

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

Danilo da Costa Soares

**EFEITOS DA APLICAÇÃO DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES
(FMA) NOS COMPONENTES DE RENDIMENTO E RESPOSTA ESPECTRAL DA
CULTURA DA SOJA EM ANO DE ESTRESSE HÍDRICO**

Santa Maria, RS
2022

Danilo da Costa Soares

**EFEITOS DA APLICAÇÃO DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES
(FMA) NOS COMPONENTES DE RENDIMENTO E RESPOSTA ESPECTRAL DA
CULTURA DA SOJA EM ANO DE ESTRESSE HÍDRICO**

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

Orientador: Prof^o Dr. Eduardo Leonel Bottega
Coorientadora: Prof^a Dra. Zanandra Boff de Oliveira

Santa Maria, RS
2022

Soares, Danilo da Costa
EFEITOS DA APLICAÇÃO DE FUNGOS MICORRÍZICOS
ARBUSCULARES (FMA) NOS COMPONENTES DE RENDIMENTO E
RESPOSTA ESPECTRAL DA CULTURA DA SOJA EM ANO DE ESTRESSE
HÍDRICO / Danilo da Costa Soares.- 2022.
45 p.; 30 cm

Orientador: Eduardo Leonel Bottega
Coorientadora: Zanandra Boff de Oliveira
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Colégio Politécnico, Programa de Pós-Graduação em
Agricultura de Precisão, RS, 2022

1. Rhizophagus sp 2. Agricultura de Precisão 3. NDVI
4. Glycine max (L.) Merrill 5. Plantio direto I. Bottega,
Eduardo Leonel II. Oliveira, Zanandra Boff de 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, DANILO DA COSTA SOARES, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

Danilo da Costa Soares

**EFEITOS DA APLICAÇÃO DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES
(FMA) NOS COMPONENTES DE RENDIMENTO E RESPOSTA ESPECTRAL DA
CULTURA DA SOJA EM ANO DE ESTRESSE HÍDRICO**

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

Aprovado em 09 de novembro de 2022:

Eduardo Leonel Bottega, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Telmo Jorge Carneiro Amado, Dr. (UFSM)

Alberto Eduardo Knies, Dr. (UERGS)

Santa Maria, RS
2022

DEDICATÓRIA

Dedico esta dissertação à minha família que me auxiliou nos momentos cruciais de desenvolvimento deste projeto e a todas as pessoas que poderão fazer uso do conhecimento gerado.

AGRADECIMENTOS

Gratidão à Deus pela vida e pelas oportunidades diárias de crescimento e desenvolvimento.

À minha amada família, pois esteve ao meu lado durante todo o período do mestrado, me ajudando como apoio e fundamental, inclusive, na obtenção dos dados experimentais.

Ao meu orientador, professor Dr. Eduardo Leonel Bottega que não mediu esforços em me proporcionar todos dos meios possíveis para atingir o objetivo proposto.

À todos os professores do curso por compartilharem brilhantemente seu conhecimento.

À Universidade Federal de Santa Maria pela oportunidade de cursar o Mestrado Profissional em Agricultura de Precisão.

Para todos aqueles que de alguma forma ou outra contribuíram para realização deste projeto.

Gratidão!

EPÍGRAFE

A rentabilidade é proporcional a quantidade de conhecimento por hectare.

Dirceu Gassen

Tudo aquilo que o homem ignora não existe para ele. Por isso o universo de cada um se resume ao tamanho de seu saber.

Albert Einstein

O segredo de todos aqueles que fazem descobertas é que eles não consideram nada tão impossível.

Justus von Liebig

Muitas pessoas devem a grandeza de suas vidas aos problemas que tiveram de vencer.

Robert Stephenson Smyth Baden-Powell

RESUMO

EFEITOS DA APLICAÇÃO DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES (FMA) NOS COMPONENTES DE RENDIMENTO E RESPOSTA ESPECTRAL DA CULTURA DA SOJA EM ANO DE ESTRESSE HÍDRICO

Autor: Danilo da Costa Soares

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Leonel Bottega

Coorientadora: Prof^a Dra. Zanandra Boff de Oliveira

A soja (*Glycine max*) é hoje a principal cultura produzida no Brasil, se destacando tanto em área, produção e exportação. Para obtenção de maior produtividade e lucratividade, utiliza-se cada vez mais a agricultura de precisão e agentes biológicos. O objetivo deste trabalho foi de estudar o efeito da aplicação de diferentes doses de fungos micorrízicos arbusculares (FMA), aplicadas na semeadura, sobre os componentes de rendimento da cultura da soja e sobre o NDVI do dossel de plantas. O trabalho foi conduzido na safra 2021/2022 no município de Tapera-RS em duas áreas comerciais de soja, a primeira com 13,5 ha e a segunda com 5,5 ha. O agente biológico utilizado foi o fungo micorrízico arbuscular (FMA) *Rhizophagus intraradices*, na concentração de 20.800 propágulos por grama. A cultivar de soja utilizada foi a BMX Ativa. Foram implantados dois experimentos, em diferentes áreas comerciais. No experimento 1 foram estudados 3 tratamentos, sendo o T1: padrão produtor, constituído da aplicação de 250 ml ha⁻¹ de *Bradyrhizobium japonicum* na concentração de 7x10⁹ UFC ml⁻¹ + 200 ml ha⁻¹ de *Azospirillum brasilense* na concentração de 3x10⁸ UFC ml⁻¹; T2: T1+ 120g ha⁻¹ de FMA (20.800 propágulos por grama) e T3: testemunha (sem aplicação de biológicos). A aplicação do FMA foi realizada adicionando o produto juntamente com os demais agentes biológicos no inoculador de sulco. No experimento 2 foram estudados 4 tratamentos, sendo T1: testemunha (sem aplicação de FMA); T2: 96 g ha⁻¹ de FMA (dose padrão menos 20%); T3: 120 g ha⁻¹ de FMA (dose padrão) e T4: 144g ha⁻¹ de FMA (dose padrão mais 20%). A inoculação dos agentes biológicos foi realizada diretamente na semente de forma manual. Na avaliação dos componentes de rendimento da cultura da soja, foram colhidas, manualmente, quatro amostras de plantas, representativas de 4 m², em cada parcela experimental. Foram quantificados o número de vagens por planta (NVP), o número de grãos por vagem (NGV), o peso de mil grãos (PMG, g) e a produtividade da cultura da soja (PRD, kg ha⁻¹). O mapeamento da variabilidade espacial do NDVI foi realizado em diferentes estádios fenológicos da cultura da soja. O delineamento experimental adotado para análise dos resultados observados no experimento 1 foi o DIC, com 4 repetições. O experimento 2, por estudar a aplicação de diferentes doses, foi avaliado empregando análise de regressão linear simples. No experimento 1, foi observado que o T2 incrementou o peso de mil grãos (PMG), representando um ganho de 17,65% (27g). Os demais componentes de rendimento não apresentaram diferenças significativas, embora todos os valores médios observados tenham sido maiores para este tratamento. No experimento 2, a utilização de 100 ml ha⁻¹ de *Bradyrhizobium japonicum* (7x10⁹ UFC ml⁻¹), associada ao aumento no uso de FMA (de 96 para 144 g ha⁻¹), ocasionou incremento no número de vagens por planta e no número de grãos por vagem. Os demais componentes de rendimento não foram influenciados pelos tratamentos. Os tratamentos estudados, em ambos os experimentos, não influenciaram no NDVI, independente do estágio de desenvolvimento da cultura da soja em que este índice de vegetação foi estimado.

Palavras-chave: *Rhizophagus sp*, FMA. Soja. Agricultura de precisão. NDVI.

ABSTRACT

EFFECTS OF ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI (AMF) APPLICATION ON YIELD COMPONENTS AND SPECTRAL RESPONSE OF SOYBEAN IN A WATER STRESS YEAR

Author: Danilo da Costa Soares
Advisor: Prof. Dr. Eduardo Leonel Bottega
Co-Advisor: Prof^a Dra. Zanandra Boff de Oliveira

Soybean (*Glycine max*) is currently the main crop produced in Brazil, standing out in terms of area, production and export. To obtain greater productivity and profitability, precision agriculture and biological agents are increasingly used. The objective of this work was to study the effect of different doses of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), applied at sowing, on soybean yield components and on the NDVI of the plant canopy. The work was carried out in the 2021/2022 crop in the municipality of Tapera-RS in two commercial soybean areas, the first with 13.5 ha and the second with 5.5 ha. The biological agent used was the arbuscular mycorrhizal fungus (AMF) *Rhizophagus intraradices*, at a concentration of 20,800 propagules per gram. The soybean cultivar used was BMX Ativa. Two experiments were implemented in different commercial areas. In experiment 1, 3 treatments were studied, T1: producer standard, consisting of the application of 250 ml ha⁻¹ of *Bradyrhizobium japonicum* at a concentration of 7x10⁹ CFU ml⁻¹ + 200 ml ha⁻¹ of *Azospirillum brasilense* at a concentration of 3x10⁸ CFU ml⁻¹; T2: T1 + 120g ha⁻¹ of AMF (20,800 propagules per gram) and T3: control (without application of biologicals). The application of AMF was carried out by adding the product together with the other biological agents in the furrow inoculator. In experiment 2, 4 treatments were studied, being T1: control (without AMF application); T2: 96 g ha⁻¹ of AMF (20% less than the standard dose); T3: 120 g ha⁻¹ of AMF (standard dose) and T4: 144 g ha⁻¹ of AMF (20% more than the standard dose). The inoculation of biological agents was performed manually in the seed. In the evaluation of the yield components of the soybean crop, four samples of plants, representing 4 m², were manually collected in each experimental plot. The number of pods per plant (NVP), the number of grains per pod (NGV), the weight of one thousand grains (PMG, g) and soybean yield (PRD, kg ha⁻¹) were quantified. The mapping of the spatial variability of the NDVI was carried out in different phenological stages of the soybean crop. The experimental design adopted to analyze the results observed in experiment 1 was the DIC, with 4 replications. Experiment 2, by studying the application of different doses, was evaluated using simple linear regression analysis. In experiment 1, it was observed that T2 increased the thousand grain weight (PMG), representing a gain of 17.65% (27g). The other yield components did not show significant differences, although all mean values observed were higher for this treatment. In experiment 2, the use of 100 ml ha⁻¹ of *Bradyrhizobium japonicum* (7x10⁹ CFU ml⁻¹), associated with the increase in the use of AMF (from 96 to 144 g ha⁻¹), caused an increase in the number of pods per plant and in the number of grains per pod. The other yield components were not influenced by the treatments. The treatments studied, in both experiments, did not influence the NDVI, regardless of the soybean development stage in which this vegetation index was estimated.

Keywords: *Rhizophagus sp.*, AMF. Soybean. Precision agriculture. NDVI.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de localização do município de Tapera-RS no Estado do Rio Grande do Sul.	21
Figura 2 – Localização das áreas experimentais (A). Polígonos e tratamentos do experimento 1 (B) sendo: tratamento padrão do produtor (1); padrão produtor + FMA (2) e testemunha (3). Polígonos e tratamentos do experimento 2 (C), sendo: testemunha (1) e aplicação de FMA (2). Tapera-RS, 2022. Fonte: Autor	22
Figura 3 – Detalhe da semeadora-adubadora utilizada na implantação do experimento 1 (A) e desenvolvimento da cultura da soja (B, C e D). Tapera-RS, 2022. Fonte: Autor.	23
Figura 4 – Semeadura das parcelas do experimento 2 (A e B) e cultura da soja em desenvolvimento (C). Tapera-RS, 2022. Fonte: Autor.....	24
Figura 5 – Colheita manual das parcelas do experimento 1 (A) e do experimento 2 (B). Tapera-RS, 2022. Fonte: Autor.....	26
Figura 6 – Regressão para o número de vagens por planta (A) e para o número de grãos por vagem (B) em função das doses aplicadas. **coeficiente significativo ao nível de 5% de probabilidade. Tapera-RS, 2022. Fonte: Autor.	32
Figura 7 – Mapas temáticos da variabilidade espacial do NDVI na área do experimento 1, no período de novembro de 2021 à janeiro de 2022. Tapera-RS, 2022. Fonte: Autor.....	32
Figura 8 – Mapas temáticos da variabilidade espacial do NDVI na área do experimento 2, no período de dezembro de 2021 à janeiro de 2022. Tapera-RS, 2022. Fonte: Autor.	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estatística descritiva para o número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), peso de mil grãos (PMG) e produtividade de soja (PRD) em função dos tratamentos estudados. Tapera-RS, 2022. Fonte: Autor.....	28
Tabela 2 – Análise de variância para o peso de mil grãos (PMG) em função dos tratamentos estudados. Tapera-RS, 2022. Fonte: Autor.....	29
Tabela 3 – Teste de médias Tukey para o peso de mil grãos (PMG) em função dos tratamentos estudados. Tapera-RS, 2022. Fonte: Autor.....	29
Tabela 4 – Estatística descritiva para o número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), peso de mil grãos (PMG) e produtividade de soja (PRD) em função das doses aplicadas. Tapera-RS, 2022. Fonte: Autor.....	30
Tabela 5 – Análise de variância para o número de vagens por planta (NVP) e número de grãos por vagem (NGV) em função das doses aplicadas. Tapera-RS, 2022. Fonte: Autor.....	31

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	14
2.1. OBJETIVO GERAL	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3 REVISÃO DE LITERATURA	15
3.1 CULTURA DA SOJA	15
3.2 USO DE MICORRIZAS NA AGRICULTURA.....	16
3.3 AGRICULTURA DE PRECISÃO	18
4 MATERIAIS E MÉTODOS	21
4.1 ÁREA EXPERIMENTAL.....	21
4.2 IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO	22
4.4 MAPEAMENTO DA VARIABILIDADE ESPACIAL DO NDVI.....	26
4.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	27
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
5.1 EXPERIMENTO 1	28
5.2 EXPERIMENTO 2	30
6 CONCLUSÕES	34
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
REFERÊNCIAS	37

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores produtores de alimentos do mundo e tem a tecnologia empregada na agricultura como motor para essa máquina pujante, a qual apresenta expectativa de incremento em produtividade ao longo dos anos. Para que isso se concretize, é necessária uma agricultura mais sustentável, que utilize de insumos naturais para redução dos custos de produção e potencialização da capacidade produtiva dos cultivos agrícolas. Estes objetivos podem ser alcançados com a ampliação no uso de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e com a adoção de técnicas de agricultura de precisão (AP).

Muitos são os fatores que podem explicar locais com altas ou baixas produtividades, desde fatores físicos como textura do solo, a fatores químicos como falta de fertilizantes ou manejo inadequado dos insumos aplicados na área. Além destes, pode-se citar ainda os fatores biológicos, destacando as interações entre os microrganismos com o solo e com as plantas. Os microrganismos do solo estão presentes em grande número próximo as raízes das plantas e desempenham um papel importante em numerosos processos fisiológicos, que compreendem a patogenicidade, o saprofitismo e a simbiose.

A simbiose mais amplamente observada entre as plantas é a associação micorrízica, que envolve vários fungos do solo e raízes de plantas. Esta associação micorrízica, tornou-se um tema de pesquisa de interesse desde que foi constatada a sua capacidade em proporcionar um aumento da absorção de nutrientes do solo pelas plantas. As micorrizas não aumentam o teor total de nutrientes no solo, mas permitem que a planta explore melhor as suas reservas.

As micorrizas são organismos encontrados naturalmente nos solos e seus benefícios à agricultura são notórios. Além de constituírem uma importante relação biológica que favorece uma grande quantidade de espécies de fungos e de vegetais, as micorrizas são essenciais na ciclagem de nutrientes e na manutenção da qualidade do solo.

A presença de associações micorrízicas nas plantas é muito comum em condições naturais do solo. Apenas algumas plantas, como por exemplo, as crucíferas, normalmente não formam micorrizas. A maioria das outras plantas, especialmente as de maior importância econômica, como culturas anuais e perenes, formam micorrizas abundantes em suas raízes.

Observa-se na natureza que mais de 90% das espécies de plantas vasculares possuem relações simbióticas com fungos. As micorrizas constituem um tipo específico de relação ecológica, o mutualismo, em que ambos os componentes se beneficiam com a interação (o fungo absorve açúcares e as plantas aumentam a captação de nutrientes). No entanto, a ausência

de um dos organismos causa grandes problemas de crescimento e desenvolvimento ou até mesmo a morte para o outro.

O manejo adequado na utilização de fungos micorrízicos na agricultura necessita que a variabilidade espacial, tanto de atributos de solo, quanto de atributos das plantas (em especial a produtividade) sejam conhecidos, neste cenário, a adoção de técnicas e ferramentas de AP são necessárias. O emprego de ferramentas de agricultura de precisão torna-se fundamental para obtenção de dados, possibilitando mapear variáveis associadas ao desempenho produtivo das culturas agrícolas de exploração comercial, podendo citar os índices de vegetação.

O levantamento geoespacializado dos índices de vegetação possibilitam a identificação e quantificação da variabilidade espacial presente nos talhões de uma lavoura. Por representarem a resposta espectral do dossel de plantas, possibilitam identificar variações no desenvolvimento de uma lavoura, proporcionando assim, uma investigação localizada dos fatores causadores de tais variações.

Um dos índices de vegetação em evidência científica é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI, do inglês Normalized Difference Vegetation Index), que indica variações na biomassa de um cultivo vegetal ao longo do seu ciclo de desenvolvimento. O NDVI é um dos índices de vegetação mais utilizados para análises de vegetação em diversas áreas do conhecimento, em especial, nos estudos da área de ciências agrárias. Seu uso permite o monitoramento de biomassa verde, pois, em sua estimativa, considera a relação antagônica da reflectância nas bandas do vermelho e do infravermelho próximo frente ao acúmulo de biomassa. Entre as aplicações mais frequentes estão as inferências sobre parâmetros biofísicos, monitoramento e a modelagem do rendimento de grãos ou mesmo a indicação da sanidade das plantas, como doenças e deficiências nutricionais. Com base no exposto, o presente trabalho foi desenvolvido buscando alcançar os objetivos apresentados a seguir.

2 OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Estudar o efeito da aplicação de diferentes doses de fungos micorrízicos arbusculares (FMA), aplicadas na semeadura da soja, sobre os componentes de rendimento da cultura da soja e sobre a resposta espectral do dossel de plantas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Estudar o efeito do uso de diferentes doses de micorrizas aplicadas na semeadura da soja, sobre:

- O número de vagens por planta;
- O número de grãos por vagem;
- O peso de mil grãos e
- A produtividade da cultura da soja.

Mapear a variabilidade espacial do NDVI, em diferentes estádios fenológicos da cultura da soja, em função da aplicação de diferentes doses de micorrizas.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 CULTURA DA SOJA

A soja é, atualmente, a quarta cultura de grãos, mais importante do mundo, superada, nesta ordem pelo milho, trigo e arroz. No Brasil é a principal cultura em área cultivada e produção de grãos, o primeiro produtor mundial e o primeiro país exportador dessa aleuro-oleaginosa (FLOSS, 2021). O cultivo da soja no Brasil tem crescido gradativamente a cada ano. Dentre os principais fatores que contribuem para esse aumento estão os avanços tecnológicos, práticas de manejo sustentável e eficiência dos produtores. Da área de 73,8 milhões de hectares cultivados com as principais culturas no país, aproximadamente 55,49% (40,95 milhões de hectares) destinam-se à produção de soja. No estado do Rio Grande do Sul a área cultivada é de 6,358 milhões hectares. A produção de soja no Brasil na safra 2021/2022 foi de 124 milhões de toneladas 10,2% inferior a safra 2020/2021, e a produtividade média alcançada foi de 3029 kg ha⁻¹ (CONAB, 2022).

O local de origem da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é provavelmente no centro e no leste da Ásia. Segundo Morse (1950), o local seria a área central da China, enquanto Hymowitz (1970) conclui que foi domesticada na metade norte da China, por volta do século XI A.C.

A primeira referência sobre soja no Brasil data de 1882, na Bahia, em relato de Gustavo D'utra. As cultivares introduzidas dos Estados Unidos não tiveram boa adaptação numa latitude em torno de 12° Sul, na Bahia (CANAL RURAL, 2017). Na Argentina, os primeiros testes foram realizados em 1909, na Estação Experimental de Córdoba (REMUSSI & PASCALE, 1977). Por volta de 1921, foi introduzida no Paraguai e, em 1928, na Colômbia (VERNETTI, 1974).

A introdução oficial da cultura no Rio Grande do Sul tem sido atribuída ao professor F.G.Graig, da Escola Superior de Agronomia e Veterinária da Universidade Técnica (atual UFRGS), em 1914 (REIS, 1956). Em 1917, o agricultor Francisco Seibot cultivou a soja no município de Tuparandí, Rio Grande do Sul, com o objetivo de utilizar o grão como "café" (MAGALHÃES, 1981).

A expansão da cultura no Brasil começou em 1970, quando a indústria de óleo começou a ser ampliada (MALAVOLTA, 2006). Por seu uso muito versátil, o grão de soja dá origem à produtos e coprodutos muito utilizados pela agroindústria, indústria química e de bicomustíveis (SILVA et al., 2006; CONAB, 2009). O consumo de soja como alimento tem aumentado devido aos benefícios à saúde, por possuir alta qualidade proteica e isoflavonas

(CARRÃO-PANIZZI; SILVA, 2011) e também devido ao melhoramento genético dos cultivares que proporcionam características diferenciadas como: resistência a pragas e herbicidas, maior produtividade, adaptação a diferentes ambientes, e outros (CARRÃO-PANIZZI et al., 2012). Tendo em vista a rápida expansão das lavouras, sobretudo, no cerrado brasileiro, esta cultura vem ocupando áreas antes inexploradas, ano após ano (ANDRADE, 2010).

O cenário atual da agricultura globalizada possui alta competitividade, isso obriga os agricultores a buscar por opções que diminuam os custos de produção, reduzam o risco de perdas, aumentem a qualidade dos grãos e, principalmente, a produtividade (FARIAS; NEPOMUCENO; NEUMAIER; 2007). Segundo EMBRAPA (2010) para o desenvolvimento do grão de soja há necessidade de quantidades ideais de nutrientes como o nitrogênio, potássio, fósforo, enxofre e o cálcio. No caso de deficiência do nitrogênio resulta em menor quantidade de proteínas e carboidratos estocados, além de afetar o crescimento e florescimento da cultura, a deficiência de potássio, resulta em menor formação de carboidratos, síntese de proteína e resistência à doenças; a deficiência de fósforo ocasiona menor desenvolvimento vegetativo, produtividade, qualidade e senescência precoce; a deficiência de enxofre resulta em menor síntese de proteína e aminoácidos sulfurados (metionina e cistina); e com a deficiência de cálcio, ocorre a morte das raízes e diminuição do crescimento (MALAVOLTA, 2006).

A falta de nutrientes no solo pode refletir na lavoura, causando: menor quantidade de proteínas, afetando o florescimento e o crescimento da cultura, resistência à doenças, menor desenvolvimento vegetativo, senescência precoce, diminuição do crescimento e morte de raízes (MALAVOLTA, 2006). Estudos recentes têm demonstrado que o alto potencial de rendimento está intimamente relacionado com o rendimento biológico (total de biomassa), ou seja, parte dos fotoassimilados formados na pré-antese são transferidos aos órgãos de armazenamento após a antese. O restante da biomassa é sintetizado durante a pós-antese. Os componentes de rendimento variam de cultura para cultura, na soja o rendimento pode ser estimado pelo produto do número de plantas por área; número de vagens por planta; número de grãos por vagem e peso individual de grãos (FLOSS, 2004). Uma estratégia para potencializar o rendimento da cultura é a utilização de fungos micorrízicos arbusculares.

3.2 USO DE MICORRIZAS NA AGRICULTURA

Com a expansão demográfica dos últimos anos, a necessidade do uso de recursos do planeta está sendo maximizada representando, atualmente, grande desafio para a ciência. Dentre

os recursos mais utilizados na produção de alimentos, destaca-se o solo. A qualidade do solo indica a sua capacidade de funcionar dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado, a fim de sustentar a produtividade de plantas e animais, manter ou aumentar a qualidade do ar e da água e promover a saúde das plantas, dos animais e dos homens (DORAN, 1997). Nas condições tropicais brasileiras, o Sistema Plantio Direto (SPD) tem contribuído para a melhoria de atributos químicos, físicos e biológicos do solo, incrementando a sua qualidade e potencializando a produtividade e a estabilidade de culturas agrícolas, como a soja (FRANCHINI et al., 2012).

O sequestro de carbono do solo na agricultura pode fornecer compensações para as emissões de combustíveis fósseis. A atividade e a composição da comunidade microbiana do solo regula a conversão do carbono vegetal em matéria orgânica do solo. Assim, mudanças na comunidade microbiana ou em sua atividade podem fornecer oportunidades para aumentar o sequestro de carbono (RICE et al., 2004).

O solo, juntamente com seus organismos, contribui de modo decisivo para a manutenção da vida e para o equilíbrio da biosfera. Seu estudo tem sido intensificado nas últimas décadas, sobretudo nos aspectos relacionados aos seus organismos dentre os quais se destacam os simbiontes, tais como as micorrizas e as bactérias fixadoras de nitrogênio, por exercerem significativo papel para a funcionalidade e manutenção dos ecossistemas naturais manejados e principalmente degradados (SOUZA et al., 2006).

De acordo com Rice et al (2004), experimentos com fungos micorrízicos têm demonstrado que o aumento da colonização e hifas extrarradiciais de micorrizas os fungos aumentaram os macroagregados do solo estáveis à água, bem como a quantidade de carbono retida no solo.

A associação entre raízes e determinados fungos do solo, denominada micorriza, ocorre na maioria das espécies vegetais superiores. O termo micorriza foi, de início, proposto pelo botânico alemão Albert Bernard Frank, em 1885, originado do grego, em que "mico" significa fungo e "riza" raízes. Esta associação já era conhecida há pelo menos 50 anos antes de Frank, mas considerada de natureza parasítica. Para Frank, as micorrizas representavam um fenômeno de ocorrência generalizada, resultante da união orgânica entre as raízes e o micélio de fungos a um órgão morfológicamente independente, com dependência fisiológica íntima e recíproca, seguida pelo crescimento de ambas as partes e com funções fisiológicas muito estreitas, sendo consideradas o mais inesperado e surpreendente fenômeno da natureza (SOUZA et al., 2006).

Evidências de que os vegetais ancestrais já tinham micorrizas, indicam que plantas e fungos micorrízicos passaram por um processo de coevolução, o que explica a ocorrência

generalizada, as diferenciações em tipos e a distribuição geográfica dessas associações. Do ponto de vista ecológico e sob considerações práticas, as ectomicorrizas e endomicorrizas são as mais importantes (SIQUEIRA & FRANCO, 1988).

A soja pode formar simbiose com *Bradyrhizobium* e com fungos micorrízicos arbusculares (FMA). Estes sistemas simbióticos aumentam o crescimento da planta por meio do suprimento de nitrogênio (N) e fósforo (P). Tem sido considerado que o efeito benéfico exercido pelos fungos micorrízicos na fixação simbiótica do N está relacionado ao suprimento de P para os nódulos. Conforme Wilson et al (2009), a fertilização com N aumentaram as hifas de FMA do solo, pools de proteínas do solo relacionadas à glomalina e macroagregados estáveis em água enquanto as aplicações de fungicidas reduziram as hifas de FMA, glomalina e macroagregados estáveis em água.

Rotação de culturas e variações sazonais podem promover alterações quantitativas e qualitativas na comunidade de fungos micorrízicos arbusculares nativos e na formação da micorriza arbuscular. A presença dos fungos no solo contribuiu no crescimento da soja em 53%. A cultura e o sistema de cultivo são fatores determinantes para o enriquecimento do sistema com micorriza arbuscular (MIRANDA et al., 2005). Práticas agrícolas que possibilitam maior diversidade de plantas por área favorecem a presença de fungos micorrízicos, um importante parâmetro biológico indicador da qualidade do solo (PORTO et al, 2003).

Desde que a rede de hifas das micorrizas se estenda vários centímetros para além da zona colonizada pelas raízes, as plantas se tornam aptas a obter nutrientes a partir de volume de solo muito maior do que seria possível sem as micorrizas. O fungo se beneficia da associação, obtendo carboidratos da planta hospedeira (RAVEN et al., 1996). Pesquisas envolvendo esses organismos têm, como objetivo prático, aumentar a produção, reduzir o uso de fertilizantes químicos e contribuir para alcançar um padrão de agricultura mais sustentável e menos dependente de insumos (SIQUEIRA & MOREIRA, 1996). Neste cenário, a possibilidade de se mapear a variabilidade espacial dos nutrientes do solo pode servir como ferramenta na tomada de decisão quanto a utilização de fungos micorrízicos na agricultura. A agricultura de precisão possui ferramentas capazes de auxiliar neste mapeamento.

3.3 AGRICULTURA DE PRECISÃO

O estudo da variabilidade espacial dos atributos do solo similarmente assume importância, nos indicativos de alternativas de manejo, onde o crescimento e desenvolvimento das plantas podem ser influenciados por alterações nos atributos químicos do solo

(MONTANARI et al., 2015), e a produtividade das culturas pode ser variável em uma mesma área por menor que seja o grau de variação espacial de determinados atributos (MATIAS et al., 2015). Apesar de representar o potencial produtivo de uma determinada área, a produtividade não é homogênea, sendo notado em um mesmo campo de produção regiões com maior e menor desempenho produtivo (BOTTEGA et al., 2013).

A variabilidade espacial pode ser mapeada por amostragem de grades (grids), como o nome sugere os pontos são predeterminados em formato de grade e georreferenciados dentro da área, por amostragem de sensores que trata-se do uso de dispositivos que são utilizados para estimar, de forma indireta, atributos químicos e/ou físicos, que apresentam relações com a produtividade dos cultivos agrícolas e por fim, utilizando imagens de sensores multiespectrais. Este último, se refere à obtenção de imagens à distância sobre a superfície terrestre, utilizando sensores embarcados em aeronaves ou em satélites, oferecendo solução sinótica para o monitoramento de plantas, tendo potencial de uso na agropecuária (DÖRNHÖFER; OPPELT, 2016; Yu et al., 2016). O sensoriamento remoto aplicado à agricultura é baseado na espectroscopia da radiação refletida após interação da radiação eletromagnética incidente proveniente do sol com diferentes alvos na superfície da terra. Essas medidas são oriundas do espectro refletido, mais especificadamente abrangendo a região do visível (0.4 – 0.7 μm), infravermelho próximo (0.7 – 1.3 μm) e infravermelho de ondas curtas (1.3 – 2.5 μm) (JORGE; INAMASU, 2014). O uso de imagens capturadas por satélite tem grande utilidade na agricultura, todavia possui algumas limitações decorrentes da frequência na obtenção de imagens, da presença de nuvens que inviabilizam seu uso, principalmente no verão - época de maior interesse para a cultura da soja -, custos elevados, baixa resolução e necessidade de conhecimento específico para o processamento das imagens (SAMSEEMOUNG et al., 2012).

A avaliação de índices de vegetação, obtidos a partir de imagens aéreas representa um recurso rápido, econômico e confiável para o monitoramento de culturas (CANDIAGO et al., 2015), facilitando o monitoramento de forma não destrutiva e em tempo real (VON BUEREN et al., 2015). Para avaliar e monitorar o crescimento de determinada cultura foram desenvolvidos diversos índices de vegetação, que consistem em operações algébricas de valores obtidos de diferentes faixas do espectro, principalmente nas regiões do visível e do infravermelho próximo, também denominadas bandas espectrais. Posteriormente, é possível correlacionar esses índices com variáveis da cultura, como, por exemplo, a biomassa, cobertura pelo dossel e teor de clorofila (SAKAMOTO et al., 2012; MAIMAITIJIANG et al., 2017).

O NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) é o mais conhecido dentre os índices de vegetação com base em imagens de satélite. Na prática o índice é calculado através da

operação matemática entre bandas, ou seja, definido pela diferença normalizada entre valores radiométricos locais de duas bandas diferentes de uma imagem multiespectral, como proposto por Cordeiro et al. (2005). Sendo a diferença entre as refletâncias detectadas nas bandas do vermelho visível (0,58 à 0,68 μm) e infravermelho próximo (0,725 a 1,1 μm), dividida pelas somas dessas quantidades. O NDVI é calculado pela seguinte equação:

$$NDVI = \frac{\rho_{ivp} - \rho_v}{\rho_{ivp} + \rho_v}$$

Onde ρ_{ivp} é a refletância no infravermelho próximo e ρ_v é a refletância no vermelho.

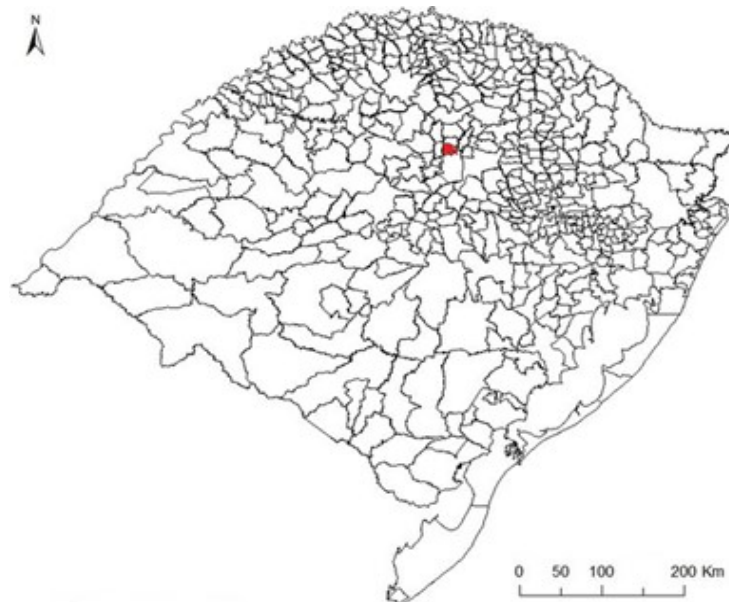
Os índices que melhor se correlacionam com a vegetação são os que utilizam como base informações obtidas através da combinação de dados espectrais no comprimento de onda vermelho e infravermelho próximo, diretamente relacionados às regiões fotossintéticas ativas das plantas (JESUS e MIURA, 2009). À medida que a cobertura vegetal e o verde se intensificam o NDVI também aumenta (LIRA et al., 2009). O NDVI varia de -1 a 1, onde -1 se refere à ausência total de reflectância do infravermelho, 0 corresponde a ausência de clorofila e 1 representa alta concentração de folhas verdes (POLSAPELLI, 2005). Os valores de NDVI quanto mais próximo de 1, mais densa é a vegetação; o valor 0 (zero) indica superfície não vegetada (ROSENDO, 2005). Na agricultura, este índice permite estimar produção, vigor vegetativo das culturas, deficiência de nutrientes, presença de patógenos, estresse hídrico, dentre outros (RIZZI e RUDORFF, 2007; MOLIN et al., 2010).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 ÁREA EXPERIMENTAL

O trabalho foi desenvolvido no município de Tapera, na região do planalto médio do estado do Rio Grande do Sul (Fig. 1) em duas áreas comerciais de diferentes proprietários. Nas duas propriedades o cultivo da cultura da soja se deu sob sistema de plantio direto na palhada.

Figura 1 – Mapa de localização do município de Tapera-RS no Estado do Rio Grande do Sul.



O talhão onde foi implantado o experimento 1 (Fig. 2B) apresenta coordenadas geográficas centrais $28^{\circ}35'58,10''$ de latitude Sul e $52^{\circ}51'07,35''$ de longitude Oeste, possui 13,5 hectares, destes, 12 hectares foram conduzidos no padrão do produtor, 1 ha de tratamento com FMA e 0,5 ha de testemunha. A análise dos teores médios de nutrientes no solo, na camada 0-20 cm, apresentou os seguintes resultados: Argila: 26%; pH em Água: 5,57; índice SMP: 6,48; fósforo: 41,3 mg dm^3 (Muito Alto); potássio: 176 mg dm^3 ; matéria orgânica: 2,6%; alumínio trocável: 0,00 cmolc dm^3 ; cálcio: 5,94 cmolc dm^3 ; magnésio: 2,12 cmolc dm^3 ; H+Al: 2,51 cmolc dm^3 ; CTC pH7: 11,02 cmolc dm^3 ; saturação de bases: 77,22%.

O talhão onde foi implantado o experimento 2 (Fig. 2C) apresenta coordenadas centrais $28^{\circ}35'57,45''$ de latitude Sul e $52^{\circ}51'40,57''$ de longitude Oeste, possui 5,5 hectares, destes, 0,5 hectares serviram de testemunha e em 0,39 hectares foi aplicado o tratamento com FMA. A análise dos teores médios de nutrientes no solo, na camada 0-20 cm, apresentou os seguintes

resultados: Argila: 28%; pH em Água: 6,52; índice SMP: 6,78; fósforo: 22,4 mg dm³ (Alto); potássio: 144 mg dm³; matéria orgânica: 3,3%; alumínio trocável: 0,00 cmol dm³; cálcio: 8,39 cmolc dm³; magnésio: 3,09 cmolc dm³; H+Al: 1,78 cmolc dm³; CTC pH7: 13,63 cmolc dm³; saturação de bases: 86,93%. Em ambas as áreas o solo é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico (EMBRAPA 2018).

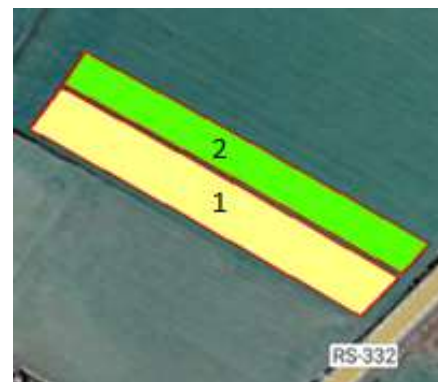
Figura 2 – Localização das áreas experimentais (A). Polígonos e tratamentos do experimento 1 (B) sendo: tratamento padrão do produtor (1); padrão produtor + FMA (2) e testemunha (3). Polígonos e tratamentos do experimento 2 (C), sendo: testemunha (1) e aplicação de FMA (2). Tapera-RS, 2022. Fonte: Autor



A



B



C

4.2 IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento 1 foi implantado no dia 28 de outubro de 2021. Foi semeada a cultura da soja, cultivar BMX Ativa. O espaçamento adotado entre as linhas de semeadura foi de 50 cm.

A população de plantas planejada foi de 262.000 plantas por hectare. A semeadura foi realizada de forma direta, sob resteva de canola, utilizou-se no momento da semeadura 250 kg ha⁻¹ do fertilizante Top Phos 280 e 200 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio (KCl) a lanço cinco dias antes do plantio.

O agente biológico utilizado no experimento trata-se de um fungo micorrízico arbuscular (FMA) cujo nome científico é *Rhizophagus intraradices*. Foi utilizado produto comercial Rootella BR com concentração de 20.800 propágulos por grama, sendo este produzido e importado de Israel. Os tratamentos implantados neste experimento foram:

Tratamento 1: padrão produtor, constituído da aplicação de *Bradyrhizobium japonicum* na concentração de 7x10⁹ UFC (Unidade de Formação de Colônia) ml⁻¹ sendo utilizados 250 ml ha⁻¹ (5 doses) e *Azospirillum brasilense* na concentração de 3x10⁸ UFC ml⁻¹ sendo utilizados 200 ml ha⁻¹ (duas doses).

Tratamento 2: tratamento 1 mais 120 g ha⁻¹ FMA (1 dose).

Tratamento 3: testemunha (sem aplicação de biológicos).

A aplicação dos fungos micorrízicos foi realizada colocando o produto juntamente com os demais agentes biológicos no inoculador de sulco. Na Figura 3 são apresentadas imagens da semeadora-adubadora utilizada na implantação do experimento 1 (A) e do desenvolvimento da cultura da soja (B, C e D).

Figura 3 – Detalhe da semeadora-adubadora utilizada na implantação do experimento 1 (A) e desenvolvimento da cultura da soja (B, C e D). Tapera-RS, 2022. Fonte: Autor.



A



B



C



D

O experimento 2 foi implantado no dia 20 de novembro de 2021. Na Figura 4 são apresentadas imagens do momento da semeadura (A), das sementes no campo (B) e da cultura da soja em desenvolvimento (C).

Figura 4 – Semeadura das parcelas do experimento 2 (A e B) e cultura da soja em desenvolvimento (C). Tapera-RS, 2022. Fonte: Autor.



A



B



C

A inoculação do agente biológico foi realizada diretamente na semente de forma manual na própria embalagem, pouco antes de adicioná-la nas caixas de sementes da semeadora-adubadora. Foi semeada a cultura da soja, cultivar BMX Ativa. O espaçamento entre linhas de cultivo foi de 45 cm. A população de plantas planejada foi de 297.700 plantas por hectare. A semeadura foi realizada de forma direta, sob resteva de aveia preta, utilizou-se no momento da semeadura 312 kg ha⁻¹ do fertilizante formulado 07-29-07 e 200 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio (KCl) a lanço quatro dias antes do plantio.

Todas as parcelas foram inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* na concentração de 7x10⁹ UFC ml⁻¹ sendo utilizados 100 ml ha⁻¹ (2 doses). O agente biológico utilizado foi fungo micorrízico arbuscular (FMA) *Rhizophagus intraradices*, a partir da aplicação do produto comercial Rootella, que apresenta concentração de 20.800 propágulos por grama. Os tratamentos implantados foram constituídos da aplicação de diferentes doses, sendo eles:

Tratamento 1: testemunha (sem aplicação de FMA).

Tratamento 2: Dose padrão de FMA menos 20%: 96 g ha⁻¹.

Tratamento 3: Dose padrão de FMA: 120 g ha⁻¹.

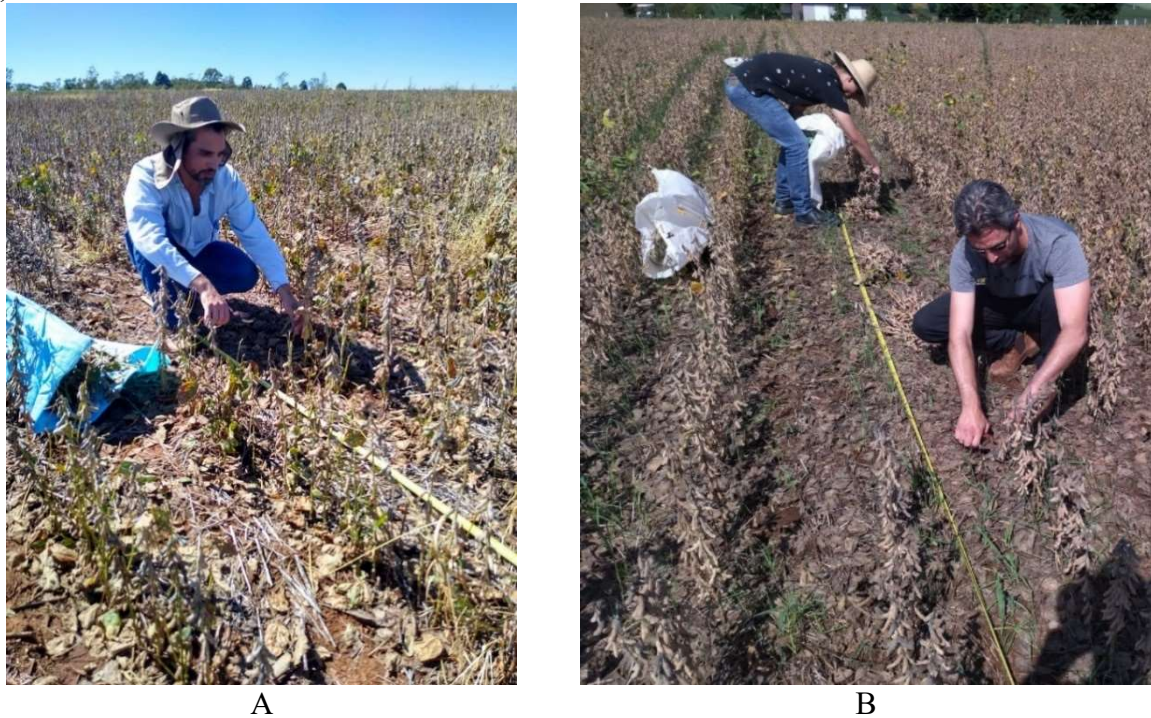
Tratamento 4: Dose padrão de FMA mais 20%: 144 g ha⁻¹.

4.3 AVALIAÇÃO DOS COMPONENTES DE RENDIMENTO

Na avaliação dos componentes de rendimento da cultura da soja, foram colhidas, manualmente, quatro amostras de plantas, representativas de 4 m² (Fig. 5), em cada parcela experimental. Para a colheita manual foi utilizada tesoura de poda. Cada parcela colhida foi agrupada e identificada. Posteriormente procedeu-se com as avaliações.

Para quantificar o número de vagens por planta (NVP), foram retiradas todas as vagens de 10 plantas de cada parcela, depois contou-se o número de vagens. O número de grãos por vagens (NGV) foi obtido a partir da contagem de grãos das vagens utilizadas no cômputo do número de vagens por planta, debulhando-as de forma manual. O peso de mil grãos (PMG, g) foi obtido pesando-se mil grãos. A produtividade (PRD, kg ha⁻¹) foi estimada a partir da pesagem dos grãos colhidos em cada parcela, extrapolando-se o valor obtido para kg ha⁻¹, posteriormente corrigiu-se este valor descontando a umidade, adotando-se como padrão a umidade de 13%.

Figura 5 – Colheita manual das parcelas do experimento 1 (A) e do experimento 2 (B). Tapera-RS, 2022. Fonte: Autor.



4.4 MAPEAMENTO DA VARIABILIDADE ESPACIAL DO NDVI

O mapeamento da variabilidade espacial do NDVI foi realizado no programa computacional Quantum Gis (QGIS Development Team, 2020), versão 3.10.11 (A Coruña). Utilizando o plug-in Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) foi realizado o download das imagens do sensor orbital Sentinel-2. As bandas utilizadas no cálculo do NDVI foram a banda do vermelho (RED, banda 4) e a banda do infravermelho próximo (NIR, banda 8). O plug-in permite a filtragem das imagens com base em um percentual de nuvens, assim, adotou-se o limiar de 20% de nuvens como critério para seleção das imagens. Foram obtidas imagens das áreas de estudo para o período de novembro de 2021 à janeiro de 2022, buscando assim caracterizar as diferenças na biomassa da cultura em função da aplicação dos tratamentos. O NDVI calculado utilizando a Equação 1:

$$NDVI = \frac{\text{banda 8} - \text{banda 4}}{\text{banda 8} + \text{banda 4}} \quad (1)$$

4.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os valores obtidos na avaliação dos componentes de rendimento compuseram o banco de dados utilizados nas análises estatísticas subsequentes. Em um primeiro momento, os valores de NVP, NGV, PMG e PRD foram submetidos a análise estatística descritiva, indicando os valores de mínimo e máximo e calculando-se a média, o desvio padrão (σ) e o coeficiente de variação (CV%). Os valores médios obtidos para NVP, NGV, PMG e PRD, para ambos os experimentos, foram submetidos a análise de variância, aplicando-se o teste F ao nível de 5% de probabilidade.

O delineamento experimental adotado para análise dos resultados observados no experimento 1 foi o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), com 4 repetições. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). O experimento 2, por estudar a aplicação de diferentes doses, foi avaliado empregando análise de regressão linear simples, sendo os coeficientes b_0 e b_1 , testados pelo teste t de student ($p < 0,05$). Todas as análises foram desenvolvidas no programa SISVAR (FERREIRA, 2011).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 EXPERIMENTO 1

Na Tabela 1 é apresentado o resumo estatístico descritivo para o número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), peso de mil grãos (PMG) e produtividade de soja (PRD) em função dos tratamentos estudados. O valor médio da testemunha sempre foi menor que os valores médios dos tratamentos, para todos os componentes de produtividade avaliados e para a produtividade da soja. Estudos conduzidos por Dias e Andrade (2018), demonstraram que o uso de FMA aumentou a produtividade, quando comparado ao tratamento controle, sem influenciar no crescimento da planta, não havendo aumento nos valores da massa seca.

Tabela 1 – Estatística descritiva para o número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), peso de mil grãos (PMG) e produtividade de soja (PRD) em função dos tratamentos estudados. Tapera-RS, 2022. Fonte: Autor.

	Tratamentos	Mínimo	Média	Máximo	Σ	CV(%)
NVP	Padrão	22,80	28,90	33,00	4,37	15,12
	Padrão + Micorriza	28,10	30,65	34,40	2,75	8,98
	Testemunha	20,70	25,50	27,90	3,35	13,14
	Tratamentos	Mínimo	Média	Máximo	Σ	CV(%)
NGV	Padrão	2,10	2,19	2,28	0,07	3,37
	Padrão + Micorriza	2,08	2,24	2,40	0,13	6,01
	Testemunha	1,92	2,04	2,28	0,17	8,20
	Tratamentos	Mínimo	Média	Máximo	Σ	CV(%)
PMG	Padrão	151,31	154,06	158,33	3,04	1,97
	Padrão + Micorriza	165,75	180,00	189,40	11,50	6,39
	Testemunha	149,65	153,10	158,82	4,04	2,64
	Tratamentos	Mínimo	Média	Máximo	Σ	CV(%)
PRD	Padrão	1265,35	1355,49	1541,68	126,14	9,31
	Padrão + Micorriza	1429,35	1605,97	1753,50	154,47	9,62
	Testemunha	1013,58	1329,17	1550,90	254,62	19,16

σ : desvio padrão.

Embora os valores médios observados para os componentes de rendimento número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV) e produtividade (PRD), terem

sido maiores que os valores observados para a testemunha, os mesmos não apresentando diferença estatística significativa pelo teste F na análise de variância. Apenas as médias observadas para o componente de rendimento peso de mil grãos (PMG) apresentaram diferença estatística significativa. Na Tabela 2 é apresentado o resultado da análise de variância para o PMG.

Tabela 2 – Análise de variância para o peso de mil grãos (PMG) em função dos tratamentos estudados. Tapera-RS, 2022. Fonte: Autor.

	FV	g.l	S.Q.	Q.M.	Fc	p<0,05
PMG	Tratamentos	2	1863,758	931,879	17,711	0,0008
	Erro	9	473,545	52,616		
	Total corrigido	11				
	CV(%)	4,47				
	Média geral	162,38				
			Número de observações: 12			

FV: Fator de variação; g.l: graus de liberdade; S.Q.: soma de quadrados do resíduo; Q.M.: quadrado médio; Fc: valor do F calculado; CV(%): coeficiente de variação.

Na Tabela 3 é apresentado o resultado do teste de médias para a variável peso de mil grãos (PMG, g). O tratamento Padrão + Micorriza foi o que apresentou maior PMG, equivalente a 180 g.

Tabela 3 – Teste de médias Tukey para o peso de mil grãos (PMG) em função dos tratamentos estudados. Tapera-RS, 2022. Fonte: Autor.

Tratamentos	Peso de mil grãos (PMG, g)
Padrão	154,06 b
Padrão + Micorriza	180,00 a
Testemunha	153,10 b
DMS = 14,332 Erro padrão: 3,627	

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. DMS: diferença mínima significativa

De acordo com Oliveira et al (2019), plantas de soja quando associadas com FMA e cultivadas em condição não irrigada, obtiveram maior produtividade do que plantas no sistema irrigado, além de maior peso de 1000 grãos. A associação micorrízica promove um maior aporte nutricional e de água para a planta, as hifas aumentam a superfície de contato da planta (raízes) com o solo, pois são muito mais numerosas que as raízes das plantas e conseguem explorar locais onde raízes não conseguem. Isso favorece o desenvolvimento das plantas, mesmo em

anos secos, dada a maior capacidade de buscar por nutrientes, possibilitando um acréscimo no enchimento de grãos, consequentemente um maior peso de grãos.

A supressão de fungos micorrízicos resultou na perda de macroagregados estáveis em água e na perda de proteção física proporcionada pelos agregados que reduziram o carbono do solo (RICE et al., 2004).

5.2 EXPERIMENTO 2

Na Tabela 4 é apresentado o resultado para da estatística descritiva para o número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), peso de mil grãos (PMG) e produtividade de soja (PRD) em função das doses aplicadas.

Tabela 4 – Estatística descritiva para o número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), peso de mil grãos (PMG) e produtividade de soja (PRD) em função das doses aplicadas. Tapera-RS, 2022. Fonte: Autor.

	Doses (g ha ⁻¹)	Mínimo	Média	Máximo	Σ	CV(%)
NVP	0	21,60	22,48	23,70	0,97	4,32
	96	34,40	39,03	43,10	3,57	9,16
	120	38,70	44,63	50,50	5,35	11,99
	144	36,80	42,03	50,00	6,36	15,13
	Doses	Mínimo	Média	Máximo	Σ	CV(%)
NGV	0	2,14	2,29	2,38	0,11	4,59
	96	2,50	2,62	2,80	0,13	4,95
	120	2,58	2,69	2,74	0,08	2,81
	144	2,72	2,77	2,84	0,05	1,82
	Doses	Mínimo	Média	Máximo	Σ	CV(%)
PMG	0	140,70	169,25	187,00	20,38	12,04
	96	160,02	177,52	191,45	13,29	7,49
	120	172,08	186,25	193,44	9,72	5,22
	144	160,54	177,66	190,74	12,94	7,28
	Doses	Mínimo	Média	Máximo	Σ	CV(%)
PRD	0	2913,95	2977,38	3008,15	43,28	1,45
	96	3064,04	3161,52	3286,74	93,70	2,96
	120	2867,26	3286,84	3625,25	313,76	9,55
	144	2766,54	3177,54	3679,86	379,07	11,93

σ: desvio padrão.

Foi possível observar que os maiores valores médios, exceto para a variável NGV, foram obtidos para a aplicação da maior dose (144 g ha⁻¹). Estudos de campo conduzidos por Miranda e Miranda (1997), observaram aumento de cerca de 200 kg ha⁻¹ de grãos de soja em função da utilização de micorriza arbuscular. Além disso houve efeito residual na produtividade no segundo ano de cultivo. As validações agronômicas mostraram que, com a aplicação do fungo para a cultura da soja, o incremento médio de produção de grãos foi de 25% (MAIS SOJA, 2018).

Os componentes de rendimento peso de mil grãos (PMG) e produtividade (PRD) não apresentaram diferença estatística significativa pela análise de variância. Na Tabela 5 é apresentado o resultado da análise de variância para o número de vagens por planta (NVP) e número de grãos por vagem (NGV) em função das doses aplicadas. Os tratamentos influenciaram significativamente nos componentes de rendimento NVP e NGV.

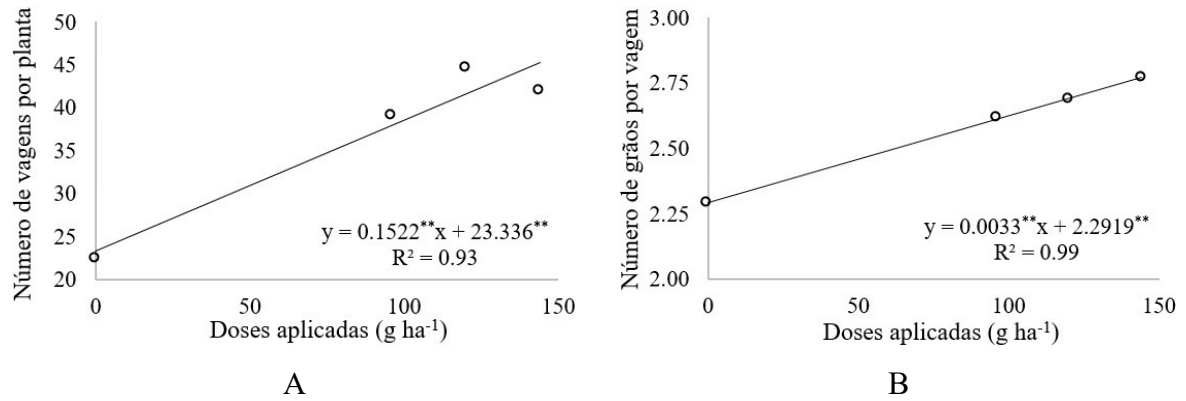
Tabela 5 – Análise de variância para o número de vagens por planta (NVP) e número de grãos por vagem (NGV) em função das doses aplicadas. Tapera-RS, 2022. Fonte: Autor.

	FV	g.l	S.Q.	Q.M.	Fc	p<0,05
NVP	Tratamentos	3	1193,848	397,949	19,228	0,0001
	Erro	12	248,350	20,696		
	Total corrigido	15	1442,198			
	CV(%)	12,28				
	Média geral	37,04				Número de observações: 16
	FV	g.l	S.Q.	Q.M.	Fc	p<0,05
NGV	Tratamentos	3	0,529	0,176	19,548	0,0001
	Erro	12	0,108	0,009		
	Total corrigido	15	0,638			
	CV(%)	3,67				
	Média geral	2,59				Número de observações: 16

FV: Fator de variação; g.l: graus de liberdade; S.Q.: soma de quadrados do resíduo; Q.M.: quadrado médio; Fc: valor do F calculado; CV(%): coeficiente de variação.

Na Figura 6 são apresentados os modelos de regressão para o número de vagens por planta e número de grãos por vagem, em função das doses aplicadas. O modelo linear foi o que apresentou melhor representou os valores médios observados para NVP e NGV em função das doses aplicadas, apresentando coeficientes significativos ao nível de 1% de probabilidade.

Figura 6 – Regressão para o número de vagens por planta (A) e para o número de grãos por vagem (B) em função das doses aplicadas. **coeficiente significativo ao nível de 5% de probabilidade. Tapera-RS, 2022. Fonte: Autor.



Nas Figuras 7 e 8 são apresentados os mapas temáticos da variabilidade espacial do NDVI. Não foi possível identificar diferenças visuais nos mapas de NDVI em função dos tratamentos estudados. Uma hipótese para este resultado é relacionada a escassez de chuva durante o período de desenvolvimento da cultura da soja, o que pode ter influenciado na fisiologia da planta e conseqüentemente impactado na biomassa da parte aérea.

Figura 7 – Mapas temáticos da variabilidade espacial do NDVI na área do experimento 1, no período de novembro de 2021 à janeiro de 2022. Tapera-RS, 2022. Fonte: Autor.

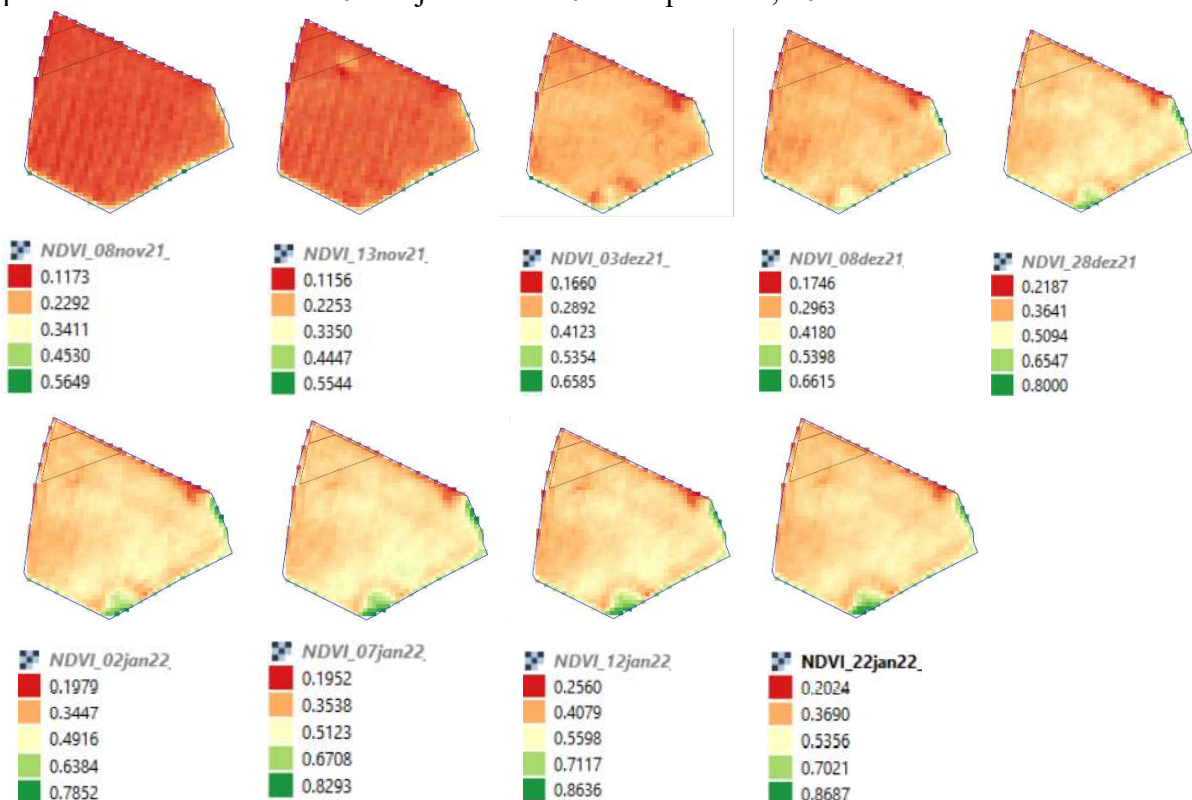
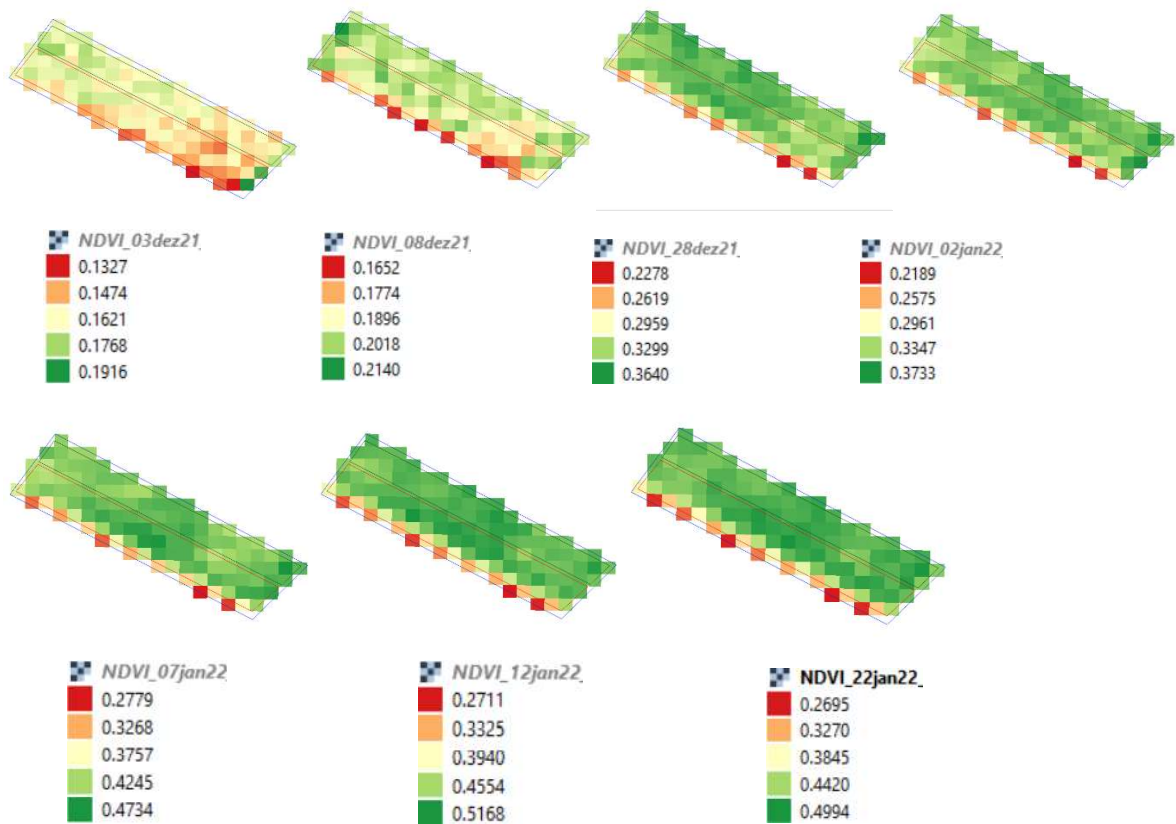


Figura 8 – Mapas temáticos da variabilidade espacial do NDVI na área do experimento 2, no período de dezembro de 2021 à janeiro de 2022. Tapera-RS, 2022. Fonte: Autor.



Estudos conduzidos por MATHUR et al. (2018), indicaram que a colonização micorrízica pode diminuir efeitos negativos de estresses como o déficit hídrico, pela indução do crescimento das hifas, que penetram nas raízes, formando uma extensão. Uma alternativa em potencial para as plantas, em situações propícias ao déficit hídrico é a utilização dos fungos micorrízicos arbusculares (FMA), que fazem simbiose com a maioria das plantas, proporcionando melhores condições de tolerar estresses abióticos (KHALVATI et al. 2010; ZOU et al. 2015). Os benefícios dos FMA às plantas são muitos, proporcionando as plantas melhores condições de potencial hídrico e possibilitando responder positivamente aos efeitos adversos do déficit hídrico (HAMEED et al. 2015).

6 CONCLUSÕES

No experimento 1, a utilização de 250 ml ha⁻¹ de *Bradyrhizobium japonicum* (7x10⁹ UFC ml⁻¹), 200 ml ha⁻¹ de *Azospirillum brasilense* (3x10⁸ UFC ml⁻¹) e 120 g ha⁻¹ FMA (20.800 propágulos por grama), incrementou o peso de mil grãos (PMG), sendo observado 153g para a testemunha e 180g para este tratamento, representando um ganho de 17,65% (27g). Os demais componentes de rendimento não apresentaram diferenças significativas, mas houveram fatores limitantes como o déficit hídrico, embora todos os valores médios observados tenham sido maiores para este tratamento.

A inoculação dos produtos biológicos no sulco no momento da semeadura da soja mostrou-se muito prática, rápida, ágil, não denotando trabalho ou tempo em excesso, sendo inclusive concomitantes os abastecimentos do inoculador e do fertilizante químico.

No experimento 2, a utilização de 100 ml ha⁻¹ de *Bradyrhizobium japonicum* (7x10⁹ UFC ml⁻¹), associada ao aumento no uso de FMA (20.800 propágulos por grama) de 96 para 144 g ha⁻¹, ocasionou incremento no número de vagens por planta e no número de grãos por vagem. Os demais componentes de rendimento não foram influenciados pelos tratamentos.

Os tratamentos estudados, em ambos os experimentos, não influenciaram no NDVI, independente do estágio de desenvolvimento da cultura da soja em que este índice de vegetação foi estimado.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho demonstra o quanto bioinsumos podem fazer a diferença no agronegócio, seja aumentando a produtividade ou simplesmente baixando os custos. Insumos biológicos vinham ficando de lado em detrimento aos produtos químicos, porém existe uma vertente onde os trabalhos científicos estão trazendo à tona um leque de possibilidades no que tange a utilização de microrganismos benéficos ao sistema agrícola e as plantas cultivadas.

A simbiose benéfica entre fungos e plantas tem evidências que remetem a 450 milhões de anos atrás. A agricultura moderna em função de algumas práticas invasivas ao solo, também de produtos químicos e fertilizantes agressivos à microbiota tem trazido grande desequilíbrio da vida do solo e a esta relação simbiótica.

Com a utilização de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) na implantação das culturas de lavoura como a soja, tem-se a possibilidade de trazer um equilíbrio à relação solo planta, ampliando a capacidade do sistema radicular da planta, possibilitando além do tamanho e do número de raízes uma rede micelial bastante abrangente com a função de alcançar os nutrientes e a água presentes no solo, que a planta sozinha não alcançaria.

Em uma safra de soja como essa, onde na região de implantação do experimento a estiagem foi muito drástica tendo um regime hídrico extremamente mau distribuído no período de início de novembro ao final de janeiro de 160mm, fevereiro e março de 243mm de chuva totalizando 403mm, sendo esse o período de desenvolvimento da cultura que tinha como cultivar o BMX Ativa de ciclo determinado, o FMA demonstrou um bom desempenho na questão da produtividade, possibilitando um incremento na ordem de 5,82% a 17,23%.

Não houve diferença significativa entre as doses do tratamento, muito possivelmente em virtude de haver um grande número de propágulos do fungo que mesmo na dose menor permite a colonização eficiente das raízes. O fato de não ter sido possível observar diferença significativa na biomassa, pode ter relação com o fato da cultivar de soja ter tido drásticos distúrbios fisiológicos ao longo do ciclo em função da estiagem, onde houve formação de plantas baixas, inserção de vagens junto ao solo, prolongamento do ciclo da cultura em até 23% do tempo esperado e dificuldade de perda de umidade para a colheita.

A curto prazo, a utilização do FMA já mostra vantagens em produtividade e conseqüentemente na rentabilidade, mas a médio e longo prazo os benefícios podem ser ainda ampliados como interação e sinergismos com bactérias de vida livre e a produção de glomalina, substância que auxilia a fixação e a agregação das partículas do solo promovendo uma melhor estrutura física no solo no quesito de micro e macro poros, assim como seqüestra

metais pesados, reduzindo a disponibilidade e o risco de toxicidade destes elementos aos microrganismos e plantas.

Em uma análise econômica realizada com o proprietário da área onde foi instalado o experimento 1, tem-se os custos do fertilizante a base de fósforo (Top Phos 280) utilizado na safra 2021/2022 onde foram gastos R\$ 3.450,00 ton^{-1} , sendo utilizados 250 kg ha^{-1} , aferindo um custo de R\$ 862,50 ha^{-1} . Com o aumento do custo do mesmo fertilizante na mesma dose para a safra 2022/2023 este valor ficou em R\$ 1.337,50 ha^{-1} , sendo que o custo do FMA comercial (Rootella BR) para ambas as safras e na dose recomendada ficou em R\$ 180,00 ha^{-1} .

Apesar da produtividade não apresentar diferença estatística significativa pela análise de variância, houve diferença na produtividade claramente notada no experimento 1 onde a utilização do FMA proporcionou o incremento de 17,23% sobre a produtividade da testemunha e no experimento 2 o incremento de produtividade variou entre 5,82%, 6,30% e 9,42%. Esses incrementos à nível de lavoura comercial são bastante significativos. Muitas são as possibilidades e oportunidades nesta área, evidencia-se portanto, a necessidade de estudos futuros mais aprofundados e direcionados para validar outros demais resultados.

Os experimentos 1 e 2 foram desenvolvidos em áreas com teores de fósforo muito alto e alto respectivamente, portanto sugere-se conduzir experimentos com FMA em solos com menores teores de fósforo para aferir melhor os resultados específicos deste nutriente.

Indica-se repetir ensaios com FMA em diferentes anos, manejos, tecnologias, condições e culturas para desta forma ampliar o leque de conhecimentos sobre este bioinsetsumo e suas mais variadas interações.

Os produtores vislumbraram benefícios econômicos no que tange o aumento de produtividade da cultura da soja.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, F. M.; HAMAWAKI, O. T.; REZENDE, D. F.; SOUSA, L. B. **Genótipos de soja em quatro épocas de semeadura e populações de plantas, em Uberlândia - MG.** Revista Verde (Mossoró – RN – Brasil) v.5, n.4, 2010, p. 124 – 129.

BRAGA, G. **O pH do Solo e a Disponibilidade de Nutrientes.** Disponível em: <<https://agronomiacomgismonti.blogspot.com/2012/01/o-ph-do-solo-e-disponibilidade-de.html>>. Acesso em: 20/08/2021.

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

CANAL RURAL. Origem e história da soja no Brasil. 2017. Disponível em: <<https://blogs.canalrural.com.br/embrapasoja/2017/04/05/origem-e-historia-da-soja-no-brasil/>> Acesso em: 21/08/2021.

CANDIAGO, S.; REMONDINO, F.; DE GIGLIO, M.; DUBBINI, M.; GATTELI, M. Evaluating multispectral images and vegetation indices for precision farming application from UAV images. **Remote Sensing**, v. 7, p. 4026-4047, 2015.

CARRÃO-PANIZZI, M. C.; BERTAGNOLLI, P. F.; STRIEDER, M. L.; COSTAMILAN, L. M.; MOREIRA, J. U. V. **Melhoramento de Soja para Alimentação Humana na Embrapa Trigo – Safra Agrícola 2011/2012.** Passo Fundo/RS. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Trigo. ISSN 1516-5582, p. 27-31, 2012.

CARRÃO-PANIZZI, M.C.; SILVA, J.B. **Soja na alimentação humana: qualidade na produção de grãos com valor agregado.** In: CONGRESO DE LA SOJA DEL MERCOSUR - MERCOSOJA, 5., 2011, Rosário. Resumos. Rosário: Asociaciós de la Cadena de la Soja Argentina (ACSOJA), p. 1-3, 2011.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Safra brasileira de grãos.** julho, 2022. Disponível em: < <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/gaos>>. Acesso em: 10 jul. 2022.

CORDEIRO, J. P.; CÂMARA, G.; MOURA, U. F.; BARBOSA, C. C.; ALMEIDA, F. Algebraic Formalism over Maps. In: Simpósio Brasileiro de Geoinformática, 7. (GEOINFO), 2005, Campos do Jordão. **Proceedings...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 49-65.

DIAS, G.A.O., ANDRADE G. **Avaliação da eficiência do inoculante de fungo micorrízico arbuscular *glomus clarum* na produção das culturas de soja (*glycine max*) e de algodão (*gossypium hirsutum* l) em condições de campo.** In: 8º ENCONTRO ANUAL DE INICIAÇÃO TECNOLÓGICA E INOVAÇÃO, set. 2018, Londrina. Anais. <<http://www.eaiti.uem.br/eaiti2018/anais/artigos/142.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2022.

DORAN, J. W. Soil quality and sustainability. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. **Anais. Rio de Janeiro**, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997.

DÖRNHÖFER, K.; OPPELT, N. Remote sensing for lake research and monitoring – recent advances. **Ecological Indicators**, v. 64, p. 105-122, 2016.

EMBRAPA (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA). Tecnologias de produção de soja – Região Central do Brasil 2011. - Londrina: Embrapa Soja, 2010. 268 p. (Embrapa Soja. Sistemas de produção, 14). Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/busca-de-publicacoes/-/publicacao/864927/tecnologias-de-producao-de-soja---regiao-central-do-brasil-2011>> Acesso em: 20/08/2021.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, Emprapa Informação Tecnológica. 355p. 2018.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 10 p. (Embrapa soja, circular técnica, 48). Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/busca-de-publicacoes/-/publicacao/470308/ecofisiologia-da-soja>> Acesso em: 20/08/2021.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciênc. agrotec.**, (Impr.); v. 35, n. 6, p.1039-1042, Nov.-Dec. 2011.

FLOSS, E. L. **Fisiologia das plantas cultivadas**: O estudo que está por trás do que se vê. Passo Fundo: Editora da Universidade de Passo Fundo, p. 147, 2004.

FLOSS, E. L. **Maximizando o rendimento de soja**: Ecofisiologia, nutrição e manejo. Passo Fundo: Editora Aldeia Sul, p. 416, 2021.

FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; TONON, B. C.; FARIAS, J. R. B.; OLIVEIRA, M. C. N. de; TORRES, E. 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.

HAMEED, A.; WU, Q. S.; ABD-ALLAH, E. F.; HASHEM, A.; KUMAR, A.; LONE, H. A.; AHMAD, A. Role of AM fungi in alleviating drought stress in plants. In: MIRANSARI M. (Ed.). Use of microbes for the alleviation of soil stress. New York: Springer. p.55–75, 2015.

HOYOS-VILLEGAS, V.; FRITSCHI, F. B. Relationships among vegetation indices derived from aerial photographs and soybean growth and yield. **Crop Science**, v. 53, p. 2631-2642, 2013.

HYMOWITZ, T. On the domestication of the soybean. **Economic Botany**, v. 24, p.408-21, 1970.

JESUS, S. C.; MIURA, A. K. Análise de regressão linear múltipla para estimativa do índice de vegetação melhorado (EVI) a partir das bandas 3, 4 e 5 do sensor TM/Landsat5. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, 2009, Natal. **Anais...** Natal: INPE, p.1103-1110, 2009.

JORGE, L. A. C.; INAMASU, R. Y. Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em agricultura de precisão. In: BERNARDI, A. C. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V. de; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (Ed.). **Agricultura de precisão**: resultados de um novo olhar. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 109-134.

JIANG, A.C.D.; GAOB, H.Y.; ZOUB, Q.; JIANGA, G.M.; LIA, L. H. Leaf orientation, photorespiration and xanthophyll cycle protect young soybean leaves against high irradiance in field. **Environmental and Experimental Botany**, p.1-10, 2004.

KHALVATI, M.; BARTHA, B.; DUPIGNY, A.; SCHRÖDER, P. Arbuscular mycorrhizal association is beneficial for growth and detoxification of xenobiotics of barley under drought stress. **Journal of Soils and Sediments** v. 10, p. 54–64. 2010.

LIRA, V.M.; SILVA, B.B.; DANTAS, N. J.; FARIAS, M.S.S.; BEZERRA, M.V.C.; FRANCO, E.S.; CENTERO, C.R.M. Análise espectral de índice de vegetação em área irrigada com cana. Engenharia Ambiental: **Pesquisa e Tecnologia**, v.6, p.113-120, 2009.

MAGALHÃES, C.M. Introdução e evolução da soja no Brasil. 2. No Rio Grande do Sul. In: MIYASAKA, S. & MEDINA, J. C. eds. **A soja no Brasil**. Campinas, ITAL, 1981. p.18-20.

MAIMAITIJIANG, M.; GHULAM, A.; SIDIKE, P.; HARTLING, S.; MAIMAITIYIMING, M.; PETERSON, K., SHAVERS, E.; FISHMAN, J.; PETERSON, J.; KADAM, S.; BURKEN, J.; FELIX F. Unmanned Aerial System (UAS)-based phenotyping of soybean using multi-sensor data fusion and extreme learning machine. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 134, p. 43-58, 2017.

MAIS SOJA. Inoculante inédito, a base de fungo micorrízico, é lançado no Brasil. 2018. Disponível em:< <https://maissoja.com.br/inoculante-com-micorriza-arbuscular-inedito-e-lancado-no-brasil/>> Acesso em: 15/09/2022.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. New York: Academic Press, 1995. 889 p.

MATHUR, S.; SHARMA, M. P.; JAHOO, A. Improved photosynthetic efficacy of maize (*Zea mays*) plants with Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) under high temperature stress. **Journal of Photochemistry and Photobiology**, v. 180, p. 149–154. 2018.

MATIAS, S.S.R.; BAPTISTEL, A.C.; NÓBREGA, J.C.A.; ANDRADE, F.R. & SILVA, J.B.L. (2015) - **Variabilidade espacial dos atributos do solo em duas áreas de manejo convencional no Cerrado piauiense**. Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences, vol. 58, n. 2, p. 217-227.

MIRANDA, J. C. C.; MIRANDA, L. N. Micorriza Arbuscular. In: VARGAS, M. A.; HUNGRIA, M. (Ed). **Biologia dos solos dos Cerrados**. Brasília: EMBRAPA-CPAC, 1997. p. 69-123.

MIRANDA, J. C. C. de; VILELA, L.; MIRANDA, L. N. de. **Dinâmica e contribuição da micorriza arbuscular em sistemas de produção com rotação de culturas**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 40, n. 10, p. 1005-1014, out. 2005.

MOLIN, J. P.; FRASSON, F. R.; AMARAL, L. R.; POVH, F. P.; SALVI, J. V. Capacidade de um sensor ótico em quantificar a resposta da cana-de-açúcar a doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 12, p. 1345-1349, 2010.

MONTANARI, R.; PANACHUKI, E.; LOVERA, L.H.; CORREA, A.R.; OLIVEIRA, I.S.; QUEIROZ, H.A. & TOMAZ, P.K. (2015) - **Variabilidade espacial da produtividade de sorgo e de atributos do solo na região do Ecótono Cerrado-Pantanal, MS**. Revista Brasileira Ciências do Solo, vol. 39, n. 2, p. 385-396.

MORSE, W.J. **History of soybean production**. In: MARKLEY, K. S. Soybeans and soybean products. New York, Interscience. 1950. p.3-59.

OLIVEIRA, T. C.; UEHARA, H. M; SILVA, L. D.; TAVARES, G. G.; SANTANA, L. R.; CABRAL, J. S. R.; SOUCHIE, E. L.; MENDES, G. C.; **Produtividade da soja em associação ao fungo micorrízico arbuscular *Rhizophagus clarus* cultivada em condições de campo**. Lages. Revista de Ciências Agroveterinárias, 2019. p. 530-535.

POLSAPALLI, S. **Development of software to process aerial images for agricultural purposes**. 2005. 151 p. Thesis, Master of Science in Biological and Agricultural Engineering, Graduate Faculty of the Louisiana State University, Louisiana, 2005.

PORTO, A. L.; MIRANDA, C. H. B.; MACEDO, M. C. M. **Distribuição de esporos de fungos micorrízicos em solo dos Cerrados sob diferentes sistemas de produção agropecuária**. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2003. 23 p.

QGIS Development Team, 2020. **QGIS Geographic Information System**. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia vegetal**. 5.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S.A., 1996. 728p.

REIS, B.G. **O feijão soja, uma máquina de produzir utilidades**. Porto Alegre, Secretaria da Agricultura do Rio Grande do Sul, 1956. 8p. (Circular, 41).

REMUSI, C. & PASCALE, A.J. **La soya, cultivo, mejoramento, comercialization, usos**. 2.ed. Buenos Aires, Ministério de Agricultura & Ganaderia, 1977. 104p. (Enciclopedia Argentina de Agricultura y Ganaderia,2).

RICE, C.W.; WHITE, P.M.; FABRIZZI, K.P.; WILSON, G.W.T. **Managing the microbial community for soil carbon management**. In: 3RD AUSTRALIAN NEW ZEALAND SOILS CONFERENCE, 5 p. – 9 December 2004.

RIZZI, R.; RUDORFF, B. F. T. Imagens do sensor MODIS associadas a um modelo agrônômico para estimar a produtividade de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 1, p. 73-80, 2007.

ROSENDO, J. dos S. **Índices de Vegetação e Monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal na Bacia do rio Araguari -MG - utilizando dados do sensor Modis**. 2005. 130 p. Dissertação (Mestrado em Geografia e Gestão do Território) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2005.

SAKAMOTO, T.; GITELSON, A. A.; NGUY-ROBERTSON, L.; ARKEBAUER, T. J.; WARDLOW, B. D.; SUYKER, A. E.; VERMA, S. B.; SHIBAYAMA, M. An alternative method using digital cameras for continuous monitoring of crop status. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 154, p. 113- 126, 2012.

SAMSEEMOUNG, G.; SONI, P.; JAYASURIYA, H. P. W.; SALOKHE, V. M. Application of low altitude remote sensing (LARS) platform for monitoring crop growth and weed infestation in a soybean plantation. **Precision Agriculture**, v. 13, p. 611-627, 2012.

SHIBLES, R.; ANDERSON, I.C.; GIBSON, A. H. Soybean. In: EVANS, L. T. (Ed.). **Crop physiology**. Cambridge: University Press, 1975. p. 151-189.

SILVA, M. S.; NAVES, M. M. V.; OLIVEIRA, R. B.; LEITE, O. S. M. **Composição química e valor proteico de resíduo de soja em relação ao grão de soja**. Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 26, n. 3, p. 571-576, 2006.

SIQUEIRA, J. O.; FRANCO, A. A. **Biotechnologia do solo: fundamentos e perspectivas**. Brasília: MEC/ABEAS/ESAL/FAEPE, 1988, 236p.

SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. **Microbiologia do solo e sustentabilidade agrícola: enfoque em fertilidade do solo e nutrição vegetal**. In: Reunião Brasileira em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 22, 1996, Manaus. Resumos... Manaus: SBCS,1996, p.1-42.

SOUZA, V. C.; SILVA, R. A.; CARDOSO, G. D.; BARRETO, A. F. **Estudos sobre fungos micorrízicos**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v. 10, n. 3, p. 612-618, 2006.

VERNETTI, F. de J. **A cultura da soja no Paraguai**. Montevideo, IICA/OEA, 1974. 56p.

VIEIRA, R. F.; SILVA, C. M. M. de S.; SILVEIRA, A. P. D. da; TEIXEIRA, M. A. **Biomassa microbiana e processos simbióticos associados à soja em solo tratado com herbicida sulfentrazone**. In: Fertibio; reunião brasileira de fertilidade do solo e nutrição de plantas, 27.; reunião brasileira de micorrizas, 11.; simpósio brasileiro de microbiologia do solo, 9.; reunião brasileira de biologia do solo, 6., 2006, Bonito, MS. Bonito, MS: SBM, Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. p. 1-4.

VON BUEREN, S. K.; BURKART, A.; HUENI, A.; RASCHER, A.; TUOHY, M. P.; YULE, I. J. Deploying four optical UAV-based sensors over grassland: challenges and limitations. **Biogeosciences**, v. 12, p. 163-175, 2015.

WILSON, G.W.T.; RICE, C.W.; RILLIG, M.C.; SPRINGER, A.; HARTNETT, D.C. **Soil aggregation and carbon sequestration are tightly correlated with the abundance of arbuscular mycorrhizal fungi: results from long-term field experiments.** *Ecology Letters*, n. 12, p. 452–461, 2009.