

**Evento:** XXVII Seminário de Iniciação Científica

**A MODELAGEM MATEMÁTICA APLICADA NA PRODUTIVIDADE DE  
GRÃOS DA SOJA PELO USO DE INOCULANTES E MICRONUTRIENTES<sup>1</sup>  
THE MATHEMATICS MODELING APPLIED ON SOY GRAIN  
PRODUCTIVITY BY THE USE OF INOCULANTS AND MICRONUTRIENTS**

**Elizandro Locateli<sup>2</sup>, Fagner Weirich<sup>3</sup>, Sabrina Aquino Zarzicki<sup>4</sup>, Francieli  
Almeida Rocha Locateli<sup>5</sup>, Rubia Diana Mantai<sup>6</sup>, Daiane Dos Santos Da  
Silva Weirich<sup>7</sup>**

<sup>1</sup> Parte de trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Matemática

<sup>2</sup> Licenciado em Matemática da Universidade Regional integrada do Alto Uruguai e das Missões, elizandroelizandrolocateli@hotmail.com

<sup>3</sup> Licenciado em Matemática da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, fagner18weirich@gmail.com

<sup>4</sup> Licenciada em Matemática da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, sabinazarzicki@aluno.santoangelo.ui.br

<sup>5</sup> Licenciada em Pedagogia da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, francielirocha2008@hotmail.com

<sup>6</sup> Professora do Departamento de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, rdmantai@santoangelo.uri.br

<sup>7</sup> Licenciada em Pedagogia da Faculdade CNEC Santo Ângelo, daiane18weirich@gmail.com

## INTRODUÇÃO

Os estudos atuais sobre a matemática buscam relacionar as vivências do dia a dia com a aplicabilidade dos conteúdos para que se compreenda a sua importância na vida diária. Desta forma, a modelagem matemática é vista como uma ferramenta que consiste em transformar situações reais em representações matemáticas, as quais explicam fenômenos e realizam previsões, sendo útil para o direcionamento de decisões (Bassanezi, 2006). Nesta perspectiva, os modelos aplicados na agricultura, trazem informações relevantes que viabilizam avanços tecnológicos e sustentáveis.

Utilizando a metodologia de Bassanezi, que contempla a modelagem matemática em cinco etapas, sendo elas, experimentação, abstração, resolução, validação e modificação, realiza-se uma experiência voltada ao emprego da Modelagem Matemática no cultivo da soja com aplicação de inoculantes e micronutrientes como estímulo à produtividade de grãos.

A soja é a cultura de maior expressão econômica no Brasil. Por se tratar de uma planta leguminosa necessita de nutrientes como nitrogênio. Desta forma bactérias do gênero *Bradyrhizobium* se associam ao sistema radicular estabelecendo uma simbiose, que fornece todo o nitrogênio que a planta necessita (Silva et al., 2011). Já as bactérias do gênero *Azospirillum* estimulam a produção de hormônios vegetais resultando no crescimento das plantas, aumentando

**Evento:** XXVII Seminário de Iniciação Científica

a eficiência também de nitrogênio através da simbiose (Rodrigues et al., 2012). Assim, o uso destas bactérias pode representar uma estratégia economicamente viável, com benefícios ambientais associados à redução do uso de fertilizantes químicos.

O presente trabalho tem como objetivo utilizar modelos matemáticos que explicam a dinâmica da produtividade de grãos da soja sob influências de uso de inoculantes e tipo de aplicação de micronutrientes, determinando um manejo sustentável com elevada produtividade de grãos.

#### METODOLOGIA

O experimento realizou-se no município de São Miguel das Missões, tendo como cultura a soja, durante a safra 2018/2019. A semeadura ocorreu na segunda quinzena do mês de novembro com a utilização de plantadeira. Foi utilizado um delineamento por blocos casualizados seguindo um esquema fatorial 3 X 2, com os seguintes fatores de tratamento: tipos de inoculação na semente (sem inoculação, com *Bradyrhizobium japonicum*, com *Bradyrhizobium japonicum* + *Azospirillum*) e tipos de aplicação de micronutriente Cobalto (Co) e Molibdênio (Mo) (sem micronutriente, aplicação na semente, aplicação via aérea; aplicação na semente e via aérea) arranjados em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. Cada sub parcela foi determinada por 6 linhas espaçadas 45 cm com 3 m de comprimento, totalizando 8,1 m<sup>2</sup> unidade experimental. Os inoculantes utilizados possuem a concentração mínima de 5,0 x 10<sup>9</sup> e 7,2 x 10<sup>9</sup> células por grama de inoculante, turfoso e líquido, respectivamente. O *Bradyrhizobium japonicum* com concentração mínima de 5,0 x 10<sup>9</sup> células por grama de inoculante, em substrato turfoso, foi diluído na proporção de 100 ml: 5 gr (água/inoculante) a cada 2 kg sementes. O *Azospirillum* com concentração mínima de 7,2 x 10<sup>9</sup> células por grama de inoculante, foi utilizado uma porção de 5 ml/10ml (*Azospirillum*/água). As sementes foram umedecidas com uma solução aquosa a 25% de açúcar, sendo a inoculação realizada, manualmente, em um recipiente de polietileno, até que ocorresse perfeita e homogênea cobertura das sementes pelos tratamentos. E os micronutrientes Co e Mo foram aplicados às sementes logo após a inoculação nas doses 5 ml: 10 ml (Co/Mo/água) a cada 2 kg sementes, conforme recomendação do fabricante. A aplicação nas subparcelas dos micronutrientes cobalto e molibdênio se deu via aérea nos estádios V3/V4 e V7/V8 (momento em que a planta atinge de três a quatro e sete a oito folhas expandidas), através de pulverizador costal, com uma proporção de 135 ml:1000 ml (Co/Mo/água). A análise da produtividade de grãos, foi obtida pelo corte das 4 linhas centrais de cada sub parcela e encaminhada para trilhadora estacionária, e direcionado ao laboratório para pesagem dos grãos em balança de precisão para estimativa da produtividade de grãos (PG, kg ha<sup>-1</sup>).

#### RESULTADOS E DISCUSSÃO

A primeira análise dos dados obtidos em campo foi a análise de variância (ANOVA) para a produtividade de grãos da soja, testando a influência desta variável frente aos tipos de inoculação e aplicação de micronutrientes. Conforme a Tabela 1 da ANOVA, o teste F se mostrou significativo para a interação dos fatores de tratamento, indicando que as diferenças dos valores médios da produtividade de grãos de soja estão influenciadas pelos tratamentos aplicados de inoculantes e

**Evento:** XXVII Seminário de Iniciação Científica

micronutrientes.

Tabela 1. Análise de variância da produtividade de grãos de soja.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F	F crítico
Tipo Inoculante ( I )	2	8874662	443731	698*	3,2
Tipo Micronutriente ( M )	3	1468481	489494	77*	2,9
I x M	6	467330	77888	12*	2,4
Erro	36	228756	6354		
Total	47				

\*: significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste F; GL=grau de liberdade; SQ= Soma de quadrados; QM= Quadrado médio; F= probabilidade de Fischer

A Tabela 2 apresenta o teste de médias da produtividade de grãos determinada pelo tipos de aplicação de micronutrientes. Constatou-se que, a produtividade de grãos da soja sem o uso de inoculantes, apresenta maiores resultados com o uso de micronutrientes, porém, não apresenta diferenças estatísticas pelo modo de aplicação de Co+Mo.

Tabela 2. Teste de Médias da produtividade de grãos determinada pelo tipo de aplicação de micronutriente

Tipo de inoculante	Tipo de aplicação de micronutriente			
	Sem Co+Mo	Co+Mo Aéreo	Co+Mo Semente	Co+Mo Semente+Aéreo
Sem inoculante	2411 b	2507 a	2586 a	2550 a
<i>Bradyrhizobium Japonicum</i>	2702 c	3244 b	3319 b	3425 a
<i>Bradyrhizobium</i> + <i>Azospirillum</i>	3285 b	3450 b	3767 a	3717 a

Valores médios seguidos de letras iguais na linha não diferem estatisticamente entre si a nível de 5% de probabilidade de erro.

O uso do inoculante *Bradyrhizobium japonicum* associado com micronutriente (Tabela 2), mostra maior produtividade de grãos com a aplicação de cobalto e molibdênio na semente e posterior via aérea (Co+Mo semente+aéreo) com uma produtividade de 3425 kg ha<sup>-1</sup> de grãos. A utilização de uma única aplicação de Co+Mo, somente na semente ou somente via aérea, não mostrou diferenças estatísticas na produtividades de grãos. Destaca-se que o uso do inoculante *Bradyrhizobium japonicum* determinou produtividades superiores em comparação ao não uso do inoculante, independente da condição de uso de micronutrientes, o que nos dá indícios de sua eficiência na produtividade da cultura. O uso da co-inoculação de *Bradyrhizobium Japonicum* junto ao *Azospirillum* associados com o micronutriente (Tabela 2), proporcionou a melhor eficiência de produtividade com o manejo de Co+Mo somente na semente e com o uso dos micronutrientes na semente e via aérea, apresentando produtividades de 3767 e 3717 kg ha<sup>-1</sup> de grãos, respectivamente. Entretanto, destacamos o uso da co-inoculação junto a aplicação de micronutrientes na semente como o manejo de maior produtividade de grãos da soja, dado pelo

**Evento:** XXVII Seminário de Iniciação Científica

alto potencial produtivo e a redução de custo pela exclusão de aplicação de Co+Mo via aéreo. Segundo Hungria (2001) grandes incrementos no rendimento da soja vêm sendo obtido com a suplementação desses micronutrientes, chegando a 492 kg ha<sup>-1</sup> pela aplicação de Co e Mo ao tratamento inoculado em solo latossolo roxo em Londrina-PR, resultados semelhantes ao encontrado neste trabalho.

A Tabela 3 mostra o teste de médias da produtividade de grãos determinado pelo tipo de inoculante para cada tipo de aplicação de micronutrientes. Constatou-se que, para a produtividade de grãos, independente do tipo de tratamento com micronutriente, a maior produtividade de grãos se dá com uso da co-inoculação com *Bradyrhizobium Japonicum* e *Azospirillum*. Destacamos acréscimos de 35 a 45% na produtividade de grãos com o uso conjunto dos inoculantes em comparação ao não uso de inoculantes.

Tabela 3. Teste de Médias da produtividade de grãos determinada pelo tipo de inoculante aplicado

Tipo de aplicação de Micronutriente	Tipo de Inoculante		
	Sem Inoculante	<i>Bradyrhizobium Japonicum</i>	<i>Bradyrhizobium</i> + <i>Azospirillum</i>
Sem Co+Mo	2411 c	2702 b	3285 a
Co+Mo Aéreo	2507 c	3244 b	3450 a
Co+Mo Semente	2586 c	3319 b	3767 a
Co+Mo Aéreo+Semente	2550 c	3425 b	3717 a

Médias seguidas de letras iguais na linha não diferem estatisticamente a nível de 5% de probabilidade de erro.

De modo geral, destaque se dá ao resultado na co-inoculação com inoculante *Bradyrhizobium Japonicum* e *Azospirillum* junto ao uso de Co+Mo na semente, chegando a uma produtividade de 3767 kg ha<sup>-1</sup> de grãos de soja. Esta expectativa de produtividade comparada a testemunha, sem uso de inoculantes e micronutrientes, resultou em um aumento de 21 sacas de grãos por hectare. Entretanto, deve-se considerar que por se tratar de um experimento controlado em parcelas, não há perdas de produção devido ao amassamento de plantas por maquinários. A literatura reporta que bactérias denominadas de BPCV (bactérias promotoras de crescimento vegetal) como o *Azospirillum brasilense* podem atuar nas relações entre *Bradyrhizobium japonicum* e leguminosas, promovendo incrementos no crescimento vegetal e no rendimento de grãos, no nitrogênio total biologicamente fixado, além de melhorias no aproveitamento do nitrogênio obtido pela planta através da simbiose com rizóbios. Estes efeitos podem ser devido a diversos mecanismos, entre eles, uma antecipação na FBN dos nódulos, incremento na massa seca dos nódulos (DASHTI et al., 1998).

Segundo Hungria et al. (2013), pesquisas realizadas pela Embrapa Soja com mostraram ganhos de 16,1% com o uso da coinoculação em relação a 8,4% da inoculação realizada apenas com o *Bradyrhizobium*. Assim, a inoculação (*Bradyrhizobium*) e a coinoculação (*Bradyrhizobium* + *Azospirillum*) na cultura da soja em áreas tradicionais de cultivo, são tecnologias que devem ser

**Evento:** XXVII Seminário de Iniciação Científica

utilizadas pelos produtores, uma vez que fornecem todas a necessidade de nitrogênio para a cultura da soja a um custo pequeno, em relação às fontes nitrogenadas minerais.

#### CONSIDERAÇÕES FINAIS

É notório os benefícios da modelagem matemática na tomada de decisão em problemas voltados a agricultura, além de possibilitar a construção do conhecimento através de sua aplicação, contemplando uma aprendizagem significativa.

Acréscimos de 35 a 45% na produtividade de grãos da soja é determinada com o uso da co-inoculação de *Bradyrhizobium Japonicum* junto ao *Azospirillum*. Sendo a maior produtividade de grãos da soja alcançada com uso da co-inoculação junto a aplicação de cobalto e molibdênio na semente. As bactérias são tecnologias que devem ser utilizadas pelos produtores, uma vez que fornecem todas as necessidades de nitrogênio para a cultura da soja a um custo pequeno, em relação às fontes nitrogenadas minerais. Dessa maneira, contribuindo para aumentar a renda do produtor e a sustentabilidade do sistema de produção.

Palavras-chaves: Soja; *Bradyrhizobium Japonicum*; *Azospirillum*; Molibdênio; Cobalto.

Keywords: *Bradyrhizobium Japonicum*; *Azospirillum*; Molybdenum; Cobalt.

#### REFERÊNCIAS

BASSANEZI, R. C. **Ensino-aprendizagem com modelagem matemática**: uma nova estratégia. (3ed.) São Paulo: 2006 p.24.

DASHTI, N. et al. Plant growth promotion rizobactérias accelerate nodulation and increase nitrogen fixation activity by fieldgrown soybean. [*Glycine max.* (L.) Merr.] under short season conditions. **Plant and Soil The Hague**, 200: 205-213, 1998.

HUNGRIA, M. et al. Tecnologia de coinoculação combina alto rendimento com sustentabilidade na produção de soja e do feijoeiro. **Biology and Fertility of Soils**, 49:791-801, 2013.

HUNGRIA, M., CAMPO, R.J., MENDES, I. C. **Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja**. Londrina, Circular Técnica: EMBRAPA Soja, p. 48, 2001.