm-se a mesma inércia no conjunto analisado, mas os eixos são rotacionados, possibilitando uma melhor visualização da disposição dos pontos. A rotação mais utilizada é a *Varimax normalizada*, pois esta mantém os eixos perpendiculares entre si, ou seja, ortogonais. Observa-se, na Tabela 7, que a rotação *varimax normalizada* possibilitou uma melhor visualização dos fatores, nos quais a proporção de variação das variáveis está melhor representada. Observa-se que os valores que possuem uma significância igual, ou superior, a 0,7 estão em destaque em cada fator. Neste estudo foram utilizados todos os cinco fatores que possuem as variáveis explicativas, pois através do método gráfico sugerido por CATTEL (1966), esses fatores explicam a maior variância.

Tabela 7 - Contribuição das variáveis na formação dos componentes após a rotação

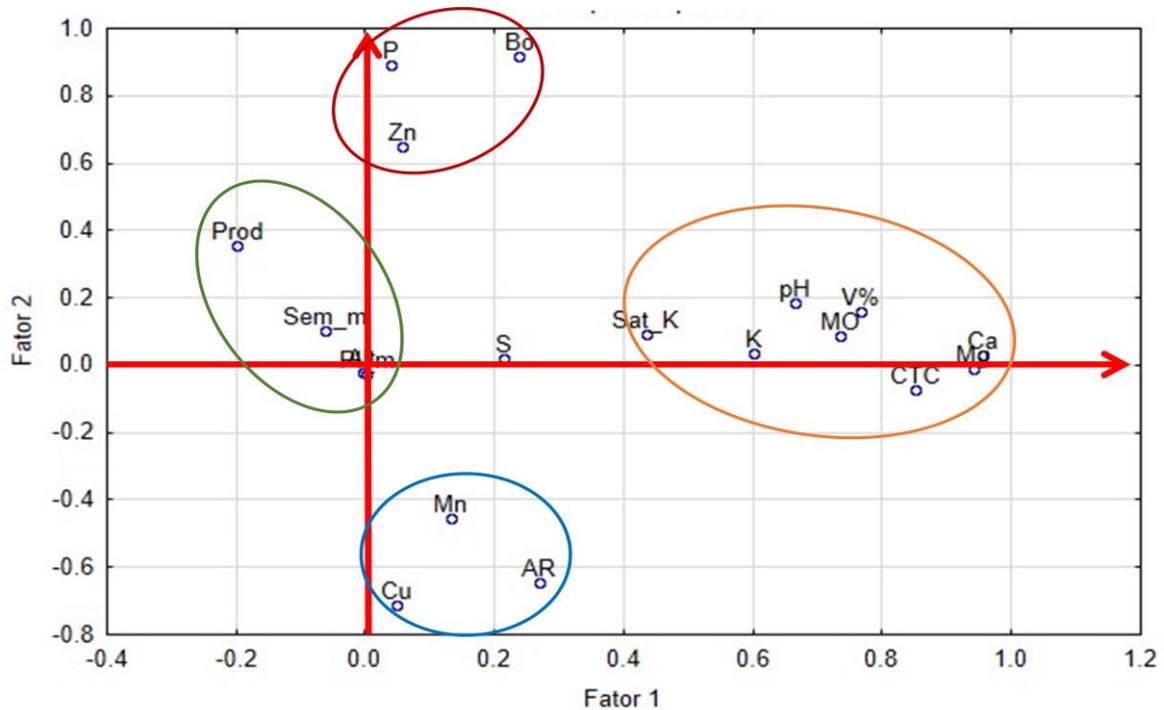
Variável	Fator (1)	Fator (2)	Fator (3)	Fator (4)	Fator (5)
Semente.m ²	-0,06	0,10	0,05	-0,98	-0,01
Plantas.m ²	0,00	-0,03	-0,16	-0,07	0,00
Argila	0,27	-0,64	-0,54	0,22	0,01
Boro	0,24	0,92	0,01	0,03	0,04
Cálcio	0,95	0,03	-0,02	-0,04	-0,20
Cobre	0,05	-0,71	0,44	0,11	0,19
CTC	0,85	-0,07	-0,25	0,09	-0,19
Enxofre	0,21	0,02	0,07	-0,01	-0,96
Fósforo	0,04	0,89	0,15	-0,10	0,00
Potássio	0,60	0,03	-0,09	0,10	-0,08
Magnésio	0,94	-0,01	0,05	0,12	0,01
Matéria Orgânica	0,74	0,09	-0,15	0,01	-0,04
pH	0,66	0,19	0,34	0,05	0,03
Altitude	-0,01	-0,02	-0,96	0,04	0,09
Zinco	0,06	0,65	0,59	0,00	0,04
Manganês	0,13	-0,45	-0,01	0,15	0,09
Saturação de Potássio	0,43	0,09	-0,03	0,07	-0,04
Saturação de Bases	0,77	0,16	0,37	-0,07	0,02
Produtividade	-0,20	0,36	-0,17	-0,04	-0,16

Fonte: Autor (2019)

Pode-se concluir, ainda, que o fator 1 é o mais importante para o estudo, pois é derivado do maior autovalor e possui uma explicação de 34,17%, sendo que as variáveis, que mais contribuem neste, são representadas pelas seguintes variáveis: Cálcio, Magnésio, CTC, Saturação de Bases e Matéria Orgânica. Corassa (2015) ao estudar zonas de manejo e suas interações químicas e físicas também encontrou no primeiro componente as variáveis das bases trocáveis Ca e Mg, as quais por estarem correlacionadas a saturação por bases tornaram-nas também variáveis explicativas. Estes resultados podem estar indicando que de alguma maneira esta interação destes elementos estão contribuindo para a diferenciação do resultado.

A Figura 17 corresponde à relação entre as variáveis das Bases do solo e das Ligações, da AF após a rotação. Observa-se que as variáveis formam grupos por similaridades de explicação, ou seja, estão agrupadas por fatores, porém sem muita mudança quando comparada as variáveis não rotacionadas. As variáveis que melhor representam as bases formam um grupo distinto dos demais, e continuam estando localizadas distantes da origem.

Figura 17 - Representação da relação entre fatores (fator 1 e fator 2) e variáveis rotacionadas.



Fonte: Autor (2019)

Para entender melhor essa relação entre a produtividade, sementes e plantas, foi realizada a correlação de Pearson com os atributos de solo. A produtividade apresentou uma interação pequena e negativa, com Cálcio (-0,21), Magnésio (-0,32), CTC (-0,24), conforme Tabela 8. Pontelli (2006) observou o decréscimo no rendimento de grãos em locais com elevado teor de Cálcio e Magnésio, e conseqüentemente do pH do solo, concluindo que valores muito acima dos preconizados pela CQFS-RS/SC (2016) podem penalizar o rendimento de grãos. Isso ocorreu devido à alta oferta de nutrientes com uma precipitação ótima, estimulando o crescimento vegetativo da planta, em conseqüência ocorreu o acamamento da cultura diminuindo a produtividade.

A Matéria Orgânica merece ser considerada de forma especial, uma vez que seus teores são difíceis de serem elevados nas áreas de produção em um curto espaço de tempo, muito diferente dos atributos de acidez e bases relacionadas, que podem ser facilmente manejados a partir da prática de fertilização. Ou seja, grande parte dos atributos evidenciados pelo primeiro componente e parte do segundo componente, são passíveis de serem corrigidos em curto prazo em condições de campo, o que não ocorre com a MO, a qual é favorecida pelo manejo adequado do solo e pelo depósito de material vegetal ao longo das safras.

Tabela 8– Correlação de Pearson entre os fatores de solo e manejo

Atributo	Produtividade (kg.ha ⁻¹)	Plantas.m ⁻²	Semente.m ⁻²
Plantas.m ⁻²	-0,08	-	
Sementes.m ⁻²	0,14	0,12	-
Argila (%)	-0,29	0,16	-0,35
Matéria Orgânica (%)	0,18	0,04	-0,08
CTC pH7	-0,24	0,10	-0,20
Saturação de Bases (%)	-0,19	-0,14	0,05
pH	-0,05	-0,16	-0,03
Saturação de Potássio (%)	-0,21	-0,04	-0,17
Cálcio (cmolc.dm ⁻³)	-0,21	0,03	-0,04
Magnésio (cmolc.dm ⁻³)	-0,32	-0,04	-0,20
Fósforo (mg.dm ⁻³)	0,42	-0,09	0,19
Potássio (mg.dm ⁻³)	-0,25	-0,01	-0,21
Enxofre (mg.dm ⁻³)	0,20	-0,02	0,01
Zinco (mg.dm ⁻³)	0,01	-0,23	0,04
Cobre (mg.dm ⁻³)	-0,61	-0,14	-0,20
Boro (mg.dm ⁻³)	0,41	-0,01	0,07
Manganês (mg.dm ⁻³)	-0,55	0,05	-0,29
Altitude	0,22	0,30	-0,09

Fonte: Autor (2019)

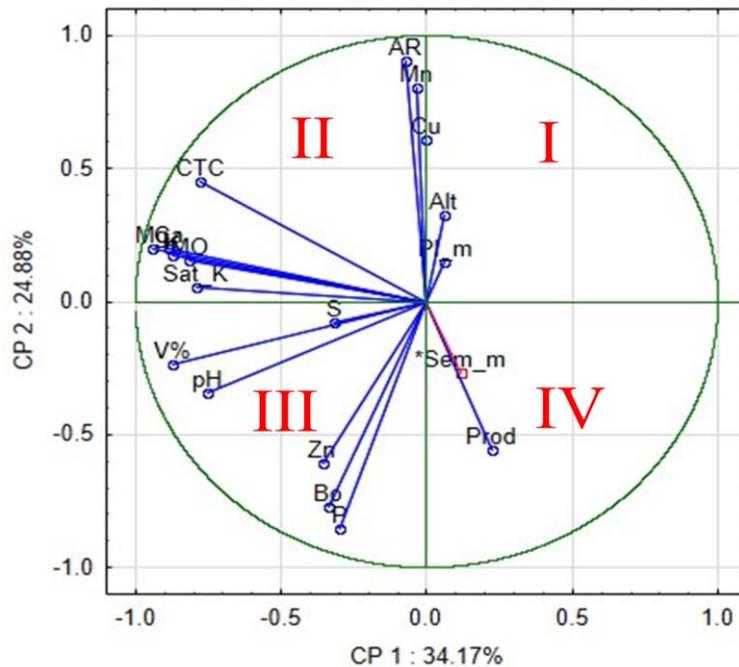
Desta forma o manejo procedido no passado pode estar impactando atualmente no rendimento de grãos. Resultados semelhantes foram reportados por Amado et al. (2004), onde os autores salientam que a MO é um indicador sensível da qualidade do solo e que reflete diretamente sobre o rendimento de grãos (PONTELLI, 2006). Segundo Amado et al. (2010) a MO é a principal responsável pela CTC de solos tropicais e subtropicais e atua como um reservatório de vários nutrientes essenciais as plantas, tendo a capacidade de supri-los de forma gradual e equilibrada. Desta forma, produtores que almejam altos rendimentos de grãos devem investir no aporte de MO nas áreas de cultivo. Esta premissa pode ser atendida por meio da adubação orgânica e de eficientes planos de rotação de culturas, utilizando plantas com sistema radicular profundo (AMADO et al., 2010; SANTI et al., 2014).

O fator 2 é representado pelo Boro, Fósforo, e Cobre, explicando 24,88% da variância. Comumente, aplicações de P tendem a aumentar a precipitação e/ou sorção de Zn e Cu, especialmente em solos ricos em óxidos de Fe e Al hidratados, porque aumentam as cargas negativas dos sistemas desses óxidos (ALLOWAY, 2008). Diversos trabalhos na literatura evidenciam a interação entre esses nutrientes reduzindo a absorção de Zn e Cu pelas culturas com a aplicação de P, havendo precipitações desses elementos no solo (GIANQUINTO et al.,

2000; ALLOWAY, 2008). O fator 3 é representado pela altitude, o fator 4 representado pela variável sementes.m² e o fator 5 representado pelo Enxofre.

A Figura 18 mostra o círculo de correlação unitário, com a nuvem de variáveis. Como pode-se observar, algumas variáveis estão sobrepostas umas às outras. Isso mostra que essas possuem a mesma representatividade no gráfico. Outro fato importante, é que algumas variáveis estão bem próximas ao círculo unitário. Isso mostra que estas possuem uma maior contribuição, em relação às variáveis que estão mais afastadas. Conclui-se, também, que a produtividade sofreu influência do fator sementes.m², pelo fato estar localizada no mesmo quadrante que estas variáveis.

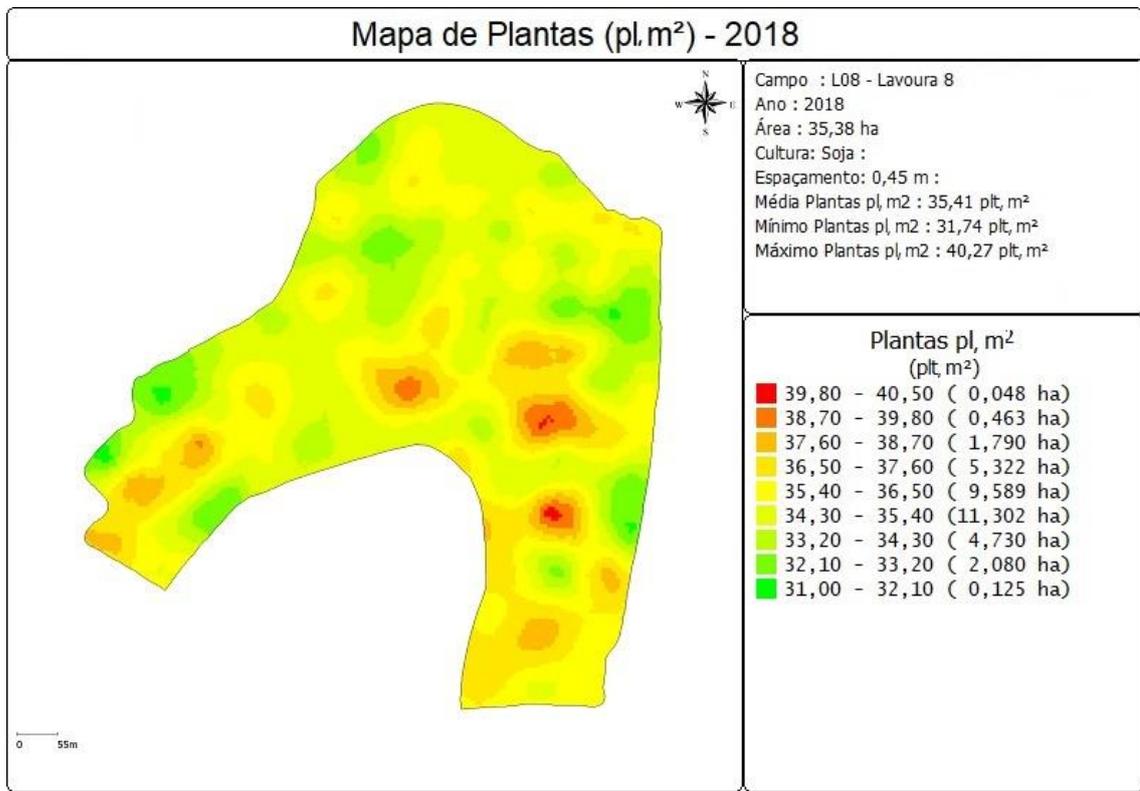
Figura 18 - Gráfico da distribuição da nuvem de variáveis, no círculo de correlações.



Fonte: Autor (2019)

Na análise de população de plantas, o mapa da variação de população de sementes entre a taxa máxima e a taxa mínima no momento da semeadura tinha uma amplitude de 5,5% e um CV de 1,49%. Quando foi avaliada a população final de plantas a amplitude foi de 26,16% e um CV de 4,95%, mostrando que o ambiente teve uma influência na perda de sementes viáveis no solo. Na Figura 19 mostra o mapa de variabilidade de população de plantas (m²), onde a média final foi de 35,41 plantas.m², com a mínima de 31,74 plantas.m² e a máxima 40,44 plantas.m².

Figura 19 - Mapa de variabilidade de população de plantas (Plantas.m²) de soja em no estádio R5 na safra 2017/2018.



Fonte: Autor (2019)

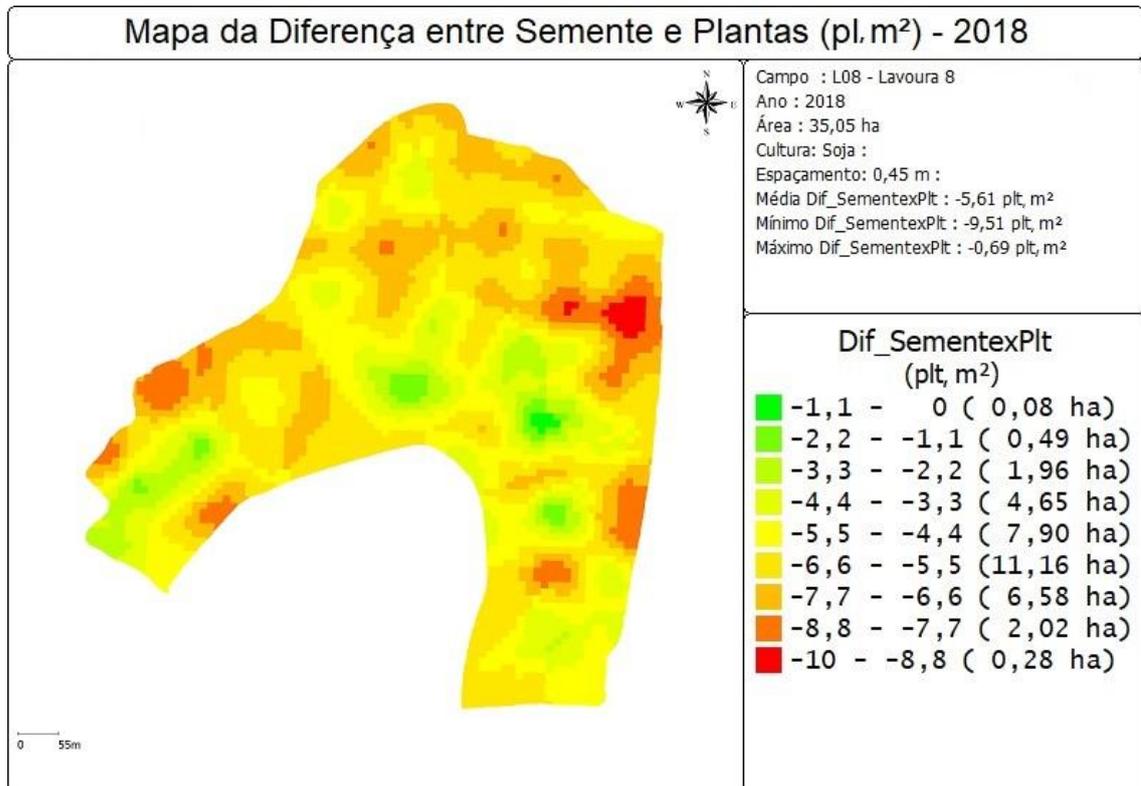
Este resultado também foi encontrado por Dalchiavon & Carvalho (2012) em uma gleba de 8,23 hectares com uma malha amostral bem mais densa, coletando pontos a cada 26 metros encontraram um CV de 17,6% na variabilidade de população de plantas e um CV de 21,8% na produtividade.

Na figura 20 observamos quantas plantas foram perdidas entre a taxa de aplicação planejada e a população final estabelecida. Na média geral do talhão perdemos 5,61 plantas.m², com regiões que perdemos somente 0,69 plantas.m² e regiões que perdemos até 9,51 plantas.m², isso representa um CV de 31,7%.

Em ensaio realizado por Hirakuri & Balbinot Junior (2015) verificaram que em densidades de semeadura de 30 e 40 plantas.m² houve maior mortalidade de plantas, comparativamente à densidade de 15 plantas.m², demonstrando que o incremento da competição intraespecífica acentua a mortalidade. Nesse caso, as causas da mortalidade não foram identificadas, mas relacionam com a restrição de recursos ou ação de doenças e pragas. Estes mesmos autores destacam a importância da semeadura realizada de forma apropriada, aumentando a uniformidade horizontal e vertical de deposição de sementes. Com isso, há

redução da quantidade de plantas que emergem atrasadas e que podem ficar suprimidas na comunidade de plantas.

Figura 20 - Mapa de perda de plantas entre Sementes.m² aplicadas X Plantas.m² estabelecidas na safra 2017/2018



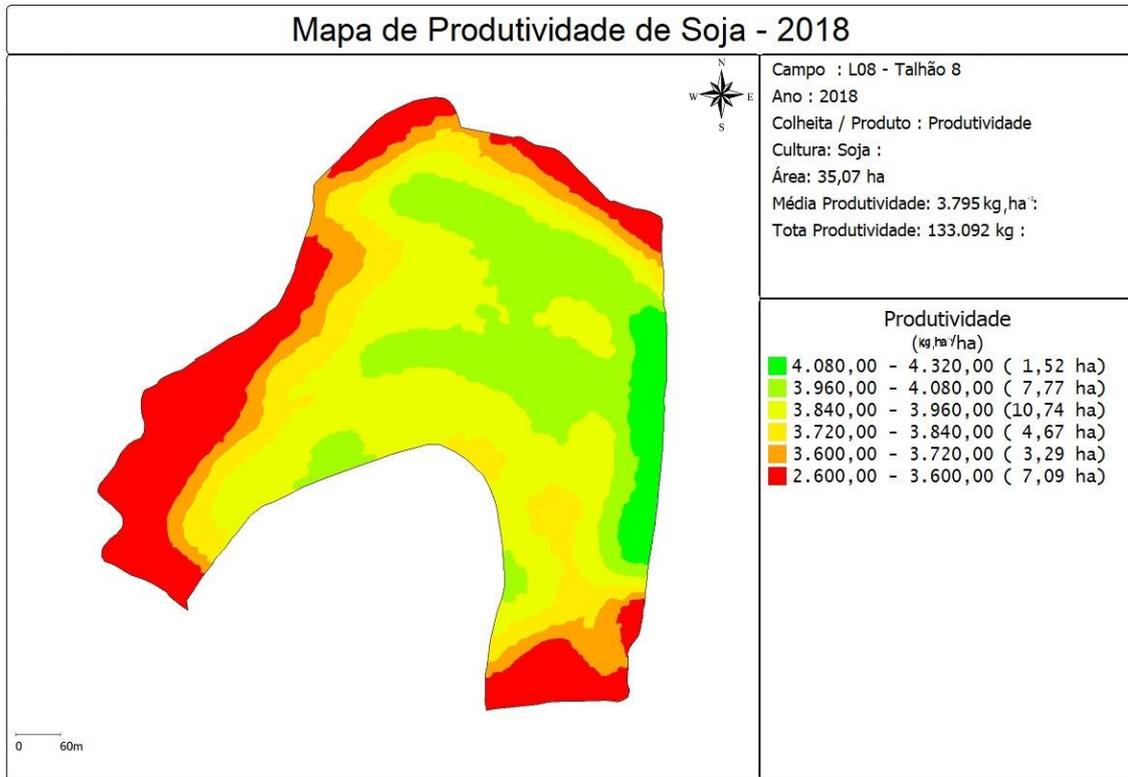
Fonte: Autor (2019)

A área apresentou uma produtividade média de 3795,51 kg.ha⁻¹, os valores variaram entre mínimos e máximos de 2864,13 a 4239,44 kg.ha⁻¹, uma amplitude de 1375,31 kg.ha⁻¹ e um CV de apenas 6,4%, sendo a distribuição espacial ilustrada na Figura 21. Mattioni et al. (2011) avaliando a produtividade de um campo de semente de soja encontrou um CV de 9,66%. Rosa Filho et al. (2009), estudaram a variabilidade da produtividade de grãos de soja em função de atributos do solo, diagnosticaram uma variabilidade média expressa por um CV de 14%.

Essa variabilidade de planta fez estudar qual seria a melhor densidade de planta que resultaria na melhor produtividade para esta cultivar, pois na lavoura foi observado bastante acamamento. Conforme a Tabela 9, em parcelas com alta população, média de 39 plantas.m² a produtividade foi estatisticamente menor do que a população de 31 plantas.m². Uma

diferença de 359,2 kg.ha⁻¹, na cotação média do ano no valor de R\$65,00 a saca é um valor de R\$389,13/ha de diferença.

Figura 21 - Mapa de produtividade (kg.ha⁻¹) da soja na safra 2017/2018



Fonte: Autor (2019)

Essa queda de produtividade em alta densidade também é relatada por Hirakuri & Balbinot Junior (2015), nesta situação há tendência de haver maior crescimento em altura e menor espessura do caule, tornando as plantas mais sensíveis ao acamamento. Aliado a isso, bons teores no solo e equilibrados, associado a altas doses de nutrientes, principalmente fósforo e potássio, podem determinar crescimento vegetativo demasiado, favorecendo ainda mais o acamamento.

Outro nutriente muito relacionado ao acamamento é o manganês, pois ele atua na síntese de lignina, que é um componente da parede celular importante para aumentar a resistência e evitar o arqueamento da haste das plantas (MANN et al., 2001). Em solos com pH em água superior a 6, é comum ocorrer baixa disponibilidade desse micronutriente em função da formação de óxidos. Isso tem estimulado a reflexão sobre a viabilidade da utilização de menores densidades de semeadura, aproveitando a plasticidade fenotípica da cultura, desde que as sementes tenham adequada qualidade, a semeadura seja realizada de

acordo com as indicações técnicas e o solo esteja com a fertilidade corrigida (FERREIRA et al., 2016).

Tabela 9 - Resposta da população de plantas da cultivar NS 5959 na produtividade da safra 2017/2018

Atributo analisado	Tratamento			CV (%)
	31 Plantas.m ²	36 Plantas.m ²	39 Plantas.m ²	
Argila (%)	44,4 a	45,2 a	47,4 a	8,27
Matéria Orgânica (%)	3,8 a	3,7 a	3,8 a	7,72
Saturação de Bases (%)	79,8 a	78,6 a	78,4 a	3,88
pH	6,0 a	5,9 a	5,9 a	2,27
CTC pH7	12,1 a	11,8 a	12,3 a	5,96
Cálcio (cmolc.dm ⁻³)	5,9 a	5,7 a	5,9 a	7,67
Magnésio (cmolc.dm ⁻³)	3,1 a	3,0 a	3,1 a	8,38
Fósforo (mg/dm ⁻³)	15,8 a	14,5 a	14,0 a	17,78
Potássio (mg/dm ⁻³)	220,9 a	181,7 a	210,8 a	20,31
Enxofre (mg/dm ⁻³)	15,9 a	13,4 a	13,6 a	26,09
Zinco (mg/dm ⁻³)	1,16 a	1,08 a	0,99 a	26,78
Cobre (mg/dm ⁻³)	4,05 a	5,23 a	4,79 a	27,55
Boro (mg/dm ⁻³)	0,27 a	0,24 a	0,25 a	14,31
Manganês (mg/dm ⁻³)	33,2 a	37,3 a	40,3 a	19,72
Altitude (m)	414 a	415 a	420 a	1,18
Produtividade (kg.ha ⁻¹)	3984,4 a	3785,7 ab	3635,2 b	5,32

* Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Fonte: Autor (2019)

Segundo Ferreira et al. (2016) as densidades que variam de 13,5 a 44 plantas.m⁻² tem pouco impacto na produtividade da soja, desde que não haja falhas de estande na lavoura. Isso ocorre em razão da alta plasticidade fenotípica da soja, especialmente de algumas cultivares. No entanto, a maioria das pesquisas realizadas no Brasil acerca da plasticidade fenotípica da soja utilizou cultivares com tipo de crescimento determinado, que, em geral, apresentam plantas com elevada ramificação e crescimento vegetativo vigoroso (RAMBO et al., 2004). Por outro lado, na última década, a maioria das cultivares de soja lançadas no mercado brasileiro apresenta tipo de crescimento indeterminado e com menor ramificação e crescimento vegetativo (WERNER et al., 2016).

O custo com sementes de soja tem aumentado nas últimas safras, principalmente devido ao uso de cultivares transgênicas, com inserção de características de interesse agrônomico. Salienta-se que, atualmente, as sementes se constituem no segundo item de

maior dispêndio de uma lavoura de soja. Frente ao aumento do custo com sementes, torna-se cada vez mais relevante o uso de sementes de boa qualidade, a realização da semeadura com adequada umidade do solo e a regulação correta das semeadoras, a fim de otimizar o uso desse insumo. É importante frisar também que o aumento na utilização de sementes promove incremento na utilização de outros insumos, como inoculantes, micronutrientes, principalmente Co e Mo, fungicidas e inseticidas utilizados no tratamento das sementes (HIRAKURI; BALBINOT JUNIOR, 2015).

O uso de populações muito acima da recomendada, além de acarretar aumento nos gastos com sementes, pode levar ao acamamento de plantas e não proporcionar acréscimo na produtividade (VASQUEZ et al., 2008). De acordo com Duncan (1986), existem três fases de resposta do rendimento de grãos de soja em função da densidade de plantas: fase I - a densidade de plantas é muito baixa (1 a 2 plantas.m²), não se verifica competição entre plantas e o rendimento de grãos por planta é máximo; fase II - a planta começa a competir pelos recursos ambientais com a outra (2 a 12 plantas.m²); e fase III - caracterizada pela relação positiva entre o aumento na densidade de plantas e o aumento do rendimento de grãos por área (maior que 12 plantas.m²), sendo o limite desta fase até interceptação da radiação fotossinteticamente ativa de 95% para se alcançar o máximo rendimento de grão por área.

Estudo feito por Corassa (2018) com um grande conjunto de dados experimentais (2.180 parcelas), que considerou ainda dados como data de semeadura, espaçamento entre linhas, grupos de maturação, ano agrícola e o local onde e suas respectivas regiões sojícolas revelou que em ambientes de alta produtividade (>5000 kg.ha⁻¹), o número de sementes.ha⁻¹ poderia ser reduzido em 18% em comparação a ambientes de baixa produtividade (<4000 kg.ha⁻¹), sem penalizar a produtividade. Este mesmo autor afirma que nas prescrições para taxa variada de sementes, as diretrizes obtidas para a cultura da soja são semelhantes as documentadas para a cultura da canola (ASSEFA et al., 2017); contudo, opostas as documentadas para a cultura do milho (HÖRBE et al., 2013; SCHWALBERT et al., 2018). Ainda, os seus modelos indicaram uma baixa probabilidade de aumento na produtividade quando as taxas de semeadura estiveram acima de 33 sementes.ha⁻¹.

Atualmente, a taxa variada de semente deve ser entendida como uma prática de manejo para propriedades rurais com sistemas de produção ajustados, que já tenham experiência em outros processos de agricultura de precisão (taxa variada de fertilizantes, geração de mapas de colheita) e onde, portanto, problemas básicos de manejo não estejam ocorrendo. Para a adoção da taxa variada de sementes, o conhecimento detalhado das áreas agrícolas é peça chave para o sucesso (CORASSA, 2018).

6 CONCLUSÕES

Em ambiente de fertilidade equilibrada com uma boa precipitação, a alta população de plantas diminuiu a produtividade de soja;

A análise de componentes principais reduziu as 18 variáveis originais para cinco componentes principais que representaram 84,8% da variação total dos dados. As variáveis que mais se destacaram foram Matéria Orgânica, Saturação de Bases, CTC Cálcio e Magnésio;

A Saturação de Bases, Cálcio, Magnésio, Potássio, Cobre e Manganês tiveram correlação negativa, enquanto o Fósforo, Boro e Enxofre tiveram correlação positiva com a produtividade da soja;

REFERÊNCIAS

- AGUDAMU, T. Y.; SHIRAIWB, T. Branch development responses to planting density and yieldstability in soybean cultivars. **Plant Production Science**, v. 19, n. 3, p. 331–339, 2016.
- ALLOWAY, B. J. **Zinc in soils and crop nutrition**. 2 ed. Brussels (Belgium) and Paris (France): International Zinc Association and International Fertilizer Industry Association. 2008. 139 p.
- AMADO, T. J. C.; SANTI, A. L. Agricultura de Precisão aplicada ao aprimoramento do manejo do solo. In: FIORIN, J. E. (Coord.) **Manejo e fertilidade do solo no sistema de plantio direto**. Cruz Alta: Fundacep, 2007
- AMADO, T. J. C. et al. Atributos químicos e físicos de Latossolos e sua relação com os rendimentos de milho e feijão irrigados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n. 4, p. 831-843, nov. 2009.
- AMADO, T. J. C.; SANTI, L. A.; VEZANI, F. Agricultura de precisão como ferramenta de aprimoramento do manejo do solo. **Revista Plantio Direto**. Aldeia Norte, Passo Fundo, RS. 2004.
- AMADO, T. J. C. et al. Viabilidade técnica e econômica da agricultura de precisão no sistema cooperativo do Rio Grande do Sul. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE ENSINO PESQUISA E EXTENSÃO, 16., 2011, Santa Cruz do Sul. **Anais...** Santa Cruz do Sul: UNICRUZ, 2011. Disponível: <<https://goo.gl/gnqir9>>. Acesso em: 20 mar. 2019.
- AMADO, T. J. C.; SCHLEINDWEIN, J. A; FIORIN, J. E. **Manejo do solo visando à obtenção de elevados rendimentos de soja sob sistema plantio direto**. In: THOMAS, A. L.; COSTA, J. A. (Ed.). Soja: manejo para alta produtividade de grãos. Porto Alegre: Evangraf, 2010. p.35-112.
- ANSELMINI, A. A. **Adoção da agricultura de precisão no Rio Grande do Sul**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012. Disponível em:<<https://bit.ly/2XM1NdP>>. Acesso em: 31 de jun. 2019.
- ARTUZO, F. D.; **Análise da eficiência técnica e econômica da agricultura de precisão a taxa variável de fertilizantes na cultura da soja no RS**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2015.
- ASSEFA, Y. et al. Major Management Factors Determining Spring and Winter Canola Yield in North America. **Crop Science**. 58: 1–16. 2017.
- BALASTREIRE, L. A. **Máquinas Agrícolas**. Piracicaba, 2000
- BALBINOT JUNIOR A. A. et al. **Densidade de plantas na cultura da soja**. Londrina: Embrapa. 38p. Documentos 364. 2015.

BELLALOU, N. et al. Effects of Row-Type, Row-Spacing, Seeding Rate, Soil-Type, and Cultivar Differences on Soybean Seed Nutrition under US Mississippi Delta Conditions. **Plos One**, v. 10, n. 6, p. 1-23, 2015.

BOUROCHE, J. M.; SAPORTA, G. **Análise de dados**. Rio de Janeiro: Zahar, 1982.

BRAGA, G. N. M. **Percentagem de Saturação por Bases (V%) na Análise do Solo**. Porto Alegre 2012. Disponível em <<https://bit.ly/2Ycf8MS>>. Acesso em 21 de jul. de 2019.

BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Portaria nº 852 - Art. 1º Criar a Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão – CBAP. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 21 set. 2012. Seção 1, n. 184. Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do42.htm> Acesso em: 28 de outubro de 2018.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Recomendações técnicas para a cultura da soja na região central do Brasil**. Londrina, 1998. 44p.

CATTEL, R. B. **The scree test for the number of factors**. In: Multivariate behavior research. v.1, p. 245-276, 1966.

CHERUBIN, M. R. et al. Caracterização e estratégias de manejo da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo utilizando a análise dos componentes principais. **Enciclopédia Biosfera**, v.7, p.196-210, 2011.

COELHO, A. M. Agricultura de Precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. In: Curi, R. F. et al. (Orgs.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa - MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v.3, p.259-290.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para o estado do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Porto Alegre: SBCS/Núcleo Regional Sul: UFRGS, 2016. 376p.

CONAB - **Companhia Nacional de Abastecimento**. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos – 2018/19**. Acompanhamento da safra brasileira de grãos, v.6, n.9, 2019.

COUTO, E. G.; KLAMT, E. Variabilidade espacial de micronutrientes em solo sob pivô central no sul do Estado de Mato Grosso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 34, n. 12, p. 2321-2329, dez. 1999.

CORASSA, G. M. **Manejo por ambiente: atributos de solo e desempenho de cultivares de soja**. 2015. 124 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Agricultura e Ambiente) – Universidade Federal de Santa Maria. FredericoWestphalen.

CORASSA, G. M. et al. Optimum soybean seeding rates by yield environment in Southern Brazil. **AGRONOMY JOURNAL**, v. 110, p. 2430-2438, 2018.

CHRISTENSEN, T. N. da S. **Soja 80 anos de produção 1924 – 2004**. Santa Rosa. Lugano Cultura e Marketing, 2004.

COX, W. J.; CHERNEY, J. H.; SHIELDS, E. Soybeans Compensate at Low Seeding Rates but not at High Thinning Rates. **Agronomy Journal**, v. 102, n. 4, p. 1238-1243, 2010.

COX, W. J.; CHERNEY, J. H. Growth and Yield Responses of Soybean to Row Spacing and Seeding Rate. **Agronomy Journal**, v. 103, n. 1, p. 123-128, 2011.

DALCHIAVON, F. C; CARVALHO, M. P. Correlação linear e espacial dos componentes de produção e produtividade da soja. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 2, p. 541-552, 2012.

DRAKKAR AGRICULTURA DE PRECISÃO. A saga da soja no Brasil. **In: Agricultura de Precisão em Foco**. Santa Maria-RS, ano 7, n. 11, 2019

DUARTE, J. B. **Sobre o emprego e a análise estatística do delineamento em blocos aumentados no melhoramento genético vegetal**. Piracicaba, 2000. 292 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2000.

DUNCAN, W. G. Planting patterns and soybean yields. **Crop Science**, v. 26, n. 1, p. 584-588, 1986.

EGLI, B. Plastochron and final node number of soybean cultivars as a function of sowing date. **Crop Science**, v. 53, p. 1668-1676, 2013.

EGLI, D. B. Mechanisms responsible for soybean yield response to equidistant planting patterns. **Agronomy Journal**, v. 86, n. 6, p. 1046-1049, 1994.

ELIAS, A. I. **Mapeamento da colheita mecanizada de grãos utilizando um sistema de posicionamento global**. 1998. 75 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Área de Concentração de Máquinas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 1998.

EMATER – ASCAR/ RS - Emater/RS-Ascar anuncia dados oficiais da colheita de soja no RS. **Notícias Agrícolas**. 2018. Disponível em: <<https://bit.ly/2yhaXEV>> Acesso em: 14 de agos. de 2018

EMBRAPA. **Tecnologias de Produção de Soja**. Paraná, 2004. Disponível em: <<https://bit.ly/2Hn6l7k>> . Acesso em 21 de jun. de 2019.

ENDRES, V.C. Espaçamento, densidade e época de semeadura. In: EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária do Oeste. **Soja: recomendações técnicas para Mato Grosso do Sul e Mato Grosso**. Dourados, 1996. p. 82-85. (Circular Técnica, 3)

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 11 p. (Special Report 80)

FERREIRA, A. S. et al. Plant density and mineral nitrogen fertilization influencing yield, yield components and concentration of oil and protein in soybean grains. **Bragantia**, v. 75, p. 362-370, 2016

- FRANKE, A. E. Necessidade de irrigação suplementar em soja nas condições edafoclimáticas do Planalto Médio e Missões, RS. **Pesq. Agropec. Bras.** v. 35 n. 8 Brasília, Agosto. 2000.
- FREDDI, O. S. et al. Variabilidade espacial da produtividade do feijão em um Latossolo Vermelho distroférico sob preparo convencional e plantio direto. **Acta Scientiarum Agronomy**, vol. 27, núm. 1, p. 61-67, 2005.
- FREITAS, R.E.; MENDONÇA, M.A.A. Expansão Agrícola no Brasil e a Participação da Soja: 20 anos. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v.54, n.03, p.497-516, 2016.
- GESCH, R.W.; ARCHER, D.W.; SPOKAS, K. Can using polymer-coated seed reduce the risk of poor soybean emergence in no-tillage soil? **Field Crops Research**, v. 125, p, 109-116, 2012.
- GIANQUINTO, G. et al. Interaction effects of phosphorus and zinc on photosynthesis, growth and yield of dwarf bean grown in two environments. **Plant and Soil, Dordrecht**, v. 220, n. 1-2, p. 219-228, 2000.
- GIOTTO, E.; SEBEM, E.; CARDOSO, C. D. **Agricultura de Precisão com o Sistema CR Campeiro**. 7 - Volume I. Santa Maria: UFSM – Laboratório de Geomática, 2013, 91 p.
- GIOTTO E. et al. **Agricultura de Precisão no Sistema CR Campeiro 7 – 1ª ed.** – Santa Maria: CESPOL, 2016.
- GOERING, C. E. Recycling a concept. **Agricultural Engineering**, St. Joseph, v. 74, p.25, 1993.
- GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**. Piracicaba: FEALQ, 309 p. 2002.
- HAIR, J. F. Jr. et al. **Fundamentos de métodos de pesquisa em administração**. Porto Alegre: Bookman, 2005, 471 p.
- HELMS, T. C.; DECKARD, E. L.; GOOS, R. J; ENZ, J. W. Soil Moisture, Temperature, and Drying Influence on Soybean Emergence. **Agronomy Journal**, v. 88, p. 662-667, 1996.
- HIRAKURI, M. H.; BALBINOT JUNIOR, A. A. **Análise econômica de diferentes densidades de semeadura na cultura da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2015. 7 p. (Embrapa Soja. Comunicado Técnico, 87).
- HIRAKURI, M. H.; CONTE, O.; BALBINOT JUNIOR, A. A. **Análise econômica de diferentes arranjos espaciais de plantas de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2017. 8 p.
- HÖRBE, T. A. N. et al. Optimization of corn plant population according to management zones in Southern Brazil. **Precision Agriculture**, v. 14, n. 4, p. 450–465, 10 ago. 2013.
- HURTADO, S. M. C. et al. **Agricultura de precisão: possibilidades de manejo da adubação nitrogenada para o milho no Cerrado**. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2008. 48 p. (EMBRAPA Cerrados. Documentos, 124).

JASPER, R. et al. Velocidade de semeadura da soja. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 1, p. 102-110, 2011.

JIA, H. et al. Effects of profiling elastic press roller on seedbed properties and soybean emergence under double row ridge cultivation. **Soil & Tillage Research**, v. 162, p. 34-40, 2016.

JOHN DEERE, A. AMS – Soluções em Gerenciamento Agrícola. Disponível em: <<https://bit.ly/2GGYwYt>>. Acesso em: 03 Mar. 2019.

JOHANN, J. A. et al. Variabilidade espacial dos atributos físicos do solo e da produtividade em um Latossolo Bruno Distrófico da região de Cascavel, PR. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.8, n.2/3, 212- 219, 2004.

KRZYZANOWSKI, F. C. Desafios tecnológicos para produção de semente de soja na região tropical brasileira. In: WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, 7.; INTERNATIONAL SOYBEAN PROCESSING AND UTILIZATION CONFERENCE, 4.; CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 3., 2004, Foz do Iguaçu. **Proceedings...** Londrina: Embrapa Soybean, 2004. p. 1324-1335.

KELLOG, C.E. We seek; we learn. In: Stefferud, A. (ed). **The yearbook of agriculture**, 1957: Soil. Washington: U.S. Department of Agriculture e U.S. Government Printing Office.1957, p.1-11.

KURACHI, H.A.S. et al. Avaliação tecnológica de semeadoras e/ou adubadoras: tratamento de dados de ensaios e regularidade de distribuição longitudinal de sementes. **Bragantia**, Campinas, v.2, n.48, p.249-62, 1989.

LEE, C. D.; EGLI, D. B.; TEKRONY, D. M. Soybean Response to Plant Population at Early and Late Planting Dates in the Mid-South. **Agronomy Journal**, v. 100, n. 4, p. 971-976, 2008.

LENCSES, E.; TAKÁCS, I.; TAKÁCS-GYÖRGY, K. Farmers' perception of precision farming technology among hungarian farmers. **Sustainability**, v. 6, p. 8452-8465, 2014.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. **Interpretação da Análise do Solo - Conceitos e aplicações**. ANDA, São Paulo. Ed. atual. 2004. 51p. Boletim Técnico, n. 2.

MALAVOLTA, E. **Elementos de Nutrição Mineral de Plantas**. São Paulo: CERES, 1980, p. 251.

MANN, E. N.; REZENDE, P. M.; CORRÊA, J. B. D. Efeito da adubação com manganês, via solo e foliar em diferentes épocas na cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.25, n.2, p.264-273, 2001.

MARDIA, K.V.; KENT, J.T.; BIBBY, J.M. **Multivariate analysis**. London: Academic, 1979.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. **Agricultura de precisão: boletim técnico**. 2.ed. Brasília : MAPA, 2011. 36 p.

MATTIONI, N. M.; SCHUCH, L. O. B.; VILLELA, F. A. Variabilidade espacial da produtividade e da qualidade das sementes de soja em um campo de produção. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 33, n. 4, p. 608-615, 2011.

McBRATNEY, A.; WHELAN, B.; ANCEV, T. Future directions of precision agriculture. **Precision agriculture**, Berlin, v.6, 2005.

MIALHE, L. G. **Máquinas Agrícolas para Plantio**. Campinas – SP: Millennium Editora, 2012.

MONTEZANO, Z. F.; CORAZZA, E. J.; MURAOKA, T. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada e manejada homogeneamente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, n. 5 p. 839-847, set./out. 2006.

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

MOLIN, J. P., AMARAL, L. R., COLAÇO, A.; **Agricultura de precisão**. 1º edição – São Paulo - Oficina de Textos, 2015. Disponível em: <<https://bit.ly/2C1oWaf>> Acesso em: 31 de jul. de 2018

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, Jaboticabal. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, p.83-92, 2002.

MOOY, de C. J.; PESEK, J.; SPALDON, F. Mineral nutrition. In: CALDWELL, B. E. (Ed.). **Soybeans: improvement, production and uses**. Wisconsin: American Society of Agronomy, 1973. p. 267-334.

MUNDSTOCK, C. M; THOMAS, A. L; **Soja**: Fatores que afetam o crescimento e o rendimento de grãos. Porto Alegre: Departamento de plantas de lavoura da UFRGS: Evangraf, 2005.

NANNI, M. R. et al. Optimum size in grid soil sampling for variable rate application in site-specific management. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 68, n. 3, p. 386-392, May/June 2011.

OLIVER, M. A. **Geostatistical applications for Precision Agriculture**. New York: Springer, 2010.

PES, L. Z. et al. Projeto Aquarius/Cotrijal – Pólo de Agricultura de Precisão na Região Alto Jacuí – RS. In: **2º Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão-ESALQ/USP**. São Pedro – SP, 2006.

PONTELLI, C. B. **Caracterização da variabilidade espacial das características químicas do solo e da produtividade das culturas utilizando as ferramentas da agricultura de precisão**. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2006. 112p. (Dissertação de Mestrado).

PORTELLA, A. J. **Semeadoras para plantio direto**. Ed. Aprenda Fácil. Viçosa – MG, 2001.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres, Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1991. 343p.

RAMBO, L. et al. Estimativa do potencial de rendimento por estrato do dossel da soja, em diferentes arranjos de plantas. **Ciência Rural**, v.34, p.33-40, 2004.

RESENDE, A. V. et al. Grades amostrais para fins de mapeamento da fertilidade do solo em área de cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2., 2006, São Pedro. **Anais...** Piracicaba: ESALQ, 2006.

RESENDE, A. V. et al. **Agricultura de precisão no Brasil: Avanços, Dificuldades, e Impactos no Manejo e Conservação do Solo, Segurança Alimentar e Sustentabilidade**. In: XVIII REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA Anais de evento. Teresina-PI, 2010.

REZNIKOV, S. et al. Evaluation of chemical and biological seed treatments to control charcoal rot of soybean. **Journal of General Plant Pathology**, v. 82, n. 5, p. 273-280, 2016.

ROBERT, P.C. The economical feasibility of precision agriculture. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4., 2002, Montpellier. **Proceedings...** Montpellier, 2002.

ROBERTSON, G. P. GS+. 2000. Geostatistics for the environmental sciences – GS+ User's Guide. **Plainwell, GammaDesing Software**, 152 p.

ROSA FILHO, G. et al. Variabilidade da produtividade da soja em função de atributos físicos de um latossolo vermelho distroférrico sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.33, p.283-293, 2009.

SANTI, A.L. et al. Análise de componentes principais de atributos químicos e físicos do solo limitantes à produtividade de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, p.1346-1357, 2012.

SANTI, A. L. et al. Multifuncionalidade de biomassas de cobertura do solo e agricultura de precisão. **Revista Plantio Direto**, v. 1, p. 16- 23, 2014.

SCHWALBERT, R. et al. Corn yield response models to plant density and N rates: Understanding data distribution. *Agronomy Journal*, v. 110, n. 2, p. 1–13, 2018.

SARAIVA, A. M.; CUGNASCA, C. E.; HIRAKAMA, A. R. Aplicação em taxa variável de fertilizantes e sementes. In: BORÉM, A. et al. (Ed.). **Agricultura de precisão**. Viçosa, MG: UFV, 2000. p. 109-145.

SCHLINDWEIN, J.A. & ANGHINONI, I. Tamanho da subamostra e representatividade da fertilidade do solo no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.32, n.6, p.963-968, 2002.

STATSOFT. **Statistica 7.0**. Tulsa: StatSoft, 2004. p. 250.

SILVA, R. D. et al. **Mapas de produtividade na agricultura de precisão**. 2011. Disponível em: <<https://bit.ly/2XFh1GE>>. Acesso em Jul. 2019.

- SILVA, F. M. et al. Variabilidade espacial de atributos químicos e produtividade da cultura do café em duas safras agrícolas. **Ciência Agrotecnologia**, v. 32, p.231-241, 2008.
- SILVA, S. A. et al. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-amarelo húmico cultivado com café. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, p. 15-22, 2010.
- SILVEIRA, G.M. **Máquinas para Plantio e Condução de Culturas**. Ed. Aprenda Fácil. Viçosa – MG, 2001.
- STRECK, E. V. et al. *Solos do Rio Grande do Sul*. 2 Ed. Porto Alegre: EMATER/RS-ASCAR, 2008.
- SUHRE, J. J. et al. Soybean Yield Partitioning Changes Revealed by Genetic Gain and Seeding Rate Interactions. **Agronomy Journal**, v. 106, n. 5, p. 1631-1642, 2014.
- SOUZA, L. S. et al. Variabilidade de propriedades físicas e químicas do solo em um pomar cítrico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, n.3, p.367-372, 1997.
- TANAKA, R. T. et AL. **Potássio para a soja**. Disponível em: <<https://bit.ly/30KDsQK>>. Acesso em 22 de julho, 2019.
- TOYOTA, M.; MAITREE, L.; CHOMSANG, K. Changes in radiation interception and R:FR over time and with canopy depth of two soybean cultivars with different branching characteristics. **Plant Production Science**, v. 20, n. 2, p. 205–214, 2017.
- VALADÃO, F. C. A. **Análise multivariada para avaliação da fertilidade de solos de Mato Grosso, Ano de Obtenção**. Cuiabá. Universidade Federal de Mato Grosso, UFMT, 2010. 60 p. (Dissertação de Mestrado).
- VASQUEZ, G. H.; CARVALHO, N. M.; BORBA, M. M. Z. Redução na população de plantas sobre a produtividade e qualidade fisiológica da semente de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 30, n. 2, p. 1-11, 2008.
- VARELLA, C. A. A Mapeamento da variabilidade espacial. Departamento de Engenharia. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://bit.ly/2LMMOht>. Acesso em: 07 Jul. 2014.
- VICINI, L. **Análise multivariada da teoria à prática**. Santa Maria: Departamento de Estatística, 2005
- VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: **Tópicos em Ciência do Solo I**. Viçosa, MG.: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2000. 352p.
- WERLANG, C. K.; **Agricultura de Precisão no Brasil: Perfil sócio econômico cultural dos adotantes, resultados, perspectivas e fatores condicionantes para a adoção e difusão**. Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. Santa Maria – RS, 2018.
- WERNER, F. et al. Soybean growth affected by seeding rate and mineral nitrogen. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, p. 734 - 738, 2016.

ANEXO A

Tabela 10 - Matriz de correlação de Pearson entre as variáveis originais e as componentes principais e a contribuição de cada variável em relação a cada fator, após a normalização dos dados

Variável	Fator (1)	Fator (2)	Fator (3)	Fator (4)	Fator (5)	Fator (6)	Fator (7)	Fator (8)	Fator (9)	Fator (10)	Fator (11)	Fator (12)	Fator (13)	Fator (14)	Fator (15)	Fator (16)	Fator (17)	Fator (18)
Sementes.m ⁻²	0,11	-0,27	-0,03	-0,11	-0,07	0,17	-0,04	-0,09	0,13	0,39	0,39	-0,03	-0,09	-0,18	0,25	-0,04	0,25	0,03
Plantas.m ⁻²	0,06	0,15	-0,45	0,05	-0,24	0,80	-0,27	0,04	-0,01	0,00	-0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Argila	-0,07	0,90	-0,32	-0,04	-0,04	-0,14	0,06	0,09	-0,03	-0,01	-0,20	0,01	0,03	-0,02	0,00	-0,03	0,00	0,00
Boro	-0,34	-0,77	-0,26	0,12	-0,11	0,08	0,33	-0,01	0,01	-0,28	0,00	0,06	-0,01	-0,01	0,03	-0,02	0,00	0,00
Cálcio	-0,89	0,20	-0,12	-0,20	0,08	0,12	0,24	-0,08	-0,08	0,11	0,10	-0,01	0,01	-0,03	0,00	-0,02	0,01	0,00
Cobre	-0,01	0,61	0,70	-0,05	-0,11	0,02	-0,11	0,31	-0,01	-0,13	0,08	-0,03	0,05	-0,06	0,01	0,00	0,00	0,00
CTC	-0,78	0,45	-0,28	-0,05	0,15	0,08	0,26	-0,02	-0,06	0,00	0,07	-0,04	0,06	0,02	-0,02	0,00	-0,01	0,00
Enxofre	-0,32	-0,08	-0,18	-0,59	0,66	0,09	-0,19	-0,02	0,16	-0,10	-0,04	-0,01	-0,02	-0,03	0,00	0,01	0,00	0,00
Fósforo	-0,30	-0,86	-0,14	0,26	0,05	0,01	0,06	0,15	0,17	0,06	-0,04	-0,17	0,01	-0,01	0,02	0,00	0,00	0,00
Potássio	-0,87	0,18	-0,09	0,28	0,13	-0,10	-0,30	-0,03	-0,06	-0,05	0,03	0,01	0,02	0,03	0,00	0,00	0,00	-0,01
Magnésio	-0,94	0,20	0,03	-0,10	-0,15	0,00	0,12	-0,03	-0,09	-0,03	-0,09	-0,01	0,04	0,04	0,03	0,04	0,00	0,00
Matéria Orgânica	-0,82	0,16	-0,21	0,01	-0,16	-0,06	0,08	0,29	0,36	0,07	0,02	0,09	-0,03	0,02	-0,02	0,01	0,00	0,00
pH	-0,75	-0,35	0,25	-0,29	-0,35	-0,06	-0,10	-0,01	-0,10	-0,10	-0,03	-0,06	-0,05	0,00	-0,07	0,00	0,00	0,00
Altitude	0,06	0,33	-0,85	0,26	-0,14	-0,24	-0,06	-0,10	0,01	-0,04	0,04	-0,02	-0,01	-0,08	-0,01	0,02	0,00	0,00
Zinco	-0,36	-0,61	0,38	0,43	0,33	0,17	0,09	0,03	-0,08	0,06	-0,07	0,07	0,04	-0,05	-0,04	0,01	0,00	0,00
Manganês	-0,03	0,80	0,18	0,32	0,29	0,17	0,26	0,09	-0,11	-0,04	-0,01	-0,04	-0,12	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
Saturação de Potássio	-0,79	0,05	-0,02	0,38	0,14	-0,13	-0,43	-0,01	-0,05	-0,04	0,02	0,01	-0,01	0,01	0,02	-0,02	0,00	0,01
Saturação de Bases	-0,87	-0,24	0,27	-0,17	-0,20	0,02	-0,07	-0,08	-0,08	0,13	-0,03	0,03	-0,05	-0,06	0,05	0,00	-0,01	0,00
Produtividade	0,22	-0,55	-0,55	-0,22	0,12	-0,12	-0,05	0,36	-0,35	0,05	0,02	0,02	-0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00

* As correlações significativas estão em vermelho e ocorrem quando $p < 0,500$

Fonte: Autor, junho de 2019