

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

Airton Polon

**USO DE MOTORES ELÉTRICOS EM SEMEADORAS COMO FERRAMENTA  
PARA O AUMENTO DA PRODUTIVIDADE EM AMBIENTES DE AGRICULTURA  
DE PRECISÃO**

Santa Maria, RS  
2023

Airton Polon

**USO DE MOTORES ELÉTRICOS EM SEMEADORAS COMO FERRAMENTA  
PARA O AUMENTO DA PRODUTIVIDADE EM AMBIENTES DE AGRICULTURA  
DE PRECISÃO**

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

Orientador: Prof. Dr. Telmo Jorge Carneiro Amado

Santa Maria, RS  
2023

Polon, Airton  
USO DE MOTORES ELÉTRICOS EM SEMEADORAS COMO FERRAMENTA  
PARA O AUMENTO DA PRODUTIVIDADE EM AMBIENTES DE  
AGRICULTURA DE PRECISÃO / Airton Polon.- 2023.  
72 p.; 30 cm

Orientador: Telmo Jorge Carneiro Amado  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Colégio Politécnico, Programa de Pós-Graduação em  
Agricultura de Precisão, RS, 2023

1. Ambientes 2. Coeficiente de Variação 3. Compensação  
de Curvas 4. Taxa Variável 5. Prescrição I. Amado, Telmo  
Jorge Carneiro II. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Declaro, AIRTON POLON, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

**Airton Polon**

**USO DE MOTORES ELÉTRICOS EM SEMEADORAS COMO FERRAMENTA  
PARA O AUMENTO DA PRODUTIVIDADE EM AMBIENTES DE AGRICULTURA  
DE PRECISÃO**

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

Aprovado em 09 de março de 2023:

---

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

---

**Vinicius Kaster Marini, Ph.D. (UFSM)**

---

**David Peres da Rosa, Dr. (IFRS)**

Santa Maria, RS  
2023

## DEDICATÓRIA

À toda a minha família, em especial, a minha companheira de todas as horas Alessandra, nosso amado filho Arthur Gabriel e aos meus queridos pais Elio e Bernardete.

Dedico,

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, todo o agradecimento sempre será a Deus, pela vida e pela saúde, razões pelas quais cheguei até aqui. Também pelo conhecimento adquirido, pela força e coragem, por ser luz na minha caminhada e por me conceder sabedoria e oportunidades tão valiosas para meu crescimento pessoal e profissional.

Agradeço a minha família, Alessandra e Arthur Gabriel, por serem a minha inspiração e por me apoiarem incondicionalmente em todos os momentos e pela compreensão dos momentos juntos abdicados. Obrigado pelas palavras de incentivo e motivação que servem de combustível na busca por objetivos maiores.

Muito obrigado aos meus pais, Elio e Bernardete, que me apoiaram e auxiliaram em todos os momentos, sendo os principais auxiliares nos trabalhos de campo, sempre com muita disposição e determinação, além de financiar grande parte dos investimentos necessários para operacionalizar as pesquisas.

Obrigado a ROJ TECHNOLOGY em nome dos meus amigos, Arthur Paratella e Diego Biulchi Pereira pelo auxílio, apoio e compreensão, pois, sempre que precisei, estavam dispostos e disponíveis.

Agradeço ao meu orientador Telmo Amado pelo aprendizado e pelos conselhos e ao professor Lúcio de Paula Amaral pelo auxílio, disponibilidade e atenção sempre que solicitei, gratidão!

Enfim, a todos os amigos, colegas e professores que, de uma ou outra forma, contribuíram para alcançar mais este objetivo em minha vida.

Obrigado a todos!

“O teto produtivo da cultura se define na  
semeadura, deste ponto em diante a conta é de  
subtração”.

## RESUMO

### USO DE MOTORES ELÉTRICOS EM SEMEADORAS COMO FERRAMENTA PARA O AUMENTO DA PRODUTIVIDADE EM AMBIENTES DE AGRICULTURA DE PRECISÃO

AUTOR: Airton Polon

ORIENTADOR: Telmo Jorge Carneiro Amado

A Agricultura de Precisão já é uma realidade e a adoção desta prática no meio agrícola torna-se indispensável quando se trata do manejo sustentável, considerando a “fonte certa”, a “dose certa”, o “local certo” e o “momento certo” na busca pelo aumento da produtividade na mesma unidade de área, além da redução dos custos de produção com o menor impacto ambiental possível. Neste contexto, a utilização de motores elétricos em semeadoras objetiva aumentar a eficiência dos mecanismos dosadores com a eliminação da transmissão mecânica, sendo avaliada a interferência da fonte de transmissão no potencial produtivo da cultura. Com a aplicação desta tecnologia, é possível agregar funções capazes de determinar a correta aplicação, em quantidades e localização, de insumos de acordo com os preceitos da Agricultura de Precisão. No ARTIGO I, ficou evidenciado que o uso dos motores elétricos proporcionou a redução do Coeficiente de Variação na distribuição longitudinal das sementes, das falhas, além do aumento do número de plantas aceitáveis para as variáveis analisadas, sendo que o incremento médio de produtividade foi de 335 kg ha<sup>-1</sup>. Além disso, na avaliação da função da compensação do número de sementes em curvas, este recurso garantiu a distribuição de sementes na mesma distância entre as linhas da semeadora, estabilizando a produtividade na mesma passada de semeadura. A pesquisa evidenciou um incremento de produtividade na ordem de 13,3% superior à não utilização da função (compensação de curvas). O resultado das análises apontou, na média, incremento de produtividade de 276,5 kg ha<sup>-1</sup> para os motores elétricos, convertido em R\$ 829,50 por hectare. O ARTIGO II mostrou que a aplicação de sementes em taxa variável, além de pôr em prática os preceitos de Agricultura de Precisão, isto é, intervenção localizada levando em consideração a variabilidade espacial e temporal, respeita as limitações e as potencialidades presentes nos diferentes pontos do talhão, assumindo que o mesmo não é homogêneo. A pesquisa foi realizada com duas cultivares de soja (TMG 7062 e BMX ZEUS) em dois talhões distintos na safra 2020/2021. Variaram-se cinco populações através de motores elétricos para cada cultivar após a definição de dois ambientes de manejo denominados ZA (Alto Potencial Produtivo) e ZB (Baixo Potencial Produtivo), objetivando demonstrar resultados de produtividade para as diferentes prescrições e ambientes. Os resultados evidenciaram ganhos de produtividade em ambas as cultivares para os ambientes ZA em relação aos ambientes ZB. Dentro dos próprios ambientes, houve diferença de produtividade para as diferentes taxas prescritas, sendo que em ZB a produtividade correspondeu positivamente aos incrementos de taxas, enquanto em ZA a correlação foi negativa. Conclui-se que a adoção da taxa variável de sementes é uma excelente ferramenta de manejo localizado para auxiliar na busca de altos índices de produtividade, sendo que, para as condições da pesquisa, o ajuste adequado de população poderia trazer um retorno financeiro médio



de R\$ 349,00. Além disso, o melhor ajuste de população para ZA e ZB, de acordo com a definição de cada ambiente, mostrou-se uma excelente prática na busca dos melhores índices de produtividade.

**Palavras-chave:** Ambientes. Coeficiente de Variação. Compensação de Curvas. Taxa Variável. Prescrição.

## ABSTRACT

### USE OF ELECTRIC MOTORS IN SEEDERS AS A TOOL TO INCREASE PRODUCTIVITY IN PRECISION AGRICULTURE ENVIRONMENTS

AUTHOR: Airton Polon

ADVISOR: Telmo Jorge Carneiro Amado

Precision Agriculture is already a reality and the adoption of this practice in the agricultural environment becomes essential when it comes to sustainable management, considering the "right source", the "right dose", the "right place" and the "right moment" in the quest to increase productivity in the same unit of area, in addition to reducing production costs with the lowest possible environmental impact. In this context, the use of electric motors in seeders aims to increase the efficiency of the dosing mechanisms by eliminating the mechanical transmission, evaluating the interference of the transmission source in the productive potential of the crop. With the application of this technology, it is possible to add functions capable of determining the correct application, in quantities and location, of inputs in accordance with the precepts of Precision Agriculture. In ARTICLE I, it was evidenced that the use of electric motors provided a reduction in the Coefficient of Variation in the longitudinal distribution of seeds, failures, in addition to an increase in the number of acceptable plants for the analyzed variables, with an average increase in productivity of 335 kg ha<sup>-1</sup>. Furthermore, in the evaluation of the compensation function of the number of seeds in curves, this resource guaranteed the distribution of seeds in the same distance between the lines of the seeder, stabilizing the productivity in the same sowing pass. The survey showed a productivity increase of around 13.3% greater than not using the function (curve compensation). The results of the analyzes indicated, on average, an increase in productivity of 276.5 kg ha<sup>-1</sup> for electric motors, converted into R\$ 829.50 per hectare. ARTICLE II showed that seed application at a variable rate, in addition to putting into practice the precepts of Precision Agriculture, that is, localized intervention taking into account spatial and temporal variability, respects the limitations and potentialities present in the different points of the field, assuming that it is not homogeneous. The research was carried out with two soybean cultivars (TMG 7062 and BMX ZEUS) in two different plots in the 2020/2021 harvest. Five populations were varied using electric motors for each cultivar after defining two management environments called ZA (High Productive Potential) and ZB (Low Productive Potential), aiming to demonstrate productivity results for the different prescriptions and environments. The results showed productivity gains in both cultivars for the ZA environments in relation to the ZB environments. Within the environments themselves, there was a difference in productivity for the different prescribed rates, and in ZB productivity corresponded positively to rate increments, while in ZA the correlation was negative. It is concluded that the adoption of the variable seed rate is an excellent localized management tool to help in the search for high productivity rates, and, for the research conditions, the adequate population adjustment could bring an average financial return of R\$ 349.00. In addition, the best population adjustment for ZA and ZB, according to the definition of each environment, proved to be an excellent practice in the search for the best productivity rates.

**Keywords:** Environments. Coefficient of Variation. Curve Compensation. Variable Rate. Prescription.

## LISTA DE FIGURAS

### ARTIGO I

FIGURA 1. Seeder equipped with mechanical transmission and line-to-line electric motors.	24
FIGURA 2. Yield response for different speeds in both treatments. ....	26
FIGURA 3. CV% behavior for different speeds in both treatments. ....	27
FIGURA 4. Evidence of the percentage of failures for the different speeds in the two treatments. ....	28
FIGURA 5. Evidence of the percentage of double plants for the different speeds in the two treatments. ....	28
FIGURA 6. Evidence of the percentage of acceptable plants for the different speeds in the two treatments. ....	29
FIGURA 7. Population difference between the inner (L.I), center (L.C) and outer (L.E) lines with the curve compensation function activated (C.C.C) compared to the function deactivated, that is, without curve compensation (S.C.C). ....	31
FIGURA 8. Difference in productivity between the inner (L.I), central (L.C) and outer (L.E) lines with the curve compensation function activated (C.C.C) compared to the function deactivated, that is, without curve compensation (S.C.C).....	31

### ARTIGO II

FIGURA 1. Mapas das áreas “Eucalipto” (A) e “Castilho” (B) com a definição das zonas de manejo, a localização e a posição das parcelas alocadas em cada talhão, além da prescrição para a totalidade das áreas semeadas em taxa variável. ....	40
FIGURA 2. Semeadora equipada com motores elétricos linha a linha. ....	42
FIGURA 3. Registro do índice pluviométrico mensal par as áreas da pesquisa durante o ciclo da cultura.....	44
FIGURA 4. Gráficos de dispersão relativos às variáveis classificadas com forte correlação nas análises da cultivar TMG 7062 na área “Castilho”. ....	51
FIGURA 5. Gráficos de dispersão relativos às variáveis classificadas com forte correlação nas análises da cultivar BMX ZEUS na área “Eucalipto”. ....	59
FIGURA 6: Gráficos relativos as produtividades nos ambientes ZA e ZB nas cultivares TMG 7062 e BMX ZEUS. ....	59

## LISTA DE TABELAS

### ARTIGO I

- TABELA 1. Result of the statistical analysis to evaluate the effect of the speed and the respective Coefficient of Variation (CV%) between the plants in each treatment on the productivity of the soybean crop. ....25
- TABELA 2. Result of the statistical analysis to evaluate the effect of the curve compensation functionality activated in different lines of the seeder on the productivity of the soybean crop.....29

### ARTIGO II

- TABELA 1. Prescrição da taxa de sementes para a semeadura e população final de plantas avaliadas na cultivares TMG 7062 e BMX ZEUS. ....43
- TABELA 2. Resultado da análise estatística para avaliar o efeito de cinco densidades de plantas diferentes em dois ambientes de manejo, Zonas de Baixa Fertilidade (ZB) e Zonas de Alta Fertilidade (ZA) para a cultivar TMG 7062 na safra 20/21. ....45
- TABELA 3. Estatística descritiva com o teste de normalidade para definição do teste de correlação entre as variáveis avaliadas na pesquisa que envolveu a cultivar TMG 7062 onde: TAXA (Prescrição de sementes ha<sup>-1</sup>); PROD (Produtividade em kg ha<sup>-1</sup>); AP (Altura de Planta em centímetros); NN (Numero de Nós); NGH (Número de Galhos); NV (Número de Vagens); NG (Número de Grãos); NGV (Número de Grãos por Vagem); PMG (Peso de Mil Grãos em gramas); PP (Peso por Planta em gramas); IAF (Índice de Área Foliar m<sup>2</sup>); AMB (Ambiente); ZA (Zona de Alto potencial produtivo); ZB (Zona de Baixo potencial produtivo); CV% (Coeficiente de Variação).....48
- TABELA 4. Matriz de correlação entre as variáveis avaliadas na pesquisa que envolveu a cultivar TMG 7062 onde: TAXA (Prescrição de sementes ha<sup>-1</sup>); PROD (Produtividade em kg ha<sup>-1</sup>); AP (Altura de Planta em centímetros); NN (Numero de Nós); NGH (Número de Galhos); NV (Número de Vagens); NG (Número de Grãos); NGV (Número de Grãos por Vagem); PMG (Peso de Mil Grãos em gramas); PP (Peso por Planta em gramas); IAF (Índice de Área Foliar m<sup>2</sup>); AMB (Ambiente); ZA (Zona de Alto potencial produtivo); ZB (Zona de Baixo potencial produtivo); R (Correlação de Pearson) e; Rho (Correlação de Spearman)..... 49

- TABELA 5. Resultado da análise estatística para avaliar o efeito de cinco densidades de plantas diferentes em dois ambientes de manejo, Zonas de Baixa Fertilidade (ZB) e Zonas de Alta Fertilidade (ZA) para a cultivar BMX ZEUS na safra 20/21. ....52
- TABELA 6. Estatística descritiva com o teste de normalidade para definição do teste de correlação entre as variáveis avaliadas na pesquisa que envolveu a cultivar BMX ZEUS onde: TAXA (Prescrição de sementes ha<sup>-1</sup>); PROD (Produtividade em kg ha<sup>-1</sup>); AP (Altura de Planta em centímetros); NN (Numero de Nós); NGH (Número de Galhos); NV (Número de Vagens); NG (Número de Grãos); NGV (Número de Grãos por Vagem); PMG (Peso de Mil Grãos em gramas); PP (Peso por Planta em gramas); IAF (Índice de Área Foliar m<sup>2</sup>); AMB (Ambiente); ZA (Zona de Alto potencial produtivo); ZB (Zona de Baixo potencial produtivo); CV% (Coeficiente de Variação).....55
- TABELA 7. Matriz de correlação entre as variáveis avaliadas na pesquisa que envolveu a cultivar BMX ZEUS onde: TAXA (Prescrição de sementes ha<sup>-1</sup>); PROD (Produtividade em kg ha<sup>-1</sup>); AP (Altura de Planta em centímetros); NN (Numero de Nós); NGH (Número de Galhos); NV (Número de Vagens); NG (Número de Grãos); NGV (Número de Grãos por Vagem); PMG (Peso de Mil Grãos em gramas); PP (Peso por Planta em gramas); IAF (Índice de Área Foliar); AMB (Ambiente); ZA (Zona de Alto potencial produtivo); ZB (Zona de Baixo potencial produtivo); R (Correlação de Pearson) e; Rho (Correlação de Spearman).....56

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	16
1.1	OBJETIVOS.....	20
1.1.1	Objetivo Geral.....	20
1.1.2	Objetivos Específicos .....	20
<b>2</b>	<b>ARTIGO I</b> .....	21
<b>3</b>	<b>ARTIGO II</b> .....	34
<b>4</b>	<b>DISCUSSÃO GERAL</b> .....	68
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	70
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	71

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

Atualmente, o maior percentual relativo aos custos de produção está alocado na operação de semeadura, envolvendo os mais diversos insumos necessários para viabilizar este processo, dentre outros, máquinas, logística, insumos e mão de obra. Por se tratar de uma operação tão importante e custosa, deve-se atentar para todos os pontos que são determinantes para a redução de custos de produção e que também refletem no aumento da produtividade. A adoção de tecnologias e práticas modernas de produção que asseguram a regulação e a correta deposição das sementes e dos fertilizantes, tanto em profundidade quanto em linearidade proporcionam melhores condições para que o “material genético” possa expressar o seu máximo potencial produtivo.

A pesquisa em Agricultura de Precisão (AP) trabalha na direção de buscar produtos e serviços que proporcionem produtividade e rentabilidade crescente na mesma unidade de área, com custos de produção reduzidos e a minimização de efeitos prejudiciais ao meio ambiente. Esses objetivos estão sendo concretizados com o desenvolvimento de equipamentos capazes de, através de tecnologias inovadoras (*hardware* e *software*) melhorarem a fertilidade do solo e concentrar recursos (fertilizantes, água, sementes, entre outros) em pontos específicos georreferenciados no talhão.

A necessidade de se produzir mais na mesma unidade de área é a cada dia mais evidente, sendo assim, agregar tecnologia aos conceitos de Agricultura de Precisão (AP) torna-se indispensável às práticas agrícolas sustentáveis. De acordo com o MAPA (2013, p. 1) a Agricultura de Precisão trata-se de "um conjunto de ferramentas e tecnologias aplicadas para permitir um sistema de gerenciamento agrícola baseado na variabilidade espacial e temporal da unidade produtiva, visando ao aumento de retorno econômico e à redução do impacto ao ambiente."

Em busca desses objetivos surgiu também a oportunidade para a inovação e o desenvolvimento de novas tecnologias, novos conceitos e novos equipamentos para suprir as demandas do mercado de semeadura de grãos, em plena expansão. O desenvolvimento de tecnologias adequadas à necessidade da agricultura moderna e suas tendências é o caminho para a conquista de novos mercados e a permanência nos mesmos por um longo período.

As semeadoras de grãos, mais conhecidas popularmente como “plantadeiras”, são utilizadas para realizar a semeadura das principais culturas agrícolas, dentre elas a soja, líder nacional em área plantada e produção. Neste contexto, o acionamento mecânico dos mecanismos dosadores de sementes e fertilizantes, além de ser o mais antigo, também é o mais



usado nas semeadoras no mercado agrícola brasileiro, atualmente. É composto por componentes simples e o princípio de funcionamento é a transferência do movimento gerado por meio do rodado que, ao girar em contato com o solo, movimenta os componentes da transmissão até um conjunto de engrenagens de corrente, popularmente chamado de “pinheirinho” ou “recâmbio”. Neste ponto ocorre a intervenção humana para configurar a melhor relação de engrenagens entre motora e movida com o intuito de atingir a dose desejada do insumo relativo. Após este processo o movimento segue sendo transmitido por correntes e engrenagens até os dosadores de sementes e fertilizantes. O “recâmbio” (faz parte da transmissão) das semeadoras mecânicas e possui limitações quanto às combinações de engrenagens, deixando lacunas entre uma dose e outra. Além disso, a grande maioria dos erros relativos à “plantabilidade” são transmitidos para os dosadores através das perdas de transmissão das semeadoras/adubadoras.

A evolução das semeadoras na história passa pela criação dos primeiros equipamentos de tração humana e animal. Na sequência, com a chegada da mecanização agrícola, as semeadoras tiveram um aporte de engenharia e passaram a desempenhar as funções de semeadura e fertilização com o auxílio de tratores ou micro tratores como fonte de tração, sempre com transmissão mecânica e dosadores mecânicos (BALASTREIRE, 1987; CASÃO et al., 2008). Em um terceiro momento, surgiram os dosadores pneumáticos trazendo mais eficiência e precisão para a dosagem de sementes e, com isso, também ampliação da velocidade de deslocamento na operação de semeadura, sem prejuízos significativos no arranjo espacial das sementes (CASÃO, 2004). Mais adiante, com a evolução tecnológica dos sistemas hidráulicos e a integração da eletrônica, os sistemas mecânicos de transmissão, através de correntes e engrenagens, puderam ser substituídos por sistemas hidráulicos. Isso viabilizou a entrada destas ferramentas no radar da Agricultura de Precisão, passando a realizar a aplicação de sementes e fertilizantes em taxa variável através das seções de acionamento, exemplo do Projeto Aquarius (AMADO et al, 2014). Mais recentemente, a revolução no setor de semeadura fica por conta da tecnologia de motores elétricos, este sistema oferece muitos recursos, desde os mais simples como o próprio acionamento dos dosadores de sementes e fertilizantes e a contagem de sementes até os mais complexos, tais como aplicação em taxa variada, desligamento de linhas e compensação de curvas.

De acordo com Siqueira (2008), as semeadoras adubadoras de plantio direto são máquinas capazes de realizar a implantação de culturas anuais através da semeadura em terrenos onde não foi realizado o preparo periódico do solo e, quase sempre, com a presença de

cobertura vegetal. Estes equipamentos mobilizam o mínimo necessário do solo, apenas nas linhas de semeadura e, normalmente, as unidades das semeadoras são conjugadas as unidades adubadoras, daí o nome semeadoras/adubadoras. Ainda, segundo o autor, “são denominadas semeadoras de precisão as máquinas que realizam a semeadura e adubação de culturas de sementes graúdas”, onde as sementes são depositadas, uma a uma e a distância entre as mesmas deveria ser uniforme, “sendo resultante do mecanismo dosador-distribuidor e do deslocamento da máquina”. Porém, não existe uma precisão na colocação das sementes, ocorrendo variações nas posições ao longo da linha de semeadura (PICHINIM, 2012; SCHMALZ, 2014; DESBESELL et al., 2018).

O sistema de acionamento por motor elétrico é uma evolução tecnológica recente que está se popularizando no mercado de semeadoras/adubadoras objetivando a redução nos erros ocasionados pelas perdas de transmissão dos conjuntos mecânicos e/ou hidráulicos, se tornando uma revolução para o uso em dosadores de sementes e fertilizantes em semeadoras aplicadas em AP. Dentre os erros mais comuns estão os desgastes de componentes, alinhamento de transmissões, aquecimento de óleo hidráulico, condições de solo (umidade e irregularidades), lacunas entre dosagens, entre outros, como erros ao selecionar as engrenagens antes e/ou durante a operação.

O sistema elétrico, além de ser mais “limpo” por não envolver o consumo de poluentes, como óleo hidráulico, também proporciona economia de combustível, pois não demanda alta potência do trator para acionamento de bombas e motores hidráulicos, ou seja, os motores elétricos necessitam apenas de uma fonte de energia que pode ser a própria bateria do trator.

Os principais componentes do sistema composto por motores elétricos utilizados atualmente nas semeadoras brasileiras envolvem os próprios motores elétricos individuais nas linhas de semente e seções nas linhas de fertilizante, podendo ser adicionados individualmente no fertilizante também, unidade de distribuição de energia, ECU (*Electronic Control Unit*), *display* (HMI), sensores e chicotes. Dependendo do tamanho da máquina e da tecnologia aplicada, há a necessidade de uma unidade de energia auxiliar para suprir a necessidade energética do sistema, que pode ou não conter, uma bateria. Sistemas disponíveis no mercado apenas para o acionamento dos dosadores de semente individual por linha são mais comuns, sem a possibilidade de controlar os dosadores de fertilizante, no caso destes, o acionamento é feito por motores hidráulicos, na maioria dos casos. Porém, já tem opções para atender a demanda de acionamento de dosadores de fertilizantes de forma elétrica e com eficiência superior às opções convencionais do mercado.

A instalação de motores elétricos diretamente nos dosadores proporciona eficiência e precisão na dosagem de sementes, garantindo o controle total na operação e do sistema. A contagem através da medição da distância entre sementes entrega um monitoramento confiável, além de fornecer informações importantes para a tomada de decisão em tempo real.

Ao integrar o controle e o monitoramento de todos os insumos aplicados, de forma individualizada e variável automaticamente através de mapas de prescrição, no mesmo display, proprietário ou ISOBUS, dispõe de informações que interagem com todo o ecossistema, melhorando a desempenho da semeadora e disponibilizando dados para o processamento através de ferramentas chamadas “Sistema de Informações Geográficas” (SIG).

Esta tecnologia pode eliminar completamente os arranjos complexos de outras formas de transmissão de movimento em semeadoras, eliminando avarias que estes sistemas possam transferir para os demais componentes, especialmente os elementos dosadores, que devem funcionar com exatidão. Neste caso, qualquer variação transmitida ao dosador irá refletir, principalmente, em uma variável que interfere diretamente no potencial produtivo da cultura, o Coeficiente de Variação do espaçamento longitudinal entre plantas (CV%). Além disso, estes efeitos também são registrados na dosagem dos fertilizantes em Kg por hectare.

O CV% é um dos principais fatores relacionados a redução de produtividade das culturas, sendo que as perdas de produtividade estão inversamente relacionadas, isto é, na medida em que o CV% aumenta, os resultados relativos à produtividade diminuem (NUMMER, 2011; HÖRBE, 2015; BISOGNIN, 2019; HÖRBE; GRAVE, 2021; POLON; AMADO, 2022), salientando que estes efeitos estão relacionados diretamente com o processo de semeadura.

A adoção de motores elétricos também proporciona a possibilidade de trabalhar com outras funcionalidades que agregam economia de insumos e proporcionam potencial para o aumento da produtividade, dentre elas o desligamento automático das linhas de sementes e das seções de fertilizante, compensação do número de sementes e curvas e taxa variável de insumos.

Os equipamentos voltados para aplicação de insumos por meio da tecnologia de taxa variável como a semeadora/adubadora são frequentes nas propriedades que utilizam AP. Esses equipamentos podem variar a taxa de aplicação de um insumo à medida que a máquina agrícola se desloca em campo, o que é essencial para o conceito da AP em qualquer que seja o momento da coleta de dados (BERNARDI; INAMASU, 2014; SARAIVA; CUGNASCA; HIRAKAWA, 2019).

Considerando que a Agricultura de Precisão prima pela aplicação localizada dos insumos, em função da variabilidade espacial e temporal dos fatores que afetam a produtividade

das culturas, há a necessidade do uso de tecnologias que possibilitem a aplicação à taxa variável dos insumos agrícolas coerente com a demanda de cada pequena porção da lavoura (SENAR, 2012; MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2018).

De acordo com Juntolli (2017), cerca de 69% das propriedades agrícolas do país usam algum tipo de tecnologia, seja na área de gestão dos negócios ou nas atividades de cultivo e colheita da produção.

A AP já é uma realidade que se tornou essencial no processo produtivo, o que ainda está faltando é a integração das diferentes ferramentas como um todo, pois os resultados são mais representativos do que quando trabalhadas isoladamente. Isso só será possível com a adoção de tecnologia, automação dos processos e a qualificação da mão de obra.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar o uso de motores elétricos no acionamento de dosadores de sementes em uma semeadora de precisão na cultura da soja.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Comparar os índices de semeadura (“plantabilidade”) e produtividade da cultura da soja na mesma semeadora equipada com transmissão mecânica versus a transmissão através de motores elétricos.
- Avaliar aspectos relativos ao uso da taxa variável de sementes na cultura da soja.
- Analisar os benefícios da funcionalidade da compensação de sementes em curvas.
- Relacionar aspectos relativos ao ganho de produtividade.

## 2 ARTIGO I

Artigo publicado de acordo com as normas da Journal of Agricultural Science Research. v. 2, n.16. 2022. doi: 10.22533/at.ed.9732162230111.

Disponível em: <https://atenaeditora.com.br/catalogo/artigo-revista/uso-de-motores-eletricos-em-semeadoras-e-ganho-de-productividade-na-cultura-da-soja-2>.

### **USE OF ELECTRIC MOTORS IN SEEDERS AND GAIN IN PRODUCTIVITY IN SOYBEAN CROP**

Airton Polon

Universidade Federal de Santa Maria

Santa Maria - RS

<http://lattes.cnpq.br/8919527604734070>

Telmo Jorge Carneiro Amado

Universidade Federal de Santa Maria

Santa Maria - RS

<http://lattes.cnpq.br/8591926237097756>

Submission date: 08/11/2022

**ABSTRACT:** The use of electric motors in seeders aims to increase the efficiency of the dosing mechanisms by eliminating the mechanical transmission, reducing the interference of the set in the productive potential of the crop. With the application of this technology, it is possible to add functions capable of determining the correct application, in quantities and location, of inputs in accordance with the precepts of Precision Agriculture. The use of electric motors provided a reduction in the Coefficient of Variation, failures, in addition to an increase in the number of acceptable plants for the variables, with an average increase in productivity of 335 kg ha<sup>-1</sup>. In addition, with the electric motors, the curve compensation function was evaluated, this feature ensures that all lines of the seeder apply the seeds at the same distance, stabilizing productivity in the same sowing pass. The survey showed a productivity increase of around 13.3% greater than not using the function. The results of the analyzes indicated, on average, an increase in productivity of 276.5 kg ha<sup>-1</sup> for electric motors, converted into R\$ 829.50 per hectare.

**KEYWORDS:** Coefficient of Variation, Electric Motor, Productivity.

## 1. INTRODUCTION

The need to increase the productivity of grain crops is becoming more evident every day, as are the opportunities for reducing production costs. In this sense, the quality of sowing is a factor that is increasingly debated and fundamental. Increasing the efficiency of seeders in the field is one of the essential factors for increasing productivity and guaranteeing an economic return at the end of the cycle.

Seeders aim to distribute a predetermined amount of seeds, but this operating principle presents errors in dosage and distribution of applied inputs, according to Biulchi (2016). Many of these errors occur in the adjustment and by the components of these machines. In a study carried out with 35 seeders, the average seed dosage ranged from 0.06% to 48.94%, with an average of 11.39%. These factors contribute to a reduction in productivity, according to CASÃO et al. (2019). The productivity increments varied between 6% and 76% considering only the planting quality, better seed deposition in the soil means higher productivity (PICHINIM, 2012).

In the evaluation of pneumatic and mechanical seeders in soybean planting in the northern region of Paraná, the average Coefficient of Variation (CV%) was 45% and 71%, respectively (SCHMALZ, 2014). This variable directly interferes with the productive potential. According to Desbesell et al (2018), productive losses in soybean crops with a coefficient of variation greater than 60% can exceed 16%, that is, more than 12 bags of soybeans per hectare, depending on the cultivar.

The technology of electric motors appears in the market of seeders aiming to minimize these problems, replacing the mechanical transmission system, in addition to offering a variety of resources for Precision Agriculture, from the simplest to the most complex, such as: application at varied rates; automatic shutdown of lines; seed compensation in curves and; generation of information that the installed ecosystem can send to cloud platforms to be worked on in Digital Agriculture environments.

For Dorsey (2017), in a 24-row seeder during the corn season, they found that the inner rows were overloaded by up to 124% of the target population, while the outer rows had only 81% of the target population. She also observed that the center lines had a higher yield than the endlines.

The present work was developed with the objective of comparing the performance of a precision seeder equipped with mechanical transmission in relation to the resources

made available by electric motors and the benefits for operations in Precision Agriculture environments.

## 2. MATERIAL AND METHODS

The experiments were implemented in the municipality of Getúlio Vargas/RS in an area of 2 hectares in the 19/20 harvest. The sown cultivar was BMX Ativa in a population of 323,809 plants per hectare, that is, 13.6 seeds per linear meter spaced 0.42m between rows of plants.

Sowing was carried out using a Massey Ferguson 292 4x2 tractor equipped with TDA and a Semeato 2007 seeder, model SHM 1517, with 8 sowing rows (FIGURE 1) spaced 42 cm between rows, equipped with mechanical seed dosers from the company itself. Semeato and FertiSystem brand fertilizer dosers with 2" auger. The electrical system used was that of the company ROJ TECHNOLOGY, consisting of 8 DMD-2 motors (12V) with a torque of 4.5Nm to drive the seed dosers. These motors are made up of an aluminum block where the electric motor with brushless technology is integrated, an axial reduction and an electronic board responsible for managing the functions of the motor and the sowing line, such as seed statistics, for example. The fertilizer dosers were always activated by the mechanical transmission through the replacement and with the same fertilizer dosage, that is, 250 kg ha<sup>-1</sup>. The controller (ECU) used in the research was with ISOBUS technology, model CM 20, Topcon brand, as well as the display and the GNSS receiver, models X25 and AGI-4, respectively. The signal correction commercially available to the market as TOPnet was used. This option enables the precise location of the equipment in the field, with an approximate error of  $\cong 3\text{cm}$ , a necessary requirement for the automatic disconnection of lines, for example.



FIGURE 1. Seeder equipped with mechanical transmission and line-to-line electric motors.

Sowing was carried out under two different conditions, at one point equipped with a mechanical transmission and then with electric motors directly driving the dosing elements. For seeding with mechanical drive, the cables of the battery electronic system were removed and for seeding with electric motor drive, the chains of the gears integrated in each seeding line were removed.

32 plots of 25 meters long and 3.5 meters wide were delimited, 16 plots for each treatment, that is, the seeder equipped with the mechanical transmission and 16 plots with the seeder equipped with electric motors. Four variables were evaluated within each treatment, 4, 5, 6 and 7 km h<sup>-1</sup>, with four replications for each variable.

For each repetition, measurements and plant counts were made in two planting rows at a distance of 5 meters in each row, totaling 10 meters of measurements in each repetition, for evaluation and calculation of the percentage of the Coefficient of Variation, the number of failures, doubles and acceptable. To determine productivity, all plots were harvested, in addition to plant sampling for data generation and subsequent comparisons.

For the evaluation of treatments with and without curve compensation, possible only for the machine operating with electric motors, determinations of the plant population were made with three replications for the Internal Line (L.I), Central Line (L.C) and External Line (L.E) in planting With Compensation of Curves (C.C.C) and Without Compensation of Curves (S.C.C) to determine the plant population in each of the rows in the two treatments with the objective of crossing this information and determining productivity.



The radius of the curve where the data were collected was 30 meters, the plant count occurred in 10 linear meters and the productivity evaluation occurred with the collection, threshing and weighing of the plants in 5 linear meters for each repetition. The experimental design used in this research was completely randomized blocks and the free software SISVAR<sup>®</sup> was used for the processing of descriptive statistics.

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

The planting of the experiment area to evaluate the sowing efficiency was on December 27, 2019, while the sowing of the area for the evaluation of the C.C.C and S.C.C functions was carried out on January 7, 2020. The harvest of the plots for evaluation of the mechanical transmission systems (MEC) and electrical drive (ELE) was carried out on April 29th and the harvest of the crop where the evaluation of the C.C.C and S.C.C treatments was carried out on May 7, 2020 where the rainfall total during the crop cycle was 450 mm and 316 mm respectively.

The results of the statistical analysis are presented in Table 01, where the productivity data, CV%, Failures, Doubles and Acceptable are listed.

TABLE 1. Result of the statistical analysis to evaluate the effect of the speed and the respective Coefficient of Variation (CV%) between the plants in each treatment on the productivity of the soybean crop.

		<b>PRODUCTIVITY (kg ha<sup>-1</sup>)</b>				
Streaming	CV% (statistics)	Average kg ha <sup>-1</sup>	4 km h <sup>-1</sup>	5 km h <sup>-1</sup>	6 km h <sup>-1</sup>	7 km h <sup>-1</sup>
Electric	5,0%	2,688 a	2,626 aA	2,940 aA	2619 aA	2,567 aA
Mechanics		2,353 b	2,373 bA	2,553 bA	2418 bA	2,069 bA
		<b>COEFFICIENT OF VARIATION (%)</b>				
Streaming	CV% (statistics)	Average CV%*	4 km h <sup>-1</sup>	5 km h <sup>-1</sup>	6 km h <sup>-1</sup>	7 km h <sup>-1</sup>
Electric	9,2%	45,3% b	44,0% aA	40,8% bA	47,0% aA	49,3% bA
Mechanics		52,4% a	49,8% aA	49,0% aA	53,3% aA	57,8% aA
		<b>FAULTS (%)</b>				
Streaming	CV% (statistics)	Average Fails	4 km h <sup>-1</sup>	5 km h <sup>-1</sup>	6 km h <sup>-1</sup>	7 km h <sup>-1</sup>
Electric	30,8%	10,3% b	8,8% bAB	2,8% bB	13,3% aA	16,3% bA
Mechanics		18,0% a	16,5% aA	15,8% aA	16,6% aA	23,3% aA
		<b>DOUBLE (%)</b>				

Streaming	CV% (statistics)	Average Dobles	4 km h <sup>-1</sup>	5 km h <sup>-1</sup>	6 km <sup>-1</sup>	7 km h <sup>-1</sup>
Electric	30,8%	16,9% a	16,3% bA	16,3% bA	16,5% aA	17,5% bA
Mechanics		18,7% a	16,5% aA	17,3% aA	21,5% aA	20,5% aA

ACCEPTABLE (%)						
Streaming	CV% (statistics)	Average Acceptable	4 km h <sup>-1</sup>	5 km h <sup>-1</sup>	6 km h <sup>-1</sup>	7 km h <sup>-1</sup>
Electric	10,6%	72,9% a	74,8% aA	80,0% aA	70,3% aA	66,5% aA
Mechanics		63,3% b	67,3%bA	68,0% bA	62,8% aA	56,5% aA

\*CV% - Coefficient of Variation. Means followed by the same lower case letters in the columns or uppercase in the rows do not differ by Tukey's test at 5%

It was evident that there is a significant difference in productivity between the seeder with Electric Transmission and the seeder with Mechanical Transmission, 2.688 kg ha<sup>-1</sup> and 2.353 kg ha<sup>-1</sup>, respectively. The transmission through electric motors presented an average productivity of 335 kg ha<sup>-1</sup> higher than the mechanical drive in the total of the experiment, that is, in the four variables under study, as it is possible to visualize graphically in Figure 2.

For all variables, that is, the 4 speeds, there was a significant difference with higher productivity for the machine with transmission by electric motors, being 253 kg ha<sup>-1</sup>, 387 kg ha<sup>-1</sup>, 201 kg ha<sup>-1</sup> and 498 kg ha<sup>-1</sup> for 4 km h<sup>-1</sup>, 5 km h<sup>-1</sup>, 6 km h<sup>-1</sup> and 7 km h<sup>-1</sup>, respectively.

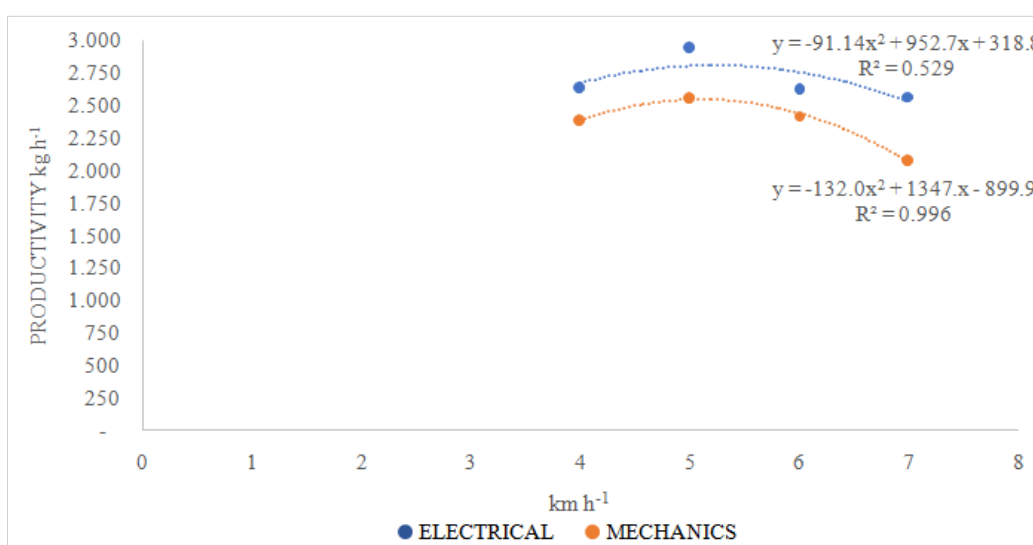


FIGURE 2. Yield response for different speeds in both treatments.

The CV% analysis followed the same results of the productivity evaluation, except for the speeds of 4 km h<sup>-1</sup> and 6 km h<sup>-1</sup> that did not differ between treatments, that is, transmission through electric motors and mechanical transmission. By comparing the two graphs, it is possible to identify a very close relationship between CV% and productivity, that is, the lower the CV%, the greater the productivity and vice versa. Within the treatment itself, the CV% had no significant difference between the variables. In Figure 3, it is possible to verify that the CV% increases for both drive modes as the speed increases.

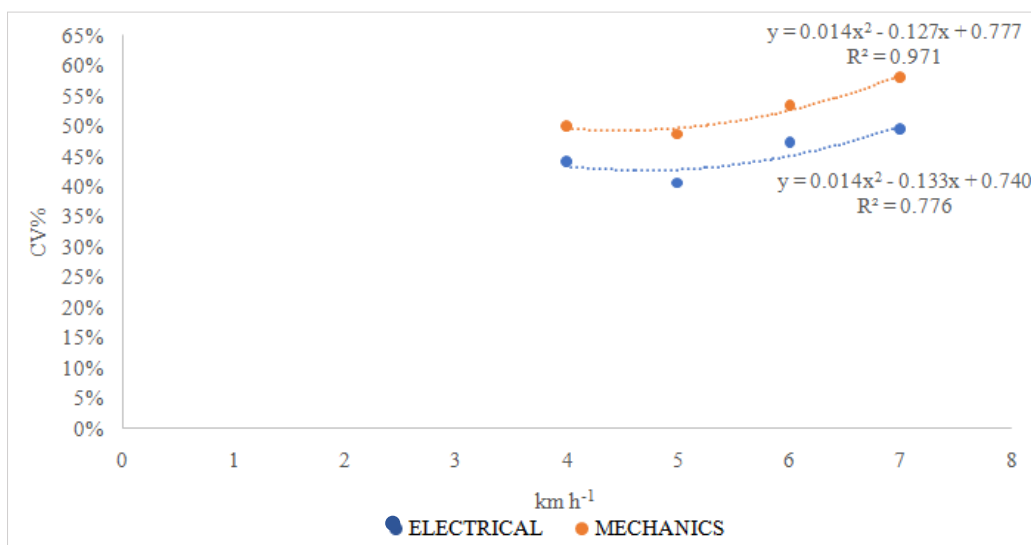


FIGURE 3. CV% behavior for different speeds in both treatments.

The analysis for determining sowing efficiency information was based on the methodology published by ABNT (1996) which considers the following standards: acceptable are all spacing between seeds that are 0.5 to 1.5 times the average spacing. Values obtained below the limit of 0.5 times are considered as double or multiple spacing, while spacing above 1.5 times the average spacing are considered seeding failures.

The graph in Figure 4 shows the superiority of the number of failures for actuation through mechanical transmission, as demonstrated in the statistical analysis where the number of failures for actuation by electric motors was, on average, 75% lower. Only in the variable 6 km h<sup>-1</sup> there was no statistical difference between the two evaluated treatments. Within the treatment itself, the activation by electric motors differed in the speed of 5 km h<sup>-1</sup>.

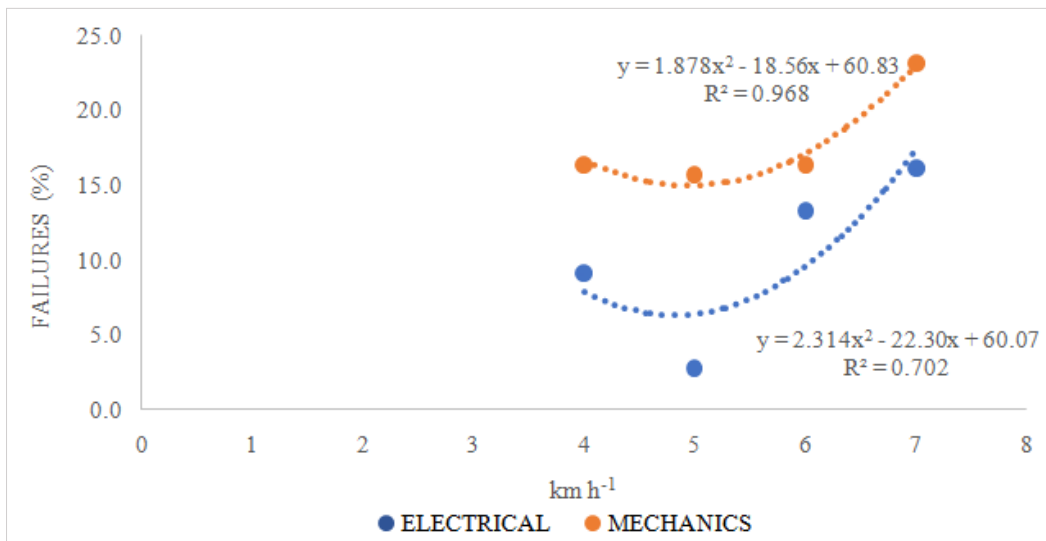


FIGURE 4. Evidence of the percentage of failures for the different speeds in the two treatments.

The evaluation of the number of pairs within each treatment did not differ statistically, and even showed no difference between the two treatments either. Even so, in Figure 5 it can be seen that, although there is no statistically significant difference, as the speed is increased, the tendency is for distancing with a greater number of pairs for the mechanical drive system.

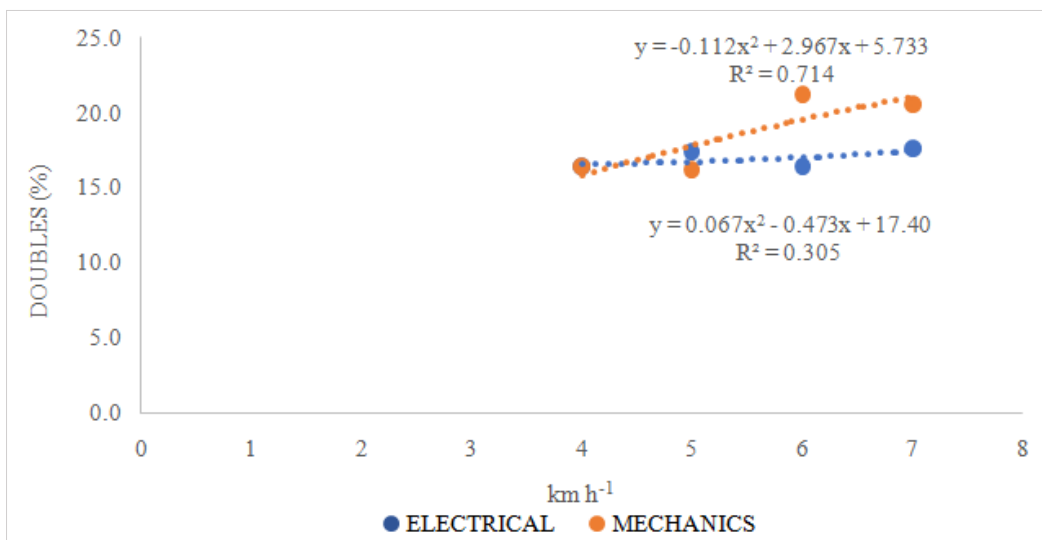


FIGURE 5. Evidence of the percentage of double plants for the different speeds in the two treatments.

Figure 6 shows the graph relating to the number of acceptable plants between the two treatments in the four analyzed variables and again the electric motor drive system showed better results in relation to the mechanical drive. For this variable, the

percentage was 13% in favor of the electric motor system, which did not differ statistically from the mechanical system only in the variable of 6 km h<sup>-1</sup>.

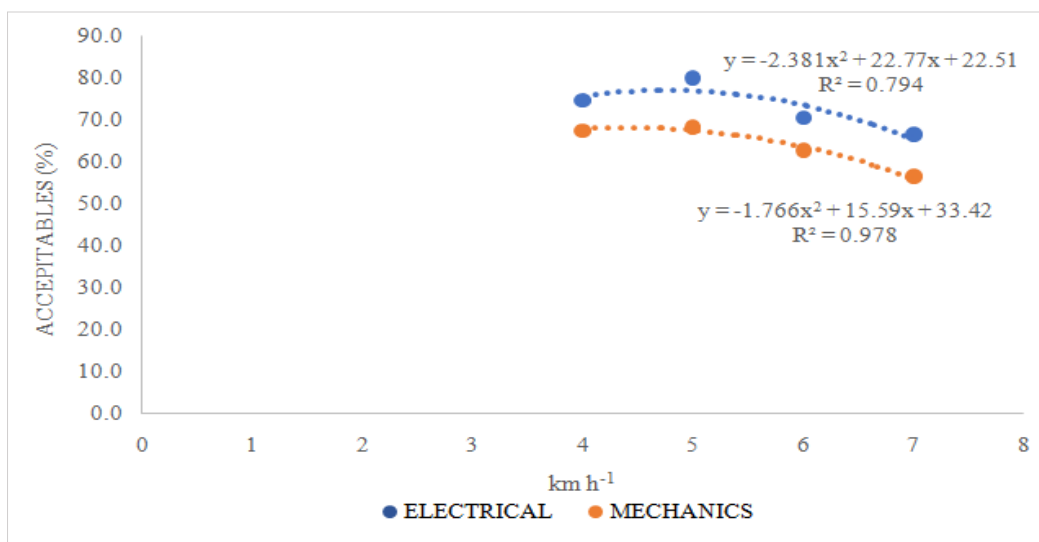


FIGURE 6. Evidence of the percentage of acceptable plants for the different speeds in the two treatments.

In Table 02 presents the statistical analysis data for the C.C.C and S.C.C treatments for the internal (L.I), central (L.C) and external (L.E) lines.

TABLE 2. Result of the statistical analysis to evaluate the effect of the curve compensation functionality activated in different lines of the seeder on the productivity of the soybean crop.

PLANT POPULATION (10m)					
Functionality*	CV% (statistics)	Average Plants- 10m	L.I	L.C	L.E
C.C.C	2,0%	117,6 a	117,7 aA	117,3 aA	117,7 aA
S.C.C		114,6 b	121,7 aA	116,7 aB	105,3 bC
PRODUTIVIDADE (kg ha <sup>-1</sup> )					
Functionality*	CV% (Statistics)	Average kg ha <sup>-1</sup>	L.I**	L.C**	L.E**
C.C.C	2,4%	1642 a	1635 aA	1643 aA	1648 aA
S.C.C		1424 b	1333 bB	1405 bB	1535 bA

\*C.C.C- With Curve Compensation; S.C.C- No curve compensation. \*\*L.I- Internal Lines; L.C-Central Line; L.E-External Lines. Means followed by the same lowercase letters in the columns or uppercase in the rows do not differ by Tukey's test at 5%.

According to the evidence above, the plant population is stable in the C.C.C treatment, that is, 117.6 plants in 10 linear meters. On the other hand, in the S.C.C treatment, the population in 10 linear meters in the L.I was 121.7, in the L.C from 116.7 to 105.3 in the L.E. Regarding the L.C, it meant a population variation 4.3% higher in the L.I and 9.8% lower in the L.E, totaling a variation of 14.1% between one end and the other of the seeder in the same operating condition.

The seeder operating with the C.C.C technological resource differs significantly from the productivity of the same seeder operating without this feature enabled. In average productivity, within the same pass of the seeder in a curved line, for the S.C.C operation there was a decrease of 202 kg ha<sup>-1</sup> in the productivity between L.I and L.E.

This behavior was repeated for all the variables compared between treatments, that is, in L.I there was a reduction of 302 kg ha<sup>-1</sup>, in L.C a reduction of 238 kg ha<sup>-1</sup> and in L.E a reduction of 113 kg ha<sup>-1</sup>. Within the same treatment, no significant differences were recorded, except for the L.E variable of the S.C.C treatment, which differed from the other variables within this same treatment.

Note that the productivity is associated in an inverse proportion to the plant population, that is, in the experiment condition, the larger the population, the smaller the productivity evidenced.

In Figure 7, it is possible to visualize the significant variation of the population with the S.C.C feature disabled. On the other hand, when the C.C.C resource was enabled (FIGURE 8) there is productivity stability among the various planting lines of the seeder, having a direct impact on the harvest results.

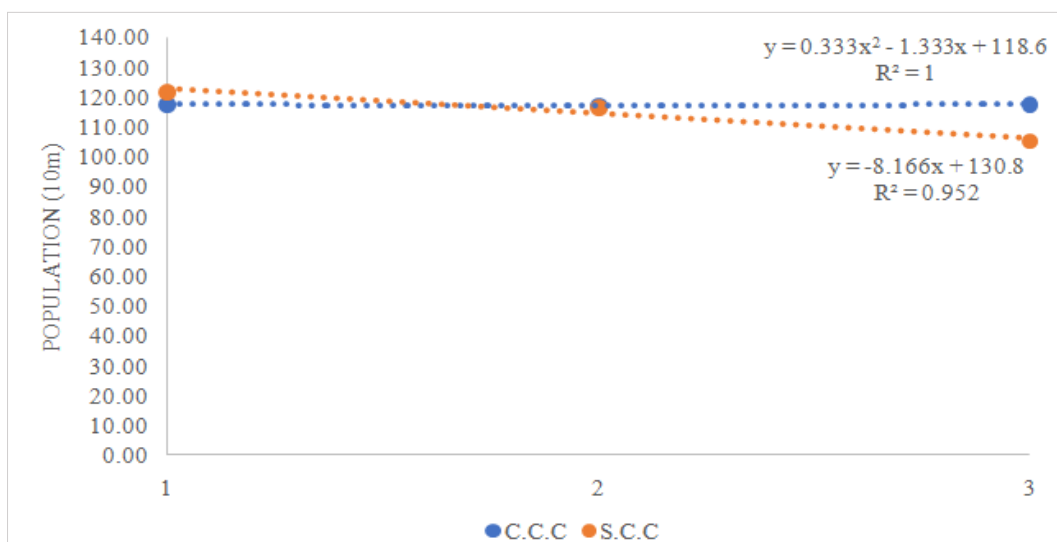


FIGURA 7. Population difference between the inner (L.I), center (L.C) and outer (L.E) lines with the curve compensation function activated (C.C.C) compared to the function deactivated, that is, without curve compensation (S.C.C).

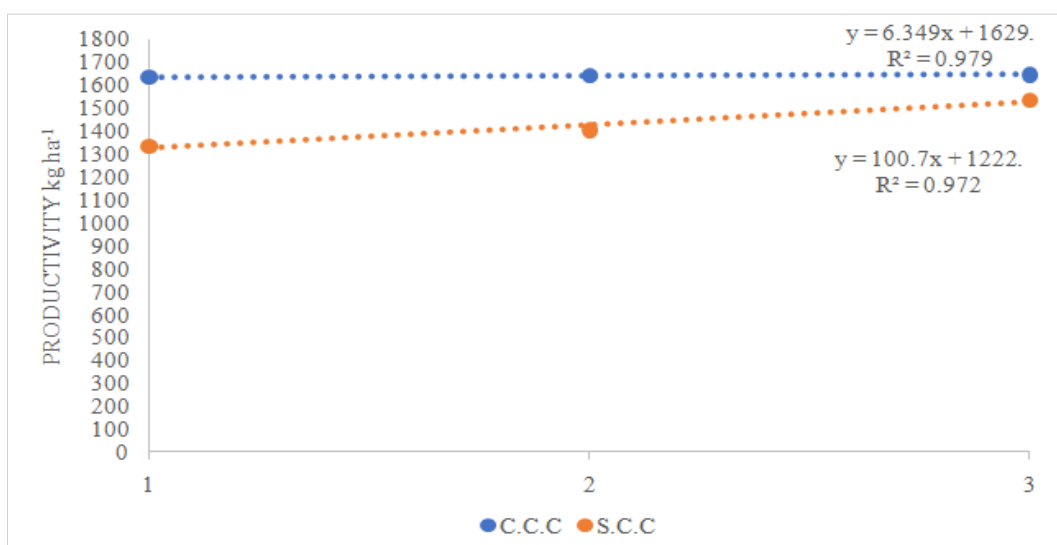


FIGURA 8. Difference in productivity between the inner (L.I), central (L.C) and outer (L.E) lines with the curve compensation function activated (C.C.C) compared to the function deactivated, that is, without curve compensation (S.C.C).

When evaluating the variables analyzed, it can be seen that at certain points in the crop losses occur, on average, around  $276.5 \text{ kg ha}^{-1}$  or, if converted into “species”, based on the current price (R\$ 180.00) for soy, the numbers are around R\$ 829.50 per hectare.

In the context of Precision Agriculture, efficient systems with resources for digitalization, such as the automation of the seeder through electric motors, present

significant gains in productivity and elimination of variables that limit the productive ceiling of crops. In this research, only some functions available in these systems were evaluated, other resources must be evaluated as well.

#### 4. CONCLUSION

The result of the research demonstrated a positive effect of the transmission system by electric motors in relation to the mechanical transmission system. The increase in technology improved the efficiency of the seeder, provided solutions that added Precision Agriculture resources, brought benefits such as the reduction of the CV% of the plant population, reduction in the number of failures, increase of plants within the acceptable distribution, population uniformity in curved conditions and, consequently, increased productivity.

#### 5. REFERENCES

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Semeadora de precisão**: ensaio de laboratório/método de ensaio, projeto de norma 04:015.06-004/1995. São Paulo: ABNT, 1996. 21p.

BIULCHI, P. V. **Máquinas e mecanização agrícola**. Educacional S.A., Londrina, 2016. 236p. ISBN 978-85-8482-675-9.

CASÃO JUNIOR, R.; JOHANN, A. L.; DELALIBERA, H.C.; LADEIRA, A. de S.; SILVA, A. L. da; **AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE SEMEADURA DE SOJA NO PARANÁ E MATO GROSSO DO SUL DO BRASIL**. IAPAR, 2019. Disponível em: <[http://www.agrisus.org.br/arquivos/artigo\\_Casao.pdf](http://www.agrisus.org.br/arquivos/artigo_Casao.pdf)> Acesso em: 26 jul. 2020.

CHMALZ, C. R. **VERIFICAÇÃO DE TIPOS DE DOSADORES DE SEMENTES DE MILHO E SOJA NO NORTE DO PARANÁ**. 2014. 28p. Dissertação (Mestrado em Agricultura de Precisão) – Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. Disponível em: <<https://repositorio.ufsm.br/handle/1/4823>>. Acesso em: 18 jun. 2019.



DESBESSELL, D. M.; et al. **A precisão na Distribuição plantas interfere no rendimento da soja?**. Informativo Técnico. Agrofarm, v2, n2, p.1-3. Cerejeiras, 2018.

DORSEY, N. **How To Avoid Yield Loss Using Curve Compensation**. 2017. PrecisionAg. Disponível em: <<https://www.globalagtechinitiative.com/market-watch/how-to-avoid-yield-loss-using-curve-compensation/>>. Acesso em: 19 jan. 2023.

PICHINIM, N. R. M. A. **Qualidade de distribuição longitudinal de plantas de milho e sua produtividade**: um estudo de caso. 2012. 33p. Trabalho (Conclusão de Graduação). – Curso Tecnologia em Mecanização em Agricultura de Precisão, Faculdade de Tecnologia de Pompéia. Disponível em: <<https://repositorio.ufsm.br/handle/1/3611?show=full>>. Acesso em: 18 jun. 2019.

### 3 ARTIGO II

## TAXA VARIÁVEL DE SEMENTES DE SOJA COMO ESTRATÉGIA PARA AUMENTO DE PRODUTIVIDADE EM AMBIENTES DE AGRICULTURA DE PRECISÃO

AIRTON POLON<sup>1</sup>; TELMO JORGE CARNEIRO AMADO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tecnólogo em Agronegócios, Mestrando em Agricultura de Precisão pela UFSM, Santa Maria – RS, Fone: (054)99658-3832, airton.polon@acad.ufsm.br

<sup>2</sup>Dr. Ciência do Solo, Professor Titular do Programa de Pós-Graduação em Agricultura Precisão na UFSM, Santa Maria - RS.

**RESUMO:** A aplicação de sementes em taxa variável, além de pôr em prática os preceitos de Agricultura de Precisão, isto é, intervenção localizada levando em consideração a variabilidade espacial e temporal, respeita as limitações e as potencialidades presentes nos diferentes pontos do talhão, assumindo que o mesmo não é homogêneo. A pesquisa foi desenvolvida em dois talhões distintos e com duas cultivares de soja na safra 2020/2021, TMG 7062 e BMX ZEUS, variando cinco populações através de motores elétricos para cada cultivar após a definição de dois ambientes de manejo denominados ZA (Alto Potencial Produtivo) e ZB (Baixo Potencial Produtivo), objetivando demonstrar resultados de produtividade para as diferentes prescrições e ambientes. Os resultados evidenciaram ganhos de produtividade em ambas as cultivares para os ambientes ZA em relação aos ambientes ZB, demonstrando também que a correta definição destes ambientes de manejo é fundamental para o posicionamento adequado das taxas a serem prescritas. Dentro dos próprios ambientes houve diferença de produtividade para as diferentes taxas prescritas, sendo que para os ambientes ZB a produtividade correspondeu positivamente aos incrementos de taxas, enquanto nos ambientes ZA a correlação foi negativa, exceto para a cultivar BMX ZEUS que atingiu o teto de produtividade na taxa prescrita com 300 mil sementes ha<sup>-1</sup> e população final de 256 mil plantas ha<sup>-1</sup>. Todas as componentes relacionadas diretamente com a produtividade se diferenciaram

estatisticamente em favor do ambiente ZA, além de possuírem forte correlação entre si. Conclui-se que a adoção da taxa variável de sementes é uma excelente ferramenta de manejo localizado para auxiliar na busca de altos índices de produtividade, sendo que para as condições da pesquisa, o ajuste adequado de população poderia trazer um retorno financeiro médio de R\$ 349,00. Poderia ser maior, pois as maiores taxas prescritas e testadas nos ambientes ZB não atingiram as máximas produtividades, assim como as mínimas taxas prescritas nos ambientes ZA, exceto para a cultivar BMX ZEUS. Além disso, o melhor ajuste de população para ZA e ZB, de acordo com a definição de cada ambiente, pode “manipular” as componentes de forma positiva na busca dos melhores índices de produtividade.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ambientes, Motores Elétricos, Produtividade, Taxa Variável.

### **SOYBEAN SEED VARIABLE RATE AS A STRATEGY TO INCREASE PRODUCTIVITY IN PRECISION AGRICULTURE ENVIRONMENTS**

**ABSTRACT:** The application of seeds at a variable rate, in addition to putting into practice the precepts of Precision Agriculture, that is, localized intervention taking into account spatial and temporal variability, respects the limitations and potentialities present in the different points of the plot, assuming that the even it is not homogeneous. The research was carried out in two different plots and with two soybean cultivars in the 2020/2021 season, TMG 7062 and BMX ZEUS, varying five populations using electric motors for each cultivar after defining two management environments called ZA (High Productive Potential) and ZB (Low Productive Potential), aiming to demonstrate productivity results for different prescriptions and environments. The results showed productivity gains in both cultivars for the ZA environments in relation to the ZB environments, also demonstrating that the correct definition of these management environments is fundamental for the adequate positioning of the rates to be prescribed. Within the environments themselves, there was a difference in productivity for the different prescribed rates, and for the ZB environments the productivity corresponded positively to the rate increments, while in the ZA environments the correlation was negative, except for the cultivar BMX ZEUS that reached the productivity ceiling at the prescribed rate with 300 thousand seeds ha<sup>-1</sup>

and final population of 256 thousand plants ha<sup>-1</sup>. All components directly related to productivity differed statistically in favor of the ZA environment, in addition to having a strong correlation with each other. It is concluded that the adoption of the variable seed rate is an excellent localized management tool to help in the search for high productivity rates, and for the research conditions, the adequate population adjustment could bring an average financial return of R\$ 349.00, which could be higher, as the highest rates prescribed and tested in the ZB environments did not reach the maximum productivity, as well as the minimum rates prescribed in the ZA environments, except for the cultivar BMX ZEUS. In addition, the best population adjustment for ZA and ZB, according to the definition of each environment, can “manipulate” the components in a positive way in the search for the best productivity indices.

**KEYWORDS:** Environments, Electric Motors, Productivity, Variable Rate.

## 1. INTRODUÇÃO

Com o avanço da tecnologia e da pesquisa, atualmente está mais acessível à adoção de procedimentos e protocolos que vão de encontro a necessidade do aumento da produtividade de grãos, bem como melhorar a gestão do negócio agrícola com foco na maximização dos resultados e na oportunidade para a redução de custos de produção. Neste sentido, a qualidade e a adoção de estratégias no processo de semeadura é um fator a cada dia mais debatido e fundamental. Recursos capazes de aumentar a eficiência das semeadoras no campo, além de possibilitar a variação da dosagem dos insumos aplicados são fatores fundamentais e indispensáveis quando se pensa no aumento da produtividade e o foco no retorno econômico ao final do ciclo da cultura (POLON; AMADO, 2022).

Em ambientes de Agricultura de Precisão as informações, após levantamentos georreferenciados de atributos associados à variabilidade espacial e temporal (AMADO et al., 2007), são processadas, correlacionadas e podem ser transformadas em arquivos de prescrição para taxas variadas de diversos insumos, inclusive populações de sementes para os diversos cultivos. A taxa variável de sementes é uma estratégia que apresenta resultados positivos quando aplicada de maneira estruturada, com embasamento e apoiada no conhecimento agrônomo e tecnológico para determinar as melhores cultivares aliada a prescrição mais apropriada para cada

região/ambiente, de acordo com os objetivos pretendidos ao final do ciclo (CORASSA et al., 2018), pensando na saúde do solo e na resposta econômica, isto é, precisa ser sustentável.

Visando as melhores práticas de Agricultura de Precisão onde se busca extrair produtividades maiores e redução nos custos com eficiência no uso dos recursos disponíveis, sempre visando a sustentabilidade do sistema produtivo, buscou-se avaliar o impacto da aplicação da taxa variável na cultura da soja com o objetivo principal de comparar os índices de produtividade e, de forma complementar, o comportamento das componentes de produtividade em cada tratamento, buscando entender o comportamento da cultura nos diferentes ambientes e os potenciais a serem explorados.

Estratégias de avaliação *on-farm* se apresentam como alternativas muito interessantes para testar e avaliar diferentes propostas dentro da propriedade, buscando o máximo de eficiência nas condições intrínsecas de cada ambiente (SPERANZA et al., 2022; PIRES et al., 2022), englobando o manejo praticado, nível de tecnologia adotado e as expectativas de médio e longo prazo (HÖRBE et al., 2013), mas que sofrem interferências que englobam condições ambientais e o próprio microclima onde o talhão está localizado.

Para efetuar este processo e aplicar este conceito na prática, são necessárias diversas ferramentas para operacionalizar a dosagem destes insumos no campo, dentre elas uma semeadora com um sistema de acionamento dos dosadores de sementes e fertilizantes capaz de variar a dosagem com o equipamento em deslocamento através de um sistema eletrônico que recebe informações em tempo real para aplicação localizada de acordo com a prescrição georreferenciada previamente (SARAIVA et al., 2000; MOLIN et al., 2018).

Além de conhecimento é necessário equipamentos altamente eficientes e capazes de atender as necessidades da Agricultura de Precisão, dentre elas, taxa variável e desligamento de seções/linhas, por exemplo (FULTON, et al., 2011). Neste sentido, a semeadora tem por objetivo distribuir uma quantidade de sementes pré-determinada de maneira precisa e uniforme de forma que a população final chegue no padrão desejado (BIULCHI, 2016).

O comportamento e as condições fisiológicas das plantas em campo são considerados como indicadores de condições apresentadas relativas ao ambiente e as condições de manejo (SANTI et al.,2014).

Através do sensoriamento remoto é possível acessar dados periódicos das culturas de maneira relativamente rápida e eficiente, sendo possível a identificação da variabilidade espacial e temporal dentro de uma ou mais áreas de cultivo (SCHEPERS, 2001).

Os índices de NDVI medem as condições vegetativas da cultura e se tornam uma ferramenta importante para análise a compressão de ambientes. Segundo Salvador; Antuniassi (2011), a classificação de imagens multiespectrais através do NDVI pode auxiliar na definição das “zonas de manejo” para a intervenção localizada na cultura do algodão. As imagens de NDVI proporcionam informações importantes ao delineamento de “zonas de manejo”, pois apresentam correlação significativa na estimativa da produtividade das culturas (ARAÚJO; VETTORAZZI; MOLIN, 2005).

O mapeamento da condutividade elétrica aparente (CEa) se apresenta como uma estratégia interessante e confiável que possibilita a identificação dos distintos ambientes, pois as respostas para as diferentes leituras indicam que esta ferramenta pode ser utilizada na obtenção de dados para a caracterização física dos solos e como uma solução de baixo custo (MOLIN; RABELLO, 2011).

Essas informações são determinantes para confrontar os resultados obtidos no campo e os dados gerados nas interpolações por meio de *softwares* utilizados em Agricultura de Precisão, validando as informações e contribuindo para ajustes que devem ser significativos ao final da pesquisa.

Como a recomendação de população pelos obtentores das cultivares é única para uma média aplicada na totalidade do talhão, a variação de população em diferentes pontos (heterogeneidade) possui comportamento, da mesma forma diferente e, portanto, espera-se resultados distintos (CORASSA, 2015).

A pesquisa objetivou relacionar diferentes populações de duas cultivares de soja em dois locais distintos com o rendimento de grãos e as componentes de produtividade após a definição de dois ambientes de manejo.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na região norte do Rio Grande do Sul, no município de Getúlio Vargas/RS, em dois talhões distintos e duas cultivares de soja (*Glycine max* L.) na safra 2020/2021, sendo a primeira área denominada “Eucalipto” com 5,3 hectares nas coordenadas 27°48’41”S; 52°14’01”W e 650 metros de altitude média. A segunda área denominada “Castilho” possui 4,8 hectares e está localizada às coordenadas 27°50’57”S; 52°13’50”W com elevação média de 780 metros.

Ambas as áreas possuem histórico de semeadura com as culturas de soja ou milho no período do verão e trigo ou aveia no período do inverno sob o sistema de Plantio Direto na palha sendo praticado ao longo dos últimos 20 anos. O solo da região é classificado como Latossolo Vermelho (SANTOS et al., 2018) e o clima predominante da região é o Cfa, temperado úmido com verões quentes segundo a classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013).

Dentre os critérios para o desenvolvimento dos trabalhos foram definidos dois ambientes de produção, tratados na presente pesquisa como Zonas de Baixo Potencial de Produtividade (ZB) e Zonas de Alto Potencial de Produtividade (ZA). Para a determinação destes dois ambientes foram usadas diversas informações, incluindo dados de CEa (ALVES et al., 2013), mapas de *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), análise de amostras de solo georreferenciadas, além de informações, não menos importantes, relativas ao conhecimento empírico do proprietário das áreas.

Os dados de CEa ( $\text{mS m}^{-1}$ ) com profundidade de até 30 cm foram obtidos pelo equipamento Terram, sendo que, valores maiores foram associados à ZA e valores menores a ZB. Na mesma operação também foram gerados os mapas de elevação, considerados nas análises (UHRY, 2013; MELO et al., 2017), que na região varia significativamente em curtas distâncias devido a topografia acidentada.

Os mapas de NDVI foram confeccionados através de imagens gratuitas obtidas da plataforma *Earth Explorer* das últimas três culturas (soja) e processadas em *softwares* livres. As informações das amostras de solo e os mapas finais com a definição dos ambientes ZA e ambientes ZB foram processadas e definidas pelo software CR CAMPEIRO. Os mapas com diversas camadas foram interpolados no processamento dos dados para auxílio na definição dos ambientes ZA e ZB. Essa é uma prática comum na Agricultura de Precisão e servem para a definição de inúmeras estratégias de intervenções localizadas dentro de cada talhão (GIOTTO et al., 2013).

Com a determinação dos ambientes ZA e ZB em cada uma das áreas e a definição das cultivares a serem utilizadas, associadas às populações recomendadas, definiu-se 5 taxas de semeadura objetivando avaliar os dados de produtividade das cultivares nos diferentes ambientes por meio do comportamento das diferentes componentes de produtividade, além de obter dados para justificar o uso de taxa variável em ambientes de Agricultura de Precisão.

Os mapas finais processados para as duas cultivares/áreas e com os dois ambientes de características distintas, classificados como ZA e ZB, além da disposição das parcelas nas áreas da pesquisa são apresentados na Figura 1. Sendo assim, foram alocadas 30 parcelas de 50 metros de comprimento por 3,5 metros de largura divididos em dois blocos com três repetições em cada bloco, compreendendo 50% no ambiente ZA e 50% no ambiente ZB, objetivando a avaliação de produtividade com a mesma prescrição de população para os diferentes ambientes.

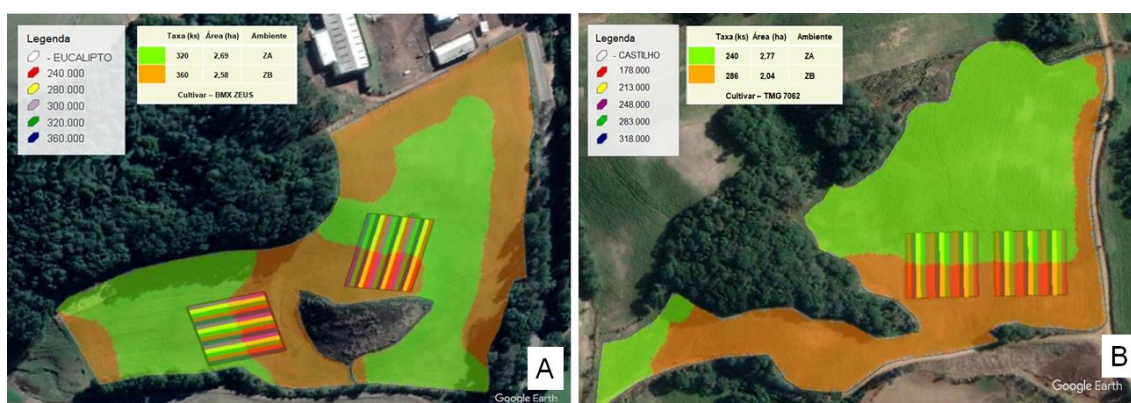


FIGURA 1. Mapas das áreas de cultivo nomeadas como “Eucalipto” (A) e “Castilho” (B) com a definição das zonas de manejo, a localização e a posição das parcelas alocadas em cada talhão, além da prescrição para a totalidade das áreas semeadas em taxa variável.

Na área “Eucalipto” (FIGURA 1A) foi implantado o experimento no dia 04 de novembro de 2020 com a semeadura da cultivar BMX ZEUS com características de crescimento indeterminado, grupo de maturação 5.5, exigência de alta fertilidade e com as tecnologias Intacta RR2 PRO®. A recomendação de semeadura para a região (103), de acordo com o obtentor da cultivar, seria ideal compreendendo a segunda quinzena de outubro e o mês de novembro, sendo que a população final recomendada poderia variar de 280 a 330 mil plantas ha<sup>-1</sup>. Foram empregadas cinco taxas de semeadura, sendo 240, 280, 300, 320 e 360 mil sementes ha<sup>-1</sup>.



Na área “Castilho” (FIGURA 1B) foi implantado o experimento no dia 06 de novembro de 2020 com a semeadura da cultivar TMG 7062, de características de crescimento semideterminado, grupo de maturação 6.2, exigência de fertilidade média-alta e com as tecnologias Inox<sup>®</sup> mais Intacta RR2 PRO<sup>®</sup>. A recomendação de semeadura para a região (103), de acordo com o obtentor da cultivar, seria ideal compreendendo os meses de outubro e novembro e respeitando a população final de 238 mil plantas ha<sup>-1</sup>. As cinco taxas de semeadura prescritas foram 178, 213, 248, 283 e 318 mil sementes ha<sup>-1</sup>.

A semeadora usada para a implantação dos experimentos foi da marca Semeato<sup>®</sup>, modelo SHM 15/17, ano 2007 com 8 linhas espaçadas a 0,42 metros, equipadas por 8 motores elétricos ROJ TECHNOLOGY, modelo DMD2 (12V) com torque nominal de 4,5Nm para acionamento dos dosadores de semente, isto é, um motor por linha de semeadura (FIGURA 2). Estes motores são constituídos por um bloco de alumínio onde são integrados, o motor elétrico com tecnologia *brushless* (sem escova), uma redução axial e uma placa eletrônica responsável pelo processamento/gerenciamento das funções do motor e da linha de semeadura, como o monitoramento de semeadura e as estatísticas de sementes, por exemplo. Os dosadores de semente, do tipo disco horizontal originais de fábrica, configurados com 90 furos de 9mm e anel com rebaixe de 1mm conferidos e certificados para o diâmetro das sementes usadas na semeadura das áreas envolvidas na pesquisa. Os dosadores de fertilizante da marca FertiSystem também foram acionados por dois motores elétricos (duas seções de quatro linhas), modelo DMD0 (12V) com torque nominal de 8,75Nm, com operação em dosagem fixa para as condições dos experimentos e mantendo a velocidade de operação constante em 5 km h<sup>-1</sup>.



FIGURA 2. Semeadora Semeato®, modelo SHM 15/17, equipada com motores elétricos linha a linha e usada na semeadura dos experimentos.

A controladora (ECU) usada possui tecnologia ISOBUS (ISO 11783), modelo CM 20, marca Topcon, assim como o display e o receptor GNSS, modelos X25 e AGI-4, respectivamente. Foi empregada a correção de sinal comercialmente disponibilizada para o mercado como TOPnet. Esta opção possibilita a localização precisa do equipamento no campo, com erro aproximado de  $\cong 3\text{cm}$ , requisito necessário para o desligamento automático de linhas e para a operação com piloto automático elétrico também instalado no trator, sendo este também da marca Topcon.

O trator usado para tracionamento da semeadora foi da marca Massey Ferguson®, modelo 292 Advanced turbo aspirado, ano 2004 com 105 cavalos de potência nominal e 4x2 TDA (Tração Dianteira Assistida) e equipado com cabine da marca Implemaster, modelo Signia. O sistema elétrico básico do trator, composto por um alternador de 55A e uma bateria de 90A com CCA de 750A, também serviu de fonte de alimentação para suprir a necessidade energética dos motores elétricos instalados na semeadora.

O índice de área foliar foi medido por meio do equipamento LI-COR, modelo LAI-2200, sendo feita em dois momentos, 31 de dezembro de 2020 (R1) e 23 de janeiro de 2021 (R3).

Para a avaliação da produtividade, colheu-se o total de cada parcela correspondente a cada ambiente, o que representou 87,5 m<sup>2</sup>. A colheita de cada parcela ocorreu de forma mecanizada através de uma colhedora automotriz e para a avaliação das componentes de rendimento: Altura de Planta em centímetros (AP); Número de Nós (NN); Número de Galhos (NGH); Número de Vagens (NV); Número de Grãos (NG);

Número de Grãos por Vagem (NGV); Peso de Mil Grãos em gramas (PMG); Peso por Planta em gramas (PP) e; Índice de Área Foliar (IAF) foram coletadas amostras de três plantas por parcela, sendo 18 plantas para cada variável (taxa) com 90 amostras em cada ambiente (ZA e ZB), totalizando 180 amostras para cada cultivar. Para a medição das plantas foi usada uma fita métrica e para a pesagem dos grãos foi usada uma balança digital com escala em gramas. As contagens foram feitas manualmente. Os tratos culturais e todos os manejos foram realizados seguindo as estratégias adotadas pelo produtor e aplicados de forma padrão em área total, sendo assim, igual para todos os tratamentos instalados na pesquisa. O processamento dos dados obtidos a campo, em um primeiro momento, foi realizado em planilha eletrônica Microsoft Excel, as análises estatísticas e os testes de correlação foram rodados por softwares estatísticos gratuitos.

### 3. RESULTADOS

Após 150 e 156 dias, a colheita ocorreu no dia 03 de abril e 09 de abril de 2021 para as cultivares BMX ZEUS e TMG 7062, respectivamente. A colheita do experimento com a cultivar BMX ZEUS atrasou alguns dias por falta de recursos de mão de obra para auxiliar na operação de colheita, devido às restrições geradas pela pandemia de COVID 19, infelizmente.

Na Tabela 1 são apresentadas as recomendações de prescrição e os dados obtidos a campo após as avaliações realizadas através da contagem de três amostragem por ambiente em cada bloco em uma distância de 10 metros lineares.

TABELA 1. Prescrição da densidade de semeadura (Ds) e densidade de plantas (Dp) final das cultivares TMG 7062 e BMX ZEUS em estudo.

TMG 7062				BMX ZEUS			
Recomendação (X1000)	Ds (x1000)	Dp (x1000)	sem/m <sup>-1</sup>	Recomendação (X1000)	Ds (x1000)	Dp (x1000)	sem/m <sup>-1</sup>
238	178	158	6.7	280 - 330	240	211	8.9
	213	196	8.2		280	247	10.4
	248	230	9.7		300	256	10.7
	283	242	10.2		320	275	11.5
	318	282	11.9		360	298	12.5

Foram observadas reduções do estande final de plantas em relação a população prescrita que variaram 7 a 14% na cultivar TMG 7062 e de 12 a 17% na cultivar BMX

ZEUS, valores semelhantes aos encontrados por Uhry (2013) e inferiores aos relatados por Silva (2020). O principal fator para esta redução foi a qualidade da semente que, apesar de apresentar nas especificações um bom poder de germinação, na prática não se confirmou. As condições de campo foram adequadas e propícias para a boa germinação e emergência das plântulas, bem como para o estabelecimento da cultura em todo o seu ciclo de desenvolvimento com índice pluviométrico excelente (FIGURA 3). Esta constatação só reforça a importância da aquisição de sementes de boa qualidade e com procedência, fatores determinantes para a segurança da prescrição da taxa de semeadura e garantia de uma população final adequada aos anseios de cada ambiente produtivo.

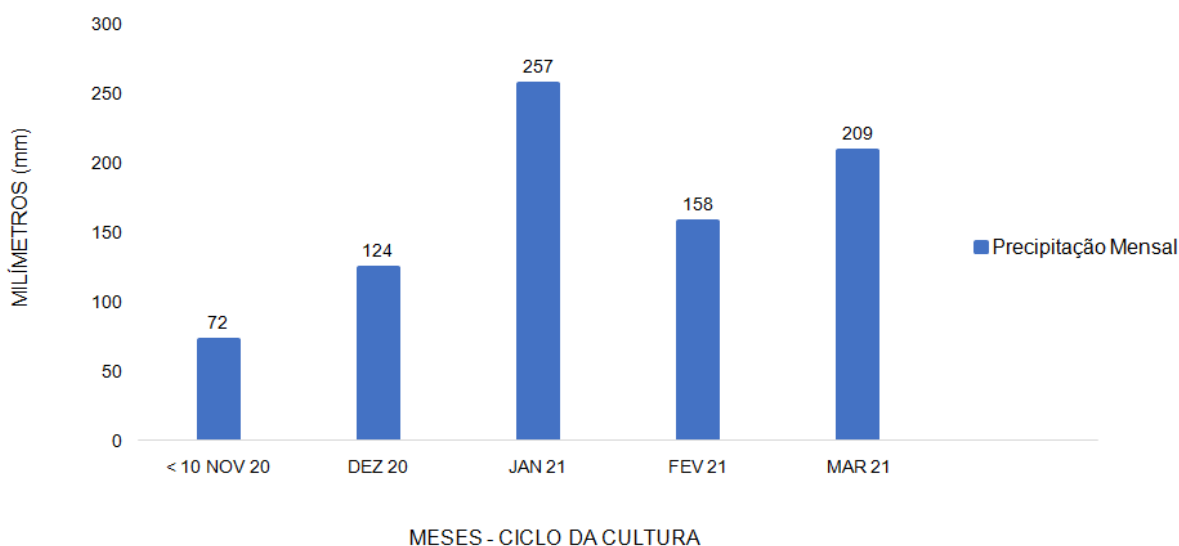


FIGURA 3. Registro do índice pluviométrico mensal, de novembro de 2020 a março de 2021, para as áreas da pesquisa durante o ciclo da cultura.

As informações pluviométricas apresentam um volume muito bom de chuvas durante todo o ciclo da cultura, com uma excelente distribuição semanalmente somando 820 mm acumulados do plantio a colheita, proporcionando produtividade acima da média histórica para a região e estado, conseqüentemente. De acordo com Carvalho et al (2013) o volume ideal para a cultura da soja seria entre 450 e 800 mm de água durante o ciclo da cultura.

Estatisticamente (TABELA 2), na cultivar TMG 7062, se evidenciou diferença na produtividade média de 520 kg ha<sup>-1</sup> quando comparados os ambientes ZB e ZA, bem como para as diferentes prescrições de taxas de semeadura e, conseqüentemente,

de população final de plantas por hectare. Foi evidenciada redução de produtividade na ordem de 179 kg ha<sup>-1</sup> quando comparada a maior e a menor prescrição no ambiente ZB, enquanto no ambiente ZA, houve um incremento de produtividade na ordem de 129 kg ha<sup>-1</sup> no sentido inverso, isto é, menores populações registraram maiores produtividades. A tendência é que a discrepância pudesse ser ainda maior com variações de taxa superiores e, também, inferiores, pois não foram atingidas as mínimas e máximas produtividades para as prescrições testadas nesta cultivar. Sendo assim, nas condições do experimento, entre o maior resultado produtivo, ou seja, menor população de plantas em ZA e maior população de plantas em ZB houve uma diferença de populações que chegou a 124 mil plantas ha<sup>-1</sup>. Calcula-se (não linear) incrementos de produtividade de 1,04 kg para cada 1000 plantas reduzidas no ambiente ZA, enquanto no ambiente ZB houve aumento de 1,44 kg ha<sup>-1</sup> para cada 1000 plantas a mais estabelecidas.

TABELA 2. Resultado da análise estatística para avaliar o efeito de cinco densidades de plantas diferentes em dois ambientes de manejo, Zonas de Baixa Fertilidade (ZB) e Zonas de Alta Fertilidade (ZA) para a cultivar TMG 7062 na safra 20/21.

AMBIENTE	Média	DENSIDADE DE PLANTAS ha <sup>-1</sup> (x 1000)				
		158	196	230	242	282
<b>PRODUTIVIDADE (kg ha<sup>-1</sup>)</b>						
ZB	3915 b	3829 bA	3839 bA	3938 bA	3958 bA	4008 bA
ZA	4435 a	4504 aA	4444 aA	4435 aA	4415 aA	4375 aA
<b>ALTURA (cm)</b>						
ZB	120 b	114 bA	117 bA	124 bA	122 bA	121 bA
ZA	132 a	128 aA	131 aA	135 aA	131 aA	134 aA
<b>NÚMERO DE NÓS</b>						
ZB	22,4 a	29,3 aA	24,3 aAB	20,3 aAB	19,0 aB	19,0 aB
ZA	23,0 a	33,2 aA	25,3 aAB	19,5 aB	19,0 aB	17,9 aB
<b>NÚMERO DE GALHOS</b>						
ZB	2,4 a	3,1 aA	2,8 aA	2,2 aA	1,7 aA	2,1 aA
ZA	1,8 a	2,8 aA	2,2 aA	1,1 bA	1,4 aA	1,7 aA
<b>NÚMERO DE VAGENS</b>						
ZB	54,9 b	69,2 aA	55,7 aAB	53,9 aAB	48,0 aB	47,6 aB
ZA	61,4 a	82,1 aA	65,4 aAB	57,7 aB	50,9 aB	50,9 aB
<b>NÚMERO DE GRÃOS</b>						
ZB	121,8 b	150,2 bA	121,6 bAB	120,6 aAB	109,1 aB	107,4 aB
ZA	138,0 a	188,2 aA	152,4 aAB	129,8 aBC	112,2 aC	107,3 aC
<b>NÚMERO DE GRÃOS POR VAGEM</b>						
ZB	2,2 a	2,2 bA	2,2 bA	2,3 aA	2,03 aA	2,3 aA
ZA	2,3 a	2,3 aA	2,3 aA	2,3 aAB	2,2 aAB	2,1 bB
<b>PMG (g)</b>						
ZB	178,8 b	175,1 bA	176,6 bA	179,1 bA	180,9 bA	182,2 bA
ZA	199,7 a	204,7 aA	202,1 aA	198,8 aA	197,7 aA	195,3 aA
<b>PESO POR PLANTA (g)</b>						
ZB	21,8 b	26,4 bA	21,5 bA	21,8 aA	19,7 aA	19,5 aA

ZA	27,7 a	38,5 aA	30,8 aAB	25,8 aBC	22,2 aC	20,9 aC
			IAF (m <sup>2</sup> )			
ZB	5,3 b	5,4 bA	5,3 bA	5,2 bA	5,4 bA	5,3 bA
ZA	7,5 a	7,6 aA	7,5 aA	7,3 aA	7,6 aA	7,3 aA

Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas ou maiúsculas nas linhas não se diferem pelo teste de Tukey a 0,05.

Pode-se perceber que a densidade de população interfere na altura das plantas levando a uma tendência de alturas mais elevadas para populações maiores, isso porque há disputa por espaço e luz, basicamente, estimulando o aumento no porte das plantas. Este comportamento aparece para os dois ambientes, mas com maior relevância para o ambiente ZA, justamente pelas condições de maior disponibilidade de recursos, principalmente nutrientes e umidade (PESINI, 2019).

Uma observação constatada é que, à medida em que o porte das plantas aumentou, também aumentou a altura da inserção de vagens, isto é, o baixeiro sombreado ocasiona o abortamento dos legumes fazendo com que as primeiras vagens produtivas fiquem localizadas em distâncias mais elevadas em relação ao solo, novamente, intensificadas nas populações maiores e nos ambientes ZA. A análise do número de nós por planta remeteu ausência de diferença estatística para os dois ambientes, porém houve diferença dentro do mesmo ambiente, tanto em ZA quanto ZB. Além disso, nas populações de 230 e 282 mil plantas ha<sup>-1</sup> constatou-se maior número de nós produtivos para o ambiente ZB em relação ao ambiente ZA.

Para o número de galhos por planta, houve diferença estatística entre os ambientes somente na população final de 230 mil plantas por hectare. Além disso, essa foi a única variável em toda a pesquisa que se destacou positivamente para o ambiente ZB na média geral e para todas as prescrições, sendo que, o número de galhos médio por planta foi superior para todas as populações evidenciadas. Por outro lado, este fator não refletiu em diferença estatística significativa nas médias dos ambientes ZA e ZB.

O ambiente ZA apresentou 10,6% mais vagens quando comparado ao ambiente ZB. O número de vagens por planta superior em ZA representou diferença estatística significativa entre as médias, porém não entre as prescrições, apesar de haver diferença estatística dentro do próprio ambiente.

Seguindo a lógica, o número de grãos também foi superior em ZA, diferenciando-se estatisticamente, na média, entre os ambientes. Além disso, houve diferença entre ZA e ZB para as populações de 158 e 196 mil plantas ha<sup>-1</sup>, mais uma vez positivamente

para o ambiente ZA. Quando confrontados os dados relativos ao número de grãos por vagem, verificou-se diferença estatística entre as médias dos ambientes, que também se diferenciou estatisticamente entre as taxas prescritas, ao contrário de ZB que não apresentou diferença.

As evidências comprovam que os ambientes com maior potencial produtivo são os ZA, a massa de grãos seco foi 11,7% superior em relação ao ZB que apresentam limitações das mais variadas, restringindo o potencial produtivo da cultura. Os números deste, que é um dos principais, componentes de rendimento foram superiores para todas as prescrições em ZA que apresentou o maior número para a menor taxa testada. Assim como a maioria das outras variáveis, teve uma relação inversa, tendo o mesmo comportamento também em ZB que, quanto maior a taxa prescrita, menor o número de vagens por planta. Além disso, na população de 158 mil plantas  $\text{ha}^{-1}$ , taxa com o maior número de vagens nos dois ambientes de produção, ZB teve redução de 15,7% no número de vagens.

Um dos principais componentes da produtividade é o PMG (Peso Médio de 1000 Grãos) e a pesquisa concluiu que, no ambiente ZA, o PMG médio foi 10,5% superior ao ambiente ZB, desta forma, tornando o PMG diferente entre os ambientes e relacionando-se diretamente com a diferença percentual de produtividade. Esta constatação também ocorreu para as demais prescrições e com uma observação interessante, em ZB o PMG convergiu no mesmo sentido das prescrições, crescente simultaneamente. Por outro lado, em ZA, o direcionamento foi em lados opostos mais uma vez, prescrições maiores, e por consequência, populações de plantas maiores, resultaram em menor PMG. A população final que apresentou a maior discrepância de PMG, isto é, 158 mil plantas  $\text{ha}^{-1}$ , também culminou na redução do PMG no ambiente ZB em 14,5%.

O peso da massa de grãos de cada planta se mostrou favorável mais uma vez para ZA que, em todas as taxas prescritas e avaliadas, seguiu no sentido inverso. Neste caso, ZB também seguiu a tendência de ZA, ou seja, quanto menor a população maior o peso de cada planta avaliada em todos os casos. Sendo um componente de rendimento importante, o peso da massa de grãos de cada planta aliada ao estande final de plantas define os valores da produtividade de cada área/talhão.

O IAF também se diferiu favoravelmente para o ambiente ZA permitindo observar que índices maiores podem estar relacionados também com produtividades maiores. Altas

populações de plantas não garantem índices mais elevados de IAF e mais uma vez ZB ficou com valores menos expressivos que ZA para todas as prescrições de taxa. Na Tabela 3 é apresentada a estatística descritiva com o teste de normalidade calculado através da análise de Shapiro-Wilk aplicado às médias das amostras para verificar a distribuição normal dos dados e com isso definir o melhor teste comparativo de correlação entre as componentes avaliadas. Para os dados com diferença significativa  $<0,05$ , ou seja, que não possuem distribuição normal foi aplicado o teste de Spearman e para os dados não significativos (<sup>NS</sup>) foi rodado o teste de Pearson.

TABELA 3. Estatística descritiva com o teste de normalidade para definição do teste de correlação entre as variáveis avaliadas na pesquisa que envolveu a cultivar TMG 7062 onde: TAXA (Prescrição de sementes  $ha^{-1}$ ); PROD (Produtividade em  $kg ha^{-1}$ ); AP (Altura de Planta em centímetros); NN (Número de Nós); NGH (Número de Galhos); NV (Número de Vagens); NG (Número de Grãos); NGV (Número de Grãos por Vagem); PMG (Peso de Mil Grãos em gramas); PP (Peso por Planta em gramas); IAF (Índice de Área Foliar  $m^2$ ); AMB (Ambiente); ZA (Zona de Alto potencial produtivo); ZB (Zona de Baixo potencial produtivo); CV% (Coeficiente de Variação).

	AMB	TAXA	PROD	AP	NN	NGH	NV	NG	NGV	PMG	PP	IAF
N	ZA	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
	ZB	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Mediana	ZA	248000	4405	131,0	20,0	1,7	57,5	127,0	2,2	201,0	26,7	7,4
	ZB	248000	3929	120,0	20,8	2,0	52,2	115,0	2,2	181,0	20,2	5,5
Desvio Padrão	ZA	50344	353	10,0	8,9	1,1	18,9	41,2	0,2	12,0	8,9	0,5
	ZB	50344	260	8,6	6,7	1,3	12,7	26,4	0,1	11,6	5,0	0,7
Variância	ZA	2,53E+09	124558	99,4	79,3	1,2	357,0	1696,0	0,0	145,0	79,4	0,3
	ZB	2,53E+09	67852	74,1	45,5	1,6	161,0	695,0	0,0	135,0	24,8	0,4
Mínimo	ZA	178000	3750	109,0	14,3	0,7	42,0	93,3	2,0	165,0	16,7	6,4
	ZB	178000	3393	99,7	14,3	0,7	35,7	86,0	2,0	153,0	16,7	3,5
Máximo	ZA	318000	5238	156,0	55,7	5,0	137,0	297,0	2,6	225,0	60,7	8,3
	ZB	318000	4345	136,0	41,7	5,3	97,3	211,0	2,6	194,0	37,7	6,4
Assimetria	ZA	0,000	0,073	0,224	2,390	1,140	2,630	2,350	0,547	-0,927	2,080	-0,160
	ZB	0,000	-0,281	0,036	1,270	0,693	1,520	1,720	0,710	-0,661	1,560	-0,727
Curtose	ZA	-1,320	0,056	0,458	6,370	1,050	8,640	7,210	0,117	2,140	5,920	-0,938
	ZB	-1,320	-0,820	0,048	1,330	-0,379	3,080	3,610	1,380	-0,258	2,350	0,949
W de Shapiro-Wilk	ZA	0,891*	0,975 <sup>NS</sup>	0,987 <sup>NS</sup>	0,735*	0,882*	0,733*	0,778*	0,962 <sup>NS</sup>	0,924*	0,822*	0,958 <sup>NS</sup>
	ZB	0,891*	0,96 <sup>NS</sup>	0,970 <sup>NS</sup>	0,886*	0,925*	0,873**	0,844*	0,958 <sup>NS</sup>	0,926*	0,831*	0,962 <sup>NS</sup>
CV%	ZA	20,3	8,0	7,6	38,7	59,8	30,8	29,9	6,9	6,0	32,2	7,1
	ZB	20,3	6,6	7,2	30,1	52,9	23,1	21,6	5,8	6,5	22,8	12,4

\*Significativo a 0,05 e; <sup>NS</sup>Não Significativo

Na Tabela 4 é apresentada a matriz de correlação através dos testes de Spearman ou Pearson de acordo com o teste anterior, onde foram avaliadas as interações entre as



amostras analisadas e são interpretadas como: sem correlação alguns valores =0; correlação fraca para valores entre >0 e <0,4; moderada correlação valores entre >0,4 e <0,7 e; alta correlação para valores >0,7 (DANCEY; REIDY, 2006). O resultado ainda apresentou os níveis de significância para o teste de correlação, desta maneira, foi apresentada a probabilidade de o resultado ser superior a 95% quando sinalizado com o asterisco

TABELA 4. Matriz de correlação entre as variáveis avaliadas na pesquisa que envolveu a cultivar TMG 7062 onde: TAXA (Prescrição de sementes ha<sup>-1</sup>); PROD (Produtividade em kg ha<sup>-1</sup>); AP (Altura de Planta em centímetros); NN (Numero de Nós); NGH (Número de Galhos); NV (Número de Vagens); NG (Número de Grãos); NGV (Número de Grãos por Vagem); PMG (Peso de Mil Grãos em gramas); PP (Peso por Planta em gramas); IAF (Índice de Área Foliar m<sup>2</sup>); AMB (Ambiente); ZA (Zona de Alto potencial produtivo); ZB (Zona de Baixo potencial produtivo); R (Correlação de Pearson) e; Rho (Correlação de Spearman).

	AMB	TESTE	TAXA	PROD	AP	NN	NGH	NV	NG	NGV	PMG	PP	IAF
PROD	ZA	R		—									
		Rho	-0,932	—									
PROD	ZB	R		—									
		Rho	0,918	—									
AP	ZA	R		0,121	—								
		Rho	0,203										
AP	ZB	R		0,321	—								
		Rho	0,316										
NN	ZA	R				—							
		Rho	-0,635*	0,273	-0,225								
NN	ZB	R				—							
		Rho	-0,541*	0,182	-0,380*								
NGH	ZA	R					—						
		Rho	-0,348	0,339	-0,431*	0,728*							
NGH	ZB	R					—						
		Rho	-0,378*	0,287	-0,377*	0,879*							
NV	ZA	R						—					
		Rho	-0,655*	0,234	-0,006	0,907*	0,512*						
NV	ZB	R						—					
		Rho	-0,562*	0,169	-0,251	0,942*	0,705*						
NG	ZA	R							—				
		Rho	-0,847*	0,143	-0,026	0,858*	0,476*	0,928*					
NG	ZB	R							—				
		Rho	-0,474*	0,086	-0,333	0,885*	0,620*	0,930*					
NGV	ZA	R		-0,146	-0,211					—			
		Rho	-0,485*			0,002	0,019	-0,105	0,229				
NGV	ZB	R		-0,333	0,100					—			
		Rho	0,310			-0,474**	-0,470*	-0,418*	-0,138				
PMG	ZA	R									—		
		Rho	-0,313	0,197	0,382*	0,332	0,142	0,481*	0,425*	-0,257			

	ZB	R										
		Rho	<b>0,283</b>	<b>0,521*</b>	<b>0,589*</b>	<b>-0,067</b>	<b>0,004</b>	<b>-0,057</b>	<b>-0,124</b>	<b>0,071</b>		—
PP	ZA	R										—
		Rho	<b>-0,817*</b>	<b>0,172</b>	<b>0,03</b>	<b>0,858*</b>	<b>0,475*</b>	<b>0,942*</b>	<b>0,989*</b>	<b>0,134</b>	<b>0,550*</b>	—
PP	ZB	R										—
		Rho	<b>-0,411*</b>	<b>0,340</b>	<b>-0,067</b>	<b>0,857*</b>	<b>0,731*</b>	<b>0,886*</b>	<b>0,870*</b>	<b>-0,205</b>	<b>0,272</b>	—
IAF	ZA	R		0,066	0,533*					0,029		—
		Rho	<b>-0,131</b>			<b>0,042</b>	<b>-0,056</b>	<b>0,25</b>	<b>0,259</b>		<b>0,335</b>	<b>0,277</b>
IAF	ZB	R		-0,187	0,538*					0,172		—
		Rho	<b>-0,014</b>			<b>-0,124</b>	<b>-0,333</b>	<b>-0,062</b>	<b>-0,071</b>		<b>0,105</b>	<b>-0,058</b>

\*Estatisticamente inferior a 0,05.

Através do teste de correlação podem-se fazer algumas análises interessantes, como por exemplo, como a forte correlação negativa entre a taxa prescrita de sementes e a produtividade alcançada em kg ha<sup>-1</sup> no ambiente ZA (-0,932) e forte correlação positiva (0,918) no ambiente ZB. Além disso, se evidenciou nos dois ambientes a interferência da taxa de sementes atuando negativamente nas componentes de produtividade NN, NV, NG e PP. Esta correlação negativa foi mais impactante e significativa no NG (-0,847) e no PP (-0,817) no ambiente ZA, justamente onde reflete os resultados de produtividade, ou seja, PP multiplicado pela população (taxa) de plantas ha<sup>-1</sup>.

Os dados de produtividade apresentaram correlação moderada (0,521) quando comparados com o PMG e no ambiente ZB, para as demais variáveis analisadas a correlação registrou números inferiores a 0,350, demonstrando baixa correlação ou correlação inexistente na maioria dos casos.

A altura de planta também possui uma baixa correlação com a maioria das variáveis analisadas, exceto PMG (0,589) e IAF (0,538) no ambiente ZB, além de NGH (-0,431) e IAF (0,533) no ambiente ZA que se apresentaram moderadamente correlacionadas pelo teste de Spearman, sendo correlação negativa para o número de galhos, logicamente normal.

Seguindo nas análises, fica evidenciado alta correlação do NN com NGH (0,728|0,879), NV (0,907|0,942), NG (0,858|0,885) e PP (0,858|0,857) nos respectivos ambientes (ZA|ZB).

A quantidade de galhos por planta teve forte correlação, principalmente no ambiente ZB para as componentes NV (0,705) e PP (0,731), além de moderada correlação para essas mesmas variáveis no ambiente ZA, sendo 0,512 e 0,475, respectivamente. Como já esperado, o NV tem alta correlação positiva com o NG, sendo 0,928 no ambiente ZA e 0,930 no ambiente ZB. A correlação com o PP também é alta no

ambiente ZA (0,942) e ZB (0,886) além de correlação moderada para PMG (0,481) e moderada negativa para NGV (-0,418) nos ambientes respectivos.

O NG tem alta correlação com o PP, registrando 0,989 no ambiente ZA e 0,870 no ambiente ZB, enquanto a correlação foi considerada moderada para a componente PMG (0,425) no ambiente ZA.

A produtividade é explicada basicamente pela prescrição maior de sementes e, conseqüentemente, uma maior população final, além do maior PMG no ambiente ZB, enquanto, no ambiente ZA, a produtividade é explicada pela elevação nos índices relacionados com as componentes de produtividade que convergem na direção contrária à prescrição de sementes.

Na Figura 5, são apresentados de forma ilustrativa os gráficos de dispersão relativos aos fatores que se enquadraram com forte correlação, isto é,  $>0,7$  nas análises relativas a cultivar TMG 7062 implantada na área denominada “Castilho”.

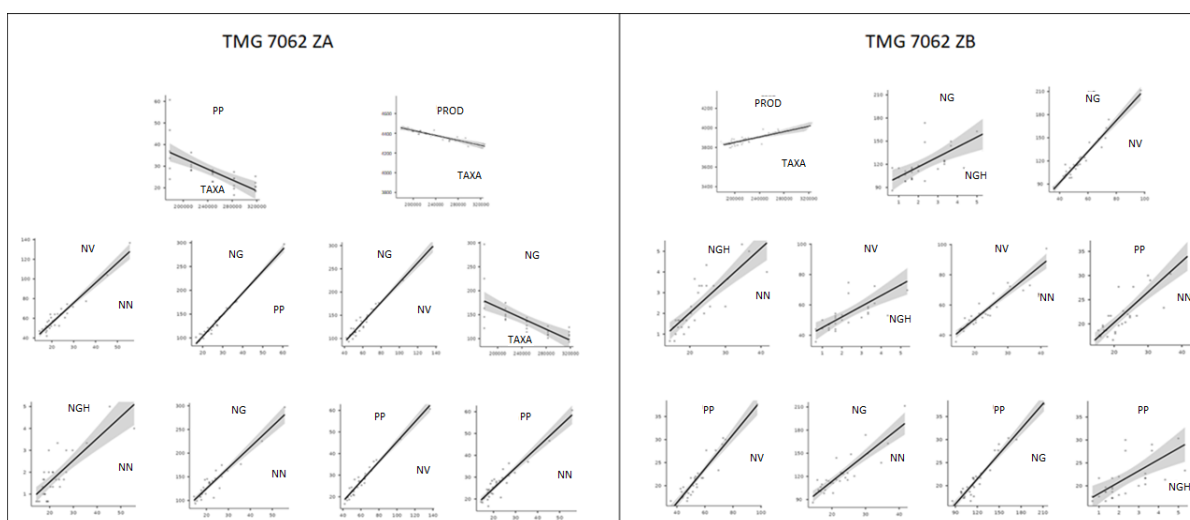


FIGURA 4. Gráficos de dispersão relativos às variáveis classificadas com forte correlação nas análises da cultivar TMG 7062 na área “Castilho”.

A avaliação da cultivar BMX ZEUS, implantada no talhão denominado “Eucalipto”, com recomendação de população final podendo variar de 250 a 300 mil plantas por hectare para a região onde o experimento foi implantado (103), apresentou as maiores produtividades, nos ambientes ZB, com 298 mil plantas finais por hectare e 256 mil plantas finais por hectare nos ambientes ZA. A recomendação de população pelo obtentor poderia ser considerada adequada se consideradas, a menor população para os ambientes ZA e a maior população para os ambientes ZB. Quando assumida uma

única população para ambos os ambientes, ficou evidenciada redução do potencial produtivo de 147 kg ha<sup>-1</sup> considerando a população correspondente a maior produtividade no ambiente ZA e aplicada nos ambientes ZB, Caso contrário, considerando a maior produtividade nos ambientes ZB e aplicada a mesma prescrição de taxa nos ambientes ZA, a redução de produtividade chega a 107 kg ha<sup>-1</sup>. Associado a isso, tem-se um incremento desnecessário e, no caso, prejudicial de 42,3 mil plantas por hectare, isto é, 8,8 kg ha<sup>-1</sup> de semente que não deveriam ser inseridos na semeadura e que significou redução de 4,8 kg ha<sup>-1</sup> de grãos para cada kg ha<sup>-1</sup> de semente aplicada em excesso no caso do ambiente ZA.

Estatisticamente, (TABELA 5), se evidenciou diferença na produtividade média quando comparados os ambientes ZB e ZA. Para as diferentes densidades de plantas também houve diferença estatística de produtividade entre os ambientes, porém dentro do próprio ambiente, apesar dos diferentes resultados, não ficou provada estatisticamente diferenças significativas.

TABELA 5. Resultado da análise estatística para avaliar o efeito de cinco densidades de plantas diferentes em dois ambientes de manejo, Zonas de Baixa Fertilidade (ZB) e Zonas de Alta Fertilidade (ZA) para a cultivar BMX ZEUS na safra 20/21.

AMBIENTE	Média	DENSIDADE DE PLANTAS ha <sup>-1</sup> (x 1000)				
		211	247	256	275	298
<b>PRODUTIVIDADE (kg ha<sup>-1</sup>)</b>						
ZB	4225 b	4048 bA	4097 bA	4238 aA	4355 aA	4385 aA
ZA	4708 a	4712 aA	4732 aA	4750 aA	4702 aA	4643 aA
<b>ALTURA (cm)</b>						
ZB	86 b	84 bA	85 bA	90 bA	86 bA	85 bA
ZA	98 a	96 aA	97 aA	99 aA	97 aA	99 aA
<b>NÚMERO DE NÓS</b>						
ZB	19,0 b	20,2 bA	18,7 bA	20,9 aA	18,6 bA	17,0 aA
ZA	25,7 a	29,9 aA	27,7 aA	25,0 aAB	25,9 aAB	19,7 aB
<b>NÚMERO DE GALHOS</b>						
ZB	2,8 a	2,8 aA	3,0 aA	3,3 aA	2,7 aA	2,3 aA
ZA	3,2 a	3,3 aA	3,4 aA	3,1 aA	3,5 aA	2,4 aA
<b>NÚMERO DE VAGENS</b>						
ZB	38,6 b	40,4 bA	38,2 bA	40,8 bA	40,1 bA	33,4 bA
ZA	56,2 a	65,7 aA	61,3 aAB	56,3 aAB	53,1 aAB	44,6 aB
<b>NÚMERO DE GRÃOS</b>						
ZB	90,6 b	97,0 bA	92,1 bA	93,0 bA	90,9 bA	80,0 bA
ZA	139,0 a	161,1 aA	151,8 aAB	139,1 aAB	131,2 aAB	111,8 aB
<b>NÚMERO DE GRÃOS POR VAGENS</b>						
ZB	2,4 b	2,4 aA	2,4 aA	2,3 bA	2,3 bA	2,4 aA

ZA	2,5 a	2,5 aA	2,5 aA	2,5 aA	2,5 aA	2,5 aA
<b>PMG (g)</b>						
ZB	203,5 a	200,0 aA	202,0 aA	202,6 aA	205,4 aA	207,6 aA
ZA	204,2 a	203,8 aA	206,1 aA	208,7 aA	203,5 aA	199,1 aA
<b>PESO POR PLANTA (g)</b>						
ZB	18,4 b	19,5 bA	18,6 bA	18,9 bA	18,4 bA	16,6 aA
ZA	28,4 a	32,7 aA	31,3 aAB	29,1 aAB	26,6 aAB	22,2 aB
<b>IAF (m<sup>2</sup>)</b>						
ZB	4,0 b	3,9 bA	4,0 bA	4,2 bA	4,0 bA	4,0 bA
ZA	6,1 a	6,0 aA	6,2 aA	6,1 aA	6,3 aA	6,0 aA

Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas ou maiúsculas nas linhas não se diferem pelo teste de Tukey a 0,05.

Constatou-se também diferença para os ambientes ZA e ZB, para todas as variações de prescrição e, conseqüentemente, densidade de plantas ao final do ciclo, no quesito altura de plantas. Para todas as variáveis de população avaliadas, houve a constatação de plantas com maior porte em ZA. Ambientes com maior disponibilidade de recursos proporcionam as plantas com melhores condições de desenvolvimento, favorecendo o porte mais elevado e o maior vigor de plantas, elementos que convergem com os dados verificados para o IAF, conseqüentemente. O maior porte de plantas encontrado foi para a variável com 256 mil plantas ha<sup>-1</sup> nos dois ambientes, correspondente a prescrição de 300 mil sementes ha<sup>-1</sup>, todavia com maior variabilidade no ambiente ZB.

O número de nós presentes em uma planta de soja é um importante indicativo para o resultado produtivo ao final do ciclo da cultura, pois o “nó” é a base para a parte reprodutiva que envolve a inserção das flores e o estabelecimento dos legumes que serão responsáveis pela formação dos grãos. Em uma sequência lógica fisiologicamente, quanto maior é o número de nós, maior o número de vagens, de grãos e por conseqüência, maior a produtividade. Nas condições do experimento, o total de nós por planta, apresentou diferença significativa em favor às médias do ambiente ZA comparadas ao ambiente ZB, porém, para as diferentes populações não houve diferença estatística para 256 e 298 mil plantas ha<sup>-1</sup>. Ficou evidenciada uma ordem inversa no ambiente ZA, isto é, à medida que a população final de plantas aumentou, o número de nós evidenciados tendeu no sentido contrário, comportamento semelhante para o ambiente ZB, exceto para a população de 256 mil plantas ha<sup>-1</sup>, que apresentou o maior valor dentre as populações no ambiente ZB.

Outro componente de produtividade extremamente importante para a cultura da soja é o número de legumes/vagens presentes em cada planta. Diretamente dependente do número de nós, a quantidade de vagens também ficou com valores médios superiores para o ambiente ZA, diferenciando-se pela análise estatística do ambiente ZB. Este comportamento, de diferenciação estatística, foi evidenciado para todas as densidades de populações em favor de ZA.

Por consequência, o número de grãos foi superior e significativamente favorável para ZA, tanto na média quanto para as variações da taxa prescrita nos diferentes ambientes. Tanto em ZA quanto em ZB há uma relação inversa entre a população de plantas e o número de vagens por planta, quanto mais adensada a cultura, menor o volume de grãos chegando a reduções de 17,5% e 30,6% da menor para a maior taxa testada nos ambientes ZB e ZA, respectivamente. Entre os dois ambientes, a redução média do número de vagens por planta foi de 31,3% e de grãos de 34,8% em ZB. Em ZA, ainda se evidenciou diferença estatística significativa para o número de vagens entre as densidades de 211 e 298 mil plantas  $ha^{-1}$ .

Relativo ao número de grãos por vagem, os ambientes se diferenciaram estatisticamente, na média e para as populações de 256 e 275 mil plantas  $ha^{-1}$ .

Na análise que abrangeu o PMG, não houve diferença estatística para esta componente em ambos os ambientes, aliás, os valores evidenciados são extremamente parecidos, demonstrando que a cultivar apresentou uma boa estabilidade quanto ao enchimento de grão quando as condições climáticas se apresentam adequadas, situação esta que ocorreu na referente safra.

O peso da massa de grãos por planta no ambiente ZA se apresentou na ordem inversa quando comparado a população de plantas, bem como registrado com o número de vagens e o número de grãos. Sendo assim, quanto maior a taxa prescrita e por consequência, maior a população final, menor o peso extraído de cada planta, tendência também seguida pelo ambiente ZB. Para a menor população se observou a maior diferença com relação ao peso por planta quando comparados os dois ambientes, representando uma redução de peso na ordem de 35,2% em ZB. Esta componente também é relevante quando se trata de rendimento, pois, associado a população, define a produtividade de uma área cultivada. Outra constatação que pôde ser feita é que, para ambos os ambientes, os menores valores de peso por planta foram registrados para a maior densidade de plantas  $ha^{-1}$ . Apesar desta redução de

peso por planta, no ambiente ZB, a população elevada compensou os valores mais baixos das componentes de produtividade, sendo a taxa mais elevada a que mais produziu, quando se pensa em massa seca de grãos.

Com relação ao IAF, o ambiente ZB apresentou menor índice, enquanto o ambiente ZA apresentou maiores índices, representando, na média, valores próximos de 35% de diferença, valor este que também ratifica a diferença estatística entre ZB e ZA, inclusive para todas as populações quando comparados os ambientes. Um IAF superior em ZA é esperado, pois este ambiente proporciona melhores condições para a planta expressar o seu máximo potencial de desenvolvimento vegetativo com maior massa verde.

A exemplo da Cultivar TMG 7062, também é apresentada a estatística descritiva com o teste de normalidade (TABELA 6) aplicado através da análise de Shapiro-Wilk às médias das amostras para verificar a distribuição normal dos dados e com isso definir o melhor teste comparativo de correlação entre as variáveis/componentes. Para os dados com diferença significativa  $<0,05$ , ou seja, que não possuem distribuição normal foi aplicado o teste de Spearman e para os dados não significativos (<sup>NS</sup>) foi rodado o teste de Pearson.

TABELA 6. Estatística descritiva com o teste de normalidade para definição do teste de correlação entre as variáveis avaliadas na pesquisa que envolveu a cultivar BMX ZEUS onde: TAXA (Prescrição de sementes  $ha^{-1}$ ); PROD (Produtividade em  $kg\ ha^{-1}$ ); AP (Altura de Planta em centímetros); NN (Número de Nós); NGH (Número de Galhos); NV (Número de Vagens); NG (Número de Grãos); NGV (Número de Grãos por Vagem); PMG (Peso de Mil Grãos em gramas); PP (Peso por Planta em gramas); IAF (Índice de Área Foliar  $m^2$ ); AMB (Ambiente); ZA (Zona de Alto potencial produtivo); ZB (Zona de Baixo potencial produtivo); CV% (Coeficiente de Variação).

	AMB	TAXA	PROD	AP	NN	NGH	NV	NG	NGV	PMG	PP	IAF
N	ZA	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	ZB	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
Mediana	ZA	300000	4702	95,7	24,3	3,0	53,0	136,0	2,5	203,0	27,0	6,1
	ZB	300000	4405	85,7	18,3	2,7	36,3	86,3	2,4	205,0	18,0	4,2
Desvio-padrão	ZA	41404	475	4,6	6,7	1,1	14,2	34,3	0,1	8,9	7,8	0,6
	ZB	41404	725	6,1	3,7	0,8	7,9	17,9	0,1	11,6	3,5	0,6
Variância	ZA	1,71E+09	225475	20,9	45,1	1,3	201,0	1177,0	0,0	79,4	60,2	0,4
	ZB	1,71E+09	526270	36,7	13,5	0,7	62,1	320,0	0,0	135,0	12,5	0,4
Mínimo	ZA	240000	3690	90,0	15,3	1,0	36,7	92,0	2,3	191,0	18,0	5,0
	ZB	240000	2321	70,0	13,7	1,3	26,7	60,7	2,2	166,0	12,3	2,7
Máximo	ZA	360000	5417	108,0	40,0	5,0	87,7	209,0	2,7	224,0	46,7	7,6
	ZB	360000	5774	98,3	28,0	4,7	57,0	134,0	2,8	235,0	26,7	5,1

Assimetria	ZA	0,000	-0,346	0,602	0,455	-0,004	0,611	0,526	0,027	0,771	0,912	0,269
	ZB	0,000	-0,914	-0,206	0,829	-0,003	0,877	0,684	1,020	-0,532	0,433	-0,325
Curtose	ZA	-0,979	-0,753	-0,368	-0,469	-1,050	-0,540	-0,649	-0,608	-0,026	0,336	0,008
	ZB	-0,979	1,790	0,965	0,294	-0,403	0,267	0,253	2,310	4,130	-0,150	-0,711
W de Shapiro-Wilk	ZA	0,896*	0,961 <sup>NS</sup>	0,941 <sup>NS</sup>	0,953 <sup>NS</sup>	0,947 <sup>NS</sup>	0,943 <sup>NS</sup>	0,943 <sup>NS</sup>	0,970 <sup>NS</sup>	0,933 <sup>NS</sup>	0,922*	0,980 <sup>NS</sup>
	ZB	0,896*	0,911*	0,978 <sup>NS</sup>	0,941 <sup>NS</sup>	0,962 <sup>NS</sup>	0,914*	0,942 <sup>NS</sup>	0,933 <sup>NS</sup>	0,914*	0,967 <sup>NS</sup>	0,964 <sup>NS</sup>
CV%	ZB	320000	4583	90,0	20,7	3,3	41,7	102,0	2,5	209,0	21,0	4,5
	ZA	13,8	10,1	4,7	26,1	35,9	25,3	24,7	3,9	4,4	27,4	10,4
	ZB	13,8	17,2	7,1	19,3	29,7	20,5	19,8	5,3	5,7	19,2	15,6

\*Significativo a 0,05 e; <sup>NS</sup>Não Significativo

Na Tabela 7 é apresentada a matriz de correlação para a cultivar BMX ZEUS, onde foram avaliadas as interações entre as variáveis analisadas e são interpretadas como: sem correlação alguma valores =0; correlação fraca para valores entre >0 e <0,4; moderada correlação valores entre >0,4 e <0,7 e; alta correlação para valores >0,7 (DANCEY; REIDY, 2006). O resultado ainda apresentou os níveis de significância para o teste de correlação, desta maneira, foi apresentada a probabilidade de o resultado ser superior a 95% quando sinalizado com o asterisco.

TABELA 7. Matriz de correlação entre as variáveis avaliadas na pesquisa que envolveu a cultivar BMX ZEUS onde: TAXA (Prescrição de sementes ha<sup>-1</sup>); PROD (Produtividade em kg ha<sup>-1</sup>; AP (Altura de Planta em centímetros); NN (Numero de Nós); NGH (Número de Galhos); NV (Número de Vagens; NG (Número de Grãos); NGV (Número de Grãos por Vagem); PMG (Peso de Mil Grãos em gramas); PP (Peso por Planta em gramas); IAF (Índice de Área Foliar); AMB (Ambiente); ZA (Zona de Alto potencial produtivo); ZB (Zona de Baixo potencial produtivo; R (Correlação de Pearson) e; Rho (Correlação de Spearman).

	AMB	TESTE	TAXA	PROD	AP	NN	NGH	NV	NG	NGV	PMG	PP	IAF
PROD	ZA	R		—									
		Rho	<b>-0,737</b>	—									
ZB	R			—									
	Rho	<b>0,946</b>		—									
AP	ZA	R		0,273	—								
		Rho	<b>0,166</b>		—								
ZB	R				—								
	Rho	<b>-0,02</b>	<b>0,590*</b>		—								
NN	ZA	R		-0,014	-0,053	—							
		Rho	<b>-0,503*</b>			—							
ZB	R				0,238	—							
	Rho	<b>-0,26</b>	<b>-0,102</b>			—							
NGH	ZA	R		-0,205	-0,143	0,819*	—						
		Rho	<b>-0,262</b>				—						
ZB	R				0,042	0,791*	—						
	Rho	<b>-0,214</b>	<b>-0,326</b>				—						
NV	ZA	R		0,108	0,036	0,951*	0,692*	—					
		Rho	<b>-0,561*</b>					—					
ZB	R							—					



		<b>Rho</b>	<b>-0,232</b>	<b>0,26</b>	<b>0,569*</b>	<b>0,696*</b>	<b>0,451*</b>	—					
NG	ZA	R		0,085	0,05	0,938*	0,662*	0,989*	—				
		<b>Rho</b>	<b>-0,518*</b>						—				
NG	ZB	R			0,480*	0,715*	0,39*		—				
		<b>Rho</b>	<b>-0,270</b>	<b>0,316</b>					<b>0,961*</b>	—			
NGV	ZA	R		-0,103	0,128	-0,219	-0,372*	-0,213	-0,075	—			
		<b>Rho</b>	<b>0,188</b>							—			
NGV	ZB	R			-0,031	0,035	-0,065			—			
		<b>Rho</b>	<b>-0,315</b>	<b>-0,057</b>					<b>-0,186</b>	<b>0,028</b>	—		
PMG	ZA	R		-0,051	-0,256	0,454*	0,34	0,418*	0,401*	-0,162	—		
		<b>Rho</b>	<b>-0,138</b>								—		
PMG	ZB	R									—		
		<b>Rho</b>	<b>0,090</b>	<b>0,332</b>	<b>0,081</b>	<b>-0,215</b>	<b>-0,257</b>	<b>-0,263</b>	<b>-0,259</b>	<b>0,167</b>	—		
PP	ZA	R									—		
		<b>Rho</b>	<b>-0,541*</b>	<b>0,061</b>	<b>0,057</b>	<b>0,941*</b>	<b>0,674*</b>	<b>0,983*</b>	<b>0,984*</b>	<b>-0,085</b>	<b>0,288</b>	—	
PP	ZB	R			0,494*		0,358		0,964*	0,175	—		
		<b>Rho</b>	<b>-0,221</b>	<b>0,398*</b>		<b>0,614*</b>		<b>0,697*</b>			<b>0,013</b>	—	
IAF	ZA	R		0,181	0,499*	0,113	0,01	0,086	0,091	0,116	-0,1	—	
		<b>Rho</b>	<b>0,016</b>									<b>0,037</b>	—
IAF	ZB	R			0,167	0,439*	0,269		0,412*	0,047		0,384*	—
		<b>Rho</b>	<b>-0,016</b>	<b>0,075</b>					<b>0,421*</b>			<b>-0,152</b>	—

\*Estatisticamente inferior a 0,05.

Os testes de correlação referentes a cultivar BMX ZEUS apresentaram menores interações entre as variáveis se comparada com a cultivar TMG 7062, porém, onde houve correlação, ocorreram para as mesmas componentes de produtividade. Quando os resultados de produtividade foram cruzados com as taxas prescritas ficou evidenciado forte correlação positiva no ambiente ZB (0,946) e forte correlação negativa em ZA (-0,737), confirmando que quanto maior a taxa de sementes prescrita, maior a produtividade nos ambientes ZB e menor as produtividades em ZA. Quando as taxas foram comparadas com as outras componentes, retornaram índices moderados e negativos para NN (-0,503), NV (-0,561), NG (-0,518) e PP (-0,541) no ambiente ZA, porém baixa ou nenhuma correlação em ZB.

A correlação de produtividade se apresentou como baixa ou sem correlação para os demais cruzamentos averiguados, exceto para AP (0,590) que teve moderada correlação positiva.

A baixa correlação também predominou no cruzamento dos dados de AP, porém quando relacionada com NV (0,569), NG (0,480), PP (0,494) e IAF (0,499) apresentou moderada correlação no ambiente ZB.

Como constatado na cultivar anterior, foi confirmado forte correlação relativa às componentes diretamente proporcionais aos resultados de produtividade, isto é, forte correlação positiva do NN com NGH (0,819|0,791) e NG (0,938|0,715) nos respectivos ambientes (ZA|ZB), além de 0,951 no cruzamento com NV e 0,941 com PP no

ambiente ZA. Identificado como moderada correlação nas componentes NV (0,696), PP (0,614) e IAF (0,439) no ambiente ZB.

Ao contrário da cultivar anterior, NGH por planta teve moderada correlação com NV (0,692), NG (0,662) e PP (0,674) no ambiente ZA, além de NV (0,451) no ambiente ZB. Para as demais correlações o resultado foi fraco ou correlação inexistente.

O NV tem forte correlação positiva com o NG (0,989) e PP (0,983) no ambiente ZA, além de NG (0,961) no ambiente ZB. Por outro lado, registrou-se moderada correlação com PMG (0,418) para o ambiente ZA, além de PP (0,697) e IAF (0,421) no ambiente ZB.

O NG tem alta correlação com o PP (0,984) no ambiente ZA e (0,964) no ambiente ZB, enquanto a correlação foi considerada moderada para a componente PMG (0,401) e IAF (0,412) nos ambientes ZA e ZB, simultaneamente. Para as demais componentes não houve correlação ou foi fraca.

Nas análises da cultivar BMX ZEUS se evidenciou um número inferior de correlações consideradas alta e um número superior de correlação considerada baixa quando comparada a cultivar TMG 7062, porém percebe-se o mesmo comportamento das componentes de produtividade para as diferentes taxas prescritas, ou seja, a densidade de população interfere diretamente nas componentes de produtividade.

A produtividade é explicada basicamente pela prescrição maior de sementes e, conseqüentemente, uma maior população final, além do maior PMG no ambiente ZB. No entanto, no ambiente ZA, a produtividade é explicada pelo equilíbrio de todas as componentes de produtividade, somado o maior PMG na população de 256 mil plantas ha<sup>-1</sup>.

Abaixo (FIGURA 5), são apresentados os gráficos de dispersão com as correlações consideradas forte para a cultivar BMX ZEUS nos ambientes ZA e ZB.

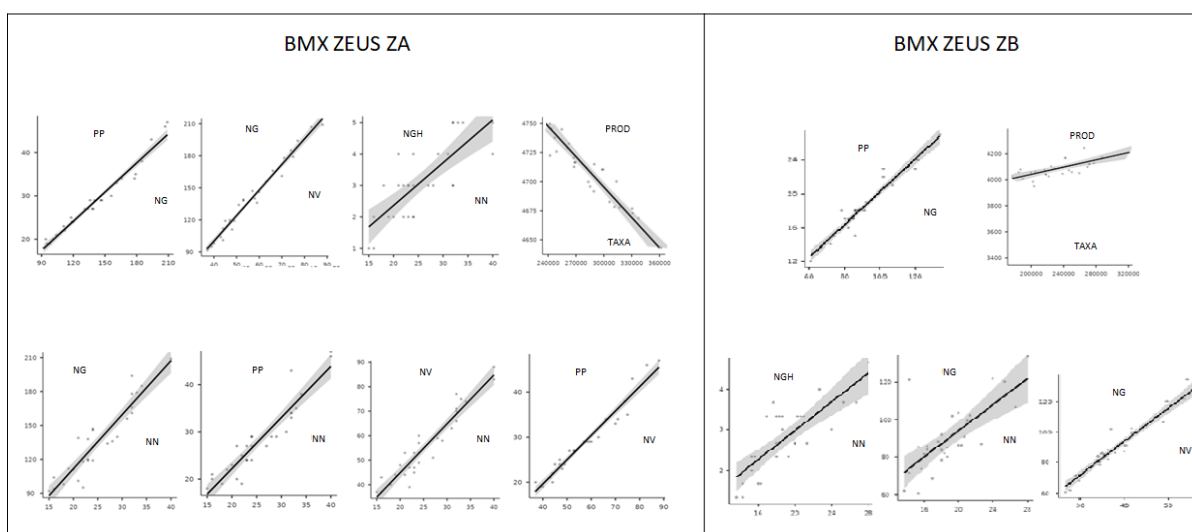


FIGURA 5. Gráficos de dispersão relativos às variáveis classificadas com forte correlação nas análises da cultivar BMX ZEUS na área "Eucalipto".

#### 4. DISCUSÃO

Os resultados relativos às produtividades para as cultivares TMG 7062 (FIGURA 7A) e BMX ZEUS (FIGURA 7B) evidenciam as maiores produtividades nos ambientes ZA em comparação com os ambientes ZB. Percebe-se que a variação da prescrição de sementes e, conseqüentemente, de população nos diferentes ambientes proporcionou resultados também diferentes no rendimento de grãos em  $\text{kg ha}^{-1}$  levando-se em consideração as cinco taxas prescritas para as duas cultivares.

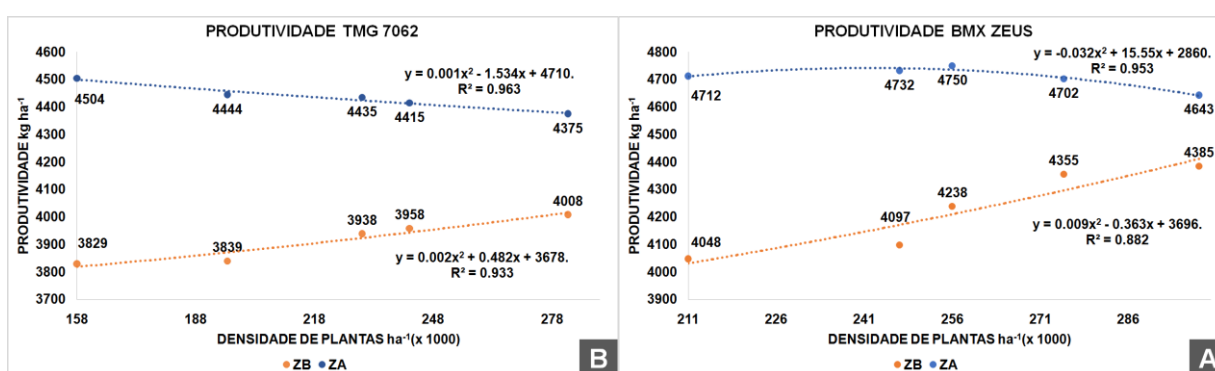


FIGURA 6: Gráficos relativos às produtividades nos ambientes ZA e ZB nas cultivares TMG 7062 e BMX ZEUS.

Na cultivar TMG 7062, para todas as prescrições aplicadas não foram alcançados os platôs relativos às máximas produtividades nos ambientes ZB, nem mesmo as mínimas produtividades para as duas cultivares nas condições dos experimentos,

sendo que há uma tendência praticamente linear no sentido inverso aos ambientes definidos, isto é, produtividade crescente para populações maiores em ZB e decrescente em ZA. Foram constatados maiores índices de NN, NV, NG, PMG e PP, componentes que respondem diretamente em produtividade nos ambientes ZA. Já nos ambientes ZB, uma população maior compensa a redução de NN, NV e, por consequência, NG por planta. Este ambiente apresentou maior capacidade de engalhamento nas condições da pesquisa, inclusive sendo a única variável que superou o ambiente ZA em todas as populações testadas. Nos ambientes ZB, um porte menor da cultivar pode ter induzido a inserção de um número maior de galhos, chegando a quase dobrar a quantidade de galhos em relação ao ambiente ZA na média geral, porém dobrando na taxa de 249 mil sementes ha<sup>-1</sup>.

Quando se analisa os efeitos da produtividade é correto afirmar que não há uma prescrição média capaz de atender de forma eficiente a todos os ambientes dentro de um talhão, pelo fato de que ele não é, e provavelmente nunca será, homogêneo, por muitos motivos (AMADO et al., 2011). A pesquisa evidenciou que os ambientes de produção se diferenciam e as diferentes taxas prescritas retornaram significativos resultados diretamente relacionados com a produtividade de grãos.

Nota-se claramente que nos ambientes ZB, há incremento de produtividade com populações maiores, ou seja, as recomendações de população por médias não são eficientes para que o material genético possa expressar o seu máximo potencial produtivo. Na cultivar TMG 7062, conforme recomendação, 230 mil plantas finais por hectare (10 plantas por metro), tem-se uma redução em produtividade de 50 kg ha<sup>-1</sup> em relação a população máxima aplicada e 89 kg ha<sup>-1</sup> em relação a população mínima nos ambientes ZA. Extrapolando os resultados do experimento para a área total onde o mesmo foi implementado, se aplicada a taxa com a melhor resposta em produtividade para cada ambiente, supõe-se que haveria incremento de 313 kg ha<sup>-1</sup> no ambiente ZA e 56,7 kg ha<sup>-1</sup> no ambiente ZB, totalizando 369,7 kg ha<sup>-1</sup> de rendimento de grãos no total do talhão de 4,8 hectares.

No talhão “Eucalipto”, a cultivar BMX ZEUS apresentou um comportamento idêntico com o da cultivar anterior no que se refere à população de plantas no ambiente ZB, sendo que, à medida que se aumentou a população de plantas, a resposta em produtividade seguiu a tendência de crescimento no rendimento da massa seca de grãos (FIGURA 7B) sem que o platô fosse alcançado para esta variável, Porém, no

caso do ambiente ZA, o platô foi alcançado para a prescrição de taxa correspondente a 300 mil sementes  $\text{ha}^{-1}$ , 256 mil plantas finais, reduzindo a produtividade para prescrições superiores e inferiores

Foi constatado que diferentes densidades de população de plantas podem acarretar diretamente no potencial produtivo da cultura, conforme dados obtidos na condição do experimento. Foram registradas diferenças de produtividades significativas quando comparados os dois ambientes, além das taxas prescritas de 240 e 280 mil sementes  $\text{ha}^{-1}$ . Levando em consideração a taxa prescrita para os diferentes ambientes em área total no talhão onde o experimento foi implantado e os resultados das análises, quando extrapoladas as taxas com a melhor resposta em produtividade para cada ambiente, supõe-se que no ambiente ZA foi aplicada a melhor taxa. Porém, de acordo com as evidências, uma população maior deveria apresentar melhores resultados produtivos, isto é, o ambiente ZB responderia positivamente com prescrições de sementes superiores a 360 mil sementes  $\text{ha}^{-1}$ . No entanto, no ambiente ZA houve uma redução de 48 kg  $\text{ha}^{-1}$  de rendimento de grãos em comparação com taxa ideal do experimento, ou seja, no total do talhão de 5,3 hectares houve redução de 108 kg devido à prescrição superior de 19 mil sementes  $\text{ha}^{-1}$  no ambiente ZA.

A definição de dois ambientes de manejo para (SANTOS, 2017) ajuste da taxa prescrita de sementes se mostrou eficiente, pois evidenciou as diferenças de produtividade entre os ambientes, mesmo que as taxas prescritas não atingissem todo o potencial relativo a cada ambiente.

Os resultados da pesquisa apontam que a variação de população influencia diretamente nos resultados de produtividade em conjunto com a época de semeadura. A junção destes dois fatores apresenta correlação significativa, sendo que, taxas mais elevadas em ambientes de baixo potencial produtivo apresentam rendimentos superiores, enquanto em ambientes com alto potencial produtivo (ZA) o ajuste de população poderia ser reduzido em 18% sem penalizar o rendimento da cultura (CORASSA, et al., 2018).

Segundo Moura et al. (2020), os mapas de CEa poderiam ser usados para determinar a aplicação de taxa variável por meio dos preceitos da Agricultura de Precisão na cultura da soja, essa variação de população poderia compreender 20% superior nos ambientes com CEa menores e 20% inferior em ambientes com CEa maiores.

Por outro lado, os resultados registrados por Silva (2020) foram diferentes para a produtividade da cultura da soja variando a prescrição de taxa no sentido inverso ao da pesquisa aqui apresentada, isto é, maiores populações para ambientes com CEa maior e menores populações para ambientes com CEa menor. Este resultado pode ter ocorrido por diversos fatores, porém está mais alinhado ao comportamento encontrado na cultura do milho (SCHWALBERT et al., 2014).

Para todas as variáveis, o ambiente ZA apresentou produtividades superiores em relação ao ambiente ZB, independente da população prescrita, isso reafirma a hipótese de que não há homogeneidade nos talhões e entre os ambientes de produção. Sendo assim, a aplicação da taxa variável de sementes é uma estratégia interessante quando se trata da variação de população de plantas de soja em busca do aumento de produtividade (CORASSA, 2015; CORASSA et al., 2018; PESINI, 2019), isto é, redução das perdas através de estratégias de mitigação de efeitos relativos às altas densidades de população em zonas de alto potencial de produtividade, principalmente. Isso significa que, para os ambientes ZA, ocorre um destaque significativo para valores maiores das componentes que irão convergir no resultado final que é a produtividade superior na colheita, como é possível perceber na avaliação estatística, sendo que há diferença para todas as taxas prescritas.

A disponibilidade de sistemas compostos por motores elétricos possibilita a oportunidade de pequenos produtores usarem a tecnologia. Podem ser instalados em semeadoras usadas, sem a necessidade de investimento em uma máquina nova, ou ainda, sem que o trator seja trocado porque não tem capacidade de fluxo hidráulico para atender as necessidades de sistemas disponibilizados até tempos recentes, apenas tendo os componentes elétricos do trator em bom estado de funcionamento já abre-se a possibilidade de instalar um sistema destes que agrega todas as funções de Agricultura de Precisão.

Na pesquisa, os ambientes ZB tiveram um comportamento inverso ao comportamento dos ambientes ZA quando o resultado buscado é a maior produtividade de grãos ha<sup>-1</sup>. Por outro lado, existem recursos e tecnologias que permitem aplicar estratégias relativas ao ajuste de população que melhor se adapta a cada condição levando-se em consideração a genética dos materiais e a identificação dos ambientes, contrabalançando as limitações com as potencialidades em cada situação.

Nas condições da pesquisa, o clima foi extremamente favorável durante todo o ciclo da cultura para as áreas dos experimentos, porém os resultados poderiam ter sido impactados caso as condições climáticas fossem adversas (CORASSA, 2015; FRIGERI et al., 2019). Além disso, os ambientes ZA e ZB são diferentes nas diferentes regiões e/ou propriedades, ambientes ZB em uma propriedade pode ser ambiente ZA em outra quando comparados os atributos de solo e iterações com o ambiente. O equilíbrio entre os fatores químicos, físicos, biológicos, ambientais e de manejo tem impacto direto na definição dos ambientes de produção e, conseqüentemente, na produtividade.

Obviamente que sementes de qualidade e velocidade de semeadura são indiscutivelmente cruciais para taxas de semente reduzidas (DIAS et al., 2009; JASPER et al., 2011) pois, acima de tudo, deve-se garantir de todas as formas que as plantas possam se estabelecer no local preciso e na posição ideal.

Apesar da amplitude das taxas prescritas, as mínimas e as máximas produtividades não foram alcançadas para os ambientes classificados como ZB em ambas as cultivares, exceto para a cultivar BMX ZEUS no ambiente ZA.

Considerando as recomendações de prescrição de população dos obtentores das cultivares e, nas condições da pesquisa, assumindo que não houve economia de semente, apenas a redistribuição de acordo com as definições dos respectivos ambientes, foram evidenciadas perdas de potencial produtivo na cultivar TMG 7062 de 139 kg ha<sup>-1</sup> e 107 kg ha<sup>-1</sup> na cultivar BMX ZEUS no ambiente ZA. De acordo com as cotações atuais para a saca de 60 kg de soja, houve perda, na melhor das hipóteses, de R\$ 394,00 ha<sup>-1</sup> para a cultivar TMG 7062 e R\$ 303,00 ha<sup>-1</sup> para a cultivar BMX ZEUS.

## 5. CONCLUSÃO

Os resultados da pesquisa apontam que a aplicação do ajuste de população através da taxa variada de sementes se apresentou como uma importante estratégia para explorar o máximo potencial produtivo de cada ambiente. Alinhado a isso, os testes apontaram forte correlação entre as taxas prescritas e os resultados de produtividade, positiva em ZB e negativa em ZA.

A correta identificação e delimitação dos ambientes produtivos também é essencial, pois somente desta forma é que se tornam possíveis intervenções localizadas de forma assertiva.

Nas condições da pesquisa e para as duas cultivares, houve redução das componentes de produtividade na medida em que as taxas prescritas foram aumentadas, independentemente dos ambientes. Porém, populações menores em ambientes ZA, elevam o teto produtivo da soja pelo aumento nos índices das componentes de produtividade, enquanto nos ambientes ZB, o maior número de plantas responde pelos maiores índices de produtividade nas maiores taxas prescritas.

As componentes de produtividade podem ser “manipuladas” com o melhor ajuste de população para cada ambiente, de acordo com a definição das melhores prescrições em ZA e ZB. Essas práticas podem aumentar o rendimento financeiro das propriedades, sendo que para as condições da pesquisa, o ajuste adequado de população poderia trazer um retorno financeiro médio de R\$ 349,00 ha<sup>-1</sup>, podendo ser maior, pois as maiores taxas prescritas testadas para os ambientes ZB não atingiram as máximas produtividades, assim como as mínimas taxas prescritas nos ambientes ZA, exceto para a cultivar BMX ZEUS.

Estudos com uma amplitude ainda maior para as taxas prescritas podem trazer informações importantes no que se refere as máximas e as mínimas populações toleradas nos ambientes ZB e ZA, respectivamente.

## 6. REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVEZ, J. D. de; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ALVES, S. M. F.; ALCÂNTARA, G. R.; REIS, E. F.; QUEIROZ, D. M.; VALENTE, D. S. M. Definições de zonas de manejo a partir de mapas de condutividade elétrica e matéria orgânica. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.29, n.1, p. 104-114, 2013.

AMADO, T. J. C.; PONTELLI, C. B.; SANTI, A. L.; VIANA, J. H. M.; SULZBACH, L. A. de S. Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 1101-1110, 2007.

AMADO, T. J. C.; SANTI, A. L. **Uso da agricultura de precisão para superar fatores limitantes de produtividade em Latossolos do Sul do Brasil: um estudo**



**de caso.** In: CLAY, DE; SHANAHAN, J. (Eds.). Aplicações GIS na agricultura - gestão de nutrientes para maior eficiência energética. 3. ed. Boca Raton: [sn]. pág. 31-60, 2011.

ARAUJO, L. C. de; VETTORAZZI, C. A.; MOLIN, J. P. Estimativa da produtividade e determinação de zonas de manejo, em culturas de grãos, por meio de videografia aérea multiespectral. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.27, n.3, p.437-447, 2005.

BIULCHI, P. V. **Máquinas e mecanização agrícola.** Educacional S.A., Londrina, 236p. 2016.

CARVALHO, I. R.; KORCELSKI, C.; PELISSARI, G.; HANUS, A. D.; ROSA, G. M. da. Demanda hídrica das culturas de interesse agrônômico. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 17, 2013.

CORASSA, G. M.; AMADO, T. J. C.; STRIEDER, M. L.; SCHWALBERT, R.; PIRES, J. L. F.; CARTER, P.R.; CIAMPITTI, I. A. Optimum Soybean Seeding Rates by Yield Environment in Southern Brazil. **Agronomy Journal**, v. 110 p. 2430–2438, 2018.

CORASSA, G. **Manejo por ambiente: atributos de solo e desempenho de cultivares de soja.** 2015. 124p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal de Santa Maria. Frederico Westphalen, RS.

DANCEY, C; REIDY, J. **Estatística Sem Matemática para Psicologia: Usando SPSS para Windows.** Porto Alegre: Artmed, 2006.

DIAS, V. de O.; ALONÇO, A. dos S.; BAUMHARDT, U. B.; BONOTTO G. J. Distribuição de sementes de milho e soja em função da velocidade e densidade de semeadura. **Ciência Rural**. Santa Maria, v.39, n.6, p.1721-1728, 2009.

FRIGERI, A. R.; LAZARINI, E.; ORIOLIJÚNIOR, V.; BERNARDES, V.S. Épocas de semeadura e população de plantas para três cultivares de soja. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 8, n. 4, p. 41-52, 2019.

FULTON, J.; MULLENIX, D.; BROOKE, B.; WINSTEAD, A. and ORTIZ, B. 2011. Automatic Section Control (ASC) Technology for Planters. Precision Agriculture. Ser. **Timely Information**. Sept: 1 - 4.

GIOTTO, E.; SEBEM, E.; CARDOSO, C. D. **Agricultura de Precisão com o Sistema CR Campeiro 7.** UFSM – Laboratório de Geomática, Santa Maria, v. 1, p. 91, 2013.

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

JASPER, R.; JASPER, M.; ASSUMPÇÃO, P.S.M.; ROCIL, J.; GARCIA, L.C. Velocidade de semeadura da soja. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.31, n.1, p.102-110, 2011.

MELO, B.M.R.; PAGLIS, C.M.; OLIVEIRA, M.S.; TEIXEIRA, M.B.R.; SILVA, J.S.M.; LIMA, D.F.F. Zonas de manejo em função de propriedades de solo, relevo e produtividade da lavoura cafeeira. **Revista Agrogeoambiental**. Pouso Alegre, v.9, n. 2, 2017.

MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R. do; COLAÇO, A. F. **Agricultura de Precisão**. São Paulo, Oficina de Textos. p. 238, 2015.

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

MOURA, S. S.; FRANÇA, L. T.; PEREIRA, V. S.; TEODORO, P. E.; BAIIO, F. H. R. Seeding rate in soybean according to the soil apparent electrical conductivity. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 92, p. 1–13, 2020.

PESINI, F. **Relação da população de plantas de soja (glycinemax l.) por ambientes produtivos definidos pelo mapa de colheita**. 2019. 71p. Dissertação (Mestrado em Agricultura de Precisão). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS.

PIRES, J. L. F.; BRANDAO, Z. N. Experimentação on-farm na agricultura de precisão. 2022. 154p. **Embrapa Trigo**. Documento PDF. Passo Fundo, RS.

POLON, A.; AMADO, T. J.C. Use of electric motors in seeders and gain in productivity in soybean crop. **Journal of Agricultural Sciences Research**, v. 2, n. 16, p. 10, 2022. DOI 10.22533/at.ed.9732162230111.

SALVADOR, A.; ANTUNIASSI, U. R. Imagens aéreas multiespectrais na identificação de zonas de manejo em áreas de algodão para aplicação localizada de insumos. **Revista Energia na Agricultura**. Botucatu, v. 26, n. 2, p. 1-19, 2011.

SANTI, A. L.; CORASSA, G. M.; GAVIRAGHI, R.; BISOGNIN, M. B.; BASSO, C. J.; DELLA FLORA, D. P.; CASTRO, D. M.; DELLA FLORA, L. P. Multifuncionalidade de biomassas de cobertura do solo e agricultura de precisão. **Revista Plantio Direto**, v. 1, p. 16- 23, 2014.

SANTOS, Flávio Souza. **Seleção de variáveis e definição de zonas de manejo para agricultura de precisão**. 2017. 55 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2017.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; FILHO, J. C. A.; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5.ed., rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2018. 356p.

SARAIVA A. M. CUGNASCA, C. E.; HIRAKAWA, A. R. 2000. Aplicação em taxa variável de fertilizantes e sementes. In: BORÉM, A.; GIÚDICE, M. P.; QUEIROZ, D. M. MANTOVANI, E. C.; FERREIRA, L. R.: VALLE, F.X.R.; GOMIDE, R.L. **Agricultura de precisão**. Viçosa: UFV, p.109-145, 2000.

SCHEPERS, J. S. Pratical applications of remote sensing. In: **Information Agriculture Conference**, 2001, Indianapolis. InfoAg 2001: proceedings. Norcross: Potash & Phosphate Institute, 2001. CD-ROM

SCHWALBERT, R. A., AMADO, T. J. C., GEBERT, F. H., SANTI, A. L., AND TABALDI, F. (2014). Zonas de manejo: atributos de solo e planta visando a sua delimitação e aplicações na agricultura de precisão. **Revista Plantio Direto**, p. 21–32.

SILVA, E. E. da. **Semeadura em taxa variável sobre a produtividade das culturas da soja e milho**. 2020. 54p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Chapadão do Sul, MS.

SPERANZA, E. A. OLIM, G. E. de S. INAMASU, R. Y. VAZ, C. M. P. JORGE, L. A. de C. Delineamento de zonas de manejo para o planejamento de experimentação on-farm na cultura do algodão. In: Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão – ConBAP/2022, Campinas - SP, Brasil. **Anais...** Campinas: ConBAP, p. 386-395, 2022.

UHRY, D. **Avaliação e critério para utilização de semeadora com sistema de taxa variável de sementes na cultura da soja**. 2013. 141p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

#### 4 DISCUSSÃO GERAL

A utilização de motores elétricos para acionamento de dosadores de semente se mostrou mais eficiente que a transmissão mecânica, conforme dados apresentados na pesquisa realizada. O aumento na eficiência da semeadura da cultura da soja apresentou ganhos de produtividade e a variação de população proporcionou um melhor aproveitamento dos recursos disponíveis com ganhos produtivos em cada ambiente com o melhor ajuste de população.

No ARTIGO I ficou evidenciado que a transmissão mecânica possui uma interferência negativa significativa nos conjuntos dosadores e este efeito fica mais atenuado quando a velocidade de semeadura é aumentada. Desta maneira, a cultura acaba sendo prejudicada por fatores que interferem diretamente na produtividade, sendo os principais: o aumento do CV%, do número de falhas e a redução no percentual de plantas que se enquadram na classificação de aceitáveis.

Através da compensação de curvas, os motores elétricos atuam de forma distinta, isto é, a controladora calcula a velocidade de deslocamento de cada linha e passa a informar o RPM correto para cada motor, mantendo assim a correta distância entre as sementes, mantendo a população ideal em todas as linhas de semeadura. Esta ação culmina em maiores índices de produtividade, pois elimina variações de prescrição e deposição das sementes no sulco, ocasionadas por erros ignorados por sistemas que não possuem esta função ativa ou a própria transmissão mecânica.

A pesquisa se apresenta como pioneira no Brasil em se tratando da análise e avaliação da semeadura com o uso de um sistema que tem a capacidade de compensar o número de sementes em curvas. Além disso, apresentou as variações que sistemas de transmissão que não oferecem este recurso transferem para os mecanismos dosadores de sementes, isto é, evidenciou interferências negativas significativas que refletiram em redução da produtividade.

Os resultados da pesquisa nos permitem afirmar que, em regiões com plantio em contorno ou que seguem a dinâmica das curvas de nível, realidade presente em grande parte das regiões produtoras de soja do Brasil, a aplicação da compensação do número de sementes em curva pode ser mais importante do que o próprio desligamento de linhas. Neste sentido, o sistema atua realizando as correções da

população, linha a linha, em mais de 90% do tempo de semeadura, enquanto o desligamento de linhas irá atuar, na média, em 5,5% da área (CORASSA et. al., 2018).

No ARTIGO II foi constatado que prescrições únicas para a totalidade do talhão não se apresentam como uma opção inteligente em ambientes de Agricultura de Precisão. As variações químicas, físicas e biológicas em pontos específicos tornam o talhão heterogêneo e essa condição implica diretamente nas variáveis de rendimento, ocasionando reduções de produtividade, seja pelo adensamento de plantas de soja em ambientes de alto potencial produtivo ou pela população reduzida em ambientes de baixo potencial produtivo.

Nos ambientes ZA, a redução da população proporcionou aumento das componentes de produtividade, como maior número de nós, vagens, grãos e peso por planta, enquanto nos ambientes ZB a redução destes fatores é compensada pelo aumento da densidade de plantas, fazendo com que a adequação da população em soja apresente maiores índices de produtividade em ambos os ambientes.

As taxas prescritas tiveram forte correlação positiva nos ambientes ZB para as duas cultivares analisadas, assim como para os ambientes ZA, porém neste caso, forte correlação negativa. Sendo assim, quanto maior a taxa prescrita em ambientes ZA, a produtividade segue a tendência de decréscimo, inversamente aos ambientes ZB que apresentam incrementos de produtividade com o aumento da população de plantas de soja.

As taxas prescritas na pesquisa não alcançaram os platôs de produtividade, exceto para a cultivar BMX ZEUS na população de 256 mil plantas por hectare. Sendo assim, populações superiores ou inferiores retornaram perdas produtivas no final do ciclo. Por outro lado, em ambientes ZB, para as taxas prescritas, quanto menores as populações, menores também os índices de produtividade.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O uso de motores elétricos se apresenta como uma alternativa interessante para o aumento da produtividade de grãos. Aliado a isso, também se torna uma ferramenta menos poluente, de energia limpa, pois usa menos recursos com capacidade de poluição como o óleo hidráulico para acionamento de motores, por exemplo. A utilização de motores elétricos também proporciona a redução do consumo de óleo diesel, pois exigem menos potência do trator se comparados com outros sistemas de transmissão, necessária e altamente exigida pelos elementos acionadores, principalmente para aplicação em taxa variável.

Esta pesquisa mostrou as primeiras avaliações e os resultados da aplicação da função de compensação do número de sementes em curvas para a semeadura da soja e os resultados foram significativos, comprovando que esta é uma excelente ferramenta para gerar ganhos produtivos.

Futuras pesquisas para avaliações relativas a utilização de motores elétricos em semeadoras devem ser aprofundadas para a geração de conhecimento e novas funcionalidades capazes de entregar maior eficácia ao processo de semeadura são essenciais.

## 6 REFERÊNCIAS

- AMADO, T. J. C.; HANSEL, S. D.; TEIXEIRA, T. D.; HÖRBE, T. A. N.; SCHWALBERT, R. A.; CORASSA, G. M.; BUSS, C. P.; WAGNER, W.; MAGNI, R.; DAL VESCO, C.; ALEXANDRE, M. D.; LIBARD, G.; TISOT, B.; KERBER, L. **Projeto Aquarius 15 anos: Principais resultados do mais longo Projeto de Agricultura de Precisão do Brasil**. Revista Plantio Direto, Passo Fundo, ed. 144, p. 32-47. nov/dez. 2014.
- BALASTREIRE, L. A. Máquinas Agrícolas. São Paulo. Manole. 310p. 1987.
- BERNARDI, A. C. de C.; INAMASU, R. Y. **Adoção da Agricultura de Precisão No Brasil**. AGRICULTURA DE PRECISÃO. Resultados de um Novo Olhar. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Instrumentação. Brasília, 2014. p. 559–577.
- BISOGNIN, M. B.; DE CASTRO PIAS, O. H.; VIAN, A. L.; BASSO, C. J.; SANTI, A. L. Variabilidade no espaçamento de sementes reduz a produtividade de feijão comum. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 49, p. e55134, 2019. Disponível em: <<https://revistas.ufg.br/pat/article/view/55134>>. Acesso em: 19 nov. 2022.
- CASÃO JUNIOR, R. **Os sistemas de dosagem mecânico e pneumático**. A GRANJA, Porto Alegre, p. 26 - 30, mar. 2004.
- CASÃO JUNIOR, R. ARAÚJO, A. G. de; LLANILLO, R.F. **SISTEMA PLANTIO DIRETO NO SUL DO BRASIL: Fatores que promoveram a evolução do sistema e desenvolvimento de máquinas agrícolas**. IAPAR. Londrina, 2008.
- CHMALZ, C. R. **VERIFICAÇÃO DE TIPOS DE DOSADORES DE SEMENTES DE MILHO E SOJA NO NORTE DO PARANÁ**. 2014. 28p. Dissertação (Mestrado em Agricultura de Precisão) – Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. Disponível em: <<https://repositorio.ufsm.br/handle/1/4823>>. Acesso em: 18 jun. 2019.
- CORASSA, G. M.; AMADO, T. J. C.; STRIEDER, M. L.; SCHWALBERT, R.; PIRES, J. L. F.; CARTER, P.R.; CIAMPITTI, I. A. Optimum Soybean Seeding Rates by Yield Environment in Southern Brazil. **Agronomy Journal**, v. 110 p. 2430–2438, 2018.
- DESBESSELL, D. M.; et al. **A precisão na Distribuição plantas interfere no rendimento da soja?**. Informativo Técnico. Agrofarm, v2, n2, p.1-3 Cerejeiras, 2018.
- HÖRBE, T. A. N. **Distribuição espacial de plantas na fileira e sua relação com a produtividade da cultura do milho**. 2015. 66 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2015.
- HÖRBE, T. A. N.; GRAVE, F. L. Entendendo a relação entre distribuição de plantas na linha e a produtividade da soja. **Boletim Técnico 102**. CCGl – Pesquisa e

Tecnologia, 2021. Disponível em: <<https://app.ccgl.com.br/site/rede-tecnica-cooperativa/boletins/>>. Acesso em: 13 dez. 2022.

JUNTOLLI, F. V. **Tecnologia já é usada em cerca de 67% das propriedades rurais do país**. Secretaria Executiva da Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2017.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Agricultura de Precisão. **Boletim Técnico**. 3. ed. Brasília, 2013. 40p.

MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R. do; COLAÇO, A. F. **AGRICULTURA DE PRECISÃO**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2018. 88p. Apostila.

NUMMER, F. I. **Precisão no plantio: sugestão de uma nova abordagem**. 2011. 70 slides. Disponível em: <<http://www.pioneersementes.com.br/media-center/palestras-online/7/precisao-no-plantio-uma-nova-abordagem>>. Acesso em: 16 jun. 2022.

PICHINIM, N. R. M. A. **Qualidade de distribuição longitudinal de plantas de milho e sua produtividade**: um estudo de caso. 2012. 33p. Trabalho (Conclusão de Graduação). – Curso Tecnologia em Mecanização em Agricultura de Precisão, Faculdade de Tecnologia de Pompéia. Disponível em: <<https://repositorio.ufsm.br/handle/1/3611?show=full>>. Acesso em: 18 jun. 2019.

POLON, A.; AMADO, T. J.C. Use of electric motors in seeders and gain in productivity in soybean crop. **Journal of Agricultural Sciences Research**, v. 2, n. 16, p. 10, 2022.

SARAIVA, A. M.; CUGNASCA, C. E.; HIRAKAWA, A. R. APLICAÇÃO EM TAXA VARIÁVEL DE FERTILIZANTES E SEMENTES. **Agricultura de Precisão: conceitos básicos**. Disponível em: <[http://www.ufrrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/IT190\\_principios\\_em\\_agricultura\\_de\\_precisao/livros/Capitulo\\_6.pdf](http://www.ufrrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/IT190_principios_em_agricultura_de_precisao/livros/Capitulo_6.pdf)>. Acesso em: 23 dez. 2022.

SENAR - Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. **Máquinas Agrícolas: tecnologias de precisão**. Brasília, 2012. 76p.

SIQUEIRA, R. **MILHO: SEMEADORAS - ADUBADORAS PARA SISTEMA PLANTIO DIRETO COM QUALIDADE**. 2008. Disponível em: <<http://www2.esalq.usp.br/departamentos/leb/disciplinas/Molin/leb432/Semeadoras/semeadora-Adubadora%20para%20sistema%20de%20plantio%20direto%20com%20qualidade.pdf>>. Acessado em: 16 jun. 2022.