

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

Giovane Matias Burg

**SEMEABILIDADE, COINOCULAÇÃO E RELAÇÃO CAUSA E EFEITO**  
**NA CULTURA DA SOJA**

Santa Maria, RS

2021

**Giovane Matias Burg**

**SEMEABILIDADE, COINOCULAÇÃO E RELAÇÃO CAUSA E EFEITO  
NA CULTURA DA SOJA**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Doutor em Agronomia**.

Orientador: Prof. Dr. Thomas Newton Martin  
Coorientador: Alessandro Dal' Col Lucio

Santa Maria, RS  
2021

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001

Burg, Giovane Matias  
SEMEABILIDADE, COINOCULAÇÃO E RELAÇÃO CAUSA E EFEITO  
NA CULTURA DA SOJA / Giovane Matias Burg.- 2022.  
91 p.; 30 cm

Orientador: Thomas Newton Martin  
Coorientador: Alessandro Dal' Col Lucio  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós  
Graduação em Agronomia, RS, 2022

1. Glycine max 2. plantabilidade 3. nodulação 4.  
produtividade de grãos I. Newton Martin, Thomas II.  
Dal' Col Lucio, Alessandro III. 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, GIOVANE MATIAS BURG, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Tese) 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.

**Giovane Matias Burg**

**SEMEABILIDADE, COINOCULAÇÃO E RELAÇÃO CAUSA E  
EFEITO NA CULTURA DA SOJA**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Doutor em Agronomia**.

**Aprovado em 14 de setembro de 2021:**

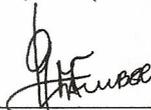
\_\_\_\_\_  
Thomas Newton Martin, Dr. (UFSM) — Videoconferência  
(Presidente/orientador)



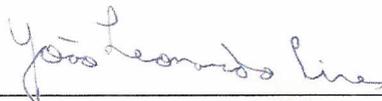
\_\_\_\_\_  
Amauri Nelson Beutler, Dr. (UNIPAMPA) — Videoconferência



\_\_\_\_\_  
Diego Nicolau Follmann, Dr. (UFSM) — Videoconferência



\_\_\_\_\_  
Glauber Monçon Fipke, Dr. (UNIPAMPA) — Videoconferência



\_\_\_\_\_  
João Leonardo Fernandes Pires, Dr. (EMBRAPA) — Videoconferência

Santa Maria, RS  
2021

## **DEDICATÓRIA**

Aos meus pais Benisio Burg e Maria Inês Burg, que sempre estiveram ao meu lado oferecendo suporte e todo apoio. Ao meu irmão Fernando, pela sua garra e incentivando para continuar e não desistir dos meus sonhos em todos os momentos de minha caminhada. E a todos que de alguma forma fizeram parte dos momentos de alegria e apoio.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente à Deus por estar sempre me guiando nos meus caminhos e nas minhas decisões.

À Universidade Federal de Santa Maria, e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela oportunidade de realização do curso.

Ao meu orientador professor Dr. Thomas Newton Martin, pela contribuição na minha formação.

Aos colegas da pós-graduação do Grupo de Pesquisa em Grandes Culturas: Matheus, Evandro, Glauber, Rosana, Joanei, Dionatas, Jessica, pelo companheirismo e troca de experiências.

Ao Esequiel pela ajuda e companheirismo prestado na COXILHA.

A minha namorada Fernanda pelo apoio, compreensão e incentivo para sempre continuar seguindo.

Aos meus tios Geni, Paulo, Renita e Melita por todo apoio prestado durante minha caminhada até a formação.

Aos alunos da iniciação científica por toda a ajuda prestada nas avaliações dos experimentos.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de pesquisa.

Aos membros do comitê de orientação: Thomas Newton Martin, Alessandro D. Lúcio e Benjamin Dias Osorio Filho pelas contribuições da pesquisa.

Aos membros da banca avaliadora: Thomas Newton Martin, Alessandro D. Lúcio, Amauri Nelson Beutler, Glauber Monçon Fipke, Diego Nicolau Follmann e João Leonardo Fernandes Pires pelas contribuições.

À todas as pessoas envolvidas no meu crescimento profissional, muito obrigado.

*“Transportai um punhado de terra todos os dias e fareis uma montanha”.*

Confúcio

## RESUMO

### SEMEABILIDADE, COINOCULAÇÃO E RELAÇÃO CAUSA E EFEITO NA CULTURA DA SOJA

AUTOR: Giovane Matias Burg

ORIENTADOR: Thomas Newton Martin

COORIENTADOR: Alessandro Dal' Col Lucio

A semeabilidade é definida como a precisão da distribuição das sementes na fileira de semeadura. Adequações relacionadas a velocidade de semeadura e a utilização da fixação biológica de nitrogênio são tecnologias capazes de influenciar na produtividade de grãos de soja. Objetivou-se avaliar a relação entre a velocidade de semeadura e a coinoculação sobre os componentes de produtividade e nodulação da soja. O experimento foi realizado segundo o delineamento de blocos ao acaso e os tratamentos foram distribuídos em um bifatorial (2 x 5), coinoculação (com e sem) e cinco velocidades de semeadura, com quatro repetições. Os experimentos foram realizados em três locais de cultivo (Santa Maria, Restinga Sêca e Novo Machado), sendo que nos dois primeiros locais realizou-se as avaliações por dois anos, e no último, em um ano. Houve interação entre a velocidade de semeadura e a coinoculação na produtividade de grãos de soja. As maiores produtividades foram obtidas em velocidades de 2,2 a 5,3 km h<sup>-1</sup>. A coinoculação aumenta o número de nódulos (83,47%), a massa de nódulos por planta (65,45%) e a produtividade de grãos de soja (entre 140 a 220 kg ha<sup>-1</sup>) em função da velocidade de semeadura. Para uma maior uniformidade e distribuição de plantas na fileira a velocidade ideal é até 3,2 km h<sup>-1</sup>. Velocidade de semeadura ≤ 5,2 km h<sup>-1</sup> e coinoculação promovem aumentos na produtividade de grãos de soja.

**Palavras-chave:** *Glycine max*, plantabilidade, nodulação, produtividade de grãos.

## **ABSTRACT**

### **SEEMABILITY, COINOCULATION AND CAUSE AND EFFECT RELATIONSHIP IN SOYBEAN CULTURE**

AUTHOR: Giovane Matias Burg  
ADVISOR: Thomas Newton Martin  
COADVISOR: Alessandro Dal' Col Lucio

## **ABSTRACT**

Seeding is defined as the precision of seed distribution in the seeding row. Adaptations related to sowing speed and the use of biological nitrogen fixation are technologies capable of influencing soybean grain yield. The aim of this study was to evaluate the relationship between sowing speed and coinoculation on soybean yield and nodulation components. The experiment was carried out according to a randomized block design and the treatments were distributed in a bifactorial (2 x 5), coinoculation (with and without) and five sowing speeds, with four replications. The experiments were carried out in three cultivation places (Santa Maria, Restinga Sêca and Novo Machado), and in two places the evaluations were carried out for two years, and in a city for one year. There was an interaction between sowing speed and co-inoculation on soybean grain yield. The highest yields were obtained at speeds from 2,2 to 5,3 km h<sup>-1</sup>. Coinoculation increases the number of nodules (83.47%), the mass of nodules per plant (65.45%) and soybean grain yield (from 140 to 220 kg ha<sup>-1</sup>) as a function of sowing speed. For greater uniformity and distribution of plants in the row, the ideal speed is between 1.0 to 3.2 km h<sup>-1</sup>. Seeding speed < 5,2 km h<sup>-1</sup> and coinoculation promote increases in soybean grain yield.

**Keywords:** Glycine max, plantability, nodulation, productivity.

## LISTA DE TABELAS

### ARTIGO 1– Velocidade de semeadura e a coinoculação na cultura da soja

- Tabela 1 - Resumo da análise de variância, com os respectivos quadrados médios para os espaçamentos aceitáveis (AC), duplas (DU), falhas (FA), distância entre plantas (DP), população de plantas observada (PO) e desvio padrão da amostra (DSP). UFSM - Santa Maria (RS)..... 36
- Tabela 2 - Médias para as variáveis número de falhas (FA, %), distância entre plantas (DP, cm), população de plantas observado (PO, m<sup>2</sup>), UFSM - Santa Maria (RS)..... 39
- Tabela 3 - Resumo da análise de variância, com os respectivos quadrados médios das fontes de variação para temperatura do solo (4 DAS – dias após semeadura), umidade do solo (4 DAS) a 5 cm na camada superficial do solo e cobertura do solo (%). UFSM - Santa Maria (RS)..... 39
- Tabela 4 - Resumo da análise de variância, com os respectivos quadrados médios para as fontes de variação, velocidade de semeadura (2,2; 3,4; 4,8; 8,1; 10,2 km h<sup>-1</sup>) e tipos de coinoculação [sem coinoculação e coinoculado (*Bradyrhizobium* spp + *Azospirillum brasilense*)] nas variáveis massa seca de nódulos, número de nódulos, produtividade de grãos e massa de 1000 grãos. UFSM - Santa Maria (RS)..... 42
- Tabela 5 - Populações de bactérias (*Bradyrhizobium* spp. + *Azospirillum brasilense*) por grama de solo (UFC g<sup>-1</sup> solo), T1 a T5 – (velocidade + coinoculação) e sem coinoculação na área de condução do experimento. Santa Maria (RS), 2018/2019..... 44
- Tabela 6 - Resumo da análise de variância, com os respectivos quadrados médios para verificação dos fatores, velocidade de semeadura (2,2; 3,4; 4,8; 8,1; 10,2 km h<sup>-1</sup>) e tipos de inoculação [sem Coinoculação e coinoculação (*Bradyrhizobium* spp. + *Azospirillum brasilense*)] sobre as variáveis número de nódulos, massa seca de nódulos, produtividade de grãos e massa de 1000 grãos, UFSM - Santa Maria (RS)..... 47
- Tabela 7 - Resumo da análise de variância, com os respectivos quadrados médios para os fatores, velocidade de semeadura (1,0; 3,2; 4,3; 6,4; 7,2 km h<sup>-1</sup>) e coinoculação [sem e com coinoculação (*Bradyrhizobium* spp. + *Azospirillum brasilense*)] para as variáveis espaçamentos aceitáveis (AC), duplas (DU), falhas (FA), distância entre plantas (DP), população de plantas observada (PO) e desvio padrão (DSP). Restinga Sêca (RS)..... 51
- Tabela 8 - Médias da coinoculação (com e sem coinoculação) nas variáveis espaçamentos aceitáveis (AC), distância entre plantas (DP) e população de plantas observada (PO). Restinga Sêca (RS)..... 54

Tabela 9 - Resumo da análise de variância, com os respectivos quadrados médios para verificação do fator velocidade de semeadura sobre a cobertura do solo (%). Restinga Sêca (RS), 2018/2019.....	54
Tabela 10 - Resumo da análise de variância, com os respectivos quadrados médios para verificação dos fatores, velocidade de semeadura (1,2; 3,2; 4,3; 6,4; 7,2 km h <sup>-1</sup> ) e coinoculação (sem e com coinoculação) ( <i>Bradyrhizobium</i> spp. + <i>Azospirillum brasilense</i> ) para as variáveis produtividade de grãos e massa de 1000 grãos. Restinga Sêca (RS).....	56
Tabela 11 - Produtividade de grãos de soja em função da coinoculação. Restinga Sêca (RS).....	56
Tabela 12 - Resumo da análise de variância com os respectivos quadrados médios para verificação dos fatores velocidade de semeadura e coinoculação para as variáveis espaçamentos aceitáveis (AC%), duplas (DU%), falhas (FA%), distância entre plantas (DP), população de plantas observada (PO) e desvio padrão (DSP). Novo Machado (RS).....	58
Tabela 13 - Resumo da análise de variância com os respectivos quadrados médios para verificação dos fatores velocidade de semeadura (2,7; 3,4; 5,6; 7,8; 10 km h <sup>-1</sup> ) e tipos de coinoculação (sem e com coinoculação) sobre as variáveis produtividade de grãos e massa de 1000 grãos. Novo Machado (RS), 2018/2019.....	60

**ARTIGO 2 – Relações de causa e efeito dos caracteres da semeabilidade e a nodulação  
sobre a produtividade de soja**

Tabela 1 - Coeficientes de correlação linear de Pearson, com coinoculação (fundo verde) e sem coinoculação (fundo branco) entre espaçamento duplos (DU%), falhas (FA%), espaçamentos aceitáveis (AC%), população de plantas observadas (PO), distância entre plantas (DP), massa seca de nódulos (MSN), número de nódulos (NN), produtividade de grãos (PG), massa de mil grãos (MMG), umidade do solo (UM) e cobertura do solo (CS), Santa Maria (RS)..... 79

Tabela 2 - Coeficiente de correlação linear de Pearson, com coinoculação (fundo verde) e sem coinoculação (fundo branco) entre espaçamentos duplos (DU), falhas (FA%), espaçamentos aceitáveis (AC%), população de plantas observadas (PO), distância entre plantas (DP), massa seca de nódulos (MSN), número de nódulos (NN) e de produtividade de grãos (PG), massa de mil grãos (MMG) e a cobertura do solo (CS), Restinga Sêca (RS) e Novo Machado (RS)..... 80

Tabela 3 - Efeitos diretos e indiretos e coeficiente de correlação de Pearson (r) da massa seca de nódulos (MSN), espaçamentos duplos (DU), falhas (FA), número de nódulos (NN) e massa de mil grãos (MMG) sobre a produtividade de grãos (PG) de soja..... 84

## LISTA DE FIGURAS

### ARTIGO 1– Velocidade de semeadura e a coinoculação na cultura da soja

- Figura 1 - (A) Precipitação pluviométrica e temperatura média dos municípios de Santa Maria (RS). **Experimento 2018/2019:** 1ª época (semeadura 20/10/2018, florescimento 04/01/2019, colheita 12/03/2019), 2ª época (semeadura 13/12/2018), florescimento 14/03/2019, colheita 20/04/2019). Restinga Sêca (RS): (semeadura 16/11/2018, florescimento 23/01/2019, colheita 10/04/2019). (B) **Experimento 2019/2020:** Santa Maria (RS): 1ª época (semeadura 16/10/2019, florescimento 10/01/2020, colheita 23/03/2020), 2ª época (semeadura 07/12/2019), florescimento 08/03/2020, colheita 07/04/2020). Restinga Sêca (RS): (semeadura 12/11/2019, florescimento 26/01/2020, colheita 05/04/2020). (C) **Experimento 2018/2019:** Novo Machado (RS) (semeadura 07/10/2018, florescimento 30/12/2018, colheita 06/03/2019)..... 34
- Figura 2 - Percentual de espaçamentos aceitáveis (AC)(a) e duplos (DU)(b) entre plantas de soja em relação a velocidades de semeadura e a coinoculação. Santa Maria (RS), 2018/2019..... 37
- Figura 3 - Percentual de espaçamentos aceitáveis (AC)(a), duplos (DU) (b) e falhos (FA) (c) entre plantas de soja em relação a velocidades de semeadura. Santa Maria (RS), 2019/2020..... 38
- Figura 4 - Variação percentual da cobertura do solo (CS) em função da velocidade após a realização da semeadura da soja (a), temperatura do solo (°C) e umidade (%) aos 4 DAS (Dias após semeadura) (b) com diferentes velocidades de semeadura (2,2; 3,4; 4,8; 8,1; 10,2 km h<sup>-1</sup>). Santa Maria (RS), 2018/2019..... 40
- Figura 5 - Número (a) e massa seca de nódulos (b) por planta na coinoculação (*Bradyrhizobium* spp + *Azospirillum brasilense*) e sem coinoculação em velocidades de semeadura (2,2; 3,4; 4,8; 8,1; 10,2 km h<sup>-1</sup>). Santa Maria (RS), 2018/2019..... 43
- Figura 6 - Produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>) em velocidades de semeadura (2,2; 3,4; 4,8; 8,1 e 10,2 km h<sup>-1</sup>). Santa Maria (RS), 2018/2019..... 44
- Figura 7 - Massa de mil grãos (a) e produtividade de grãos (b) nos tratamentos sem e com coinoculação (*Bradyrhizobium* spp + *Azospirillum brasilense*) em velocidades de semeadura (2,2; 3,4; 4,8; 8,1; 10,2 km h<sup>-1</sup>). Santa Maria (RS), 2019/2020..... 45
- Figura 8 - Número de nódulos por planta nas velocidades de semeadura (2,2; 3,4; 4,8; 8,1; 10,2 km h<sup>-1</sup>), nos experimentos de 2018/2019(a) e 2019/2020(b)..... 48

Figura 9 - Massa seca de nódulos por planta com a coinoculação ( <i>Bradyrhizobium</i> spp. + <i>Azospirillum brasilense</i> ) e sem a coinoculação (a) e produtividade de grãos (kg ha <sup>-1</sup> ) (b) em relação a velocidades de semeadura (2,2; 3,4; 4,8; 8,1; 10,2 km h <sup>-1</sup> ). Santa Maria (RS), 2018/2019.....	49
Figura 10 - Produtividade de grãos (kg ha <sup>-1</sup> ) nas velocidades de semeadura (2,2; 3,4; 4,8; 8,1 e 10,2 km h <sup>-1</sup> ). Santa Maria (RS), 2019/2020.....	50
Figura 11 - Variação percentual dos espaçamentos duplos (DU) (a) e falhos (FA) (b) nas velocidades de semeadura (1,0; 3,2; 4,3; 6,4; 7,2 km h <sup>-1</sup> ). Restinga Sêca (RS), 2018/2019.....	52
Figura 12 - Espaçamentos falhos (a), espaçamentos duplos (b), distância entre plantas (c), população de plantas (d) em relação a velocidade de semeadura (1,06; 3,2; 4,3; 6,4; 7,2 km h <sup>-1</sup> ) e coinoculação. Restinga Sêca (RS), experimento 2019/2020.....	53
Figura 13 - Percentagem de cobertura do solo (a) e produtividade de grãos para 2018/2019 (b) e 2019/2020 (c) em relação a velocidade de semeadura (1,2; 3,2; 4,3; 6,4; 7,2 km h <sup>-1</sup> ). Restinga Sêca (RS), 2018/2019.....	57
Figura 14 - Percentual dos espaçamentos aceitáveis (AC) e espaçamentos duplos (DU) em relação a velocidade de semeadura e coinoculação. Novo Machado (RS), 2018/2019.....	59
Figura 15 - Produtividade de grãos de soja em relação às velocidades de semeadura (2,7; 3,4; 5,6; 7,8 e 10 km h <sup>-1</sup> ). Novo Machado (RS), 2018/2019.....	60

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>17</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>18</b>
2.1	COMPETIÇÃO INTRA-ESPECÍFICA E A FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO (FBN).....	18
2.2	VELOCIDADE SEMEADURA.....	19
2.3	COINOCULAÇÃO – <i>BRADYRHIZOBIUM</i> SPP. E <i>AZOSPIRILLUM BRASILENSE</i> .....	20
2.4	FORMAS E APLICAÇÃO DA COINOCULAÇÃO.....	22
2.5	MECANISMOS DE DISTRIBUIÇÃO DAS SEMENTES.....	23
2.6	COBERTURA VEGETAL E UMIDADE.....	25
<b>3</b>	<b>ARTIGO 1 - VELOCIDADE DE SEMEADURA E A COINOCULAÇÃO NA CULTURA DA SOJA.....</b>	<b>26</b>
<b>4</b>	<b>ARTIGO 2 - RELAÇÕES DE CAUSA E EFEITO DOS CARACTERES DA SEMEABILIDADE E A NODULAÇÃO SOBRE A PRODUTIVIDADE DE SOJA.....</b>	<b>69</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>90</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>91</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é importante para a economia brasileira, possuindo a maior área cultivada no país, com 37,1 milhões de hectares cultivados em 2020/2121 com aumento de 3,4% da área comparado com a safra anterior. A produção na safra de 2020/2021 de soja no Brasil atingiu 133,7 milhões de toneladas de grãos (CONAB, 2021). A área cultivada com soja no Brasil segundo projeções deve aumentar cerca de 9,5 milhões de hectares nos próximos 10 anos, chegando em 2029 a 45,3 milhões de hectares devido a diminuição de cultivo de outras culturas sendo substituídos por soja (MAPA, 2019).

A melhoria no processo de implantação e condução da cultura da soja, juntamente com a expansão das áreas de cultivo, cultivares mais produtivas, contribuíram consideravelmente para o aumento da produção nos últimos anos. As cultivares de soja atuais possuem uma ampla variação na densidade de semeadura, adaptando-se a diferentes níveis tecnológicos. A homogeneidade das sementes, a distribuição vertical e horizontal no sulco de semeadura, disponibilidade adequada de umidade no solo e temperatura proporcionam uma emergência uniforme e rápida das plântulas. Considerando a distribuição de plantas na fileira, deve-se ponderar alguns aspectos ligados a semente como o tamanho, germinação e vigor. A importância do arranjo mais adequado, a uniformidade de espaçamento entre as plantas distribuídas na fileira também pode influenciar na produtividade dessa cultura.

As características de distribuição de plantas podem implicar no aproveitamento ineficiente dos recursos disponíveis, como luz, água e nutrientes para maximizar a produtividade da cultura. As causas da aglomeração de plantas em alguns pontos da fileira podem provocar o desenvolvimento de plantas mais altas, menos ramificadas, com menor produção individual, diâmetro de haste reduzido, e, portanto, mais propensas ao acamamento.

A inoculação das sementes de soja com *Azospirillum brasilense*, juntamente com o *Bradyrhizobium* spp, formam um processo denominado de coinoculação. A coinoculação proporciona um melhor fornecimento de nitrogênio e aumento da área radicular e somente ocorrem se as condições de solo (umidade e temperatura) são adequadas.

O fornecimento de nitrogênio (N) às plantas de soja ocorre por meio de uma relação simbiótica entre as plantas e as bactérias do gênero *Bradyrhizobium* spp. A inoculação mista

ou coinoculação que é a associação entre *Azospirillum brasilense* e *Bradyrhizobium* tem apresentado resultados positivos para incremento de produtividade de grãos na cultura da soja.

As bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, responsáveis pela fixação biológica de nitrogênio (FBN) fixam o nitrogênio atmosférico, que é enzimaticamente reduzido à amônia dentro dos nódulos radiculares, e então assimilado pelos tecidos vegetais, na forma de compostos nitrogenados. No Brasil, o sucesso da soja se deve aos benefícios promovidos pela FBN por meio da inoculação de sementes com estirpes de *Bradyrhizobium*. Diferente do *Bradyrhizobium*, o *Azospirillum brasilense* atua por meio da síntese de fitormônios que promovem o crescimento vegetal, principalmente o sistema radicular, o que favorece a nodulação e a FBN realizada pelo *Bradyrhizobium* mostrando incrementos de produtividade.

Assim objetivou-se avaliar os efeitos da velocidade de semeadura na distribuição espacial de plantas na fileira e a sua relação com a coinoculação de sementes de soja.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Competição intra-específica e a fixação biológica de nitrogênio (FBN)**

As plântulas com um rápido vigor de emergência possuem uma capacidade de iniciar o processo fotossintético mais cedo, favorecendo o crescimento da parte aérea e do sistema radicular (FATICHIN et al., 2013). As plântulas com maior área foliar e altura, em estágios posteriores do desenvolvimento, predominaram sobre as plantas que se desenvolveram menos no estágio de plântulas. As plântulas de soja emergidas mais cedo tem vantagem competitiva sobre as plantas emergidas posteriormente, em posições alternadas na mesma fileira e tal vantagem reflete em maior produtividade de grãos por planta (DATTA et al., 2017) como também sementes mais vigorosas (SCHUCH et al., 2000).

A distribuição homogênea de sementes no sulco da semeadura e a coinoculação na semente tem como objetivo padronizar, adicionar e homogeneizar a quantidade de bactérias na semente. Com isso, cada semente terá uma quantidade semelhante de bactérias proporcionando o aumento da nodulação, o comprimento de raízes e a produtividade de grãos de soja. O crescimento e desenvolvimento das plantas é influenciado quando ocorre a

competição entre plantas da mesma espécie por recursos como, absorção da luz solar para realização da fotossíntese (ALMEIDA, 2015).

## 2.2 Velocidade semeadura

A velocidade de semeadura altera a movimentação do solo no sulco, alterando a distribuição linear e em profundidade das sementes no sulco (Jasper et al., 2006). Conforme as normas da ABNT (Projeto de norma 04: 015.06-004) que considera o erro “duplo” quando a distância entre sementes é menor que 0,5 vezes o espaçamento nominal; e as “falhas” quando a distância entre sementes é maior que 1,5 vezes o espaçamento nominal e, “aceitáveis” quando os espaçamentos estiverem entre 0,5 a 1,5 vezes o espaçamento nominal (ABNT, 1994).

A irregularidade de distribuição de plantas é caracterizada quando ocorre o aumento na velocidade de semeadura. Nesse aumento de velocidade gera consequências como a redução da porcentagem do espaçamento entre as sementes aceitáveis na fileira, maior movimentação do solo na abertura e fechamento do sulco além de alterar a distribuição regular das sementes em profundidade (FURLANI et al., 2010). O curto período de dias de semeadura em condições de clima favorável faz, muitas vezes, com que haja necessidade de aumento na velocidade de semeadura para semear na época recomendada. Dessa forma o aumento da velocidade provoca uma variação na trajetória das sementes, causando o “repique” dentro do tubo condutor, atrasando ou antecipando a queda da semente no sulco, alterando o espaçamento entre as sementes na fileira (FERREIRA et al., 2019).

Na semeadura devem ser analisadas outras características como largura do conjunto de semeadora, abertura de sulcos e profundidade de semeadura de forma a proporcionar economia de potência do conjunto mecânico (trator) que ao mesmo tempo, garantir a adequada deposição do fertilizante e das sementes. A abertura de sulcos é realizada por sulcadores, dentre os quais os mais usuais são do tipo discos duplos e hastes sulcadoras. Sendo esses elementos que interferem na velocidade e qualidade de semeadura desde a mimerologia do solo, textura do solo e umidade. A escolha da velocidade correta do conjunto trator/semeadora/adubadora é indispensável para que se possa obter a maior produtividade de

soja, sendo a definição deste fator operacional importante à adequada implantação da cultura da soja (SANTOS et al., 2017).

### 2.3 Coinoculação – *Bradyrhizobium spp.* e *Azospirillum brasilense*

O teor de proteína e óleo nos grãos de soja determinam valor comercial do grão, sendo a principal fonte de proteína vegetal utilizada pela indústria moageira (PIPOLO et al., 2015). Para que a formação de proteínas não seja limitada, é importante que a planta tenha nutrientes disponíveis em quantidades adequadas. Neste contexto, o N é o nutriente absorvido em maior quantidade pela soja, com uma demanda aproximada de 45,6 kg Mg<sup>-1</sup> grãos (ESPER NETO et al., 2021). O N-mineral provindo da decomposição da matéria orgânica do solo (MO), juntamente com a FBN são as principais fontes de fornecimento de N para a soja (HUNGRIA et al., 2008). A alta necessidade de N e o seu custo elevado tornam inviável economicamente a sua utilização no formato mineral (ZILLI et al., 2010). Nas fases iniciais de desenvolvimento, a planta utiliza o N presente nas sementes (3 a 5 kg ha<sup>-1</sup>) e o N proveniente da mineralização da MO, e próximo ao estágio V2 (FEHR; CAVINESS, 1977), a planta utiliza o N da FBN (PIPOLO et al., 2015).

Para a FBN de N a umidade adequada no solo é essencial. O teor de umidade do solo pode ser aumentado com a adoção de práticas agrícolas que proporcionem melhor cobertura da superfície do solo, reduzindo a temperatura e a evaporação da água (HUNGRIA; VARGAS, 2007). Em comparação com solos, o solo com maior umidade tende a baixar a temperatura para evitar a morte das bactérias antes da infecção comparado com o solo seco. Além disso, também pode impedir o fechamento dos estômatos das plantas, reduzindo assim a atividade fotossintética e a nodulação (RAO et al., 2014).

A associação simbiótica entre as raízes da soja e as bactérias do gênero *Bradyrhizobium* contribui com todo o nitrogênio que a soja necessita para produtividade média de 3.600 kg ha<sup>-1</sup>, além de proporcionar valores entre 20 e 30 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio para a cultura em sucessão (BATTISTI; SIMONETTI, 2014). Dessa forma, a inoculação (ou a reinoculação) em áreas com histórico de cultivo de soja deve ser realizada anualmente, pois o período de entressafra de soja ocorre competição entre bactérias fixadoras do nitrogênio e outros microrganismos nativos do solo, reduzindo a população de bactérias FBN menos

adaptadas as variações de regime hídrico e térmico do que os microrganismos nativos, predominando bactérias menos eficientes de FBN (RAO et al., 2014). Atualmente estão disponíveis comercialmente bactérias promotoras do crescimento de plantas do gênero *Azospirillum* spp. Essa bactéria tem finalidade de aumentar o sistema radicular e o volume de solo explorado pelas raízes, aumentando a nodulação da soja e na eficiência de absorção de nutrientes (BULEGON et al., 2014). O fornecimento de N para a cultura da soja, na forma de fontes minerais, inoculação (*Bradyrhizobium*) ou coinoculação (*Bradyrhizobium* + *Azospirillum*) (FERLINI, 2006).

A utilização de bactérias *Bradyrhizobium* + *Azospirillum* denomina-se coinoculação que produz um efeito sinérgico que superam os resultados produtivos obtidos com os mesmos, quando utilizados na forma isolada (HE et al., 2019). Portanto, é consenso a recomendação global de *Azospirillum brasilense* + *Bradyrhizobium* spp (REIS et al., 2000). A coinoculação (*Bradyrhizobium* spp + *Azospirillum* spp.) proporcionou incremento na produtividade de grãos de soja de 240 kg ha<sup>-1</sup> quando comparado à inoculação convencional (somente com *Bradyrhizobium* spp.) (FIPKE et al., 2016).

A forma mais eficiente é inocular bactérias nas sementes ou direto nos sulcos de semeadura (HUNGRIA et al., 2015). Desta forma, quando a primeira raiz de soja germina, diminui a competição com bactérias nativas do solo e naturalizadas pelo sítio de infecção da raiz, para se infectar com bactérias selecionadas e mais eficazes, pois as bactérias estabelecidas no solo são menos eficientes e sujeitas a constantes alterações genéticas no solo (HUNGRIA et al., 2015). O processo de infecção após a germinação ocorre de cinco a oito dias para iniciar o processo de formação de nódulos, sendo sua maior concentração localizada próximo da coroa da raiz variando com diâmetro da raiz de até 4 cm (HUNGRIA et al., 2008).

Logo após a semeadura e emissão das primeiras raízes, a planta passa a liberar flavonóides e betaínas no solo, que servem como atrativos químicos para as bactérias, que passam a se locomover em direção das raízes (BRENCIC; WINANS, 2008). Após esta troca de sinais, ocorre o contato e a adesão das bactérias nos pêlos radiculares, causando a deformação e enrolamento dos mesmos. Posteriormente ocorre a degradação da parede celular, permitindo o contato das bactérias com o exterior da membrana plasmática, que será o local onde será exposto o canal de infecção formado pela fusão das vesículas do complexo de golgi.

Por este canal as bactérias entram no córtex celular, causando diferenciação celular nesta região, dando início ao processo de formação do primórdio nodular, local que será formado o nódulo e as bactérias ficarão abrigadas, podendo assim realizar a função de fixar N<sub>2</sub> (BROUGHTON et al., 2003).

#### 2.4 Formas e aplicação da coinoculação

O inoculante é um produto que contém microrganismo com ação benéfica para o desenvolvimento das plantas, contendo bactérias formadoras de nódulos nas raízes das plantas (rizóbios) desenvolvidos e produzidos de acordo com protocolos estabelecidos. A rede de laboratórios para recomendação, a padronização e difusão de tecnologia de inoculantes microbiológicos de interesse agrícola são fundamentais para sua produção (ZILLI et al., 2010). Os tipos de inoculantes comercializados atualmente no Brasil são os turfosos e os líquidos. A inoculação deve ser feita à sombra e a semeadura deve ser efetuada no mesmo dia da inoculação, mantendo-se a semente inoculada protegida do sol e do calor excessivo (CAMPOS et al., 2001). Independentemente da forma de aplicação do inoculante, é notório que os ganhos em produtividade decorrentes da reinoculação são menos expressivos do que aqueles obtidos em solos de primeiro ano de inoculação com a bactéria (CAMPOS; GNATTA, 2008). Entretanto, há relatos de resposta à reinoculação, resultando em incrementos na produtividade de grãos de soja, com ganhos médios de 4,5% (EMBRAPA, 2004) mesmo em solos com número elevado de células de *Bradyrhizobium* spp., em experimentos realizados nos Cerrados (VARGAS; HUNGRIA, 1997) e no Estado do Paraná (HUNGRIA; ARAUJO et al., 1994). Em relação à quantidade de inoculante utilizados, em áreas novas, sem histórico de inoculação ou em áreas de elevada acidez, é recomendado a aplicação do dobro da dose, pois a sobrevivência da bactéria é afetada pela acidez do solo e pela competição com microrganismos nativos. Com o aumento da aplicação da dose se tem como na prática possa recompensar a perda de células viáveis em solos de baixo pH (SILVA et al., 2011).

A inoculação para a cultura da soja consiste em misturar o inoculante com a semente e realizar a semeadura em no máximo 24 h (BASHAN et al., 2014). Após a germinação das sementes, as bactérias entram em contato com as raízes da planta e iniciam a infecção radicular através dos pelos, formando posteriormente nódulos. Dependendo do

número de nódulos e da eficiência da FBN, a inoculação pode fornecer todo o N do qual a soja necessita (CARDOSO et al., 2019). A inoculação no sulco de semeadura pode ser uma substituição do método tradicional de inoculação. Ela é feita na fileira de semeadura, ou seja, na abertura do sulco onde são depositados fertilizantes e as sementes. Para que este procedimento possa ser adotado, a dose de inoculante deve ser no mínimo, três vezes superior à dose indicada para a inoculação padrão (EMBRAPA, 2004).

A utilização desse método tem a vantagem de reduzir os efeitos tóxicos do tratamento de sementes com fungicidas e da aplicação de micronutrientes nas sementes sobre a bactéria (EMBRAPA, 2004). Desta maneira, o primeiro contato entre o inoculante e a semente acontece no momento da semeadura (O'CALLAGHAN, 2016), inoculação no sulco de semeadura mostra que a produtividade de grãos é maior em 20% (mais de 500 kg ha<sup>-1</sup>), comparada ao tratamento de inoculação em sementes (QUEIROZ et al., 2018). Outro método de aplicação da coinoculação consiste na pós-emergência das plantas, em seu período vegetativo. Nesta técnica, uma suspensão do inoculante com água é preparada e pulverizada nas plantas. Além disso, é uma técnica que poder ser recorrida, caso aconteça a morte bacteriana após as sementes já estarem em contato com o solo (ZILLI et al., 2008).

## 2.5 Mecanismos de distribuição das sementes

A produção de grãos, fundamentada em sistemas sustentáveis, requer o desenvolvimento de equipamentos agrícolas cada vez mais eficientes e precisos. As semeadoras representam importante elemento nesse contexto, uma vez que o desenvolvimento de uma cultura bem como sua produção dependem, em parte, de uma correta distribuição de sementes por unidade de área (MACHADO; REYNALDO, 2017). A uniformidade distribuição longitudinal de sementes é uma das características que mais contribui para a obtenção de um estande adequado de plantas e, conseqüentemente, de boa produtividade da cultura (CORTEZ et al., 2006). Atualmente, existem diversos mecanismos distribuidores de sementes compondo as semeadoras. Muitos deles já estão sendo utilizados comercialmente, como, por exemplo, o mecanismo de discos perfurados (horizontais e verticais), dedos prensos, sistemas pneumáticos de pressão e a vácuo. Cada um desses mecanismos possui

características que influenciam o desempenho de semeadoras quanto à uniformidade na distribuição longitudinal de sementes (BARR et al., 2019).

Além dos mecanismos distribuidores, a velocidade correta do conjunto trator-semeadora é essencial. As semeadoras atuais não permitem que essa prática seja realizada acima de  $8 \text{ km h}^{-1}$  com a precisão necessária. Para que ocorra uma qualidade de semeadura, uma frequência de espaçamentos duplos e falhos reduzidos entre sementes são necessários atenção com os equipamentos de semeadura. Velocidades de 4 a  $6 \text{ km h}^{-1}$  se recomenda discos com sistemas mecânicos e para velocidades até  $8 \text{ km h}^{-1}$  recomenda-se o sistema pneumáticos (BERTELLI et al., 2016). JASPER et al. (2011) mostraram que ao se deparar com semeadoras mecânicas com discos horizontais e semeadoras pneumáticas, a distribuição longitudinal das sementes no sistema pneumático é eficiente, até mesmo quando a velocidade é aumentada. À medida que a velocidade aumenta, os espaçamentos múltiplos aumentam e os espaçamentos aceitáveis diminuem, mas mesmo assim o sistema pneumático foi o mais adequado comparado ao sistema mecânico com disco horizontal.

A velocidade de semeadura afeta o sistema de dosagem, prejudicando o sistema que individualiza as sementes, bem como a passagem por ele, a passagem pelo tubo condutor e a velocidade com que a semente chega ao sulco de semeadura (PINHEIRO NETO et., 2008). Além disso, à medida que a velocidade aumenta ocorre maior abertura do sulco, afetando a alteração da profundidade da semente (TOURINO et al., 2002). Para o processo de semeadura, as sementes liberadas pelos mecanismos dosadores da semeadora adquirem dois componentes de velocidade, um vertical, devido a queda livre da semente e outro horizontal, devido ao deslocamento do conjunto trator-semeadora. O componente horizontal de velocidade faz com que as sementes arremessadas para fora do local de destino, no momento do impacto com o solo, alterando o espaçamento entre as sementes (BARR et al., 2019). A distribuição de espaçamentos duplos aumentou e os espaçamentos aceitáveis diminuíram de acordo com a velocidade de semeadura, sempre com valores melhores do que os encontrados com o sistema de semeadora com disco horizontal (JASPER et al., 2011). O componente horizontal fará com que a semente colida com a parede do tubo condutor, alterando assim o tempo de queda livre da semente ao solo e, portanto, alterando a distância entre eles (CORTEZ et al., 2006). A regularidade na deposição de semente no sulco com o sistema de componente horizontal

possa diminuir os danos causados no deslocamento de semente pelo tubo condutor e assim evitando amassados, dobras e cortes que possam interferir no fluxo livre de sementes depositados no sulco (BARR et al., 2019).

## 2.6 Cobertura vegetal e umidade do solo

Semeaduras com a presença de palha como o sistema de plantio direto, podem dificultar a deposição da semente e diminuir a qualidade de semeadura. Contudo com o ajuste preciso das máquinas é possível, mesmo em áreas com palha na superfície do solo ocorrer espaçamentos aceitáveis próximos de 90% (WEIRICH NETO et al., 2012).

A cobertura vegetal é de grande importância para o solo, mas se a semeadora não estiver devidamente ajustada, esta camada interferirá na correta distribuição das sementes (OLIVEIRA et al., 2000). Nessas áreas, o sistema de semeadora deve instalar um disco de corte na frente do dispositivo de semeadora para cortar o material vegetal, abertura de sulcos e deposição de sementes. A cobertura vegetal deve estar seca ou verde e evitar de trabalhar com palha estando umida (AIKINS et al., 2019). Isso devido a sua alta resistência, dificultando o seu corte, o que fará com que a massa vegetal no sulco se torne mais profunda, fará com que as sementes se deponham na palha e prejudicando sua germinação (PINHEIRO NETO et al., 2008). Além disso, é importante destacar a pressão da mola e o tamanho do disco de corte, e ajustar a semeadora de acordo com a quantidade e tipo de palha para melhorar a eficiência da semeadura (MION; BENEZ, 2008).

A umidade do solo é importante para a FBN, sendo a cobertura vegetal que possa favorecer essa umidade do solo para a germinação e emergência da soja. O estresse hídrico é uma das causas que afeta a FBN, seja ela falta ou excesso de água. Uma das principais razões para a baixa taxa de nodulação é a deficiência hídrica, o que reduz as condições ideais para a formação de nódulos e sobrevivência das bactérias. O efeito da baixa umidade do solo sobre as bactérias depende da resistência, duração e estágio de desenvolvimento da planta. O maior impacto do déficit hídrico na simbiose, quando ocorre formação de nódulos e rendimento de grãos ocorre durante o estágio V2, floração plena (R2) e enchimento de grãos (R5) e formação de nódulos (FLAJŠMAN et al., 2019).

## ARTIGO 1 - VELOCIDADE DE SEMEADURA E A COINOCULAÇÃO NA CULTURA DA SOJA

### RESUMO

Na semeadura da soja, o estande adequado de plantas e a uniformidade de distribuição de sementes são fatores que influenciam na produtividade de grãos. Objetivou-se com esta pesquisa, avaliar a relação entre a velocidade de semeadura de soja e a coinoculação (*Bradyrhizobium japonicum* + *Azospirillum brasilense*) nos componentes de produtividade e nodulação da cultura. Para tal, foram realizados sete experimentos. Em Santa Maria, nas safras de 2018/2019 e 2019/2020 realizou-se dois experimentos em cada ano, em Restinga Sêca realizou-se um experimento em 2018 e 2019 e em Novo Machado um experimento em 2019/2020. Em todos os experimentos o delineamento experimental foi o de blocos ao acaso. Os tratamentos foram distribuídos em um fatorial (2 x 5), coinoculação (com e sem) e cinco velocidades de semeadura com quatro repetições. Os sete experimentos tiveram resultados distintos quanto a melhor velocidade de semeadura e eficiência da coinoculação. Existe uma tendência o início da época de semeadura velocidades entre 3 e 4 km h<sup>-1</sup> apresentem maiores produtividade de grãos de soja. Em semeaduras realizadas mais ao final da época recomendada possuem queda de produtividade mais rápida quando as velocidades de semeadura superaram os 4 km ha<sup>-1</sup>. A coinoculação proporciona um aumento de nodulação e da massa seca de nódulos por planta aumentando a produtividade de grãos entre 140 a 220 kg ha<sup>-1</sup>, aumentando a produtividade em qualquer velocidade de semeadura utilizada (Santa Maria primeira época de semeadura (2019/2020) e Restinga Sêca (2019/2020)).

**Palavras-chave:** *Glycine max*, produtividade, semeabilidade, velocidade.

## ARTICLE 1 - SEEDING SPEED AND COINOCULATION IN SOYBEAN CULTURE

### ABSTRACT

Soybean planting, adequate stand and uniform seed distribution are factors that influence grain yield. The objective of this research was to evaluate the relationship between soybean sowing speed and coinoculation (*Bradyrhizobium japonicum* + *Azospirillum brasilense*) in the yield and nodulation components of the crop. To this end, seven experiments were carried out. In Santa Maria, in the harvests of 2018/2019 and 2019/2020, two experiments were carried out each year, in Restinga Sêca one experiment was carried out in 2018 and 2019 and in Novo Machado one experiment in 2019/2020. In all experiments, the experimental design was randomized blocks. The treatments were distributed in a factorial (2 x 5), coinoculation (with and without) and five sowing speeds with four repetitions. The seven experiments had different results in terms of better sowing speed and co-inoculation efficiency. There is a tendency for the beginning of the sowing season at speeds between 3 and 4 km h<sup>-1</sup> to present higher soybean grain yield. In sowings carried out towards the end of the recommended period, there is a faster drop in productivity when sowing speeds exceed 4 km ha<sup>-1</sup>. Co-inoculation provides an increase in nodulation and nodule dry mass per plant, increasing grain yield between 140 to 220 kg ha<sup>-1</sup>, increasing yield at any used sowing speed (Santa Maria first sowing date (2019/2020) and Restinga Seca (2019/2020)).

**Keywords:** *Glycine max*, productivity, seedability, speed.

## 1. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é essencial para a economia brasileira, sendo a cultura de maior expressão em área cultivada no país, com 37,1 milhões de hectares cultivados em 2020/2021 e uma produção de 133,7 milhões de toneladas (Conab, 2021). Para aumentar a produção brasileira de soja, o manejo deve estar associado a práticas agrícolas eficientes. Contudo, existem problemas que não permitem a ampliação da produtividade. Dentre eles, destaca-se a velocidade de semeadura que altera as populações, distribuições das sementes e profundidades de semeadura, limitando a produtividade de grãos. Além disso, a sustentabilidade na produção de soja é obtida mediante a coinoculação, reduzindo a queima de combustíveis fósseis (Soumare et al., 2020) e a contaminação de águas subterrâneas do solo e ar pela utilização de nitrogênio mineral (Holub et al., 2020).

Velocidades de semeadura de até 4 km h<sup>-1</sup> proporcionam melhor distribuição das sementes e menor variabilidade entre as plantas, revolvimento do solo e conseqüentemente maior produtividade de soja (Masino et al., 2018). A distribuição de sementes no sulco de semeadura é influenciada pelo tamanho da semente de soja, escolha adequada do disco, vigor e germinação das sementes. Com isso a velocidade de semeadura é o principal fator que causa desuniformidade na distribuição das plantas (Johansen et al., 2012).

A relação entre plantas e sua competição (luz, água e nutriente) altera o fluxo de nutrientes e a capacidade fotossintética entre elas (Waraich et al., 2011). A magnitude dos impactos causados pelos elementos fixos da semeadora no solo é proporcional a velocidade de semeadura, alterando a posição que a semente ocupa no sulco. O processo de semeadura consiste no corte da palha, abertura do sulco, deposição de fertilizantes e sementes, fechamento do sulco e uma leve compactação do solo próximo a semente. Quando as velocidades de semeadura são adequadas, as sementes ficam depositadas equidistantes, já quando o espaçamento entre as sementes é inferior ou superior a 50% do espaçamento teórico tem-se espaçamentos duplos e falhos, respectivamente (Bruns, 2011).

A uniformidade da distribuição das sementes proporciona uma homogeneidade no processo de germinação, reduzindo a competitividade em relação às plantas daninhas e a competição intraespecífica (Fatichin et al., 2013; Bertelli et al., 2016). Sistemas de semeadura que envolvem a presença de palha superficial, dificultam a deposição da semente e diminuem

a qualidade de semeadura (Dos Santos et al., 2014), quando realizadas com equipamento e velocidades inadequados.

Além da distribuição adequada de sementes no sulco de semeadura, a associação de bactérias na coinoculação (*Bradyrhizobium* spp. + *Azospirillum brasilense*) contribui para o aumento da produtividade de grãos de soja (Braccini et al., 2016 e Kloepper, 1978). Diante disso, a fixação biológica de nitrogênio (FBN) é favorecida em condições de baixa disponibilidade hídrica e de alta temperatura que ocorrem frequentemente no Brasil (Rosenzweig et al., 2001).

A redução da eficiência da FBN ocorre quando o manejo de solo é inadequado, expondo os microrganismos a temperaturas superiores a 35 °C e baixas umidades. Para reduzir os efeitos negativos da temperatura e umidade do solo sobre os microrganismos, algumas estratégias podem ser adotadas. Dentre elas destaca-se a coinoculação que irá estimular a infecção das bactérias nas raízes, aumentando a nodulação e a produtividade de grãos de soja. A coinoculação de *Bradyrhizobium* spp. e *A. brasilense* aumenta o número de pêlos radiculares, nodulação e a FBN (Hungria e Mendes, 2015). A coinoculação apresenta benefícios para a cultura da soja, como a produção de fitohormônios, auxinas, citocininas e giberelinas (Puente et al., 2018). Dessa forma, esse procedimento propicia alterações na morfologia do sistema radicular como o desenvolvimento de raízes, em número de raízes laterais e adventícias (Dobbelaere e Okon, 2007). Essas alterações contribuem para que as plantas explorem um maior volume de solo e, por conseguinte possam ser mais tolerantes a possíveis déficits hídricos e mais eficientes na absorção de nutrientes (Cohen et al., 2015).

As alterações morfológicas das raízes das plantas causadas pela inoculação com *Azospirillum* estão correlacionadas com o aumento da produção e secreção de auxina (ácido indol acético) (Dobbelaere e Okon, 2007). Um aumento na taxa de ABA nas plantas é um sinal radicular para o fechamento dos estômatos e essa resposta fará com que a planta evapotranspire menos e amplie o sistema radicular (Zhang e Outlaw, 2001). A estimulação das ramificações de raízes provocados pela ABA favorece a absorção de água pelas plantas (De Smet et al., 2006). A sobrevivência das bactérias inoculadas no solo depende da temperatura e da umidade do solo, bem como a relação da velocidade de semeadura com esses parâmetros.

Objetivou-se avaliar a relação entre a velocidade de semeadura e a coinoculação sobre os componentes de produtividade e nodulação da soja.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

Neste estudo, foram realizados sete experimentos, os quais foram desenvolvidos em três municípios do estado do Rio Grande do Sul, Brasil: Santa Maria, Restinga Sêca e Novo Machado. O clima do estado, conforme a classificação de Köppen é do tipo Cfa, subtropical de clima temperado chuvoso (Alvarez et al., 2013). A precipitação e a temperatura dos locais estão apresentadas na Figura 1.

### **LOCAL 1, Santa Maria, RS, 2018/2019 (duas épocas) e 2019/2020 (duas épocas)**

O experimento foi realizado na Universidade Federal de Santa Maria, localizado nas coordenadas geográficas, 29°42' de latitude sul, 53°42' de longitude oeste e 116 metros de altitude. O solo da área é classificado como Argissolo Vermelho distrófico arênico (EMBRAPA, 2013), Ultisol de acordo com a classificação do Soil Taxonomy (USDA, 2014). A análise química do solo na camada de 0-10 cm apresentou as seguintes características: solo com pH (água, 1:1) = 5,5; matéria orgânica (% m/v) = 2,2; argila (% m/v) = 26; fósforo, P-Mehlich (mg dm<sup>-3</sup>) = 11,8 potássio (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) = 0,164; H + Al (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) = 3,9; CTC (pH 7, cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) = 12,2 e saturação de bases (%) = 67,9.

Foi utilizado o delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições por tratamento, distribuídos em um bifatorial (2 x 5), coinoculação (com e sem) e cinco velocidades de semeadura. As velocidades de semeadura foram (2,2; 3,4; 4,8; 8,1; 10,2 km h<sup>-1</sup>). O mecanismo utilizado de distribuição de sementes foi o sistema mecânico com discos horizontais alveolados.

A semeadura das sementes para os experimentos de 2018/2019 foi realizada no dia 20 de outubro de 2018 (1° época) sobre a palhada de aveia. No dia 13 de dezembro de 2018, foi realizado o segundo experimento no mesmo local (2ª época), em uma área sem cultivo de soja a qual apresenta apenas campo nativo e sem histórico da utilização da coinoculação no local. No experimento de 2019/2020 a semeadura foi realizada no dia 16 de outubro de 2019 (1° época) em área de pousio e no dia 7 de dezembro foi realizado o experimento no referido

local (2ª época). A cultivar de soja utilizada foi a NS 5959 IPRO, com densidades de semeadura de 34 sementes m<sup>2</sup>, todos os experimentos.

Cada unidade experimental foi constituída de 7,75 m de comprimento por 2,25 m de largura, com cinco fileiras espaçadas 0,45 m, totalizando 17,4 m<sup>2</sup> de área total e 6,75 m<sup>2</sup> de área útil. No tratamento químico das sementes foi utilizado fungicida + inseticida: Piraclostrobina 25g i.a L<sup>-1</sup> + Tiofanato metílico 225g i.a L<sup>-1</sup> + Fipronil 250g i.a L<sup>-1</sup> (Standak® Top) na dose 2 mL kg<sup>-1</sup> de sementes. Foi realizada uma adubação de 375 kg ha<sup>-1</sup> da mistura NPK de formulação 00-23-30. Os manejos de pragas, doenças e plantas daninhas foram realizados conforme as recomendações técnicas e evitando que esses fatores interferissem no desenvolvimento da cultura (EMBRAPA, 2013). Foi coletada uma amostra de solo antes da semeadura e uma no momento da colheita, para avaliar o número de bactérias presente no solo. A umidade do solo foi verificada pelo método da estufa, que consiste na secagem da amostra de solo, obtido após a secagem de uma amostra natural por um período de 72 horas submetidas a 65 °C. Após 72 horas, o solo foi novamente pesado e pela diferença de massa entre o solo seco e o solo úmido estabeleceu-se o limite superior de retenção de água (100% da capacidade de retenção) (Wösten et al., 1999). O percentual de cobertura de solo foi estimada pelo software “ImageJ”.

Quando as plantas atingiram o estágio fenológico R2 Fehr e Caviness (1977), foi realizada a contagem de nódulos das raízes. Foram avaliadas quatro plantas de cada unidade experimental. Nessa coleta manteve-se um volume de solo pré-estabelecido para cada planta de 0,008 m<sup>3</sup> com dimensões de 0,2 (L1) x 0,2 (L2) x 0,2 (H) coletadas aleatoriamente com auxílio da pá-de-corte, centralizando duas plantas no quadro 0,2 (L1) x 0,2 (L2) m. O número de nódulos foi determinado pela contagem de nódulos nas raízes principais e secundárias de cada planta (NN, planta<sup>-1</sup>). Após a contagem realizou-se a lavagem dos nódulos com posterior secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65°C por 48 horas. Após esse período, as amostras foram retiradas da estufa e pesadas determinando-se a massa seca de nódulos por planta (MSN, mg planta<sup>-1</sup>).

**LOCAL 2, Restinga Sêca, RS, 2018/2019 e 2019/2020**

O experimento foi realizado no município de Restinga Sêca no estado do Rio Grande do Sul, na localização geográfica 29°44'27,26''S e 53°29'56.27''O, com a altitude de 85 metros. O solo da área é classificado como Argissolo Vermelho distrófico arênico (EMBRAPA, 2013), com Ultisol de acordo com a classificação do Soil Taxonomy (USDA, 2014). Foi utilizado o delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições em parcela subdividida, distribuídos em um bifatorial (2 x 5), com coinoculação (com e sem) casualizada na subparcela e cinco velocidades de semeadura casualizada na parcela principal. As cinco velocidades de semeadura foram: (1,2; 3,2; 4,3; 6,4; 7,2 km h<sup>-1</sup>). O mecanismo de distribuição de sementes foi o sistema mecânico, com discos horizontais alveolados. A semeadura foi realizada com semeadora-adubadora com seis fileiras. Em três fileiras, foi empregado o tratamento de semente do produtor (sem coinoculação) e, nas demais, foi realizada a coinoculação.

A semeadura dos experimentos foi realizada no dia 16 de novembro de 2018 e o experimento 2019/2020 foi realizada no dia 12 de novembro de 2019, em que ambos os experimentos foram semeados sobre a palhada de aveia. A cultivar utilizada para o experimento do experimento 2018/2019 foi a Brasmax Garra e para o experimento 2019/2020, a cultivar NEO 610IPRO. Cada unidade experimental foi constituída de 7,75 m de comprimento por 1,35 m de largura, com três fileiras espaçadas 0,45 m, totalizando 10,4 m<sup>2</sup> de área total e 6,75 m<sup>2</sup> de área útil. Foi realizada uma adubação de 350 kg ha<sup>-1</sup> da mistura NPK de formulação 02-30-15.

**LOCAL 3, Novo Machado, RS, 2019/2020**

O experimento foi realizado no município de Novo Machado no estado do Rio Grande do Sul na localização geográfica 27°34'41.68''S e 54°30'41.62''O a 247 metros de altitude. O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho Distroférrico, correspondente a Oxisol de acordo com a classificação do Soil Taxonomy, com 15,9 % de areia, 27,5 % de silte e 56,6 % de argila (USDA, 2014). O clima da região, conforme a classificação de Köppen é do tipo Cfa, subtropical de clima temperado chuvoso (Alvarez et al., 2013; Tapiador et al., 2019). Foi utilizado o delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições em parcela subdividida,

distribuídos em um bifatorial (2 x 5), com coinoculação (com e sem), casualizada na subparcela e cinco velocidades de semeadura casualizada na parcela principal. As cinco velocidades de semeadura utilizadas foram: 2,7; 3,4; 5,6; 7,8 e 10,0 km h<sup>-1</sup>. O mecanismo de distribuição de sementes é o mecânico, com discos horizontais alveolados.

A semeadura foi realizada com semeadora-adubadora com seis fileiras, em que três fileiras foram submetidas pelo tratamento de semente feito pelo produtor (sem coinoculação) e as demais foram submetidas pela coinoculação de semente. Foi aplicado uma adubação de 350 kg ha<sup>-1</sup> com a mistura NPK de formulação 02-20-30. A semeadura desse experimento ocorreu no dia 15 de outubro de 2018 sobre a palhada de aveia. A cultivar utilizada para o experimento de 2018/2019 foi a Nidera 6909 IPRO. Cada unidade experimental foi constituída de 7,75 m de comprimento por 1,35 m de largura, com três fileiras espaçada 0,45 m, totalizando 10,4 m<sup>2</sup> de área total e 6,75 m<sup>2</sup> de área útil.

Para os sete experimentos foram mensuradas as seguintes variáveis: distância entre plantas (DP), que é a medida para quantificar os espaçamentos aceitáveis (AC), espaçamentos falhos (FA), duplas (DU), população de plantas (PO). A medida de distância entre as plantas foi considerada em porcentagens dos espaçamentos: “duplos” (DU), menores que 0,5 vez o espaçamento médio esperado (Xref.) de referência nominal; “aceitáveis” (AC), de 0,5 a 1,5 vez o espaçamento médio esperado (8,3 cm) (Xref.); e “falhas” (FA) maiores que 1,5 vez o espaçamento médio esperado (Xref.), conforme (Kachman e Smith, 1995). Utilizou-se uma régua métrica em todas as cinco fileiras de cada parcela.

A coinoculação foi realizada com inoculante líquido à base da bactéria *Bradyrhizobium japonicum* [concentração de 7 x 10<sup>9</sup> unidade formadora de colônia (UFC) mL<sup>-1</sup>] na dose de 6 mL kg<sup>-1</sup> de sementes e *Azospirillum brasilense* (concentração de 2 x 10<sup>8</sup> UFC mL<sup>-1</sup>) na dose de 2,0 mL kg<sup>-1</sup> de sementes. Na colheita avaliou-se a massa de mil grãos (MMG) e a produtividade de grão (PG). A PG foi obtida por meio de pesagem dos grãos da área útil da parcela. Os valores da MMG e PG foram corrigidos para umidade padrão de 13% (Brasil, 2009).

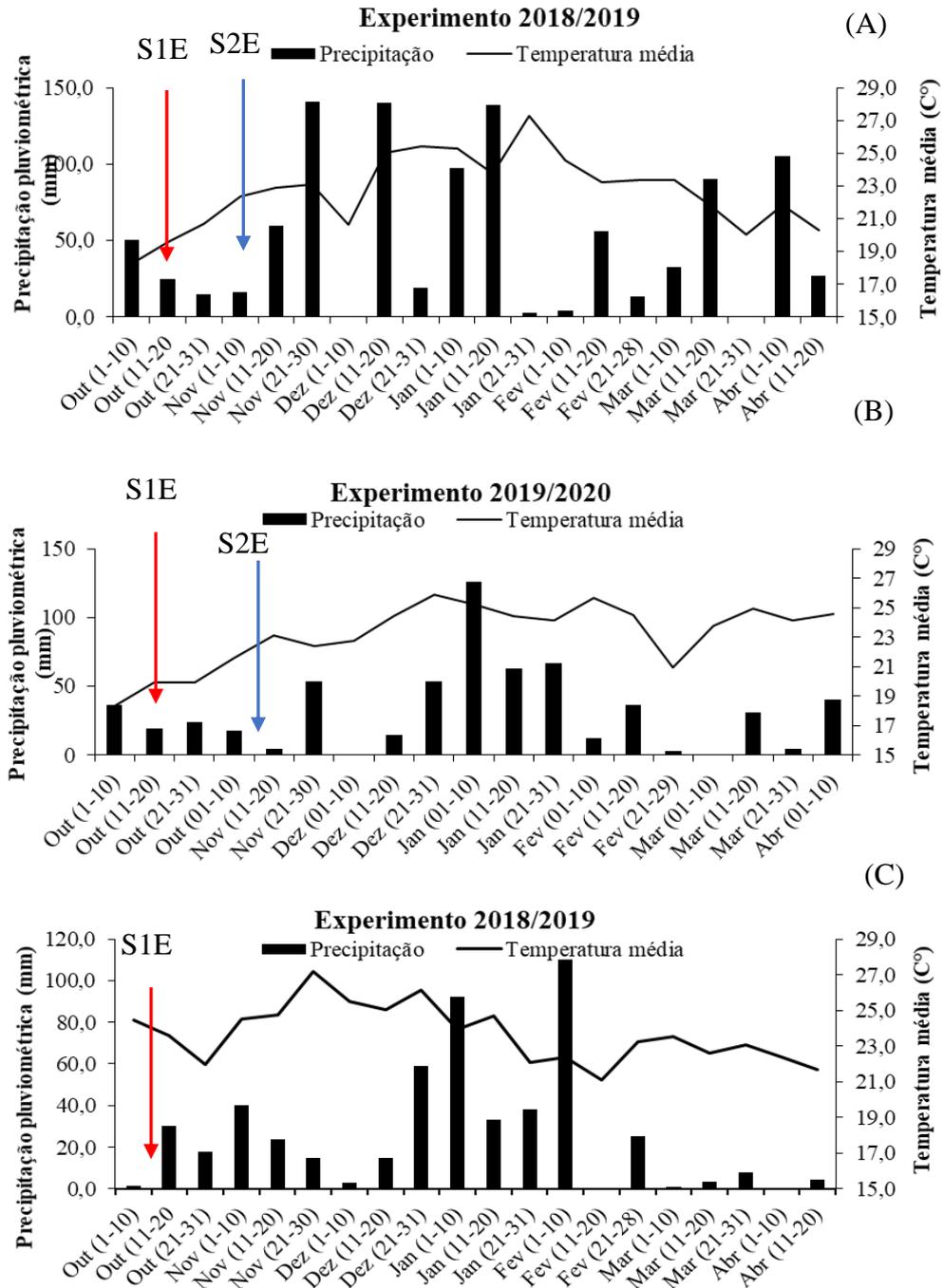


Figura 1 - (A) Precipitação pluviométrica e temperatura média dos municípios de Santa Maria (RS). **Experimento 2018/2019:** 1ª época (semeadura 20/10/2018, florescimento 04/01/2019, colheita 12/03/2019), 2ª época (semeadura 13/12/2018), florescimento 14/03/2019, colheita 20/04/2019). Restinga Sêca (RS): (semeadura 16/11/2018, florescimento 23/01/2019, colheita 10/04/2019). (B) **Experimento 2019/2020:** Santa Maria (RS): 1ª época (semeadura 16/10/2019, florescimento 10/01/2020, colheita 23/03/2020), 2ª época (semeadura 07/12/2019), florescimento 08/03/2020, colheita 07/04/2020). Restinga Sêca (RS): (semeadura 12/11/2019, florescimento 26/01/2020, colheita 05/04/2020). (C) **Experimento 2018/2019:** Novo Machado (RS) (semeadura 07/10/2018, florescimento 30/12/2018, colheita 06/03/2019).

Os dados foram submetidos à análise de variância a 5% de probabilidade de erro quando significativas, os grupos de médias foram separadas pelo teste de Scott-Knott ou por meio de análise de regressão, utilizando o software Sisvar, a fim de observar as interações (Ferreira, 2011).

### **3.RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **LOCAL 1, Santa Maria, RS (primeira época de semeadura, 2018/2019 e 2019/2020)**

No experimento realizado no período 2018/2019 ocorreu a interação entre a velocidade e a coinoculação (VxI) (Tabela 1). Em relação a coinoculação, as diferenças são significativas para as variáveis de espaçamentos falhos, distância entre plantas e população de plantas. No experimento realizado em 2019/2020, a velocidade diferiu para espaçamentos aceitáveis, espaçamentos duplos e falhas, e na coinoculação foi significativo para distância entre plantas e população de plantas. A diferença significativa para as variáveis nos experimentos ocorreu provavelmente devido a cobertura de solo. No experimento de 2018/2019, a cobertura de inverno foi aveia e no experimento de 2019/2020 a semeadura foi realizada em área de pousio. Essas alterações de áreas tendem a aumentar a quantidade de plantas daninhas (experimento após o pousio), bem como o seu custo para o controle, a perda de nutrientes de solo, redução da atividade microbiana, o equilíbrio ambiental e a ciclagem de nutrientes do solo.

No experimento 2018/2019, o número de espaçamentos aceitáveis entre as plantas diminuiu conforme o aumento da velocidade de semeadura (Figura 2a). Com a utilização da coinoculação e sem a coinoculação não ocorreu diferença no número de espaçamentos aceitáveis. A maior velocidade (10,2 km h<sup>-1</sup>) proporcionou uma redução de 34,9% nos espaçamentos aceitáveis em relação à velocidade de 2,2 km h<sup>-1</sup>. A distribuição de sementes com o aumento da velocidade diminui a porcentagem de espaçamentos aceitáveis. A menor porcentagem de espaçamentos duplos ocorreu entre as velocidades 2,2 e 4,8 km h<sup>-1</sup>. Já a maior diferença com aumento de porcentagem de espaçamentos duplos ocorreu a partir da velocidade 8,1 a 10,2 km h<sup>-1</sup> (Figura 2b).

Tabela 1 - Resumo da análise de variância, com os respectivos quadrados médios para os espaçamentos aceitáveis (AC), duplas (DU), falhas (FA), distância entre plantas (DP), população de plantas observada (PO) e desvio padrão da amostra (DSP). UFSM - Santa Maria (RS).

<b>Experimento 2018/2019 (Primeira época de Semeadura)</b>							
Fonte de Variação	GL	AC (%)	DU (%)	FA (%)	DP (cm)	PO (m <sup>2</sup> )	DSP
Bloco	3	29,45 <sup>ns</sup>	29,57 <sup>ns</sup>	16,44 <sup>ns</sup>	1,35 <sup>ns</sup>	3,62 <sup>ns</sup>	0,016 <sup>ns</sup>
Velocidade (V)	4	302,57*	352,32*	10,30 <sup>ns</sup>	1,48 <sup>ns</sup>	3,92 <sup>ns</sup>	0,008 <sup>ns</sup>
Coinoculação (I)	1	179,39*	6,46*	<b>25,62*</b>	<b>14,34*</b>	<b>45,63*</b>	0,006 <sup>ns</sup>
V x I	4	<b>83,53*</b>	<b>3,34*</b>	14,67 <sup>ns</sup>	1,05 <sup>ns</sup>	1,91 <sup>ns</sup>	0,003 <sup>ns</sup>
Resíduo	27	17,11	14,09	20,53	1,34	2,56	0,008
CV %	-	8,89	18,35	14,06	10,33	7,8	4,17
<b>Experimento 2019/2020 (Primeira época de Semeadura)</b>							
Bloco	3	5,58 <sup>ns</sup>	8,21 <sup>ns</sup>	18,93 <sup>ns</sup>	5,589 <sup>ns</sup>	15,55*	0,04 <sup>ns</sup>
Velocidade (V)	4	<b>731,12*</b>	<b>37,90*</b>	<b>553,36*</b>	93,02	230,37 <sup>ns</sup>	0,109 <sup>ns</sup>
Coinoculação (I)	1	9,55 <sup>ns</sup>	0,584 <sup>ns</sup>	14,86 <sup>ns</sup>	<b>1,53*</b>	<b>17,65*</b>	0,026 <sup>ns</sup>
V x I	4	5,08 <sup>ns</sup>	5,19 <sup>ns</sup>	7,44 <sup>ns</sup>	3,89 <sup>ns</sup>	2,45 <sup>ns</sup>	0,027 <sup>ns</sup>
Resíduo	27	9,79	6,65	7,86	1,55	3,23	0,028
CV %	-	6,13	8,55	14,89	14,71	10,39	7,68

\*, <sup>ns</sup>, significativo a 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste F. GL: graus liberdade, CV%: coeficiente de variação percentual.

À medida que a uniformidade de espaçamentos diminui com o aumento da velocidade, verificou-se a diminuição dos espaçamentos aceitáveis e aumento do número de falhas e duplas com o aumento da velocidade de semeadura (Reynaldo et al., 2016). Dessa forma, os espaçamentos duplos aumentaram conforme a velocidade. Quando as sementes foram submetidas a coinoculação se obteve mais espaçamentos duplos. A coinoculação pode ter contribuído para eficiência nas condições de germinação e emergência de plantas em comparação às situações em que não ocorre a utilização da coinoculação. O efeito da coinoculação sobre a germinação pode estar relacionado ao processo fisiológico de liberação natural de hormônios e nutrientes que estão presentes nas sementes (Shahrajabian et al., 2021).

A utilização da coinoculação tem a capacidade de promover a germinação e a emergência das sementes, o crescimento das plantas, a ramificação radicular e a nodulação (Juge et al., 2012). Dessa forma, a ativação de substâncias em condições climáticas adversas proporciona a melhor germinação e o crescimento rápido e uniforme de plantas de soja (Jisha

et al., 2013), demonstrando que a FBN possui a capacidade de sintetizar hormônios vegetais na produção (Hungria et al., 2011).

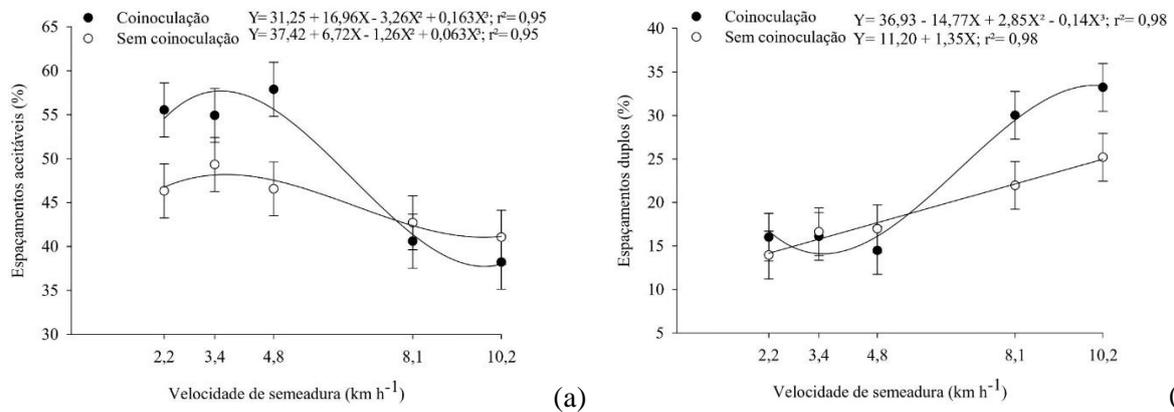


Figura 2 - Percentual de espaçamentos aceitáveis (AC)(a) e duplos (DU)(b) entre plantas de soja em relação a velocidades de semeadura e a coinoculação. Santa Maria (RS), 2018/2019.

No experimento de 2019/2020, os espaçamentos aceitáveis foram diminuindo conforme o aumento da velocidade independentemente da coinoculação, de 2,2 km h<sup>-1</sup> (62,77%) e para 10,2 km h<sup>-1</sup> (39,8%), causando uma diferença de 22,96% de espaçamentos aceitáveis (Figura 3a). A menor porcentagem de espaçamentos duplos ocorreu entre as velocidades 2,2 km h<sup>-1</sup> (27%) e na maior na velocidade de 6,7 km h<sup>-1</sup> (32,7%) (Figura 3b). A porcentagem de espaçamentos falhos teve a mesma tendência, aumentando com a velocidade. Foi verificado que na velocidade 2,2 km h<sup>-1</sup> e 10,2 km h<sup>-1</sup> ocorreu 10% e 30% de espaçamentos falhos respectivamente (Figura 3c).

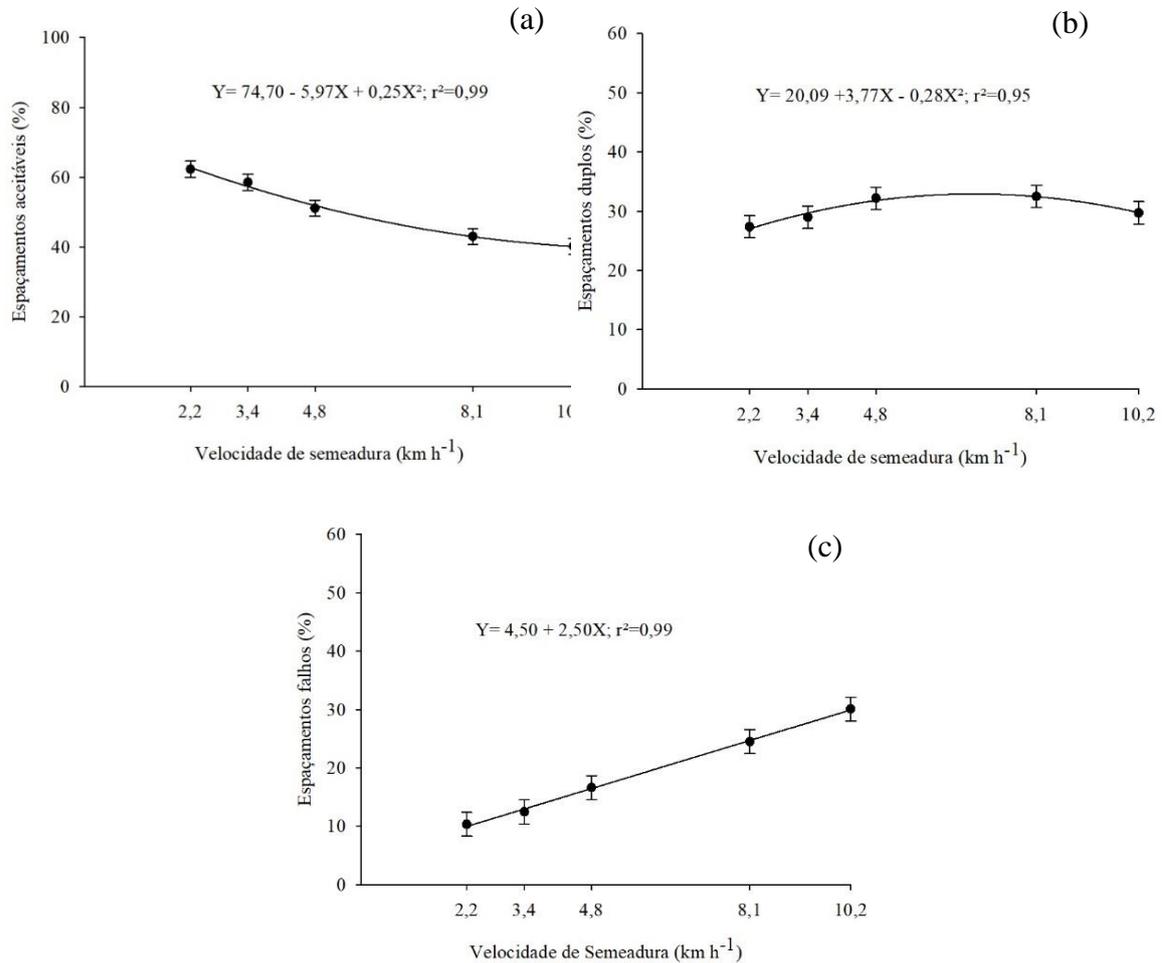


Figura 3 - Percentual de espaçamentos aceitáveis (AC)(a), duplos (DU) (b) e falhos (FA) (c) entre plantas de soja em relação a velocidades de semeadura. Santa Maria (RS), 2019/2020.

As variáveis (FA, DP, PO) que se referem a homogeneidade de distribuição de plantas, apresentaram valores significativos favorecem a coinoculação, a qual reduziu o número de espaçamentos falhos em 7,26% e proporcionou aumento de 2,14 plantas (10,99%) (Tabela 2). Isso repercutiu na produtividade do experimento 2018/2019. No experimento de 2019/2020 se observa a mesma tendência, em que a coinoculação aumentou o número de plantas 0,5 plantas (3,47%) e reduziu também, o número de espaço entre as plantas. Essa redução de espaçamentos reflete a maior população existente devido à utilização da coinoculação (Bertelli et al., 2016).

Tabela 2 - Médias para as variáveis número de falhas (FA, %), distância entre plantas (DP, cm), população de plantas observado (PO, m<sup>2</sup>), UFSM - Santa Maria (RS).

<b>Experimento 2018/2019</b>			
Tratamentos	FA (%)	DP (cm)	PO (m <sup>2</sup> )
Coinoculação	28,59 b*	10,51 b	21,60 a
Sem Coinoculação	35,85 a	11,89 a	19,46 b
<b>Experimento 2019/2020</b>			
Coinoculação	-	8,38 b	17,59 a
Sem Coinoculação	-	8,56 a	16,99 b

\*Letras diferentes na coluna diferem estatisticamente pelo teste F a 5% de probabilidade.

A cobertura do solo (CS) diferiu em relação à velocidade de semeadura, umidade do solo e temperatura do solo (Tabela 3). Isso tem como consequência o revolvimento da camada de palha e abertura do sulco diminuindo, assim, a umidade e elevando a temperatura do solo.

Tabela 3 - Resumo da análise de variância, com os respectivos quadrados médios das fontes de variação para temperatura do solo (4 DAS – dias após semeadura), umidade do solo (4 DAS) a 5 cm na camada superficial do solo e cobertura do solo (%). UFSM - Santa Maria (RS).

<b>Experimento 2018/2019</b>				
Fonte de Variação	GL	Cobertura do solo (%)	Umidade (%)	Temperatura(°C)
Velocidade (V)	4	<b>455,70*</b>	<b>7,8968*</b>	<b>4,8112*</b>
Bloco	3	7,85 <sup>ns</sup>	0,3519 <sup>ns</sup>	0,1213 <sup>ns</sup>
Erro	12	24,85	0,2459	1,3975
CV%	-	5,8	9,72	3,70
Média Geral	-	-	5,1034	31,95

\*, <sup>ns</sup>, significativo a, 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste F. GL: Graus Liberdade, CV%: Coeficiente de variação.

A cobertura do solo reduziu conforme o aumento da velocidade de semeadura. Quando utilizado o sulcador na semeadora esse, atua como um sistema de escarificador de solo, realizando a abertura do sulco e como consequência, revolve o solo sobre a palhada com o aumento da velocidade. Isso ocasiona a perda da eficiência da palha na proteção da semente, deixando o sulco mais aberto e as sementes menos cobertas com solo.

Para a velocidade de 2,2 km h<sup>-1</sup>, a cobertura do solo foi de 97% e na velocidade de 10,2 km h<sup>-1</sup>, a cobertura foi de 72%. Então, com o aumento de 1 km h<sup>-1</sup> da velocidade a

cobertura do solo é reduzida em 3,12% (Figura 4a). Dessa forma, com a maior exposição do solo existe maior probabilidade de ocorrer erosão, deslocamento de sementes, retirada de solo sobre as sementes, menos contato entre o solo e a semente, além da menor germinação/estabelecimento (Odhiambo e Irmak, 2012).

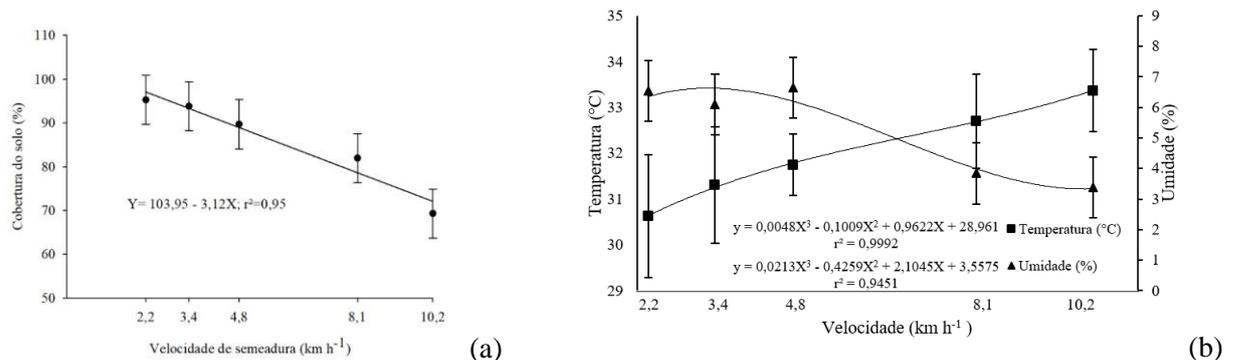


Figura 4 - Variação percentual da cobertura do solo (CS) em função da velocidade após a realização da semeadura da soja (a), temperatura do solo (°C) e umidade (%) aos 4 DAS (Dias após semeadura) (b) com diferentes velocidades de semeadura (2,2; 3,4; 4,8; 8,1; 10,2 km h<sup>-1</sup>). Santa Maria (RS), 2018/2019.

A temperatura do solo está associada ao aumento da velocidade de semeadura da soja, sendo esta associação 30,6 °C (2,2 km h<sup>-1</sup>) e 33,3 °C (10,2 km h<sup>-1</sup>) (Figura 4b). A temperatura do solo é influenciada pela cobertura, pois a CS protege o solo contra a exposição direta de radiações solares que afetam a sobrevivência das bactérias fixadoras de N (Santos et al., 2012). Diante disso, a expressão gênica dos fatores *nodi* é alterada de acordo com a temperatura do solo. Temperaturas na faixa de 20 °C e 30 °C proporcionam alterações na expressão gênica entre bactérias das espécies *B. diazoefficiens*, *B. japonicum* e *B. elkanii*, assim como estirpes de bactérias da mesma espécie que são afetadas em temperaturas elevadas (Shiro et al., 2016).

A temperatura do solo afeta o nível máximo de nodulação desde o momento da semeadura. A temperatura adequada favorece o metabolismo das plantas, formando, assim, mais raízes, para que as plantas se desenvolvam normalmente e forneçam a energia necessária para a decomposição do N<sub>2</sub> nos nódulos radiculares (Shiro et al., 2016). A temperatura de desenvolvimento ótimo, para a cultura da soja, varia de 25 °C a 30 °C (Schauberger et al., 2017), ao passar que temperaturas do solo acima dos 39 °C causam redução significativa da população de *Bradyrhizobium* (Kempster et al., 2021), minimizando o número

de nódulos e a atividade da enzima nitrogenase (Becana et al., 2018). Além disso, temperaturas elevadas deixam as bactérias inoculadas sujeitas a alterações genéticas, tornando-as menos eficientes em comparação a bactérias naturalizadas do solo (Fukami et al., 2018).

Quanto a umidade do solo (Figura 4b), essa variou de acordo com a velocidade de semeadura de 2,2 a 4,0 km h<sup>-1</sup> na faixa de umidade de 6,5%, em comparação a velocidade de 8 a 10,2 km h<sup>-1</sup> que é de 3,5% no que se refere à umidade no solo. Essa diferença é de 3% e pode ser essencial para a sobrevivência das bactérias em condições de temperaturas elevadas, nas quais a umidade do solo tem como uma das funções realizar o processo de embebição pela semente para germinação da semente e diminuir a temperatura do solo.

Pontua-se que para o processo de germinação, as sementes de soja necessitam de teores de água iniciais de 90 e 110 g/kg de sementes, sendo essa variação dependente do tamanho da semente (Dias et al., 2018). O processo de germinação é afetado pela disponibilidade hídrica das sementes de soja (Cohen et al., 2021), emissão radicular e troca de sinais entre plantas e bactérias para nodulação. Nessa fase, os limites inferiores e superiores de água disponível no solo devem ser de 50% a 85% (Márquez-García et al., 2015).

A sobrevivência das bactérias depende da época e da intensidade do déficit hídrico, que é fator limitante para a formação e longevidade dos nódulos. A síntese de leghemoglobina é inibida, pois é responsável pelo transporte de oxigênio (O<sub>2</sub>) suficiente para a enzima nitrogenase, que é sensível ao excesso de O<sub>2</sub> (Santos et al., 2012). Em comparação ao solo seco, o solo com maior umidade tende a diminuir a temperatura evitando que as bactérias morram antes da infecção. Além disso, ocorre a redução no fechamento dos estômatos das folhas, reduzindo a atividade fotossintética e a nodulação (Rao et al., 2014).

No resumo da análise de variância (Tabela 4), observa-se a interação entre a velocidade e a coinoculação para o número de nódulos e massa seca de nódulos. Essa interação é devido a irregularidade da homogeneidade de plantas com espaçamentos maiores na fileira com a alteração provocada pela coinoculação. A produtividade de grãos, foi alterada pela velocidade de semeadura, porém a massa de mil grãos não foi alterada nem pela velocidade e pela coinoculação. No experimento de 2019/2020 ocorreu a interação entre velocidade e coinoculação (VxI) para variável produtividade de grãos e massa de mil grãos (Tabela 4).

Essa diferença de resultados para os experimentos 2018/2019 e 2019/2020, indica que a cultivar está sujeita a variações anuais. Salienta-se que no experimento de 2018/2019 se teve cobertura do solo (palhada) e no experimento de 2019/2020, o solo se encontrava em pousio, sendo esse fator que contribuiu para essa variação.

Tabela 4 - Resumo da análise de variância, com os respectivos quadrados médios para as fontes de variação, velocidade de semeadura (2,2; 3,4; 4,8; 8,1; 10,2 km h<sup>-1</sup>) e tipos de coinoculação [sem coinoculação e coinoculado (*Bradyrhizobium* spp + *Azospirillum brasilense*)] nas variáveis massa seca de nódulos, número de nódulos, produtividade de grãos e massa de 1000 grãos. UFSM - Santa Maria (RS).

<b>Experimento 2018/2019 (Primeira época de Semeadura)</b>					
Fonte de Variação	GL	Número de nódulos	Massa seca de nódulos	Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> )	Massa 1000 grãos (g)
Velocidade (V)	4	857,26*	0,1070*	<b>180924,28*</b>	16,87 <sup>ns</sup>
Coinoculação (I)	1	1783,88*	0,1253*	5649,34 <sup>ns</sup>	22,16 <sup>ns</sup>
V x I	4	<b>2666,00*</b>	<b>0,1566*</b>	48337,04 <sup>ns</sup>	2,81 <sup>ns</sup>
Bloco	3	109,41 <sup>ns</sup>	0,0264 <sup>ns</sup>	32868,64 <sup>ns</sup>	18,00 <sup>ns</sup>
Erro	27	272,19	0,0188	57285,29	17,65
CV%	-	29,68	21,29	6,17	2,42
Média Geral	-	55,58	0,64	3880,23	173,81
<b>Experimento 2019/2020 (Primeira época de Semeadura)</b>					
Velocidade (V)	4	287,65 <sup>ns</sup>	0,0015 <sup>ns</sup>	208639,09 <sup>ns</sup>	51,911 <sup>ns</sup>
Coinoculação (I)	1	18,90 <sup>ns</sup>	0,0001 <sup>ns</sup>	500533,02 <sup>ns</sup>	177,34 <sup>ns</sup>
V x I	4	32,14 <sup>ns</sup>	0,0024 <sup>ns</sup>	<b>53323,66*</b>	<b>105,57*</b>
Bloco	3	135,83 <sup>ns</sup>	0,0028 <sup>ns</sup>	12085,96 <sup>ns</sup>	2,59 <sup>ns</sup>
Erro	27	233,79	0,0015	18761,28	9,83
CV%	-	41,56	39,62	3,63	1,96
Média Geral	-	36,78	0,098	3769,47	159,70

\*, <sup>ns</sup>, significativo a 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste F. GL: Graus Liberdade, CV%: Coeficiente de variação percentual.

A coinoculação promoveu aumento no número de nódulos por planta, verificando-se o valor máximo na velocidade de 8,1 km h<sup>-1</sup> devido aos maiores espaçamentos falhos e duplos (Figura 5a). A desuniformidade no estande de plantas ocasionado pelo aumento da velocidade, ocasiona o aumento do número de nódulos para cada aumento da velocidade, mas nem sempre existe o aumento da produtividade de grãos. O número de nódulos sem a coinoculação

se manteve praticamente estável, até 8,1 km h<sup>-1</sup>, e a partir dessa velocidade houve uma redução no número de nódulos.

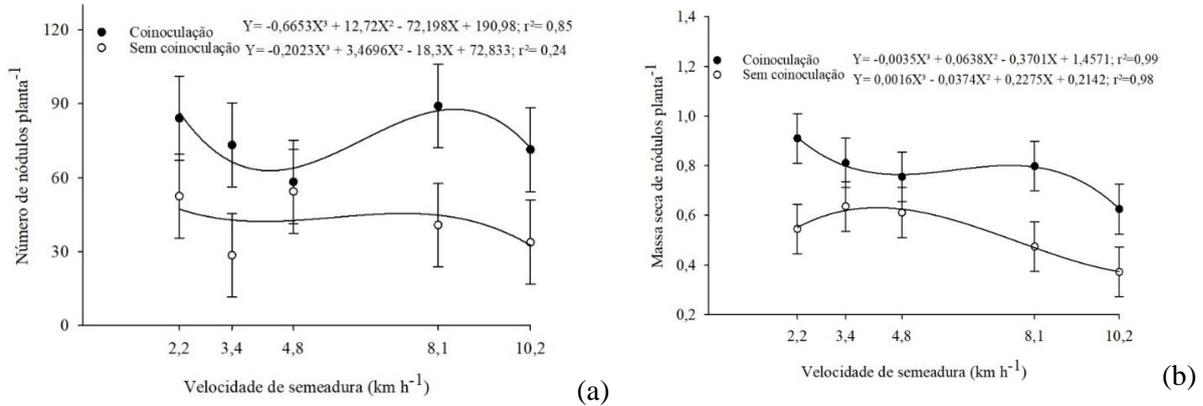


Figura 5 - Número (a) e massa seca de nódulos (b) por planta na coinoculação (*Bradyrhizobium* spp + *Azospirillum brasilense*) e sem coinoculação em velocidades de semeadura (2,2; 3,4; 4,8; 8,1; 10,2 km h<sup>-1</sup>). Santa Maria (RS), 2018/2019.

A massa seca de nódulos (Figura 5b) obteve a mesma tendência em comparação ao número de nódulos, havendo uma redução na massa de nódulos sem a utilização da coinoculação. Já na coinoculação ocorreu um crescimento da massa de nódulos conforme o aumento da velocidade de semeadura. Diante disso, o uso de *Azospirillum* é benéfico para a emissão de raízes laterais explorando melhor o solo, promovendo o contato entre as raízes e as bactérias (O'Callaghan, 2016) e melhorando a nodulação (Rolli et al., 2015). A população de bactérias (*Bradyrhizobium* spp + *Azospirillum brasilense*) sem a coinoculação não é nula (Tabela 5). Onde foi realizada a coinoculação, verifica-se um maior número de bactérias, confirmando que a reinoculação aumenta o número de bactérias no solo. Desse modo em áreas que possuem o cultivo anual de soja deve-se realizar a reinoculação anual, devido à competição entre as bactérias introduzidas e aquelas já presentes do solo (Puente et al., 2018, Cohen et al., 2015).

Tabela 5 - Populações de bactérias (*Bradyrhizobium* spp. + *Azospirillum brasilense*) por grama de solo (UFC g<sup>-1</sup> solo), T1 a T5 – (velocidade + coinoculação) e sem coinoculação na área de condução do experimento. Santa Maria (RS), 2018/2019.

Tratamento/Velocidade	<i>Azospirillum</i>	<i>Bradyrhizobium</i>
T1 - 2,2 (km h <sup>-1</sup> )	2,5x10 <sup>5</sup>	3,45x10 <sup>5</sup>
T2 - 3,4 (km h <sup>-1</sup> )	2,5x10 <sup>4</sup>	3,15x10 <sup>5</sup>
T3 - 4,8 (km h <sup>-1</sup> )	2,0x10 <sup>5</sup>	1,57x10 <sup>5</sup>
T4 - 8,1 (km h <sup>-1</sup> )	2,0x10 <sup>5</sup>	2,0x10 <sup>5</sup>
T5 - 10,2 (km h <sup>-1</sup> )	1,75x10 <sup>4</sup>	2,6x10 <sup>5</sup>
Sem Coinoculação	1,95x10 <sup>4</sup>	1,87x10 <sup>5</sup>

A maior produtividade de soja ocorreu na velocidade de 4,0 km h<sup>-1</sup> (4029,4 kg ha<sup>-1</sup>) já a menor produtividade foi observada na velocidade de 8,7 km h<sup>-1</sup> (3766,9 kg ha<sup>-1</sup>, Figura 6). Quando se aumentou a velocidade de semeadura de 4,0 para 8,7 km h<sup>-1</sup>, reduziu-se a produção de grãos em 262,2 kg ha<sup>-1</sup>. Portanto, a velocidade de semeadura é um dos parâmetros que mais influenciam no desempenho do processo de semeadura, uma vez que a distribuição longitudinal de sementes no sulco é alterada, afetando a produtividade da cultura (Bertelli et al., 2016). Entende-se que não existirá um único resultado de velocidade de semeadura, porém pode-se estabelecer uma faixa mais adequada para cada situação. A diferença de resultados se deve à variação de cultivares, ambientes e sistema de semeadura (Jasper et al., 2011).

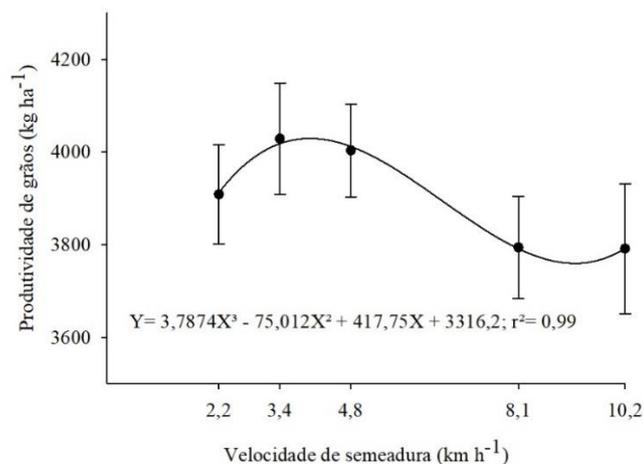


Figura 6 - Produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>) em velocidades de semeadura (2,2; 3,4; 4,8; 8,1 e 10,2 km h<sup>-1</sup>). Santa Maria (RS), 2018/2019.

A coinoculação promoveu a maior massa de mil grãos (MMG) para o experimento 2019/2020, na qual verificou-se a maior massa de grão na velocidade 4,0 km h<sup>-1</sup> (167,38 g) e a menor massa na velocidade de 10,2 km h<sup>-1</sup> (153,73 g). Observa-se uma diferença de 13,65 gramas que interferiu na produtividade de grãos (Figura 7a). Quando não utilizado a coinoculação verificou-se a menor massa de grãos na velocidade de 2,2 km h<sup>-1</sup> (155,63 g) e a maior massa na velocidade de 10,2 km h<sup>-1</sup> (159,32g). A MMG é uma característica genética influenciada pelo estado nutricional, sanidade e população de plantas. Portanto a coinoculação se mostra eficiente para o aumento da produtividade da soja e para os componentes de produtividade, bem como para o número de vagens por plantas e massa de mil grãos (Benintende et al., 2010).

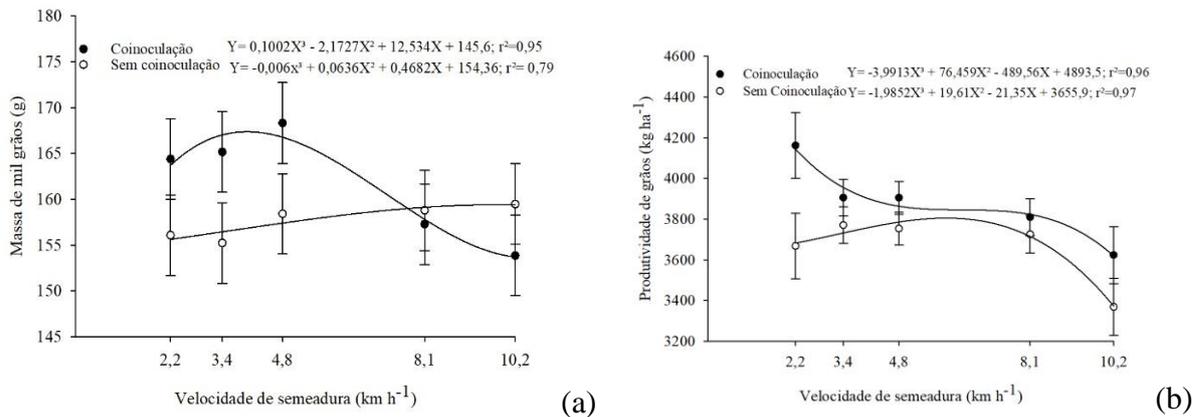


Figura 7 - Massa de mil grãos (a) e produtividade de grãos (b) nos tratamentos sem e com coinoculação (*Bradyrhizobium* spp + *Azospirillum brasilense*) em velocidades de semeadura (2,2; 3,4; 4,8; 8,1; 10,2 km h<sup>-1</sup>). Santa Maria (RS), 2019/2020.

Houve interação da velocidade de semeadura e a coinoculação para o experimento 2019/2020. E ao utilizar-se a coinoculação a produtividade de grãos foi ampliada (Figura 7b) em todas as velocidades comparadas sem coinoculação. Essa diferença de produtividade entre a velocidade de 2,2 km h<sup>-1</sup> foi de 338,8 kg ha<sup>-1</sup>, e a velocidade de 10,2 km h<sup>-1</sup> foi de 246,8 kg ha<sup>-1</sup>, em favor da coinoculação. Evidencia-se a reinoculação, a cada experimento de soja, pois mesmo com a população alta de *Bradyrhizobium* spp. e *Azospirillum brasilense* existente (Tabela 5), ocorreu o acréscimo de produtividade. O processo de reinoculação é importante para garantir a introdução de cepas elite das bactérias, as quais possuem maior eficiência no processo de FBN (Hungria e Mendes, 2015).

O aumento da velocidade de semeadura favorece a desuniformidade de plantas, visto que ocorre um aumento no número de espaçamentos falhos e duplos e uma redução nos espaçamentos aceitáveis. Velocidades de semeadura entre 2,2 e 4,8 km h<sup>-1</sup> (ambos os anos) e a coinoculação aumentaram a produtividade de soja (segundo ano).

#### **LOCAL 1, Santa Maria, RS (segunda época de semeadura, 2018/2019 e 2019/2020)**

A velocidade de semeadura interfere na coinoculação para a massa seca de nódulos (Tabela 6). Isso acontece devido ao revolvimento do sulco de semeadura e às diferenças na cobertura de palhada no solo, acarretando um ambiente edáfico diferente em umidade e temperatura (Zhao et al., 2021). A formação e o crescimento dos nódulos, ocorre de maneira diferente em cada velocidade de semeadura. A velocidade de semeadura propiciou diferença entre as variáveis número de nódulos, produtividade e massa de 1000 grãos. Em oposição à coinoculação que não produziu diferenças capazes de serem observadas na análise de variância.

Esse experimento (2018/2019) foi semeado ao final da segunda época (07/12/2018), em que as condições de temperatura e, principalmente de fotoperíodo não são as mais adequadas (Ferrari et al., 2015), fazendo com que a planta não expresse na totalidade o seu potencial produtivo. Por sua vez, a coinoculação não interferiu sobre a produtividade de grãos. A velocidade de semeadura altera o sulco de semeadura, especialmente em baixo potencial produtivo (Altieri et al., 2015). No experimento de 2019/2020, a velocidade de semeadura interferiu no número de nódulos e na produtividade de grãos. Já a coinoculação diferiu no número de nódulos.

No experimento de 2018/2019, o menor número de nódulos por planta foi verificado na velocidade de 3,4 km h<sup>-1</sup> (46,6 nódulos), sendo que a maior quantidade de nódulos está na velocidade de 8 km h<sup>-1</sup> (69,17 nódulos) (Figura 8a). Essa diferença de 22,57 nódulos ocorre devido à alteração nos espaçamentos entre as plantas na fileira de semeadura e aumento da velocidade.

Tabela 6 - Resumo da análise de variância, com os respectivos quadrados médios para verificação dos fatores, velocidade de semeadura (2,2; 3,4; 4,8; 8,1; 10,2 km h<sup>-1</sup>) e tipos de inoculação [sem Coinoculação e coinoculação (*Bradyrhizobium* spp. + *Azospirillum brasilense*)] sobre as variáveis número de nódulos, massa seca de nódulos, produtividade de grãos e massa de 1000 grãos, UFSM - Santa Maria (RS).

<b>Experimento 2018/2019 (Segunda Época)</b>					
Fonte de Variação	GL	Número de nódulos	Massa seca de nódulos	Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> )	Massa 1000 grãos (g)
Velocidade (V)	4	<b>997,69*</b>	0,129*	<b>317147,73*</b>	29,22 <sup>ns</sup>
Coinoculação (I)	1	510,64 <sup>ns</sup>	0,003 <sup>ns</sup>	213923,41 <sup>ns</sup>	59,44 <sup>ns</sup>
V x I	4	161,93 <sup>ns</sup>	<b>0,092*</b>	6866,37 <sup>ns</sup>	17,41 <sup>ns</sup>
Bloco	3	22,46 <sup>ns</sup>	0,007 <sup>ns</sup>	9942,70 <sup>ns</sup>	18,32 <sup>ns</sup>
Erro	27	199,60	0,0129	62134,47	51,15
CV%	-	27,15	18,44	13,45	4,18
Média Geral	-	52,04	0,61	1853,42	171,24
<b>Experimento 2019/2020 (Segunda Época)</b>					
Velocidade (V)	4	<b>686,53*</b>	0,00022 <sup>ns</sup>	<b>46065,91*</b>	64,74 <sup>ns</sup>
Coinoculação (I)	1	<b>611,75*</b>	0,00024 <sup>ns</sup>	116445,49 <sup>ns</sup>	11,32 <sup>ns</sup>
V x I	4	118,49 <sup>ns</sup>	0,00016 <sup>ns</sup>	99942,73 <sup>ns</sup>	37,36 <sup>ns</sup>
Bloco	3	62,01 <sup>ns</sup>	0,0013 <sup>ns</sup>	465307,73 <sup>ns</sup>	342,88 <sup>ns</sup>
Erro	27	88,06	0,00079	71274,49	127,13
CV%	-	18,35	29,51	12,62	7,94
Média Geral	-	51,13	0,09	2115,29	142,02

\* e <sup>ns</sup>, significativo e não significativo a 5%, respectivamente, pelo teste F. GL: Graus Liberdade, CV%: Coeficiente de variação percentual.

O maior número de nódulos por planta foi verificado na velocidade de 8,1 km h<sup>-1</sup>, pois nessa velocidade, a semeadura verifica-se mais espaçamentos falhos. Já na velocidade de 10,2 km h<sup>-1</sup> verificou-se mais espaçamentos duplos e com menor número de nódulos. Segundo Luca e Hungria (2014), um maior espaçamento entre plantas promove maior ramificação e área foliar, bem como uma elevação na capacidade de produção de fotoassimilados. Isso é resultando de em uma maior translocação de carboidratos para as bactérias fixadoras, proporcionando maior crescimento, desenvolvimento e multiplicação das bactérias.

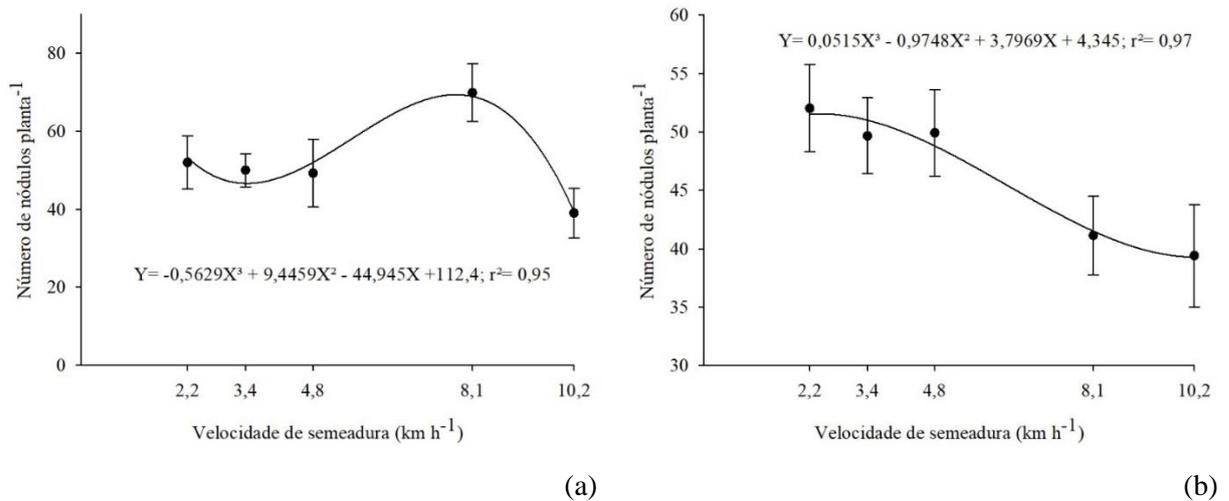


Figura 8 - Número de nódulos por planta nas velocidades de semeadura (2,2; 3,4; 4,8; 8,1; 10,2 km h<sup>-1</sup>), nos experimentos de 2018/2019(a) e 2019/2020(b).

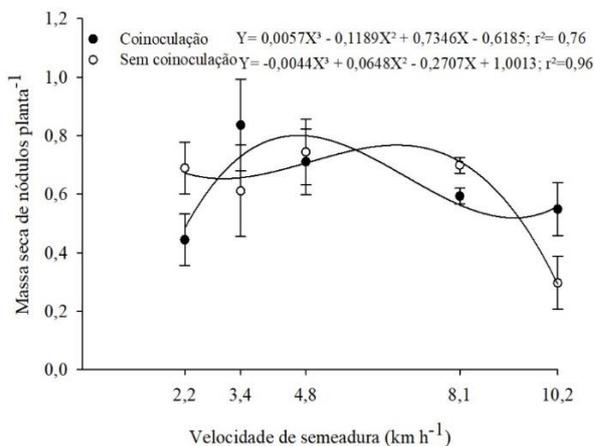
No experimento de 2019/2020, verificou-se que o maior número de nódulos por planta (Figura 8b) foi na velocidade de 2,2 km h<sup>-1</sup> (51,52 nódulos). Já o menor número foi verificado na velocidade de 10,2 km h<sup>-1</sup> (39,3 nódulos). Isso demonstra que para os dois experimentos, da segunda época de semeadura, ocorre variabilidade no número de nódulos por planta para cada velocidade. Essa variabilidade pode estar relacionada à quantidade de chuvas irregulares, tendo como a consequência nessa alteração de número de nódulos por planta. A redução no número de nódulos está relacionada ao déficit hídrico, pois ocorre menor quantidade de raízes por planta e de solo explorado (Márquez-García et al., 2015).

A coinoculação promoveu um aumento de 7,8 nódulos por planta, fator importante para a FBN e para o aumento da produtividade. A utilização da coinoculação promoveu 55,04 nódulos por planta e sem a utilização da coinoculação foi de 47,22 na velocidade de 2,2 km h<sup>-1</sup>. Hungria et al. (2011) constataram um incremento de 8,4% nas produtividades de grãos e aumento no número de nódulos com a utilização da coinoculação.

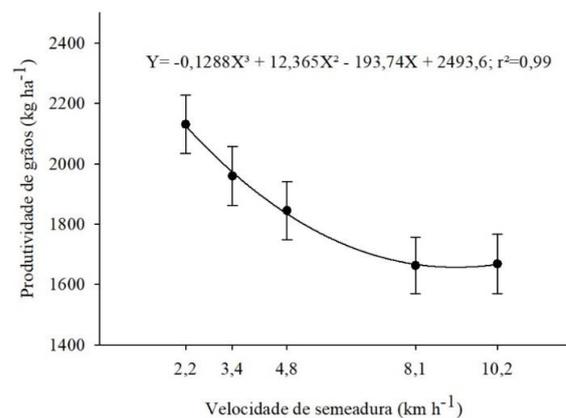
A população de bactérias do gênero *Azospirillum* antes da semeadura foi de  $2,0 \times 10^3$  e no florescimento o valor foi  $1,7 \times 10^4$ . Para a bactéria *Bradyrhizobium* spp, verificou-se antes da semeadura uma contagem do número de unidade de colônia de  $1,8 \times 10^4$  e no florescimento de  $3,4 \times 10^4$ . A menor população de bactérias na semeadura, pode estar relacionada ao tipo de vegetação que predominava no local da semeadura (campo nativo), sem histórico de

coinoculação, bem como as bactérias estarem em equilíbrio no solo. Desse modo se observa um maior número de bactérias, verificando-se um de incremento de  $1,5 \times 10^3$  (*Azospirillum brasilense*) e  $1,6 \times 10^3$  (*Bradyrhizobium sp.*). Dessa forma, para aumentar a quantidade de bactérias na coinoculação de *Bradyrhizobium sp.* e *Azospirillum brasilense*, é necessário realizar a reinoculação em todos os experimentos, principalmente nos casos em que se tem solos sem a adição das bactérias pela coinoculação. Os incrementos resultantes da reinoculação foram de 8% em média para a produtividade de grãos ao comparar-se com e sem reinoculação (Hungria, 2014).

A massa seca de nódulos aumentou para a coinoculação (Figura 9a) até a velocidade de  $5 \text{ km h}^{-1}$ , decrescendo a partir disso. Para o tratamento sem a coinoculação, a massa seca de nódulos se manteve mais estável, começando a reduzir a partir da velocidade de  $7,5 \text{ km h}^{-1}$ . A massa seca de nódulos para a testemunha foi menos afetada pelo aumento da velocidade de semeadura. Os microrganismos nativos estão muito mais adaptados às condições do ambiente em relação as bactérias selecionadas e inoculadas via semente, de modo que as bactérias em questão podem ser menos afetadas (Wakelin et al., 2010).



(a)



(b)

Figura 9 - Massa seca de nódulos por planta com a coinoculação (*Bradyrhizobium spp.* + *Azospirillum brasilense*) e sem a coinoculação (a) e produtividade de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) (b) em relação a velocidades de semeadura (2,2; 3,4; 4,8; 8,1; 10,2  $\text{km h}^{-1}$ ). Santa Maria (RS), 2018/2019.

A produtividade de grãos reduziu com o aumento da velocidade de semeadura, atingindo o menor valor na velocidade de 9,1 km h<sup>-1</sup> (Figura 9b). Quando a velocidade de semeadura foi de 2,2 km h<sup>-1</sup> a produtividade foi de 2125,84 kg ha<sup>-1</sup> e, na velocidade 9,1 km h<sup>-1</sup>, diminuiu para 1657,45 kg ha<sup>-1</sup>, uma diferença de 468,38 kg ha<sup>-1</sup>. Em termos econômicos, a escolha adequada da época de semeadura é a prática de manejo que pode alterar de maneira mais significativa a quantidade e qualidade final, com reduzido dispêndio de recursos (Franchini et al., 2012). A precipitação pluvial foi identificada como a principal variável meteorológica determinante de oscilações à produtividade de grãos de soja no Rio Grande do Sul, tanto interanual quanto entre diferentes regiões (Da Cunha et al., 2001).

A diferença de precipitação e da temperatura média para os experimentos 2018/2019 e 2019/2020 (Figura 1 a e b) interferiu nas produtividades de grãos. A comparação de produtividade dos experimentos na velocidade de 2,2 km h<sup>-1</sup>, obteve-se um acréscimo de 89,5 kg ha<sup>-1</sup> (2018/2019) para o experimento de 2019/2020 (Figura 10). A produtividade da soja se relaciona com os componentes de produtividade, que são o número de plantas por área, o número de legumes por planta, o número de grãos por legume e a massa de grãos.

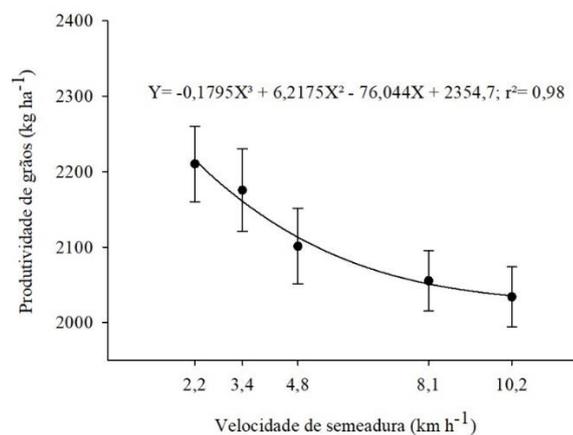


Figura 10 - Produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>) nas velocidades de semeadura (2,2; 3,4; 4,8; 8,1 e 10,2 km h<sup>-1</sup>). Santa Maria (RS), 2019/2020.

## LOCAL 2, Restinga Sêca, RS (2018/2019)

No experimento realizado no período de 2018/2019, a velocidade de semeadura alterou significativamente os espaçamentos duplos e falhos. Isso indica que o deslocamento das sementes ao passar pelo sistema condutor que está vibrando, causará atritos entre as sementes e o tubo condutor, retardando o fluxo de queda das sementes. Na coinoculação, verificou-se alteração no número de espaçamentos aceitáveis, distância entre plantas e na população de plantas (Tabela 7). No experimento de 2019/2020, a interação entre a coinoculação e a velocidade de semeadura diferiu para espaçamentos duplos, falhos, distância entre plantas e população de plantas. A utilização da coinoculação alterou a porcentagem de espaçamentos aceitáveis.

Tabela 7 - Resumo da análise de variância, com os respectivos quadrados médios para os fatores, velocidade de semeadura (1,0; 3,2; 4,3; 6,4; 7,2 km h<sup>-1</sup>) e coinoculação [sem e com coinoculação (*Bradyrhizobium* spp. + *Azospirillum brasilense*)] para as variáveis espaçamentos aceitáveis (AC), duplas (DU), falhas (FA), distância entre plantas (DP), população de plantas observada (PO) e desvio padrão (DSP). Restinga Sêca (RS).

Experimento 2018/2019							
Fonte de Variação	GL	AC (%)	DU (%)	FA (%)	DP (cm)	PO (m <sup>2</sup> )	DSP
Bloco	3	223,14 <sup>ns</sup>	21,20 <sup>ns</sup>	337,15 <sup>ns</sup>	78,97 <sup>ns</sup>	44,22 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>
Velocidade (V)	4	57,14 <sup>ns</sup>	<b>359,95*</b>	<b>178,83*</b>	13,84 <sup>ns</sup>	6,03 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>
Resíduo a	12	27,66	28,79	33,44	5,42	2,57	0,07
Coinoculação (I)	1	<b>167,66*</b>	17,50 <sup>ns</sup>	76,84 <sup>ns</sup>	<b>62,10*</b>	<b>20,98*</b>	0,026 <sup>ns</sup>
V x I	4	15,39 <sup>ns</sup>	23,24 <sup>ns</sup>	10,89 <sup>ns</sup>	3,39 <sup>ns</sup>	1,69 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>
Resíduo b	95	37,26	29,89	47,58	7,93	3,40	0,06
CV 1 (%) =	-	17,14	29,47	11,31	12,98	12,79	11,80
CV 2 (%) =	-	19,89	30,03	13,49	15,70	14,72	11,09
Experimento 2019/2020							
Bloco	3	161,26 <sup>ns</sup>	353,62 <sup>ns</sup>	50,08 <sup>ns</sup>	3,28 <sup>ns</sup>	29,14 <sup>ns</sup>	0,001 <sup>ns</sup>
Velocidade (V)	4	314,35 <sup>ns</sup>	164,13 <sup>ns</sup>	119,67 <sup>ns</sup>	2,61 <sup>ns</sup>	16,78 <sup>ns</sup>	0,024 <sup>ns</sup>
Resíduo a	12	97,91	103,79	40,26	1,53	10,78	0,021 <sup>ns</sup>
Coinoculação (I)	1	<b>272,74*</b>	699,88 <sup>ns</sup>	98,81 <sup>ns</sup>	5,42 <sup>ns</sup>	53,33 <sup>ns</sup>	0,012 <sup>ns</sup>
V x I	4	54,53 <sup>ns</sup>	<b>201,55*</b>	<b>139,87*</b>	<b>4,78*</b>	<b>31,12*</b>	0,036 <sup>ns</sup>
Resíduo b	95	47,17	67,54	34,47	1,24	8,22	0,030
CV 1 (%)	-	23,70	26,75	31,44	15,48	17,79	6,51
CV 2 (%)	-	16,45	21,58	29,09	13,94	15,56	7,74

\*, <sup>ns</sup>, significativo a 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste F. GL: Graus Liberdade, CV%: Coeficiente de variação percentual.

O número de espaçamentos duplos aumentou em função da velocidade de semeadura. Nas velocidades de 1,2 km h<sup>-1</sup> a 7,2 km h<sup>-1</sup> observa-se um aumento de 8,7% de espaçamentos duplos (Figura 11a) e uma redução de 5,7% para os espaçamentos falhos (Figura 11a). O aumento da velocidade de semeadura provoca diminuição da uniformidade de plantas na fileira, devido ao aumento de espaçamentos falhos e duplos (Bertelli et al., 2016). As semeadoras com o mecanismo dosador do tipo disco horizontal, devem operar com velocidade máxima próxima aos 5 km h<sup>-1</sup>, pois, em velocidades superiores, o preenchimento das células pode causar as lesões nas sementes (Garcia et al., 2012).

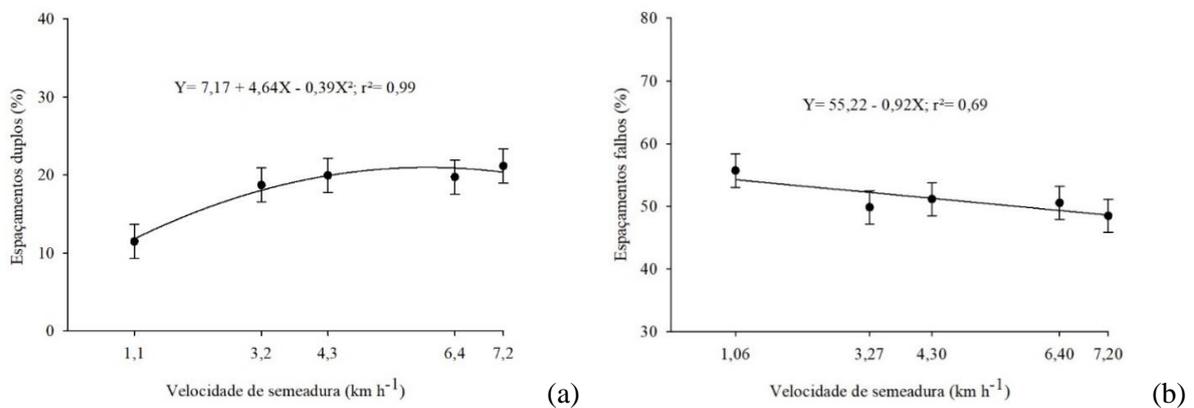


Figura 11 - Variação percentual dos espaçamentos duplos (DU) (a) e falhos (FA) (b) nas velocidades de semeadura (1,0; 3,2; 4,3; 6,4; 7,2 km h<sup>-1</sup>). Restinga Sêca (RS), 2018/2019.

No experimento de 2019/2020, observou-se a interação entre a velocidade e a coinoculação para o número de espaçamentos falhos, havendo um ajuste significativo para o modelo testado para a coinoculação. Na menor velocidade de semeadura (1,06 km h<sup>-1</sup>) e na maior velocidade (7,2 km h<sup>-1</sup>), verificaram-se respectivamente 14,22% e 23,36% de espaçamentos falhos (Figura 12a). Contudo, a porcentagem de falhas demonstra a importância da regulação das semeadoras na definição do número de sementes por metro linear.

A cultura da soja possui capacidade para compensar os espaços não ocupados por plantas com o aumento da área de cobertura das plantas remanescentes. Contudo, somente haverá compensação de espaços, se o ambiente proporcionar condições para que as plantas se desenvolvam. Para os espaçamentos duplos, verificou-se um ajuste significativo para a coinoculação, em que a menor porcentagem de espaçamentos ocorreu na velocidade de 4,5

km h<sup>-1</sup> (35,93%) (12b). Já para a distância entre plantas, a velocidade de 1,06 km h<sup>-1</sup> (6,94%) obteve o menor valor de porcentagem, em oposição a velocidade de 7,2 km h<sup>-1</sup> (8,4%) indicando a maior porcentagem de espaçamentos entre plantas (12c). Desse modo, com o aumento da distância entre plantas, os espaçamentos falhos, duplos e população foi reduzida (12d).

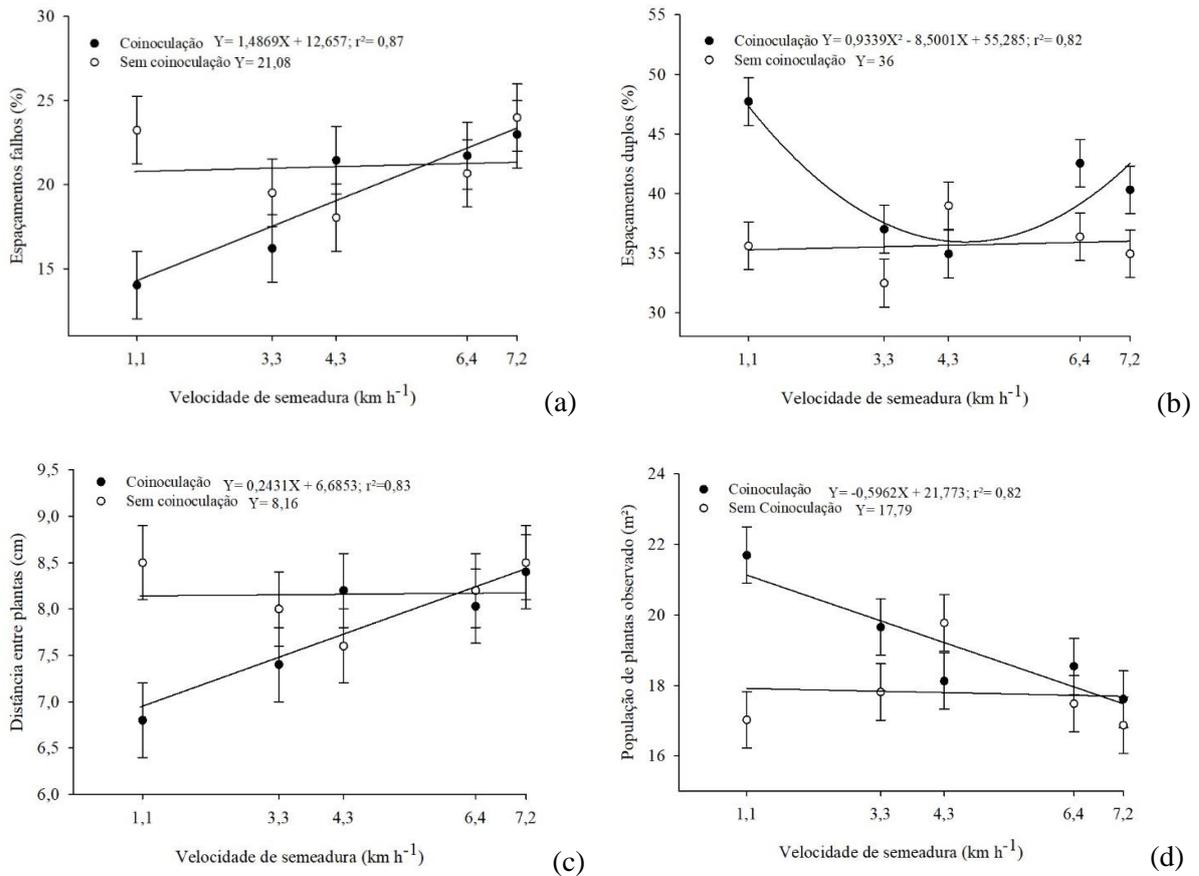


Figura 12 - Espaçamentos falhos (a), espaçamentos duplos (b), distância entre plantas (c), população de plantas (d) em relação a velocidade de semeadura (1,06; 3,2; 4,3; 6,4; 7,2 km h<sup>-1</sup>) e coinoculação. Restinga Sêca (RS), experimento 2019/2020.

As variáveis que avaliam a homogeneidade de distribuição de plantas (AC, DP, PO), tiveram efeitos da coinoculação. A variável AC, quando inoculadas, apresentaram uma distribuição melhor que 2,36% (experimento 2018/2019) e de 3,01% para o experimento de (experimento 2019/2020). A população de plantas foi favorável quando realizada a coinoculação, elevando 0,84 plantas/m<sup>2</sup> (Tabela 8), influenciando na produtividade de grãos.

Tabela 8 - Médias da coinoculação (com e sem coinoculação) nas variáveis espaçamentos aceitáveis (AC), distância entre plantas (DP) e população de plantas observada (PO). Restinga Sêca (RS).

<b>Experimento 2018/2019</b>			
Tratamentos	AC (%)	DP	PO
Coinoculação	31,85 a*	17,21 b	12,96 a
Sem inoculação	29,49 b	18,64 a	12,12 b
<b>Experimento 2019/2020</b>			
Coinoculação	43,24 b	-	-
Sem inoculação	40,23 a	-	-

\*Letras diferentes na coluna diferem estatisticamente pelo teste F a 5% de probabilidade.

A velocidade de semeadura alterou o percentual de cobertura do solo (Tabela 9). A velocidade de deslocamento ocasiona o revolvimento da palhada, podendo prejudicar a emergência das plantas pelo acúmulo de palha. Desse modo, o aumento da velocidade de semeadura amplia a área semeada no mesmo período de tempo. Entretanto, a palhada ao se acumular na semeadora pode prejudicar a eficiência da semeadura. Destaca-se que a semeadura direta tem como principal característica a menor movimentação do solo, visando sua maior conservação e redução do tráfego de máquinas. Assim, tem-se como princípio a implantação da cultura em solo pouco revolvido, com manutenção de cobertura vegetal.

Tabela 9 - Resumo da análise de variância, com os respectivos quadrados médios para verificação do fator velocidade de semeadura sobre a cobertura do solo (%). Restinga Sêca (RS), 2018/2019.

Fonte de Variação	GL	Cobertura do solo (%)
Velocidade	4	<b>366,18*</b>
Bloco	3	66,15
CV %	-	8,33

\* significativo a 5% pelo teste F. GL: graus liberdade, CV%: coeficiente de variação percentual.

O percentual de cobertura do solo foi diminuindo conforme o aumento da velocidade de semeadura. Na velocidade de 1,06 km h<sup>-1</sup>, a cobertura de palha no solo foi de 91% e na velocidade de 7,2 km h<sup>-1</sup>, a cobertura de palha foi 68,3%, gerando uma redução total de 22,7%, ou seja, a cada aumento de 1 km h<sup>-1</sup> da velocidade, reduziu-se a cobertura do solo em 3,69% (Figura 13a). Ressalta-se que a proteção do solo com palha é uma característica do sistema de plantio direto, contribuindo para um ambiente adequado à germinação e

emergência das plantas devido à manutenção do conteúdo de água na fileira de semeadura.

Os experimentos de 2018/2019 e 2019/2020 diferiram para a variável produtividade de grãos. Observa-se que a produtividade de grãos variou de acordo com a velocidade de semeadura e com a coinoculação (Tabela 10). Já para o experimento de 2019/2020, verifica-se que ocorreu a interação entre a velocidade de semeadura e a coinoculação para a variável produtividade de grãos. Isso indica que as relações de distribuição de plantas se devem à porcentagem de espaçamentos falhos e duplos, os quais repercutem na produtividade devido à velocidade de semeadura e à coinoculação.

A produtividade de grãos reduziu com o aumento da velocidade de semeadura, atingindo o menor valor na velocidade de  $7,2 \text{ km h}^{-1}$  (Figura 13b). Aumentando-se a velocidade de semeadura (de  $1,8$  para  $6,5 \text{ km h}^{-1}$ ) houve redução de  $455,1 \text{ kg ha}^{-1}$  na produtividade de soja. A distribuição longitudinal é a variável que é mais influenciada pelo aumento da velocidade de semeadura, principalmente quando está superior a  $7,2 \text{ km h}^{-1}$ . Nesses casos, há ocorrência de plantas não equidistantes, o que afeta a produtividade da cultura (Brandelero et al., 2015).

No experimento de 2019/2020, observou-se uma tendência similar para a produtividade de grãos em relação ao experimento de 2018/2019. A produtividade de grãos no experimento de 2019/2020 variou conforme a coinoculação, em que a maior produtividade foi verificada na velocidade de  $1,2 \text{ km h}^{-1}$  obtendo-se  $3890,82 \text{ kg ha}^{-1}$ . Já a menor produtividade foi verificada na velocidade  $5,9 \text{ km h}^{-1}$ , obtendo-se  $2855,9 \text{ kg ha}^{-1}$ . Desse modo, a diferença de produtividade foi de  $1034,9 \text{ kg ha}^{-1}$  (Figura 13c), sendo uma redução considerável na produção de grãos. Portanto, a elevação da velocidade de semeadura contribui para redução da produtividade (Reynaldo et al., 2016).

Tabela 10 - Resumo da análise de variância, com os respectivos quadrados médios para verificação dos fatores, velocidade de semeadura (1,2; 3,2; 4,3; 6,4; 7,2 km h<sup>-1</sup>) e coinoculação (sem e com coinoculação) (*Bradyrhizobium* spp. + *Azospirillum brasilense*) para as variáveis produtividade de grãos e massa de 1000 grãos. Restinga Sêca (RS).

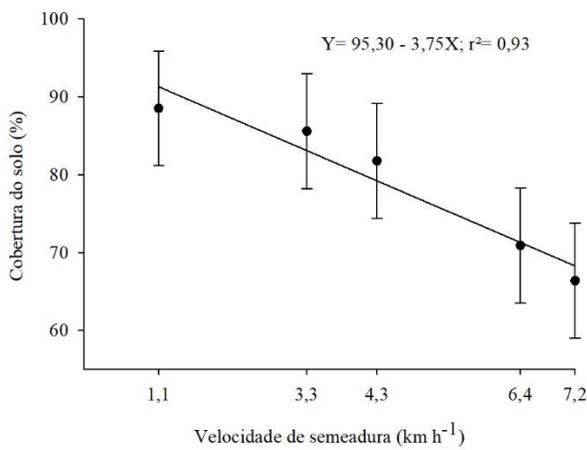
<b>Experimento 2018/2019</b>			
Fonte de Variação	GL	Produtividade	Massa 1000 grãos
Bloco	3	35385 <sup>ns</sup>	117,93 <sup>ns</sup>
Velocidade (V)	4	<b>335636*</b>	46,09 <sup>ns</sup>
Resíduo a	12	36033 <sup>ns</sup>	48,18
Coinoculação (I)	1	<b>21113*</b>	1,17
V x I	4	8026 <sup>ns</sup>	24,006 <sup>ns</sup>
Resíduo b	15	17919	15,12
CV 1 (%)	-	5,64	4,06
CV 2 (%)	-	3,97	2,27
<b>Experimento 2019/2020</b>			
Bloco	3	521351 <sup>ns</sup>	115,78 <sup>ns</sup>
Velocidade (V)	4	182179 <sup>ns</sup>	32,29 <sup>ns</sup>
Resíduo a	12	219638	48,60
Coinoculação (I)	1	925675 <sup>ns</sup>	15,85 <sup>ns</sup>
V x I	4	360350*	28,77 <sup>ns</sup>
Resíduo b	15	74701	15,09
CV 1 (%)	-	14,93	4,12
CV 2 (%)	-	8,70	2,29

\*, <sup>ns</sup>, significativo a 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste F. GL: Graus Liberdade, CV%: Coeficiente de variação.

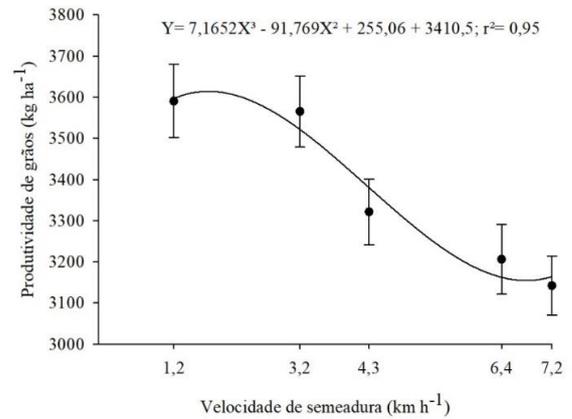
Tabela 11 - Produtividade de grãos de soja em função da coinoculação. Restinga Sêca (RS).

<b>Experimento 2018/2019</b>	
Tratamento	Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> )
Coinoculação	3437,64 a
Sem coinoculação	3292,33 b

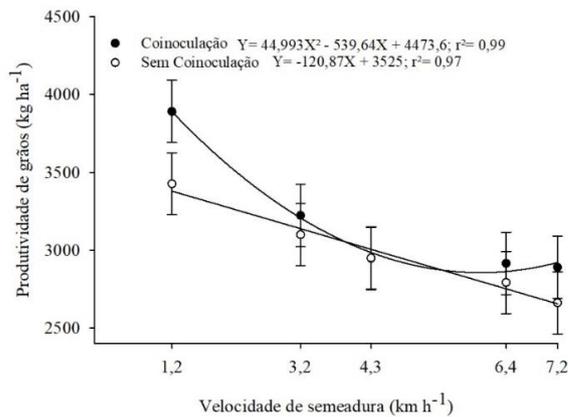
\*Letras diferentes na coluna diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.



(a)



(b)



(c)

Figura 13 - Percentagem de cobertura do solo (a) e produtividade de grãos para 2018/2019 (b) e 2019/2020 (c) em relação a velocidade de semeadura (1,2; 3,2; 4,3; 6,4; 7,2 km h<sup>-1</sup>). Restinga Sêca (RS), 2018/2019.

A utilização da coinoculação promoveu um aumento de 145,5 kg ha<sup>-1</sup> na produtividade de soja no experimento de 2018/2019 (Tabela 11). Segundo Hungria et al. (2015) a inoculação anual pode proporcionar acréscimos na produtividade de grãos em 8,4% e a coinoculação 16,1%. A utilização da coinoculação tem demonstrado resultados promissores para o crescimento de parte aérea e do sistema radicular das plantas, resultando em um aumento na produtividade de grãos (Jisha et al., 2013).

### LOCAL 3, Novo Machado, RS (2019/2020)

A interação entre velocidade e a coinoculação (VxI) foi significativa para os espaçamentos DU e a velocidade de semeadura proporcionou diferença nos AC. Em oposição a isso, a coinoculação proporcionou diferenças para os espaçamentos falhos e para a população de plantas (Tabela 12). Normalmente, a coinoculação influencia no desenvolvimento de plantas a partir da sua germinação (Queiroz et al., 2018).

Tabela 12 - Resumo da análise de variância com os respectivos quadrados médios para verificação dos fatores velocidade de semeadura e coinoculação para as variáveis espaçamentos aceitáveis (AC%), duplas (DU%), falhas (FA%), distância entre plantas (DP), população de plantas observada (PO) e desvio padrão (DSP). Novo Machado (RS).

Experimento 2018/2019							
Fonte de Variação	GL	AC (%)	DU (%)	FA (%)	DP	PO	DSP
Bloco	3	693,11 <sup>ns</sup>	85,99	1183,60	75,43	174,64	0,036
Velocidade (V)	4	<b>817,94*</b>	431,87 <sup>ns</sup>	77,30 <sup>ns</sup>	3,14 <sup>ns</sup>	11,45 <sup>ns</sup>	0,028 <sup>ns</sup>
Resíduo a	12	75,32	19,91	135,57	11,14	16,99	0,015
Coinoculação (I)	1	36,37 <sup>ns</sup>	61,41 <sup>ns</sup>	<b>192,29*</b>	7,90 <sup>ns</sup>	<b>63,54*</b>	0,0001 <sup>ns</sup>
V x I	4	59,87 <sup>ns</sup>	<b>44,82*</b>	13,28 <sup>ns</sup>	5,03 <sup>ns</sup>	4,89 <sup>ns</sup>	0,023 <sup>ns</sup>
Resíduo b	95	26,07	11,94	23,74	2,67	3,86	0,020
CV 1 (%)	-	19,25	17,68	39,21	31,35	19,21	5,65
CV 2 (%)	-	11,32	13,69	16,41	15,35	9,16	6,47

\*, <sup>ns</sup>, significativo a 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste F. GL: Graus Liberdade, CV%: Coeficiente de variação percentual.

Os AC diminuíram linearmente conforme o aumento da velocidade de semeadura em 13,87% (Figura 14a). Em contrapartida, a porcentagem de DU (Figura 14b) em relação a interação da coinoculação e da velocidade de semeadura teve uma maior porcentagem de espaçamentos duplos nas velocidades de 2,7 km h<sup>-1</sup> a 10,2 km h<sup>-1</sup>. A coinoculação promoveu um maior estabelecimento de plantas (3,55%). Semelhante à pesquisa de Reynaldo et al. (2016), na qual o aumento da velocidade de semeadura resultou no aumento de espaçamentos duplos e na redução de espaçamentos aceitáveis. O aumento da velocidade do conjunto trator/semeadora causa uma distribuição desuniforme de sementes, ocasionando a redução na porcentagem de espaçamentos aceitáveis (Balafoutis et al., 2017).

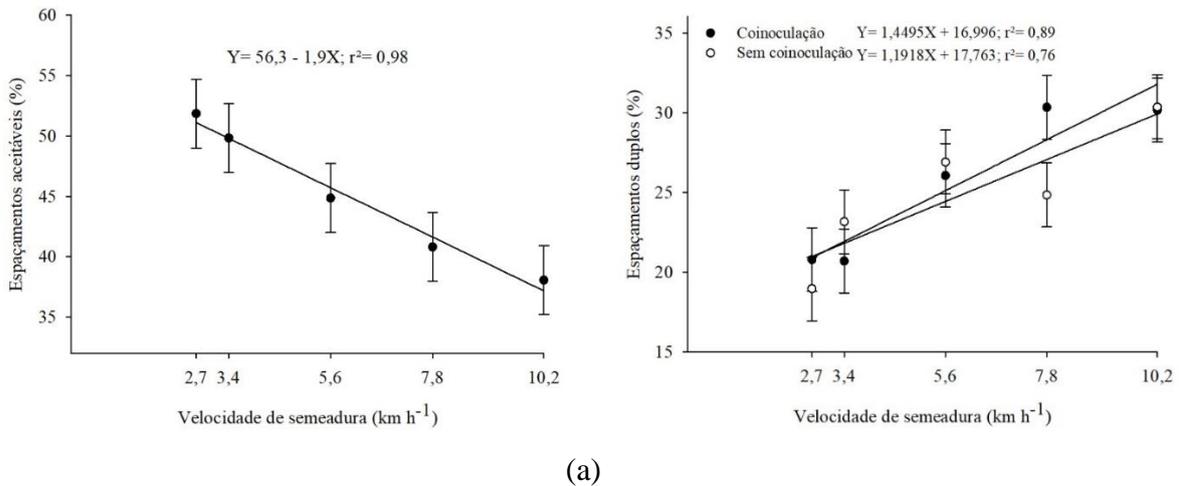


Figura 14 - Percentual dos espaçamentos aceitáveis (AC) e espaçamentos duplos (DU) em relação a velocidade de semeadura e coinoculação. Novo Machado (RS), 2018/2019.

A coinoculação foi significativa para a população de plantas (PO). Ao utilizar-se a coinoculação, o número de PO foi de 22,18 já sem a coinoculação, o número de PO foi de 20,73. Assim, verificou-se 1,45 plantas a mais pela utilização da coinoculação, podendo essa ser uma das causas do aumento da produtividade de grãos. Para os espaçamentos falhos, verificou-se o aumento percentual conforme a utilização da coinoculação (30,95%) e sem coinoculação (28,42%). O aumento de espaçamentos falhos, espaçamentos duplos e redução dos aceitáveis é consequência do aumento da velocidade de semeadura. Destaca-se que a utilização da coinoculação contribuiu para a emergência de plantas. Bullegon et al. (2014) verificaram que o número de plantas emergidas é maior quando se utilizou a coinoculação. Esses resultados estão associados ao fato de que a bactéria *Azospirillum*, presente na coinoculação produz fitohormônios (Puente et al., 2018) promovendo o crescimento radicular, contribuindo para que a planta seja bem desenvolvida. Isso possibilita que a população final de plantas seja mais próxima a população indicada. A velocidade de semeadura e a coinoculação afetaram significativamente a produtividade de grãos da soja, porém não se verificou interação significativa entre os fatores para a variável produtividade de grãos (Tabela 13).

Tabela 13 - Resumo da análise de variância com os respectivos quadrados médios para verificação dos fatores velocidade de semeadura (2,7; 3,4; 5,6; 7,8; 10 km h<sup>-1</sup>) e tipos de coinoculação (sem e com coinoculação) sobre as variáveis produtividade de grãos e massa de 1000 grãos. Novo Machado (RS), 2018/2019.

Fonte de Variação	GL	Produtividade	Massa 1000 grãos
Velocidade (V)	4	<b>221538*</b>	45,987 <sup>ns</sup>
Bloco	3	831646	295,17
Resíduo a	12	285362	31,619
Coinoculação (I)	1	<b>11443*</b>	1,105 <sup>ns</sup>
V x I	4	97070 <sup>ns</sup>	34,758
Resíduo b	15	305204	18,678
CV 1 (%)	-	14,07	3,58
CV 2 (%)	-	14,55	2,75

\*, <sup>ns</sup>, significativo a 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste F. GL: Graus de Liberdade, QM: Quadrado Médio, CV%: Coeficiente de variação.

O aumento da velocidade de semeadura (de 2,98 km h<sup>-1</sup> para 9,2 km h<sup>-1</sup>) reduziu a produtividade de grãos em 7,2 % (266,45 kg ha<sup>-1</sup>) (Figura 15). Valores superiores foram verificados por Brandelero et al. (2015), indicando que a variação da velocidade de semeadura de 3 km h<sup>-1</sup> para 6,8 km h<sup>-1</sup> provocou uma redução na produtividade de grãos de 505,75 kg ha<sup>-1</sup>. Os mesmos autores atribuem essa redução a diminuição do número de plantas, que foi de 13,8 para 12,9 plantas m<sup>-1</sup>. As variações na produtividade estão relacionadas ao aumento de espaçamentos duplos ocorridos pelo aumento da velocidade de semeadura. Essa consequência pode levar à competição interespecífica entre as plantas de soja, implicando em alterações na área radicular e conseqüentemente na nodulação (Brandelero et al., 2015).

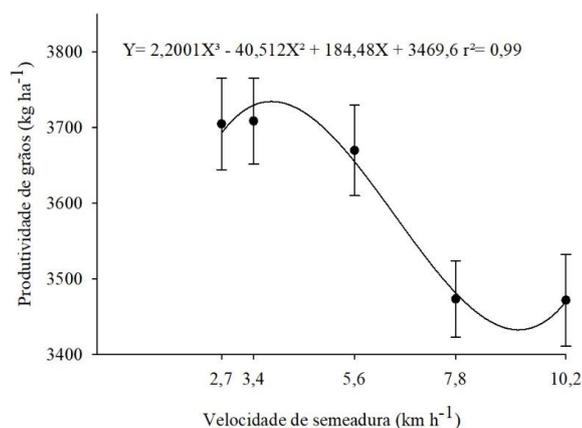


Figura 15 - Produtividade de grãos de soja em relação às velocidades de semeadura (2,7; 3,4; 5,6; 7,8 e 10 km h<sup>-1</sup>). Novo Machado (RS), 2018/2019.

A coinoculação promoveu um aumento de 220 kg ha<sup>-1</sup> na produtividade de grãos por sua utilização (3735,39 kg ha<sup>-1</sup>) em comparação a não utilização (3514,47 kg ha<sup>-1</sup>). Isso ocorre devido o aumento da produção de fitormônios que ampliam o sistema radicular, absorvendo mais água e nutrientes da solução do solo. A melhor eficiência da planta com bactérias do gênero *Azospirillum* se deve ao aumento do número de raízes laterais e a densidade de pêlos radiculares e de suas ramificações. Consequentemente melhorando a FBN que é associada a um aumento na produção de genes *Nod* durante a inoculação de *Azospirillum* (Braccini et al., 2016).

Além do aumento de produtividade (Fipke et al., 2016), outros benefícios também são observados, como o aumento do comprimento, volume, área superficial e diâmetro das raízes. Essas características permitem explorar um maior volume de solo, melhorando a absorção de água e de nutrientes (Cohen et al., 2015). Certamente, os efeitos da coinoculação foram favorecidos devido ao ambiente (precipitações e temperaturas). As precipitações foram regulares desde o momento da semeadura até o florescimento (Figura 1). A temperatura variou entre 21 °C a 30 °C, condições dentro da faixa ideal para a sobrevivência das bactérias. A FBN é influenciada por diversos fatores, entendendo-se que solos com umidades e temperaturas adequadas favorecem a nodulação, fixação de N e aumento da produtividade (Hungria et al., 2015).

#### **4. CONCLUSÃO**

Os sete ambientes tiveram resultados distintos quanto a melhor velocidade de semeadura e eficiência da coinoculação. Existe uma tendência que para o início da época de semeadura velocidades entre 3 e 4 km h<sup>-1</sup> apresentem maiores produtividade de grãos de soja. Em semeaduras realizadas mais ao final da época recomendada possuem queda de produtividade mais rápida quando as velocidades de semeadura superaram os 4 km ha<sup>-1</sup>.

A coinoculação proporciona um aumento de nodulação e da massa seca de nódulos por planta aumentando a produtividade de grãos entre 140 a 220 kg ha<sup>-1</sup>, aumentando a produtividade em qualquer velocidade de semeadura utilizada (Santa Maria na primeira época de semeadura (2019/2020) e Restinga Sêca (2019/2020)).

## 5. REFERÊNCIAS

- Altieri, M. A. et al. Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. **Agronomy for Sustainable Development**, v.35, n.3, p.869-890, 2015. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0285-2>
- Alvarez, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p.711-728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Balafoutis, A. et al. Precision agriculture technologies positively contributing to GHG emissions mitigation, farm productivity and economics. **Sustainability**, v.9, n.8, p.13-39, 2017. <https://doi.org/10.3390/su9081339>
- Becana, M. et al. Sulfur transport and metabolism in legume root nodules. **Frontiers in Plant Science**, v.9, p.1434, 2018. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01434>
- Benintende, S. et al. Comparación entre coinoculación com *Bradyrhizobium japonicum* y *Azospirillum brasilense* e inoculación simple com *Bradyrhizobium japonicum* en la nodulación, crecimiento y acumulación de N en el cultivo de soja. **Agriscientia**, v.23 p. 71-77, 2010. <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v27.n2.2768>
- Bertelli, G. A. et al. Plantability performance of pneumatic seeders in the soybean culture implantation in the Piauí cerrado-Brasil. **Applied Research & Agrotechnology**, v.9, n.1, p.91-103, 2016. <https://doi.org/10.5935/PAeT.V9.N1.10>
- Braccini, A. L. et al. Co-inoculação e modos de aplicação de *Bradyrhizobium japonicum* e *Azospirillum brasilense* e adubação nitrogenada na nodulação das plantas e rendimento da cultura da soja. **Scientia Agraria Paranaensis**, v.15, p.27-35, 2016. <https://doi.org/10.18188/sap.v15i1.10565>
- Brandelero, E. M. et al. Seeder performance under different speeds and its relation to soybean cultivars yield. **Journal of Agronomy**, v.14, n.3, p.139-145, 2015. <https://doi.org/10.1007/s11119-020-09775-7>
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Secretaria de Defesa Agropecuária, 2009. [ISBN: 978-85-99851-70-8](https://doi.org/10.1007/s11119-020-09775-7)

- Bruns, H. A. Comparisons of single-row and twin-row soybean production in the Mid-South. **Agronomy Journal**, v.103, n.3, p.702-708, 2011. <https://doi.org/10.2134/agronj2010.0475>
- Cohen, A. C. et al. *Azospirillum brasilense* ameliorates the response of *Arabidopsis thaliana* to drought mainly via enhancement of ABA levels. **Physiologia Plantarum**, v.153, p.79–90, 2015. <https://doi.org/10.1111/ppl.12221>
- Cohen, I. et al. The impact of water deficit and heat stress combination on the molecular response, physiology, and seed production of soybean. **Physiologia Plantarum**, v.172, p.41-52, 2021. <https://doi.org/10.1111/ppl.13269>
- Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). **Compêndio de Estudos CONAB/ Companhia Nacional de Abastecimento**. Brasília: Conab, 2021. [ISSN: 2318-6852](https://doi.org/10.2134/agronj2010.0475)
- Da Cunha, G. R. et al. Zoneamento agrícola e época de semeadura para soja no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.9, p.446-459, 2001. <https://www.researchgate.net/publication/294688659>
- De Smet, I. et al. A novel role for abscisic acid emerges from underground. **Trends in Plant Science**, v.11, n.9, p.434-439, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2006.07.003>
- Dias, M. A. N. et al. Influence of soybean seed moisture content in the response to seed treatment in soybean. **Revista de Agricultura Neotropical**, v.5, p.91-96, 2018. <https://doi.org/10.32404/rean.v5i2.1415>
- Dobbelaere, S. and Okon, Y. The plant growth-promoting effect and plant responses. In: **Associative and endophytic nitrogen-fixing bacteria and cyanobacterial associations**. p. 145-170, 2007. [https://doi.org/https://doi.org/10.1007/1-4020-3546-2\\_7](https://doi.org/10.1007/1-4020-3546-2_7)
- Dos Santos, A. A. et al. Efeito da inclinação transversal sobre o desempenho de dosadores pneumáticos em diferentes velocidades de operação. **Energia na Agricultura**, v.29, p.174-181, 2014. <https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2014v29n3p174-181>
- EMBRAPA. Tecnologias de Produção de Soja Região Central do Brasil 2013. [ISSN: 2176-2902](https://doi.org/10.2134/agronj2010.0475)
- Fatichin, Z. et al. Varietal difference in early vegetative growth during seedling stage in soybean. **Plant Production Science**, v.16, p.77-83, 2013. <https://doi.org/10.1626/pps.16.77>

- Fehr, W. R. and Caviness, C. E. **Stages of Soybean Development**. Ames: Iowa State University, 1977. 12p. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582018360100073>
- Ferrari, E. et al. Déficit hídrico e altas temperaturas no metabolismo da soja em semeaduras antecipadas. **Nativa**, v.3, p.67-77, 2015. <http://dx.doi.org/10.14583/2318-7670.v03n01a12>
- Ferreira, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>
- Fipke, G. M. et al. Co-inoculation with diazotrophic bacteria in soybeans associated to urea topdressing. **Ciência e Agrotecnologia**, v.40, n.5, p.522-533, 2016. <https://doi.org/10.1590/1413-70542016405001316>
- Franchini, J. C. et al. Evolution of crop yields in different tillage and cropping systems over two decades in southern Brazil. **Field Crops Research**, v.137, p.178-185, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.09.003>
- Fukami, J. et al. *Azospirillum*: benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. **AMB Express**, v.8, n.1, p.1-12, 2018. <https://doi.org/10.1186/s13568-018-0608-1>
- Garcia, R. F. et al. Influence of displacement speed on the performance of a precision seeder-fertilizer in Norte Fluminense. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.33, n.3, p.417-422, 2012. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v33i3.6085>
- Holub, P. et al. Application of organic carbon affects mineral nitrogen uptake by winter wheat and leaching in subsoil: Proximal sensing as a tool for agronomic practice. **Science of the Total Environment**, v.717, p.02-12, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137058>
- Hungria, M. and Mendes, I. C. Nitrogen fixation with soybean: The perfect symbiosis? **Biological Nitrogen Fixation**, v.2, p.1005–1019, 2015. <https://doi.org/10.1002/9781119053095.ch99>
- Hungria, M. et al. Alternative methods of soybean inoculation to overcome adverse conditions at sowing. **African Journal of Agricultural Research**, v.10, p. 2329-2338, 2015. <https://doi.org/10.5897/AJAR2014.8687>

- Hungria, M. et al. Co-inoculation of soybeans and common beans with rhizobia and azospirilla: strategies to improve sustainability. **Biology and Fertility of Soils**, v.49, p.791-801, 2011. <https://doi.org/10.1007/s00374-012-0771-5>
- Hungria, M. Plant densities and modulation of symbiotic nitrogen fixation in soybean. **Scientia Agricola**, v.71, p.181-187, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162014000300002>
- Jasper, R. et al. Velocidade de semeadura da soja. **Engenharia Agrícola**, v.31, n.1, p.102-110, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162011000100010>.
- Jisha, K. C. et al. Seed priming for abiotic stress tolerance: an overview. **Acta Physiologiae Plantarum**, v.35, p.1381-1396, 2013. <https://doi.org/10.1007/s11738-012-1186-5>
- Johansen, C. et al. Conservation agriculture for small holder rainfed farming: Opportunities and constraints of new mechanized seeding systems. **Field Crops Research**, v.132, p.18-32, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.11.026>
- Juge, C. et al. Growth and biochemical responses of soybean to double and triple microbial associations with *Bradyrhizobium*, *Azospirillum* and arbuscular mycorrhizae. **Applied Soil Ecology**, v.61, p.147-157, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2012.05.006>
- Kachman, S. D. and Smith, J. A. Alternative measures of accuracy in plant spacing for planters using single seed metering. **American Society of Agricultural Engineers**, v.38, n.2, p.379-387, 1995. <https://doi.org/10.13031/2013.27843>
- Kempster, R. et al. Genotype and cytokinin effects on soybean yield and biological nitrogen fixation across soil temperatures. **Annals of Applied Biology**, v.178, n.2, p.341-354, 2021. <https://doi.org/10.1111/aab.12652>
- Kloepper, J. W. Plant growth-promoting rhizobacteria on radishes. **Plant Pathogenic Bacter, Station de Pathologie Vegetale et Phytobacteriologie**. p.879-882, 1978. <https://www.researchgate.net/publication/284682983>
- Luca, M. and Hungria, M. Plant densities and modulation of symbiotic nitrogen fixation in soybean. **Scientia Agricola**, v.71, p.181-187, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162014000300002>

- Márquez-García B. et al. Redox markers for drought-induced nodule senescence, a process occurring after drought-induced senescence of the lowest leaves in soybean (*Glycine max* Merr). **Annals of Botany**, v.116, p.497-510, 2015. <https://doi.org/10.1093/aob/mcv030>
- Masino, A. et al. Spatial and temporal plant-to-plant variability effects on soybean yield. **European Journal of Agronomy**, v.98, p.14-24, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.02.006>
- O'Callaghan, M. Microbial inoculation of seed for improved crop performance: issues and opportunities. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v.100, p.5729-5746, 2016. <https://doi.org/10.1007/s00253-016-7590-9>
- Odhiambo, L. O. and Irmak, S. Evaluation of the impact of surface residue cover on single and dual crop coefficient for estimating soybean actual evapotranspiration. **Agricultural Water Management**, v.104, p.221-234, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.12.021>
- Puente, M. L. et al. The benefits of foliar inoculation with *Azospirillum brasilense* in soybean are explained by an auxin signaling model. **Symbiosis**, v.76, p.41-49, 2018. <https://dx.doi.org/10.1007/s13199-017-0536-x>
- Queiroz, R. et al. Co-inoculation with *Bradyrhizobium* and *Azospirillum* increases yield and quality of soybean seeds. **Agronomy Journal**, v.110, p.2302-2309, 2018. <https://doi.org/10.2134/agronj2018.04.0278>
- Rao, D. L. N. et al. Recent advances in biological nitrogen fixation in agricultural systems. In: **Proceedings of the Indian National Science Academy**. 2014. p.359-378. <https://doi.org/10.16943/ptinsa/2014/v80i2/55114>
- Reynaldo, E. F. et al. Influência da velocidade de deslocamento na distribuição de sementes e produtividade de soja. **Revista Engenharia na Agricultura**, v.24, n.1, p.63-67, 2016. <https://doi.org/10.13083/reveng.v24i1.634>
- Rolli, E. et al. Improved plant resistance to drought is promoted by the root-associated microbiome as a water stress-dependent trait. **Environmental Microbiology**, v.17, p.316–331, 2015. <https://doi.org/10.1111 / 1462-2920.12439>

- Rosenzweig, C. et al. Climate change and extreme weather events-Implications for food production, plant diseases, and pests, **Global Change & Human Health** v.2, n.2, p.92-104, 2001. <https://doi.org/10.1023/A:1015086831467>
- Santos, E. L. et al. Water stress affecting nodulation, oil, protein and grain yield of soybean cultivars. **Global Science and Tecnology**, v.5, p.109-120, 2012. <https://www.researchgate.net/publication/257819603>
- Schauberger, B. et al. Consistent negative response of US crops to high temperatures in observations and crop models. **Nature Communications**, v.8, n.1, p.1-9, 2017. <https://doi.org/10.1038/ncomms13931>
- Shahrajabian, M. H. et al. Biostimulants application: A low input cropping management tool for sustainable farming of vegetables. **Biomolecules**, v.11, n.5, p.698, 2021. <https://doi.org/10.3390/biom11050698>
- Shiro, S. et al. Temperature-Dependent Expression of NodC and Community Structure of Soybean-Nodulating Bradyrhizobia. **Microbes and Environments**, v. 31, p. 27-32, 2016. <https://doi.org/10.1264/jsme2.ME15114>
- Soumare, A. et al. Exploiting biological nitrogen fixation: a route towards a sustainable agriculture. **Plants**, v.9, p.1011, 2020. <https://doi.org/10.3390/plants9081011>
- Tapiador, F. J. et al. Consensus in climate classifications for present climate and global warming scenarios. **Atmospheric Research**, v.216, p.26-36, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres>
- USDA - Soil Survey Staff. **Keys to Soil Taxonomy**. Department of Agriculture: Natural Resources Conservation Service, Washington: USDA. 2014. <http://directives.sc.egov.usda.gov/33085.wba>
- Wakelin, S. A. et al. Regional and local factors affecting diversity, abundance and activity of free-living, N<sub>2</sub>-fixing bacteria in Australian agricultural soils. **Pedobiologia**, v.53, p.391-399, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2010.08.001>
- Waraich, E. et al. Role of mineral nutrition in alleviation of drought stress in plants. **Australian Journal of Crop Science**, v.5, p.764-777, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2008000400014>

- Wösten, J. H. M. et al. Development and use of a database of hydraulic properties of European soils. **Geoderma**, v.90, v.169-185, 1999.  
[https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(98\)00132-3](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(98)00132-3)
- Zhang, S. Q. and Outlaw, W. H. Abscisic acid introduced into the transpiration stream accumulates in the guard-cell apoplast and causes stomatal closure. **Plant Cell Environmental**, v.24, p.1045–1054. 2001.  
<https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2001.00755.x>
- Zhao, H. et al. Applications of discrete element method in the research of Agricultural machinery: A review. **Agriculture**, v.11, p.1-26, 2021.  
<https://doi.org/10.3390/agriculture11050425>

## ARTIGO 2 - RELAÇÕES DE CAUSA E EFEITO DOS CARACTERES DA SEMEABILIDADE E NODULAÇÃO SOBRE A PRODUTIVIDADE DE SOJA

### RESUMO

Para aumentar a eficiência produtiva de um carácter, pode-se utilizar a seleção de caracteres correlacionados. As análises de correlações entre a produtividade de grãos e seus principais componentes pode ser empregada no entendimento da relação causa e efeito entre os caracteres de semeabilidade, nodulação e a produtividade de grãos. Objetivou-se, com esta pesquisa, avaliar a relação de causa e efeito da velocidade de semeadura e a coinoculação sobre a nodulação e os componentes de produtividade na cultura da soja. Foram realizados sete experimentos em três locais distintos. Todos os experimentos foram realizados segundo o delineamento blocos ao acaso e os tratamentos foram distribuídos em um bifatorial, com e sem coinoculação com cinco velocidades de semeaduras, com quatro repetições. Foram avaliadas as variáveis independentes: distância entre plantas, número de espaçamentos aceitáveis, falhos, duplos, população de plantas, percentual de cobertura e umidade do solo, número e massa seca de nódulos e massa de mil grãos. A variável dependente foi a produtividade de grãos. Utilizou-se o software estatístico RStudio para calcular a matriz de correlações linear de Person ( $r$ ) entre os caracteres, na qual foi aplicado o teste “ $t$ ” a 5% de probabilidade de erro para testar a significância dos coeficientes de correlação. Além disso, foi realizada a identificação do grau de multicolinearidade para manter nas análises de trilha apenas os caracteres independentes que proporcionaram multicolinearidade fraca. Conclui-se que a massa seca de nódulos por planta e os espaçamentos duplos correlacionam diretamente com a produtividade de grãos de soja. A redução na qualidade da semeadura observada pelo aumento dos espaçamentos duplos reduz a nodulação da soja, que por sua vez, reduz a produtividade de grãos. Deve-se priorizar o uso de técnicas que melhoram a distribuição de plantas na fileira de semeadura, e que aumentam a nodulação da soja. Velocidades de semeadura adequadas e a coinoculação podem ser alternativas.

**Palavras-chave:** *Glycine max*, coinoculação, correlação, velocidade.

## ARTICLE 2 - CAUSE AND EFFECT RELATIONS BETWEEN SEEDABLE CHARACTERS ON SOYBEAN PRODUCTIVITY

### ABSTRACT

To increase the productive efficiency of a character, the selection of correlated characters can be used. Correlation analysis between grain yield and its main components can be used to understand the cause and effect relationship between seeding traits, nodulation and grain yield. The objective of this research was to evaluate the cause and effect relationship of sowing speed and coinoculation on nodulation and yield components in soybean crop. Seven experiments were carried out in three different locations. All experiments were carried out according to a randomized block design and treatments were distributed in a bifactorial, with and without coinoculation with five sowing speeds, with four replications. The independent variables were evaluated: distance between plants, number of acceptable spacings, gaps, doubles, plant population, percentage of cover and soil moisture, number and dry mass of nodules and mass of a thousand grains. The dependent variable was grain yield. The statistical software RStudio was used to calculate the Person (r) linear correlation matrix between characters, in which the “t” test was applied at 5% probability of error to test the significance of the correlation coefficients. In addition, the identification of the degree of multicollinearity was performed to keep in the path analysis only the independent characters that provided weak multicollinearity. It is concluded that the dry mass of nodules per plant and double spacing directly correlate with soybean grain yield. The reduction in sowing quality observed by the increase in double spacing reduces soybean nodulation, which in turn, reduces grain yield. Priority should be given to the use of techniques that improve the distribution of plants in the sowing row, and that increase soybean nodulation. Appropriate seeding speeds and coinoculation can be alternatives.

**Keywords:** *Glycine max*, correlation, seedability, coinoculation.

## 1. INTRODUÇÃO

Mundialmente necessita-se ampliar a produção de grãos devido o aumento da população e do consumo humano e animal. Destaca-se a soja como uma fonte de proteína de origem vegetal de baixo custo (Lupatini et al., 2017). A semeadura é um dos principais fatores que influenciam no estabelecimento das plantas de soja e, conseqüentemente, na produtividade de grãos (Gai et al., 2017). A eficiência das operações de semeadura tem indicado que o aumento da velocidade de semeadura ocasiona distribuição de sementes que reduzem a produtividade (Brandelero et al., 2015; Turan et al., 2014).

Para a cultura da soja os principais caracteres que interferem na sua produtividade são: época de semeadura; fertilidade e cobertura do solo; condições climáticas; características genéticas e o arranjo populacional (Yahaya e Ankrumah, 2017). Desta forma, é importante identificar quais são os caracteres que apresentam maior relação com a produtividade de grãos e que poderão ser analisadas com maiores detalhes para atingir o desempenho máximo na cultura da soja (Kumar et al., 2015; Nadin et al., 2019).

A semeabilidade melhora os aspectos relacionados ao aumento da produtividade de grãos (Keyvan e Soheil, 2011). No entanto, o aumento de velocidade promove alterações logitudinais e na profundidade da semente no sulco (De Moraes et al., 2020). No processo de semeadura, o que altera o tempo de queda das sementes é o choque dessas com as paredes do condutor de sementes que é provocado pelo componente horizontal de semeadura. Isso altera os espaçamentos e a distância entre as sementes no sulco de semeadura (Garcia, 2012; Rodrigues et al., 2020). As adversidades ambientais fazem com que o período de semeadura seja reduzido, devendo-se aumentar a velocidade de semeadura para compensar a limitação de tempo (Zulin et al., 2018; Wang e Qin, 2017; Hasanuzzaman et al., 2016).

Para mitigar as adversidades ambientais pode-se usar bactérias do gênero *Bradyrhizobium* spp, a fim de aumentar a produtividade de grãos. Essas bactérias são simbióticas porque infectam as raízes da soja, formando nódulos nos quais ocorre a FBN (López-Baena et al., 2016; Soba et al., 2021). A FBN é sensível ao estresse hídrico, tanto à falta quanto ao excesso de água (Furlan et al., 2017). Uma das principais causas dos baixos níveis de nodulação é a deficiência hídrica, que reduz as condições ideais para a formação de

nódulos (Kibido et al., 2020). O período de sobrevivência das bactérias é influenciado pelo estágio de desenvolvimento da planta de soja e pela umidade do solo (Brandelero et al., 2015; Vezzani et al., 2018; Murchie et al., 2019).

O estudo das correlações entre caracteres é desenvolvido em praticamente todos os campos de pesquisa. A relação entre causa e efeito sobre a variável dependente é eficiente, pois sua correta análise subsidia os usuários na tomada de decisões assertivas. O controle estatístico visa reduzir a variabilidade, evitando conclusões e inferências equivocadas em relação aos efeitos dos tratamentos avaliados nos diferentes experimentos (Casler, 2015).

A correlação simples permite apenas avaliar a magnitude e o sentido da associação entre dois caracteres, sem fornecer informações necessárias relativas aos efeitos diretos e indiretos de um grupo de caracteres em relação a um caractere dependente de maior importância (Hair et al., 2013). O coeficiente de correlação pode induzir equívocos sobre a relação entre dois caracteres, podendo não demonstrar a real medida de causa e efeito, pois pode ocorrer uma relação dessas com um terceiro caractere ou com um grupo de caracteres (Cruz e Carneiro, 2006).

Dessa forma, para compreender a associação entre caracteres, Wright (1921) propôs um método, para estimar a relação de causa e efeito entre os caracteres explicativos e o principal. Isso é possível a partir do desdobramento do coeficiente de correlação, em efeitos diretos e indiretos sobre a produtividade de grãos (Machado et al., 2017). O grau de relação entre as características avaliadas e a produtividade de grãos pode ser estabelecido pela correlação de Pearson. Por meio dessa correlação pode-se obter a relação entre duas características. Contudo, quando o número de características avaliadas for maior, a análise de trilha complementa as informações desdobrando as correlações em efeitos diretos e indiretos (Yang et al., 2014; Oliveira et al., 2020).

A análise de trilha é aplicada em estudos que envolvem o melhoramento genético, mas seu uso pode ser eficaz para outras áreas de investigação, para identificar o tipo e o grau de relação entre caracteres e fornecer condições de melhor planejamento para o manejo e condução do experimento. A análise de trilha pode, também, ser aplicada como método de identificação das variáveis menos explicativas do comportamento da variável dependente principal e assim eliminá-la do estudo (Machado et al., 2017). Dessa maneira, os resultados

permitem identificar as variáveis que podem influenciar a produtividade da soja (Ghodrati et al., 2013). As análises de correlações entre as características não possibilitam inferir sobre as causas e efeitos dessas relações, impossibilitando o conhecimento de qual tipo de associação existe entre os caracteres analisados (Ebone et al., 2020).

Objetivou-se com essa pesquisa avaliar a relação causa e efeito de caracteres relacionados a velocidade de semeadura, nodulação e componentes de produtividade sobre a produtividade de grão de soja.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados foram obtidos de cinco experimentos de soja, conduzidos em três locais no estado do Rio Grande do Sul: Santa Maria, Restinga Sêca e Novo Machado - RS. Foi utilizado o delineamento de blocos ao acaso e os tratamentos foram distribuídos em um bifatorial (2 x 5), coinoculação (com e sem) e cinco velocidades de semeadura (definidos em cada local) com quatro repetições. Foram avaliados três locais de cultivo, sendo que dois locais (Local 1 e Local 2) foram realizadas as avaliações por dois anos e em outro por um ano (Local 3).

A semeadura foi realizada com semeadora-adubadora. A coinoculação foi realizada com inoculante líquido a base da bactéria *Bradyrhizobium japonicum* (concentração de  $7 \times 10^9$  UFC mL<sup>-1</sup>) na dose de 6 mL kg<sup>-1</sup> de sementes, e *Azospirillum brasilense* (concentração de  $2 \times 10^8$  UFC mL<sup>-1</sup>) na dose de 2,0 mL kg<sup>-1</sup> de sementes. Cada unidade experimental foi constituída de 7,75 m de comprimento por 2,25 m de largura, com cinco fileiras espaçadas a 0,45 m, totalizando 17,4 m<sup>2</sup> de área total e 6,75 m<sup>2</sup> de área útil.

Foram avaliadas as variáveis independentemente de semeabilidade: distância entre plantas (DP); número de espaçamentos aceitáveis (AC); falhos (FA); duplos (DU); população de plantas (PO); cobertura do solo (CS); umidade do solo (UM); número de nódulos (NN); massa seca de nódulos (MSN) e massa de mil grãos (MMG). A variável dependente foi a produtividade de grãos (PG).

O cálculo da distância entre plantas (DP), é a medida para quantificar os espaçamentos aceitáveis (AC), espaçamentos falhos (FA), duplas (DU), população de plantas (PO). Essa medida de distância entre as plantas foi considerada a partir de porcentagens dos

espaçamentos: “duplos” (DU), menores que 0,5 vezes o espaçamento médio esperado (Xref.); “aceitáveis” (AC), de 0,5 a 1,5 vezes o espaçamento médio esperado (Xref.); e “falhas” (FA) maiores que 1,5 vezes o espaçamento médio esperado (Xref.), conforme a (ABNT, 1994), sendo essa medição será caracterizada para cada local. Para essa avaliação foi utilizado uma trena métrica em todas as cinco fileiras de cada parcela. A taxa de cobertura de solo (CS) foi analisada pelo software “*ImageJ*”, e para a avaliação da umidade de solo (UM) foi utilizado o método da estufa que consiste na secagem da amostra de solo, obtido após a secagem de uma amostra natural por um período de 72 horas submetidas a 65 °C. Após 72 horas, o solo foi novamente pesado e por diante da diferença de massa entre o solo seco para e o solo úmido estabeleceu-se o limite superior de retenção de água (100% da capacidade de retenção) (Wösten et al., 1999).

A contagem de nódulos foi estabelecida quando as plantas atingiram o estágio fenológico R2 (pleno florescimento) a qual é representada na escala fenológica de Fehr e Caviness (1977). As amostras foram coletadas de forma aleatória, com quatro plantas para cada unidade experimental, com auxílio de uma pá de corte com dimensões de 0,2 (L1) x 0,2 (L2) x 0,2 (H) com volume de solo estabelecido de 0,008 m<sup>3</sup>. A contagem do número de nódulos foi realizada de forma direta nas raízes de cada planta (NN, planta<sup>-1</sup>) e, depois, procedeu-se a lavagem dos nódulos. A secagem foi feita em uma estufa de ar, a 65°C durante 48 horas, após pesou-se a amostra para avaliar a massa seca de nódulos por planta (MSN, mg planta<sup>-1</sup>). Na colheita foram avaliadas a massa de mil grãos (MMG) e a produtividade de grãos (PG), sendo está obtida por meio de pesagem dos grãos de toda área útil da parcela. Os valores da MMG e da PG foram corrigidos para umidade de 13% (Brasil, 2009).

Para análise estatística, utilizou-se o software estatístico R e a análise de correlação foi realizada com o pacote yacca (Butts, 2018) para calcular a matriz de correlações lineares de Person (r) entre os caracteres, na qual foi aplicado o teste “t” a 5% de probabilidade de erro para testar significância dos coeficientes de correlação. Foi identificado o grau de multicolinearidade foi efetivada das análises de trilha (Da Silva, 2017). Apenas os caracteres independentes que proporcionaram multicolinearidade fraca foram mantidos (Cruz & Regazzi, 1994). Observou-se o número de condições (NC) menor que 100, em que a PG foi considerada como dependente principal.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o local de Santa Maria (2018/2019) verificou-se que os números de DU se correlaciona negativamente (com coinoculação) com AC, DP, MSN, CS. Essa correlação é positiva com PO e MMG e sem coinoculação para FA, AC, DP, PG, UM e CS (Tabela 1). Para o experimento de 2019/2020 observou-se que os espaçamentos DU correlacionam negativamente (com coinoculação) com AC e positivamente com MMG e sem a coinoculação positivamente com MMG.

O aumento da velocidade proporciona consequências na distribuição de sementes na fileira, o que influencia negativamente a deposição equidistantes de sementes. Maiores velocidades contribuem para a desuniformidade e profundidade das sementes, maior número de falhas e espaçamentos duplos entre plantas, resultando em uma maior competição intraespecífica e desenvolvimento irregular das plantas (Brandelero et al., 2015). Verifica-se uma correlação negativa significativa quando realizada a coinoculação entre CS com o número de espaçamentos duplos entre plantas (-0,76\*) e sem a coinoculação (-0,73\*), em que, aumentando a CS, diminui o número de DU. A ocorrência é devido ao menor deslocamento horizontal do sulcador de semeadura, o que diminuiu o efeito do revolvimento da palha devido à velocidade de semeadura. Isso é caracterizado pelo aumento da velocidade de semeadura, que quanto maior a CS menor é o número de DU devido ao menor revolvimento da CS. Quanto maior a velocidade de semeadura menor é o percentual de espaçamentos aceitáveis e aumentando o número de espaçamentos falhos (Trogello et al., 2013). A velocidade de semeadura interfere na qualidade da semeadura e na profundidade de deposição das sementes, além de abertura irregular dos sulcos, acúmulo de palha sobre o solo e na semeadora e na uniformidade de distribuição das sementes (Trogello et al., 2013).

A PO (2018/2019) quando realizada a coinoculação, correlacionou-se com a DP (-0,98\*) e a MMG (+0,44\*). Ao não se utilizar a coinoculação verificou-se a correlação com DP (-0,97\*) e UM (-0,49\*). Com a coinoculação (2019/2020) a PO correlacionou com FA (-0,98\*), AC (+0,90\*), DP (-0,99\*) e MSN (+0,48\*) e sem coinoculação com a AC (+0,84\*), FA (-0,97\*) e DP (-0,98), demonstrando que a população de plantas é influenciada pela desuniformidade na distribuição de plantas. A DP se correlacionou com os espaçamentos DU

(-0,52\*) e PO (-0,98\*), de modo que, com o aumento da DP, os espaçamentos DU aumentaram, enquanto que a PO foi reduzida. Verificou-se que o valor de PO (-0,99\*) e AC (-0,89\*) correlacionou-se positivamente com a PG utilizando-se a coinoculação (2019/2020). Quando a coinoculação não é utilizada (2018/2019) a DP se correlacionou com DU (-0,63\*) e PO (-0,97\*), já para o experimento de 2019/2020, FA (+0,95\*), AC (-0,80\*) e PO (-0,98\*). A PO de plantas é correspondente à velocidade de semeadura, sendo assim, quanto maior o número de sementes com maior velocidade, pode ocorrer FA na distribuição no sulco. Dessa forma, com o aumento da velocidade alteram a DP e, conseqüentemente, promove-se alteração de plantas nos espaçamentos DU, FA e PO. A ocorrência de espaçamentos FA são oportunidades do surgimento de plantas, que competem por recursos, reduzindo a produtividade de grãos (Dos Santos et al., 2014). Com a coinoculação (2018/2019) verifica-se que na PO ocorrem mais espaçamentos DU (+0,55\*), relacionada à velocidade de semeadura.

Observa-se que a DP está relacionada à FA proporcionam um aumento na desuniformidade de distribuição de plantas. Para a coinoculação (2018/2019) o número de espaçamentos AC (+0,54\*) e a MSN (+0,70\*) apresentou correlação positiva com a PG, indicando que plantas equidistantes aumentam a produtividade. Portanto, a homogeneidade na distribuição de plantas e contribuiu para aumento de produtividade. Se não for utilizada a coinoculação (2019/2020) a MMG (+0,56\*) correlacionou-se com a PG. A importância de plantas AC e equidistantes tem demonstrado efeito positivo na produtividade de grãos. Comprovando-se que os espaçamentos FA e DU não podem influenciar no aumento da produtividade.

A utilização da coinoculação (2018/2019) e os espaçamentos AC interferiu na CS (+0,71\*). Esse fator é importante para melhorar as condições de proteção, sobrevivência de microrganismos e emergência de plantas para o aumento da PG. Quando não foi realizada a coinoculação a interação entre UM com o NN (+0,55\*) foi um fator importante na produtividade de grãos. Diante disso, a UM do solo interfere diretamente no estande inicial da cultura, pois é nesse momento que a semente pode ter condições favoráveis de umidade no solo relacionando-se com a temperatura do solo. Quando a semeadura é realizada em baixa velocidade, o revolvimento do solo pela semeadora é menor e ocorrem mais espaçamentos

AC. O sulcador tende a aumentar o diâmetro da abertura do sulco com o aumento da velocidade e diminuir os espaçamentos AC.

A temperatura adequada do solo proporciona uma emergência uniforme e rápida das plântulas minimizando a competição intraespecífica (Ebone et al., 2020). A temperatura do solo é reduzida quando o solo possui maior teor de umidade, além de permitir uma maior sobrevivência das bactérias no solo melhorando a infecção das raízes. Como consequência as plantas mantêm-se em atividade fotossintética por mais tempo (estômatos abertos) e auxiliando na formação dos nódulos (Curtin et al., 2012; Jones e Bartetti, 2012). Com a utilização da coinoculação (2019/2020) também ocorreu correlação entre MSN e NN (+0,65\*). Quando realizada a coinoculação, verifica-se que a MSN se correlaciona (+0,48\*) com a CS (2018/2019), já para o experimento de 2019/2020 a MSN correlaciona (+0,65\*) com o NN, isso se deve ao fato de que os nódulos são as estruturas que convertem o nitrogênio atmosférico em nitrogênio assimilável pela planta (Zhou et al., 2014).

A CS correlaciona-se positivamente a temperatura do solo e essa a massa da MSN. A melhoria do teor de umidade do solo pode ser contornada com a adoção de práticas agrícolas que proporcionem melhor cobertura do solo, consequentemente reduzindo a sua temperatura (Hungria e Vargas, 2012). A baixa umidade do solo impacta na sobrevivência das bactérias dependendo da intensidade, da duração e do estágio de desenvolvimento das plantas (Vezzani et al., 2018). Verificou-se a correlação entre espaçamentos AC e o número de NN (+0,45), com a melhor distribuição de plantas, o sistema radicular, a parte aérea e a formação de nódulos ocorrem de maneira mais uniforme.

Luca e Hungria (2014) verificaram que o aumento do número e da massa de nódulos é decorrente de um maior número de ramos e área foliar, bem como uma elevada capacidade de produzir fotoassimilados. Isso resulta em uma maior translocação que visa nutrir as bactérias fixadoras que se multiplicam em uma taxa mais elevada. Os efeitos do déficit hídrico sobre a nodulação e produtividade de grãos ocorre durante o estabelecimento da simbiose a formação de nódulos no estágio V2, no pleno florescimento (R2) e no enchimento de grãos (R5) (Dwivedi et al., 2015).

A correlação entre a MSN (+0,70) com a PG é positiva, pois a importância da quantidade de nódulos por planta é fundamental para o aumento da produtividade. O elevado

número de nódulos para cada sistema radicular com menor diâmetro, proporcionam maior capacidade de fixação biológica de nitrogênio (Hungria e Mendes, 2015). Na correlação entre CS e a UM (+0,58\*) observa-se uma variação de CS devido à velocidade de semeadura. Essa correlação interfere na temperatura e umidade do solo, tornando as condições do solo mais adequadas para a germinação e a emergência das plantas. Essa correlação já é esperada, pois a quantidade de palha na CS influencia na maior UM do solo, pois a palha amplia a retenção de água no solo. Conseqüentemente o AC também é maior devido a menor velocidade de semeadura. A ampliação da velocidade de semeadura amplia a abertura do sulco de forma a deslocar a palha, não protegendo o solo contra as radiações solares, elevando-se a temperatura (Tabela 1).

Tabela 1 - Coeficientes de correlação linear de Pearson, com coinoculação (fundo verde) e sem coinoculação (fundo branco) entre espaçamento duplos (DU%), falhas (FA%), espaçamentos aceitáveis (AC%), população de plantas observadas (PO), distância entre plantas (DP), massa seca de nódulos (MSN), número de nódulos (NN), produtividade de grãos (PG), massa de mil grãos (MMG), umidade do solo (UM) e cobertura do solo (CS), Santa Maria (RS).

Experimento 2018/2019											
Com/ Sem	DU	FA	AC	PO	DP	MSN	NN	PG	MMG	UM	CS
DU	---	<b>-0,59*</b>	<b>-0,48*</b>	0,64 <sup>ns</sup>	<b>-0,63*</b>	-0,13 <sup>ns</sup>	-0,50 <sup>ns</sup>	<b>-0,23*</b>	0,18 <sup>ns</sup>	<b>-0,58*</b>	<b>-0,73*</b>
FA	-0,6 <sup>ns</sup>	---	-0,40 <sup>ns</sup>	-0,92 <sup>ns</sup>	0,93*	-0,22 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	-0,09 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	0,33 <sup>ns</sup>	0,29 <sup>ns</sup>
AC	<b>-0,92*</b>	-0,31 <sup>ns</sup>	---	0,27 <sup>ns</sup>	-0,29 <sup>ns</sup>	0,40 <sup>ns</sup>	<b>0,45*</b>	0,37 <sup>ns</sup>	-0,30 <sup>ns</sup>	0,29 <sup>ns</sup>	0,50 <sup>ns</sup>
PO	<b>0,55*</b>	<b>-0,77*</b>	-0,24 <sup>ns</sup>	---	<b>-0,97*</b>	0,29 <sup>ns</sup>	-0,19 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	<b>-0,49*</b>	-0,36 <sup>ns</sup>
DP	<b>-0,52*</b>	<b>0,78*</b>	0,20 <sup>ns</sup>	<b>-0,98*</b>	---	-0,27 <sup>ns</sup>	0,18 <sup>ns</sup>	-0,08 <sup>ns</sup>	0,007 <sup>ns</sup>	0,44 <sup>ns</sup>	0,36 <sup>ns</sup>
MSN	<b>-0,49*</b>	<b>0,22*</b>	0,38 <sup>ns</sup>	-0,31 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>ns</sup>	---	<b>0,62*</b>	-0,07 <sup>ns</sup>	-0,15 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>ns</sup>
NN	<b>0,44*</b>	0,09 <sup>ns</sup>	<b>-0,46*</b>	0,23 <sup>ns</sup>	-0,28 <sup>ns</sup>	0,30 <sup>ns</sup>	---	0,41 <sup>ns</sup>	-0,58 <sup>ns</sup>	<b>0,55*</b>	<b>0,54*</b>
PG	-0,38 <sup>ns</sup>	<b>-0,48*</b>	<b>0,54*</b>	0,15 <sup>ns</sup>	-0,16 <sup>ns</sup>	<b>0,70*</b>	<b>-0,51*</b>	---	0,28 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	0,34 <sup>ns</sup>
MMG	<b>0,35*</b>	<b>-0,45*</b>	-0,17 <sup>ns</sup>	<b>0,44*</b>	-0,43 <sup>ns</sup>	-0,22 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	<b>-0,08<sup>ns</sup></b>	---	-0,45 <sup>ns</sup>	-0,26 <sup>ns</sup>
UM	-0,32 <sup>ns</sup>	-0,24 <sup>ns</sup>	0,40 <sup>ns</sup>	-0,06 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>	-0,23 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	---	0,61 <sup>ns</sup>
CS	<b>-0,76*</b>	0,01 <sup>ns</sup>	<b>0,71*</b>	-0,41 <sup>ns</sup>	0,35 <sup>ns</sup>	<b>0,48*</b>	-0,25 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>ns</sup>	-0,26 <sup>ns</sup>	<b>0,58*</b>	---

Experimento 2019/2020										
Com/ Sem	DU	FA	AC	PO	DP	MSN	NN	PG	MMG	
DU	---	-0,09 <sup>ns</sup>	-0,27 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>ns</sup>	-0,32 <sup>ns</sup>	-0,15 <sup>ns</sup>	-0,03 <sup>ns</sup>	0,32 <sup>ns</sup>	<b>0,67*</b>	
FA	0,43 <sup>ns</sup>	---	<b>-0,93*</b>	<b>-0,97*</b>	<b>0,95*</b>	0,41 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	-0,21 <sup>ns</sup>	-0,02 <sup>ns</sup>	
AC	<b>-0,68*</b>	<b>-0,95*</b>	---	<b>0,84*</b>	<b>-0,80*</b>	-0,34 <sup>ns</sup>	-0,11 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	-0,22 <sup>ns</sup>	
PO	-0,31 <sup>ns</sup>	<b>-0,98*</b>	<b>0,90*</b>	---	<b>-0,98*</b>	-0,39 <sup>ns</sup>	-0,07 <sup>ns</sup>	0,29 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	
DP	0,29 <sup>ns</sup>	<b>0,97*</b>	<b>-0,89*</b>	<b>-0,99*</b>	---	0,40 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	-0,34 <sup>ns</sup>	-0,24 <sup>ns</sup>	
MSN	-0,18 <sup>ns</sup>	<b>-0,47*</b>	<b>0,44*</b>	<b>0,48*</b>	<b>-0,49*</b>	---	<b>0,58*</b>	0,02 <sup>ns</sup>	-0,37 <sup>ns</sup>	
NN	-0,05 <sup>ns</sup>	-0,26 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>	-0,26 <sup>ns</sup>	<b>0,65*</b>	---	0,17 <sup>ns</sup>	0,021 <sup>ns</sup>	
PG	0,03 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	-0,03 <sup>ns</sup>	-0,02 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	0,43 <sup>ns</sup>	0,35 <sup>ns</sup>	---	<b>0,56*</b>	
MMG	<b>0,46*</b>	0,30 <sup>ns</sup>	-0,40 <sup>ns</sup>	-0,25 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>ns</sup>	-0,14 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	0,29 <sup>ns</sup>	---	

\*, <sup>ns</sup>, significativo a 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste t.

No experimento realizado em Restinga Sêca (2018/2019), com o uso da coinoculação, observa-se que as FA (-0,83\*), PO (-0,68\*), DP (-0,68\*), MSN (-0,45\*) e CS (-0,44\*) e sem a coinoculação a FA (-0,45\*) e NN (-0,55\*) se correlacionam com a DU. Utilizando-se a coinoculação (2019/2020) observa-se que a FA (-0,50\*), AC (-0,67\*), PO (+0,74\*) e a DP (-0,68\*) e sem a coinoculação a AC (-0,80\*), PO (+0,77) e a DP (-0,73\*) se correlacionam com a DU. Esses resultados indicam que os espaçamentos AC aumentam os espaçamentos FA

influenciando no NN das plantas. E com a competição gerada pelo aumento no número de DU reduz-se o NN por planta (Tabela 2).

Tabela 2 - Coeficiente de correlação linear de Pearson, com coinoculação (fundo verde) e sem coinoculação (fundo branco) entre espaçamentos duplos (DU), falhas (FA%), espaçamentos aceitáveis (AC%), população de plantas observadas (PO), distância entre plantas (DP), massa seca de nódulos (MSN), número de nódulos (NN) e de produtividade de grãos (PG), massa de mil grãos (MMG) e a cobertura do solo (CS), Restinga Sêca (RS) e Novo Machado (RS).

Restinga Sêca (RS), Experimento 2018/2019										
Com / Sem	PG	DU	FA	AC	PO	DP	MSN	NN	MMG	CS
PG	---	-0,27 <sup>ns</sup>	0,007 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	-0,19 <sup>ns</sup>	-0,07 <sup>ns</sup>	0,41 <sup>ns</sup>	0,28 <sup>ns</sup>	<b>0,50*</b>
DU	0,03 <sup>ns</sup>	---	<b>-0,45*</b>	-0,38 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>	-0,25 <sup>ns</sup>	-0,03 <sup>ns</sup>	<b>-0,55*</b>	0,39 <sup>ns</sup>	-0,35 <sup>ns</sup>
FA	0,22 <sup>ns</sup>	<b>-0,83*</b>	---	<b>-0,64*</b>	<b>-0,85*</b>	<b>0,88*</b>	-0,10 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>ns</sup>	<b>-0,44*</b>	0,35 <sup>ns</sup>
AC	<b>0,45*</b>	-0,24 <sup>ns</sup>	-0,33 <sup>ns</sup>	---	<b>0,75*</b>	<b>-0,70*</b>	0,14 <sup>ns</sup>	0,21 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	-0,05 <sup>ns</sup>
PO	-0,08 <sup>ns</sup>	<b>-0,68*</b>	<b>-0,84*</b>	0,32 <sup>ns</sup>	---	<b>-0,96*</b>	0,08 <sup>ns</sup>	-0,12 <sup>ns</sup>	0,37 <sup>ns</sup>	-0,38 <sup>ns</sup>
DP	0,12 <sup>ns</sup>	<b>-0,68*</b>	0,88 <sup>ns</sup>	-0,38 <sup>ns</sup>	<b>-0,97*</b>	---	-0,16 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	-0,42 <sup>ns</sup>	0,33 <sup>ns</sup>
MSN	<b>0,70*</b>	<b>-0,45*</b>	0,30 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>	-0,14 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	---	<b>0,62*</b>	-0,15 <sup>ns</sup>	0,35 <sup>ns</sup>
NN	-0,51 <sup>ns</sup>	-0,42 <sup>ns</sup>	0,18 <sup>ns</sup>	0,39 <sup>ns</sup>	-0,26 <sup>ns</sup>	0,21 <sup>ns</sup>	0,30 <sup>ns</sup>	---	<b>-0,58*</b>	<b>0,46*</b>
MMG	-0,09 <sup>ns</sup>	0,32 <sup>ns</sup>	-0,22 <sup>ns</sup>	-0,16 <sup>ns</sup>	-0,01 <sup>ns</sup>	-0,05 <sup>ns</sup>	-0,22 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	---	-0,14 <sup>ns</sup>
CS	0,23 <sup>ns</sup>	<b>-0,44*</b>	0,43 <sup>ns</sup>	-0,003 <sup>ns</sup>	-0,32 <sup>ns</sup>	0,31 <sup>ns</sup>	<b>0,48*</b>	-0,15 <sup>ns</sup>	<b>-0,29<sup>ns</sup></b>	---

Restinga Sêca (RS), Experimento 2019/2020							
Com / Sem	PG	DU	FA	AC	PO	DP	MMG
PG	---	-0,14 <sup>ns</sup>	-0,05 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>	-0,05 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	-0,02 <sup>ns</sup>
DU	<b>0,61*</b>	---	-0,28 <sup>ns</sup>	<b>-0,80*</b>	<b>0,77*</b>	<b>-0,73*</b>	-0,04 <sup>ns</sup>
FA	<b>-0,63*</b>	<b>-0,50*</b>	---	-0,33 <sup>ns</sup>	-0,77 <sup>ns</sup>	<b>0,80*</b>	0,10 <sup>ns</sup>
AC	-0,13 <sup>ns</sup>	<b>-0,67*</b>	-0,29 <sup>ns</sup>	---	-0,28 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>	0,33 <sup>ns</sup>
PO	<b>0,68*</b>	<b>0,74*</b>	<b>-0,92*</b>	-0,02 <sup>ns</sup>	---	<b>-0,97*</b>	-0,35 <sup>ns</sup>
DP	<b>-0,66*</b>	<b>-0,68*</b>	<b>0,95*</b>	-0,05 <sup>ns</sup>	<b>-0,98*</b>	---	0,34 <sup>ns</sup>
MMG	-0,16 <sup>ns</sup>	-0,01 <sup>ns</sup>	-0,33 <sup>ns</sup>	0,30 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>	-0,26 <sup>ns</sup>	---

Novo Machado (RS), Experimento 2018/2019						
Com / Sem	PG	MMG	DU	FA	AC	PO
PG	---	-0,21 <sup>ns</sup>	-0,02 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	-0,07 <sup>ns</sup>	-0,06 <sup>ns</sup>
MMG	0,12 <sup>ns</sup>	---	-0,10 <sup>ns</sup>	0,18 <sup>ns</sup>	-0,10 <sup>ns</sup>	-0,22 <sup>ns</sup>
DU	<b>-0,54*</b>	0,01 <sup>ns</sup>	---	-0,24 <sup>ns</sup>	-0,42 <sup>ns</sup>	0,39 <sup>ns</sup>
FA	<b>0,56*</b>	0,40 <sup>ns</sup>	-0,16 <sup>ns</sup>	---	<b>-0,77*</b>	<b>-0,96*</b>
AC	-0,20 <sup>ns</sup>	-0,38 <sup>ns</sup>	-0,42 <sup>ns</sup>	<b>-0,82*</b>	---	0,65 <sup>ns</sup>
PO	<b>-0,48*</b>	<b>-0,45*</b>	0,17 <sup>ns</sup>	<b>-0,90*</b>	<b>0,70*</b>	---

\*, <sup>ns</sup>, significativo a 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste t.

No experimento de 2018/2019, com o uso da coinoculação, verificou-se que a correlação da AC (+0,45\*) e MSN (+0,70\*), com a produtividade de grãos. Já no experimento realizado em 2019/2020, identificou-se correlação de DU (+0,61\*), FA (-0,63\*), PO (+0,68\*) e DP (-0,66\*), na PG. Já para o experimento de 2018/2019, sem a coinoculação a CS (+0,50\*) se correlacionou com a PG. Na correlação entre o NN e a MSN (+0,62\*) verificou-se que com o aumento de NN ocorreu maior aumento na MSN, repercutindo na produtividade de grãos para o experimento de 2018/2019 sem a coinoculação. Já para a MMG, no experimento de 2018/2019, sem a coinoculação, correlacionou negativamente com e FA (-0,44\*) e NN (-0,58\*). Diante disso, pode-se observar que quando se tem plantas com espaçamentos FA, ocorre um aumento de MMG, o que indica que plantas mais distantes tendem a reduzir a quantidade de grãos por planta e aumentar a MMG. A compensação pela redução na densidade de plantas de soja gera um aumento no número de legumes por planta, o que contribui para maior tolerância a essa variação (Sichilima et al., 2018). Em relação aos espaçamentos falhos (FA) com a coinoculação (2018/2019), verifica-se uma correlação negativa com DU (-0,83\*) e PO (-0,84\*) e para o experimento de 2019/2020 tem-se correlação entre PO (-0,92\*) e DP (+0,95\*). Isso demonstra que quando ocorrem espaçamentos falhos, a porcentagem de espaçamentos aceitáveis diminui, assim a distribuição entre plantas é afetada junto com a cobertura do solo que é revolvida devido à velocidade de semeadura.

No espaçamento AC com a coinoculação (2018/2019) pode-se observar a correlação entre PG (+0,45\*) e, no experimento da 2019/2020, a correlação entre DU (-0,67\*). Quando não utilizada a coinoculação (2018/2019), a correlação com aceitáveis (AC) se observa uma acréscimo de plantas na população de plantas (PO) (+0,75\*), influenciando na distância entre as plantas (DP) (-0,70\*). Na menor velocidade de semeadura se tem elevadas populações de plantas e distribuição mais adequada de plantas. Para o experimento de 2018/2019, com a coinoculação, a PO é influenciada com a DP (-0,96\*). Para o experimento de 2019/2020, sem a coinoculação, a PO houve correlação com a DP (-0,98\*), o que indica que a população de plantas pode variar conforme a velocidade de semeadura, interferindo a distribuição de plantas. A massa seca de nódulos (MSN) no experimento de 2018/2019, com o uso da coinoculação, obteve correlação (+0,48\*) com a CS, justificando, ainda mais, que a

importância da CS do solo com maior quantidade de palha pode aumentar a capacidade de condições ideais para o processo de germinação e emergência das plantas. A CS influencia diretamente a velocidade de decomposição da palha pois o material é fragmentado ou revolvido, e dessa forma tende a uma decomposição microbiana mais acelerada.

No que se refere ao experimento realizado em Novo Machado, quando realizada a coinoculação observa-se que a AC correlaciona negativamente com FA (-0,82\*). Quando existem reduções de espaçamentos AC, aumentaram, os espaçamentos FA. A correlação positiva (+0,56\*) ocorreu entre FA e PG, e negativa (-0,54\*) com FA e PG, isso acontece quando se tem mais plantas falhas ocorre o aumento da PG, de modo que pode ter ocorrido um ajuste morfológico das plantas para compensar espaçamentos falhos. A população de plantas observada (PO) caracterizou a diferença entre os caracteres de semeabilidade tanto para os espaçamentos falhos (FA) (-0,90\*) e aceitáveis (AC) (+0,70\*), afetando a massa de mil grãos (MMG) (-0,45\*) e PG (-0,48\*). As diferenças de distribuição de plantas afetam o tamanho dos grãos (Hu et al., 2013). Plantas mais distantes tendem a gerar grãos maiores devido ao seu espaço de desenvolvimento (Caverzan et al., 2018) com maior taxa de luminosidade e menores condições de competição intraespecífica (Feng et al., 2019). Quando não é realizada a coinoculação, tem-se a ocorrência de FA, a qual obteve interação negativa com AC (-0,77\*) e PO (-0,96\*), dessa forma, aumentando o número de espaçamentos AC ocorre diminuição nos espaçamentos duplos e alterando a PO de plantas.

Na análise de trilha (Tabela 3), observa-se que apenas os caracteres independentes, espaçamentos duplos (DU), espaçamentos falhos (FA), massa seca de nódulos (MSN), número de nódulos (NN) e massa de mil grãos (MMG) proporcionaram multicolinearidade fraca e número de condições (NC) inferior que 100. Para o experimento de 2018/2019, com a utilização da coinoculação, no local Santa Maria, os espaçamentos falhos (FA) e número de nódulos (NN) exercem o efeito direto na produtividade de grãos. Esses resultados podem caracterizar fatores determinantes para a produtividade de grãos. A variável massa seca de nódulo (MSN) exerce efeito direto sobre a produtividade de grãos para Santa Maria (+0,70\*) e Restinga Sêca (+0,70\*). Isso evidencia a importância da MSN na PG.

Sendo assim, fatores que podem contribuir nesse aumento de MSN são primordiais, desde épocas de semeadura, uso de bactérias fixadoras de nitrogênio e velocidades

compatíveis para uma melhor semeabilidade, e assim aumentando a produtividade. O aumento da massa seca de nódulos ocorre devido a uma maior ramificação e área foliar, repercutindo na elevação na capacidade de produção de fotoassimilados. Isso resulta em uma maior translocação para as bactérias fixadoras de nitrogênio, propiciando a multiplicação de bactérias em uma taxa elevada.

Para o experimento de Novo Machado o carácter DU (-0,54\*) e FA (0,56\*) exercem efeito direto na produtividade de grãos (2018/2019). Esse efeito pode indicar que a população de plantas é desuniforme e a tendência de surgirem plantas com mais ramificações e compensar a maior produtividade de grãos é maior (Hussain et al., 2020). Para o experimento de 2019/2020, foi possível observar que a MMG (0,56\*) exerce efeito direto sobre a produtividade de grãos (Santa Maria). Isso significa que ao se aumentar o número de espaçamentos falhos e se reduzir o número de espaçamentos aceitáveis, os componentes de produtividade de grãos também são afetados, pois a nodulação é favorecida em casos de espaçamentos falhos, proporcionando uma maior massa de mil grãos (MMG). A produtividade da soja é influenciada pela quantidade de vagens por unidade de área, número de sementes por vagem e massa de sementes, sendo que estes componentes produtivos são influenciados pelas condições ambientais, práticas de manejo e cultivares utilizados. Pesquisas sobre componentes da nodulação, como o número e massa de nódulos, também apresentam correlação com a produtividade (Caverzan et al., 2018). Desse modo, as alterações desses componentes estão diretamente relacionadas com algum tipo de variação na produtividade.

Tabela 3 - Efeitos diretos e indiretos e coeficiente de correlação de Pearson (r) da massa seca de nódulos (MSN), espaçamentos duplos (DU), falhas (FA), número de nódulos (NN) e massa de mil grãos (MMG) sobre a produtividade de grãos (PG) de soja.

	Safra 2018/2019						Safra 2019/2020			
	Santa Maria		Restinga Sêca		Novo Machado		Santa Maria		Restinga Sêca	
	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem
<b>DU</b>										
Efeito direto sobre a PG	-0,04	-0,22	0,36	-0,40	-0,45	-0,01	-0,14	-0,30	0,30	-0,21
Efeito indireto via FA	0,03	0,13	-0,49	-0,09	-0,08	-0,03	0,12	0,04	0,30	0,02
Efeito indireto via MSN	-0,05	-0,06	-0,02	-0,02	-	-	-0,11	-0,09	-	-
Efeito indireto via NN	-0,21	-0,20	0,20	-0,009	-	-	0,0007	0,005	-	-
Efeito indireto via MMG	-0,11	0,11	-0,016	0,26	-0,001	0,03	0,16	0,67	0,04	0,04
r	-0,38	<b>-0,23*</b>	0,03	-0,27	<b>-0,54*</b>	-0,02	0,03	0,32	<b>0,61*</b>	-0,14
<b>FA</b>										
Efeito direto sobre a PG	-0,61	-0,22	0,59	0,20	0,52	0,14	0,26	-0,45	-0,60	-0,10
Efeito indireto via DU	0,002	0,13	-0,30	0,18	0,08	0,003	-0,06	0,02	-0,15	0,06
Efeito indireto via MSN	0,02	-0,11	0,01	-0,08	-	-	-0,28	0,26	-	-
Efeito indireto via NN	-0,04	0,04	-0,09	0,004	-	-	0,003	-0,02	-	-
Efeito indireto via MMG	0,14	0,06	0,01	-0,30	-0,03	-0,04	0,11	-0,02	0,12	-0,01
r	<b>-0,48*</b>	-0,09	0,22	-0,007	<b>0,56*</b>	0,09	0,03	-0,21	<b>-0,63*</b>	<b>-0,05*</b>
<b>MSN</b>										
Efeito direto sobre a PG	0,47	0,11	0,81	0,04	-	-	0,59	0,63	-	-
Efeito indireto via DU	0,02	0,02	0,01	-0,16	-	-	0,02	0,04	-	-
Efeito indireto via FA	0,05	-0,13	-0,02	0,18	-	-	-0,13	-0,18	-	-
Efeito indireto via NN	0,25	-0,14	0,01	-0,15	-	-	-0,009	-0,09	-	-
Efeito indireto via MMG	-0,10	0,07	-0,10	0,01	-	-	-0,05	-0,37	-	-
r	<b>0,70*</b>	-0,07	<b>0,70*</b>	-0,07	-	-	0,43	0,02	-	-
<b>NN</b>										
Efeito direto sobre a PG	-0,46	0,41	-0,48	0,01	-	-	-0,01	-0,16	-	-
Efeito indireto via DU	-0,02	0,11	-0,15	0,22	-	-	0,008	0,01	-	-
Efeito indireto via FA	-0,06	-0,02	0,10	0,05	-	-	-0,06	-0,06	-	-
Efeito indireto via MSN	0,03	0,29	0,01	0,51	-	-	0,39	0,37	-	-
Efeito indireto via MMG	-0,03	-0,38	-0,0006	-0,39	-	-	0,04	0,02	-	-
r	<b>-0,51*</b>	0,41	-0,51	0,41	-	-	0,35	0,17	-	-
<b>MMG</b>										
Efeito direto sobre a PG	-0,31	0,65	-0,05	0,67	-0,08	-0,24	0,37	0,99	-0,36	-0,10
Efeito indireto via DU	-0,01	-0,03	0,11	-0,15	-0,007	0,001	-0,06	-0,20	-0,003	0,08
Efeito indireto via FA	0,27	-0,02	-0,13	-0,09	0,21	0,03	0,08	0,009	0,20	-0,01
Efeito indireto via NN	-0,006	-0,07	-0,01	-0,01	-	-	-0,002	-0,03	-	-
Efeito indireto via MSN	-0,02	-0,24	-0,006	-0,12	-	-	-0,08	-0,24	-	-
r	-0,08	0,28	-0,09	0,28	0,12	-0,21	0,29	<b>0,56*</b>	-0,16	-0,02
r <sup>2</sup>	0,57	0,76	0,39	0,88	0,53	0,06	0,36	0,54	0,62	0,03
Efeito da variável residual	0,65	0,48	0,77	0,34	0,68	0,96	0,79	0,67	0,61	0,98

No experimento de 2019/2020 (Santa Maria), observa-se que a MMG (0,56\*) tem a correlação positiva direta com a produtividade. Dessa forma, a MMG é um componente de produtividade que é afetado, embora possa estar favorecido em casos de espaçamentos falhos e proporcione uma maior massa de mil grãos (MMG). Os espaços falhos podem estar relacionados ao surgimento de plantas daninhas, competindo por recursos e influenciando na produtividade de grãos. Para Restinga Sêca (2019/2020), observa-se que o espaçamento duplo (DU) (+0,61\*) e falhos (FA) (-0,63\*) correlacionam-se com a produtividade de grãos. Em Novo Machado, observa-se que na análise de trilha os caracteres DU (-0,54\*) e FA (0,56\*) obtiveram elevadas contribuições positivas direta e indiretas com a PG.

#### 4. CONCLUSÃO

A massa seca de nódulos por planta e os espaçamentos duplos correlacionam diretamente com a produtividade de grãos de soja. A redução na qualidade da semeadura observada pelo aumento dos espaçamentos duplos reduz a nodulação da soja, que por sua vez, reduz a produtividade.

Deve-se priorizar o uso de técnicas que melhoram a distribuição de plantas na fileira de semeadura, e que aumentam a nodulação da soja. Velocidades de semeadura adequadas e a coinoculação são alternativas viáveis.

#### 5. REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **Projeto de norma 04: 015.06-004: Semeadora de precisão: ensaio de laboratório – método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1994. [ISSN 1519-1125](#)
- Brandelero, E. M. et al. Seeder performance under different speeds and its relation to soybean cultivars yield. **Journal of Agronomy**, v.14, p.139–145, 2015. <https://doi.org/10.3923/ja.2015.139.145>
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Secretaria de Defesa Agropecuária, 2009. [ISBN: 978-85-99851-70-8](#)
- Butts, C. T. Yet another canonical correlation analysis package. **R package version**, v.2, 2018. <https://CRAN.R-project.org/package=yacca>
- Casler, M. D. Fundamentals of experimental design: Guidelines for designing successful experiments. **Agronomy Journal**, v.107, p.692-705, 2015. <https://doi.org/10.2134/agronj2013.0114>
- Caverzan, A. et al. How does seed vigor affect soybean yield components? **Agronomy Journal**, v.110, n.4, p.1318-1327, 2018. <https://doi.org/10.2134/agronj2017.11.0670>
- Cruz, C.D. and Carneiro, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2ª ed, Editora UFV. 2006, v.2, 585p. [ISBN: 8572691510](#)
- Cruz, C.D. and Regazzi, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 1994. 390p. [ISBN: S0103-8478199900020000900006](#)

- Curtin, D. et al. Temperature and moisture effects on microbial biomass and soil organic matter mineralization. **Soil Science Society of America Journal**, v.76, p.2055-2067, 2012. <https://doi.org/10.2136/sssaj2012.0011>
- Da Silva, A. R. Tools for biometry and applied statistics in agricultural science. **The comprehensive R archive network**, 2017. <https://cran.r-project.org/package=biotools>
- De Moraes, M.T. et al. Soil compaction impacts soybean root growth in an Oxisol from subtropical Brazil. **Soil and Tillage Research**, v.200, p.104-611, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104611>
- Dos Santos, A. A. et al. Influência da inclinação transversal e velocidade de operação sobre o desempenho de dosadores pneumáticos com semente de soja. **Revista Engenharia na Agricultura-Reveng**, v. 22, p. 119-127, 2014. <https://doi.org/10.13083/reveng.v22i2.499>
- Dwivedi, S. L. et al. Advances in host plant and rhizobium genomics to enhance symbiotic nitrogen fixation in grain legumes. **Advances in Agronomy**, v.129, p.1-116, 2015. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2014.09.001>
- Ebone, L. A. et al. Soybean seed vigor: Uniformity and growth as key factors to improve yield. **Agronomy**, v.10, n.4, p.545, 2020. <https://doi.org/10.3390/agronomy10040545>
- Fehr, W. R. and Caviness, C. E. **Stages of Soybean Development**. Ames: Iowa State University, 1977. 12p. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582018360100073>
- Feng, L. et al. The influence of light intensity and leaf movement on photosynthesis characteristics and carbon balance of soybean. **Frontiers in Plant Science**, v.9, p.19-52, 2019. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01952>
- Furlan, A. L. et al. Metabolic features involved in drought stress tolerance mechanisms in peanut nodules and their contribution to biological nitrogen fixation. **Plant Science**, v.263, p.12-22, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2017.06.009>
- Gai, Z. et al. Effects of starter nitrogen fertilizer on soybean root activity, leaf photosynthesis and grain yield. **Plos One**, v.12, p.e0174841, 2017. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174841>

- Garcia, R. F. et al. Influence of displacement speed on the performance of a precision seeder-fertilizer in Norte Fluminense. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.33, n.3, p.417-422, 2012. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v33i3.6085>
- Ghodrati, G. R. et al. Evaluation of correlations and path analysis of components seed yield in soybean. **International Journal of Agriculture**, v.3, p.795, 2013. <https://doi.org/ecisi.com/795-800>
- Hair, J. F. et al. Partial least squares structural equation modeling: Rigorous applications, better results and higher acceptance. **Long Range Planning**, v.46, p.1-12, 2013. <https://doi.org/ssrn.com/abstract=2233795>
- Hasanuzzaman, M. et al. Soybean production and environmental stresses. **Environmental Stresses in Soybean Production**. v.12 p.61-102, 2016. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801535-3.00004-8>
- Hu, Z. et al. Determination of the genetic architecture of seed size and shape via linkage and association analysis in soybean (*Glycine max* L. Merr.). **Genética**. v.141, p.247-254, 2013. <https://doi.org/10.1007/s10709-013-9723-8>
- Hungria, M., and Mendes, I. C. Nitrogen fixation with soybean: The perfect symbiosis? **Biological Nitrogen Fixation**, v.2, p.1005–1019, 2015. <https://doi.org/10.1002/9781119053095.ch99>
- Hungria, M. and Vargas, M. A. T. Environmental factors affecting N<sub>2</sub> fixation in grain legumes in the tropics, with an emphasis on Brazil. **Field Crop Research**, v.65, p.151–164, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.10.10>
- Hussain, S. et al. Acclimatization and plasticity strategy of different intercropped soybean genotypes. **Functional Plant Biology**, v.47, p.592-610, 2020. <https://doi.org/10.1071/FP19161>
- Jones, R. A.C and Barbetti, M. J. Influence of climate change on plant disease infections and epidemics caused by viruses and bacteria. **Plant Sciences Reviews**, v.22, p.1-31, 2012. <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR20127022>
- Keyvan, S. and Soheil, K. Soybean agronomic responses to plant density. **Annals of Biological Research**, v.2, p.168–173, 2011. <https://doi.org/0976-1233>

- Kibido, T. et al. Improvement of rhizobium-soybean symbiosis and nitrogen fixation under drought. **Food and Energy Security**, v.9, p.e177, 2020. <https://doi.org/10.1002/fes3.177>
- Kumar, A. et al. Evaluation of genetic diversity and interrelationships of agro-morphological characters in soybean (*Glycine max*) genotypes. **Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences**, v.85, p.397-405, 2015. <https://doi.org/10.1007/s40011-014-0356-1>
- López-Baena, F. J. et al. Bacterial Molecular Signals in the Sinorhizobium fredii-Soybean Symbiosis. **International Journal of Molecular Sciences**, v.17, n.5, p.755, 2016. <https://doi.org/10.3390/ijms17050755>
- Luca, M. and Hungria, M. Plant densities and modulation of symbiotic nitrogen fixation in soybean. **Scientia Agricola**, v.71, p.181–187, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162014000300002>
- Lupatini, A. et al. Potential application of microalga *Spirulina platensis* as a protein source. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.97, p.724-732, 2017. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7987>
- Machado, B. Q. V. et al. Phenotypic and genotypic correlations between soybean agronomic traits and path analysis. **Genetics and Molecular Research**, v.16, p.06-11 2017. <https://doi.org/10.4238/gmr16029696>
- Murchie, E. H. et al. Crop radiation capture and use efficiency. **Roxana Savin**, p.73-106, 2019. [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2493-6\\_171-3](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2493-6_171-3)
- Nadin, W. et al. Effect of the sowing speed on the distribution regularity of maize seeds. **Journal of Experimental Agriculture International**, v.37, p.1-8, 2019. <https://doi.org/10.9734/jeai/2019/v37i230259>
- Oliveira, G. H. F. et al. Path correlation and Bayesian analysis on popping expansion components in popcorn hybrids. **Agronomía Colombiana**, v.38, p.3-8, 2020. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v38n1.80462>
- Rodrigues, T. F. et al. Impact of pesticides in properties of Bradyrhizobium spp. and in the symbiotic performance with soybean. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v.36, p.1-16, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11274-020-02949-5>

- Sichilima, I. et al. Morpho-physiological and yield responses associated with plant density variation in soybean (*Glycine max* L. (Merrill)). **International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology**, v.3, p.239065, 2018. <https://doi.org/10.22161/ijeab/3.1.35>
- Soba, D. et al. Soybean inoculated with one *Bradyrhizobium* strain isolated at elevated [CO<sub>2</sub>] show an impaired C and N metabolism when grown at ambient [CO<sub>2</sub>]. **Frontiers in Plant Science**, v.12, p.1-32, 2021. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.656961>
- Trogello, E. et al. Manejos de cobertura, mecanismos sulcadores e velocidades de operação sobre a semeadura direta da cultura do milho. **Bragantia**, v.72, p.101-109, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052013005000016>
- Turan, J. et al. Sowing quality indicators for a seed drill with overpressure. **Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis**, v.62, p.1487-1492, 2014. <http://dx.doi.org/10.11118/actaun201462061487>
- Vezzani, F. M. et al. The importance of plants to development and maintenance of soil structure, microbial communities and ecosystem functions. **Soil and Tillage Research**, v.175, p.139-149, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.09.002>
- Wang, H. and Qin, F. Genome-wide association study reveals natural variations contributing to drought resistance in crops. **Frontiers in Plant Science**, v.8, p.81-110, 2017. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01110>
- Wösten, J. H. M. et al. Development and use of a database of hydraulic properties of European soils. **Geoderma**, v.90, p.169-185, 1999. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(98\)00132-3](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(98)00132-3)
- Wright, S. Correlation and causation. **Journal of Agricultural Research**, v.20, p.557-585, 1921. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20161062>
- Yahaya, S. U. and Ankrumah, E. Character association and path coefficient analysis for yield components and grain yield in soybean [*Glycine max* (L.) Merrill.]. **Legume Research-An International Journal**, v.40, p.630-634, 2017. <https://doi.org/10.18805/lr.v0i0.8408>

- Yang, F. et al. Growth of soybean seedlings in relay strip intercropping systems in relation to light quantity and red: far-red ratio. **Field Crops Research**, v.155, p.245-253, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.08.011>
- Zhou, W. et al. Effects of soil moisture on the temperature sensitivity of soil heterotrophic respiration: a laboratory incubation study. **Plos One**, v.9, p.492-531, 2014. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0092531>
- Zulin, D. et al. Population fluctuation and vertical distribution of the soybean looper (*Chrysodeixis includes*) in soybean culture. **American Journal of Plant Sciences**, v.9, p.1544-1556, 2018. <https://doi.org/10.4236/ajps.2018.97113>

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dentre os benefícios encontrados na presente pesquisa, destacam-se a velocidade de semeadura e uso da tecnologia da coinoculação como um potencial promotor de aumento de produtividade a serem empregados em lavouras.

A menor velocidade de semeadura diminui a desuniformidade da distância entre plantas, evitando a redução da produtividade de grãos para os três locais avaliadas na pesquisa. Diante disso, para uma maior uniformidade e distribuição de plantas na fileira, a velocidade ideal é de até 3,2 km h<sup>-1</sup>, sendo que, velocidades superiores a essa promovem um aumento de desuniformidade de plantas, acarretando na redução da produtividade de grãos. A temperatura e umidade do solo são afetados consideravelmente com o aumento da velocidade, pois no momento da semeadura com o deslocamento da haste sulcadora ocorre um revolvimento do solo e abertura do sulco de semeadura deixando o solo exposto.

O uso da coinoculação se demonstrou uma tecnologia importante para ganhos em produtividade de soja, pois proporcionou um aumento de nodulação por planta, devido a maior número de bactérias viáveis na semente, repercutindo elevadas produtividades de grãos. O uso da coinoculação promove o aumento nas populações de plantas, sendo uma tecnologia promissora para aumento de produtividade.

## 6. REFERÊNCIAS

- AIKINS, K. A. et al. Performance comparison of residue management units of no-tillage sowing systems: A review. **Engineering in Agriculture, Environment and Food**, v.12, n.2, p.181-190, 2019.
- ALMEIDA, M. O. et al. Interação entre volume de vaso e competição com plantas daninhas sobre o crescimento da soja. **Revista Ceres**, v.62, p.524-530, 2015.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **Projeto de norma 04: 015.06-004: Semeadora de precisão: ensaio de laboratório – método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1994.
- Barr, J. B. et al. Development and field evaluation of a high-speed no-till seeding system. **Soil and Tillage Research**, v.194, p.104-337, 2019.
- BATTISTI, A. M. and Simonetti, A.P.M. Inoculação e Co-inoculação com *Bradyrhizobium japonicum* e *Azospirillum brasilense* na cultura da soja., v.2175, p.294-301, 2014.
- BASHAN, Y. et al. Advances in plant growth-promoting bacterial inoculant technology: formulations and practical perspectives (1998–2013). **Plant and soil**, v.378, p.1-33, 2014.
- BERTELLI, G. A. et al. Plantability performance of pneumatic seeders in the soybean culture implantation in the Piauí cerrado-Brasil. **Applied Research & Agrotechnology**, v.9, n.1, p.91-103, 2016.
- BROUGHTON, W. J. et al. Signals exchanged between legumes and *Rhizobium*: agricultural uses and perspectives. **Plant and Soil**, v.252, p.129-137, 2003.
- BRENCIC, A. and Winans, S. C. Detection of and response to signals involved in host-microbe interactions by plant-associated bacteria. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, v.69, p.155-194, 2008.
- BULEGON, L. et al. Desenvolvimento inicial de plântulas de soja inoculadas e co-inoculadas com *Azospirillum brasilense* e *Bradyrhizobium japonicum*. **Jornal of Agronomic Sciences**, v.3, p.26-37, 2014.
- CAMPOS, B. H. C. and Gnatta, V. Inoculantes e fertilizantes foliares na soja em área de populações estabelecidas de *Bradyrhizobium* sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.30, p.69-76, 2008.
- CAMPOS, M. et al. Eficiência da fixação biológica do N<sub>2</sub> por estirpes de *Bradyrhizobium* na soja em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.583–592, 2001.

Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). **Compêndio de Estudos Conab/ Companhia Nacional de Abastecimento**. Brasília: Conab, 2021.

CARDOSO, M. B. et al. Associação da bactéria *Bradyrhizobium japonicum* com agrotóxicos utilizados no tratamento de sementes de soja. **Brazilian Journal of Development**, v.5, p.18526-18537, 2019.

CORTEZ, J. W. et al. Distribuição longitudinal de sementes de soja e características físicas do solo no plantio direto. **Engenharia Agrícola**, v.26, p.502-510, 2006.

DA SILVA, A. F. et al. Doses de inoculante e nitrogênio na semeadura da soja em área de primeiro cultivo. **Bioscience Journal**, v.27, p.404-411 2011.

DATTA, A. et al. Managing weeds using crop competition in soybean [*Glycine max* (L.) Merr.]. **Crop protection**, v.95, p.60-68, 2017.

DIAS, O. V. et al. Distribuição de sementes de milho e soja em função da velocidade e densidade de semeadura. **Ciência Rural**, v.39, p.1.721-1.728, 2009.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). **Tecnologias de produção de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2004.

FATICHIN, Z. et al. Varietal difference in early vegetative growth during seedling stage in soybean. **Plant Production Science**, v.16, p.77-83, 2013.

FLAJŠMAN, M. et al. Bacterial seed inoculation and row spacing affect the nutritional composition and agronomic performance of soybean. **International Journal of Plant Production**, v.13, p.183-192, 2019.

FEHR, W. R. and CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University, n. 80, p. 1-12, 1977.

FERLINI, H. A. Co-Inoculación en Soja (*Glycine max*) con *Bradyrhizobium japonicum* y *Azospirillum brasilense*. Artículos Técnicos – Agricultura. 2006.

FERREIRA, L. L. et al. Cause and effect estimates on corn yield as a function of tractor planting speed. **Journal of Experimental Agriculture International**, v.41 p.1-7, 2019.

FIPKE, G. M. et al. Co-inoculation with diazotrophic bacteria in soybeans associated to urea topdressing. **Ciência e Agrotecnologia**, v.40, n.5, p.522-533, 2016.

FURLANI, C. E. A. et al. Influência do manejo da cobertura vegetal e da velocidade de semeadura no estabelecimento da soja (*Glycine max*). **Engenharia na Agricultura**, v.18, p.227-233, 2010.

HE, Y. et al. Co-inoculation of *Bacillus* sp. and *Pseudomonas putida* at different development stages acts as a biostimulant to promote growth, yield and nutrient uptake of tomato. **Journal of Applied Microbiology**, v.127, p.196-207, 2019.

HUNGRIA, M. and Vargas, M.A.T. Environmental factors affecting N<sub>2</sub> fixation in grain legumes in the tropics, with an emphasis on Brazil. **Field Crop Research**, v.65, p.151–164, 2007.

HUNGRIA, M. et al. **Importância do Processo de Fixação Biológica do Nitrogênio para a Cultura da Soja**: Componente Essencial para a Competitividade do Produto Brasileiro. Londrina: Embrapa Soja, 2008.

HUNGRIA, M. et al. Soybean seed co-inoculation with *Bradyrhizobium* spp. and *Azospirillum brasilense*: A new biotechnological tool to improve yield and sustainability. **American Journal of Plant Sciences**, v.06, p.811-817, 2015.

HUNGRIA, M. and Araujo, S. **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Embrapa-Serviço de Produção e Informação, 1994, 542p.

JASPER, R. et al. Distribuição longitudinal e germinação de sementes de milho com emprego de tratamento fitossanitário e grafite. **Engenharia Agrícola**, v.26, n.1, p.292-299, 2006.

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

MACHADO, T. M. and Reynaldo, É. F. Avaliação de diferentes semeadoras e mecanismos dosadores de sementes em relação à velocidade de Deslocamento. **Energia na Agricultura**, v.32, p.12-16, 2017.

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Projeções do Agronegócio. Brasília: MAPA, v. 10, n. 1, 2019. 126p.

MION, R. L.; BENEZ, S. H. Esforços em ferramentas rompedoras de solo de semeadoras de plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia**, v.32, p.1594-1600, 2008.

ESPER NETO, M. E. et al. Nutrient removal by grain in modern soybean varieties. **Frontiers in Plant Science**, v.12, p.730, 2021.

O'CALLAGHAN, M. Microbial inoculation of seed for improved crop performance: issues and opportunities. **Applied microbiology and biotechnology**, v.100, p.5729-5746, 2016.

OLIVEIRA, M. L. et al. Desempenho de uma semeadora-adubadora para plantio direto em dois solos com diferentes tipos de cobertura vegetal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.7, p.1455-1463, 2000.

- PINHEIRO NETO, R. et al. Desempenho de mecanismos dosadores de semente em diferentes velocidades e condições de cobertura do solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.30, p.611-617, 2008.
- PIPOLO, A. E. et al. Teores de óleo e proteína em soja: fatores envolvidos e qualidade para a indústria. **Nutrição de plantas: Embrapa Soja**, 2015.
- QUEIROZ, R. et al. Co-inoculation with *Bradyrhizobium* and *Azospirillum* Increases Yield and Quality of Soybean Seeds. **Agronomy Journal**, v.110, p.2302-2309, 2018.
- RAO, D. L. N. et al. Recent advances in biological nitrogen fixation in agricultural systems. In: **Proceedings of the Indian National Science Academy**. 2014. p.359-378.
- REIS, V. M. et al. Biological dinitrogen fixation in gramineae and palm trees. **Critical Reviews in Plant Science**, v.19, p.227-247, 2000.
- SANTOS, T.D. et al. Initial development of soybean plants and sowing quality as a function of speed of the seeder displacement and soil texture. Applied Research & Agrotechnology. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, v.10, p.97-103, 2017.
- SCHUCH, L. O. B. et al. Vigor de sementes e análise de aveia preta. **Scientia Agricola**, v.57, n.2, p.305-312, 2000.
- TOURINO, M. C. C. et al. Espaçamento, densidade e uniformidade de semeadura na produtividade e características agrônômicas da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.8, p.1071-1078, 2002.
- VARGAS, M. A. T. and Hungria, M. Fixação biológica do N<sub>2</sub> na cultura da soja. In: Vargas, M. A. T. and Hungria, M. **Biologia dos solos do Cerrado**. Planaltina: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, p.297-360, 1997.
- WEIRICH NETO, P. H. et al. Comparison of metering mechanisms of corn seed. **Engenharia Agrícola**, v.32, n.5, p.981-988, 2012.
- ZILLI, J. E. et al. Eficácia da inoculação de *Bradyrhizobium* em pré-semeadura da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.45, p.335-338, 2010.
- ZILLI, J. E. et al. Inoculação de *Bradyrhizobium* em soja por pulverização em cobertura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.541-544, 2008.