



UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL – UFFS

CAMPUS CERRO LARGO

CURSO DE AGRONOMIA

JULIO ROBERTO PELLEZ

**INOCULAÇÃO DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES NA
MANDIOCA CULTIVADA SOB DIFERENTES DOSES DE ADUBAÇÕES
FOSFATADAS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Cerro Largo

2016

JULIO ROBERTO PELLENZ

**INOCULAÇÃO DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES NA
MANDIOCA CULTIVADA SOB DIFERENTES DOSES DE ADUBAÇÕES
FOSFATADAS**

Trabalho apresentado à Universidade
Federal da Fronteira Sul para obtenção do
grau de Bacharel em Agronomia

Orientador: Prof. Dr. Renan Costa Beber Vieira

Cerro Largo

2016

DGI/DGCI - Divisão de Gestão de Conhecimento e Inovação

Pellenz, Julio Roberto

Inoculação de Fungos Micorrízicos Arbusculares na
Mandioca cultivada sob diferentes doses de Adubações
Fosfatadas/ Julio Roberto Pellenz. -- 2016.

40 f.:il.

Orientador: Renan Costa Beber Vieira.

Trabalho de conclusão de curso (graduação) -
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de
Agronomia , Cerro Largo, RS, 2016.

1. Manihot esculenta. 2. Rhizophagus clarus. 3.
Micorriza. I. Vieira, Renan Costa Beber, orient. II.
Universidade Federal da Fronteira Sul. III. Título.

JULIO ROBERTO PELLEZ

**INOCULAÇÃO DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES NA
MANDIOCA CULTIVADA SOB DIFERENTES DOSES DE ADUBAÇÕES
FOSFATADAS**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado para obtenção de grau de Bacharel em Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul.

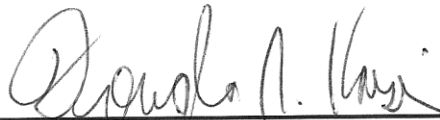
Orientador: Prof. Dr. Renan Costa Beber Vieira

Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e aprovado pela banca examinadora em 28 / 11 / 2016

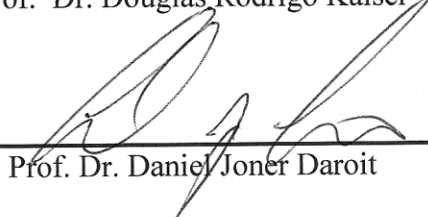
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Renan Costa Beber Vieira



Prof. Dr. Douglas Rodrigo Kaiser



Prof. Dr. Daniel Joner Daroit

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela vida, pelo amor, e por ter dado seu Filho para salvar este mundo.

Agradeço também aos meus pais e minha família, que não mediram esforços para que eu chegasse a esta etapa de minha vida.

Agradeço aos professores, que em cada novo aprendizado despertaram o interesse em aprender cada vez mais.

À Universidade Federal da Fronteira Sul, pela oportunidade de realizar o curso de Agronomia.

Ao professor doutor Renan Costa Beber Vieira, pela disponibilidade em me orientar na execução de mais esta etapa do curso, e por todo apoio e incentivo que me deu durante a realização do TCC.

Ao Centro Internacional de Cultura de Glomeromycota (CICG – FURB) pela cedência do inóculo, e ao sr. Jacó Damke pela cedência das manivas de mandioca.

Às minhas amigas, amigos e colegas, que participaram de forma direta na realização deste trabalho, assim como aos que deram incentivos, ideias, críticas e sugestões para realização do mesmo.

A todos, o meu muito obrigado.

Só podemos ver bem com o coração.

O essencial é invisível aos olhos.

Antoine de Saint-Exupéry

(O Pequeno Príncipe)

RESUMO

A mandioca é a principal fonte de carboidratos para milhões de pessoas no mundo. Para atingir boas produtividades, a mesma depende de associações de suas raízes com fungos micorrízicos arbusculares (FMA), que auxiliam na absorção de água e nutrientes, mesmo em solos com maior acidez e baixa disponibilidade de nutrientes. A cultura apresenta uma alta absorção de nutrientes do solo, apesar de possuir uma baixa área superficial específica devido às suas raízes grossas, o que explicita a sua alta dependência micorrízica. FMAs também são importantes na absorção de fósforo (P), elemento essencial para as culturas agrícolas, que é encontrado em baixas concentrações na solução do solo, principalmente em solos tropicais, demandando grande energia da planta para absorvê-lo. Além disso, as rochas fosfatadas, das quais provém a maior parte dos fertilizantes fosfatados são um recurso natural não-renovável, podendo se esgotar ainda neste século se mantido o ritmo atual de consumo de fertilizantes. Estudos em casa de vegetação, com solo esterilizado, avaliando os efeitos da inoculação com FMAs na cultura da mandioca já foram realizados, apresentando resultados significativos. Porém, em condições à campo, os poucos trabalhos publicados indicam haver uma grande interação com os FMAs nativos do solo, já adaptados ao ecossistema edáfico. A inoculação com cepas mais eficientes pode promover um aumento na absorção de água e nutrientes, e consequentemente aumentos de produtividade. Objetivou-se neste trabalho avaliar se os FMAs inoculados conseguem se sobressair aos FMAs nativos do solo, em diferentes doses de adubação fosfatada, visando analisar se a inoculação pode reduzir a dose de P necessária para se atingir a máxima eficiência econômica (MEE). O experimento foi instalado na área experimental da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) – *Campus* Cerro Largo/RS, em delineamento blocos ao acaso (DBC), num esquema fatorial 2x4, com e sem inoculação de *Rhizophagus clarus* e 4 doses de P (0, 30, 60 e 120 kg ha⁻¹). A adubação fosfatada foi realizada no plantio, com adubo depositado na cova, juntamente com a maniva e o inoculante. As adubações nitrogenada e potássica foram realizadas em cobertura, 45 dias após o plantio (DAP). A colheita foi realizada aos 7 meses após o plantio. As variáveis analisadas foram produtividade fresca de raízes com casca, teor de amido nas raízes, densidade de esporos no solo e teor de P e N nas raízes. Não houve diferenças estatísticas entre os tratamentos para as variáveis analisadas. A presença de esporos também nos tratamentos não inoculados indica que os FMAs nativos tiveram a mesma eficiência na absorção de nutrientes que os FMAs inoculados. A adubação fosfatada não apresentou influência na população de FMAs nas dosagens estudadas.

Palavras-chave: *Manihot esculenta*. *Rhizophagus clarus*. Micorriza.

ABSTRACT

Cassava is the main source of carbohydrates for millions of people around the world. To obtain better yields, the same depends of associations in its roots with arbuscular mycorrhizal fungal (AMF), which helps in the absorption of water and nutrients, even in soils with high acidity and low nutrients availability. The crop presents high rates of nutrients absorption, although with low specific surface area because its thick roots, which explains your high mycorrhizal dependence. AMF are also important in phosphorus (P) absorption, essential for agricultural crops, found in low concentration in soil solution, mainly in tropical soils, which requires lots of energy of the plant to absorb it. Furthermore, phosphate rocks, which provide the most of phosphate fertilizers are a nonrenewable natural resource, may run out still in this century remained the current rate of fertilizers consume. Greenhouse researches, with sterilized soil, were made to evaluate the effects of inoculation with AMF in cassava crop, and presents significant results. However, in field conditions, the few research published demonstrate a big interaction with AMF indigenus from soil, already adapted to the edaphic ecosystem. The inoculation with more efficient strains can promote an increase on nutrients and water absorption, and consequently yields increase. This work aimed to evaluate if the AMF inoculated can excel the AMF indigenus from the soil, in different rates of phosphate fertilizing, aiming to evaluate if the inoculation can reduce the rate of P needed to obtain the maximum economy efficiency (MEE). The experiment was located in the research area of the Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) – *Campus Cerro Largo/RS*, with random block design, in factorial scheme 2x4, with and without inoculation of *Rhizophagus clarus* and 4 rates of P (0, 30, 60, 120 kg ha⁻¹). The phosphate fertilization was applied on planting, with fertilizer located on furrow, together with the stem cuttings and the inoculum. The nitrogen and potassic fertilization was applied in road cast, 45 days after planting (DAP). The harvest occur 7 months after planting. The variables analyzed were fresh tuber yields with peels, starch content in roots, spores density in soil and P and N level on roots. There was no statistical difference for the analyzed variables. The presence of spores also in non-inoculated treatments mains that indigenus AMF has the same efficiency in nutrient uptake than inoculated AMF. Phosphate fertilizing doesn't influence in AMF population in the rates studied.

Key words: *Manihot esculenta*. *Rhizophagus clarus*. Mycorrhiza.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 - Evolução da produção de mandioca nos quatro países maiores produtores do mundo (1961-2014).....	13
Figura 02 – Dados meteorológicos ocorridos durante o período do experimento	27
Figura 03 – Densidade de esporos nos tratamentos com e sem inoculação, nas doses de 0 e 120 kg ha ⁻¹ (média de três repetições)	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Laudo de análise química do solo	21
Tabela 02 – Análise de variância para a variável produtividade	28
Tabela 03 - Produtividade de raízes de mandioca com casca, em Mg ha ⁻¹ , em função de diferentes doses de fósforo, com e sem inoculação de <i>Rhizophagus clarus</i>	29
Tabela 04 - Teor de amido em raízes de mandioca, em %, em função de diferentes doses de fósforo, com e sem inoculação de <i>Rhizophagus clarus</i> (média de 4 blocos)	32
Tabela 05 – Teor de nitrogênio em raízes de mandioca descascadas, em g kg ⁻¹ , em função de diferentes doses de adubação fosfatada, com e sem inoculação de <i>Rhizophagus clarus</i> (média de 4 blocos)	32
Tabela 06 – Teor de fósforo em raízes de mandioca descascadas, em mg kg ⁻¹ , em função de diferentes doses de adubação fosfatada, com e sem inoculação de <i>Rhizophagus clarus</i> (média de 4 blocos)	33

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1 A CULTURA DA MANDIOCA	12
2.2 FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES (FMAs)	14
2.3 FMAs NA CULTURA DA MANDIOCA	18
3 METODOLOGIA	20
3.1 LOCAL DO EXPERIMENTO	20
3.2 TRATAMENTOS	20
3.3 COLETA DE SOLO E PREPARO DA ÁREA	20
3.4 INÓCULO UTILIZADO E CONTAGEM DE ESPOROS	21
3.5 TRATAMENTOS CULTURAIS E COLHEITA	22
3.6 AVALIAÇÕES	22
3.6.1 Produtividade de raízes	22
3.6.2 Densidade de esporos	23
3.6.3 Teor de amido	23
3.6.4 Teores de fósforo (P) e nitrogênio (N)	24
3.6.5 Análise estatística	26
3.7 DADOS METEOROLÓGICOS	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
4.1 PRODUTIVIDADE	28
4.2 DENSIDADE DE ESPOROS	30
4.3 TEOR DE AMIDO	31
4.4 TEORES DE FÓSFORO E NITROGÊNIO NAS RAÍZES.....	32
5 CONCLUSÕES	34
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
REFERÊNCIAS	36

1 INTRODUÇÃO

A cultura da mandioca é bastante difundida no Brasil, devido a sua ampla adaptação em diversas condições de clima e solo. Seu cultivo apresenta grande importância para os agricultores familiares de população de baixa renda, podendo ser consumida de diversas formas, além de ser uma boa fonte energética para humanos e animais.

A mandioca, apesar de se desenvolver em solos “pobres” sob o conceito mineralista e possuir raízes grossas, o que reduz a área superficial específica para absorção de água e nutrientes, atinge altas produtividades, mesmo sem correção da acidez e da fertilidade do solo. Esse fato se deve ao papel dos fungos micorrízicos arbusculares (FMA), essenciais para o desenvolvimento da cultura, característica essa conhecida como dependência micorrízica.

Solos tropicais, aos quais a mandioca melhor se adapta, são geralmente pobres em fósforo, necessitando grandes quantidades de adubos fosfatados para se atingir altas produtividades. Além disso, o fósforo aplicado na agricultura provém de rochas fosfatadas, que estão se tornando escassas no mundo, o que mostra a necessidade de se fazer uso racional deste recurso.

Apesar de serem encontrados FMAs nativos no solo, a inoculação com espécies e cepas mais eficientes pode aumentar a absorção de água e nutrientes do solo, resultando em uma planta mais sadia e com maior produção.

Com isso, justifica-se a necessidade da realização de experimentos para avaliar a efetividade da inoculação micorrízica em solo “não-estéril”, bem como estudos que contemplem o efeito da inoculação com diferentes doses de fósforo, visando descobrir se a inoculação representa um aumento da produtividade frente aos FMAs nativos, e se a dose de fósforo pode interferir na simbiose planta – FMA.

A pesquisa objetiva avaliar a contribuição da inoculação com FMAs na produção de raízes da mandioca e verificar quais as doses de adubação fosfatada mais eficientes na condição inoculada e não-inoculada.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A CULTURA DA MANDIOCA

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é uma planta arbustiva, perene, pertencente à família *Euphorbiaceae*, originária da América do Sul, provavelmente do Brasil (PASCOAL FILHO; SILVEIRA, 2012). Seu cultivo é de grande relevância econômica, como principal fonte de carboidratos para milhões de pessoas, principalmente em países em desenvolvimento (FRAIFE FILHO; BAHIA, 2015).

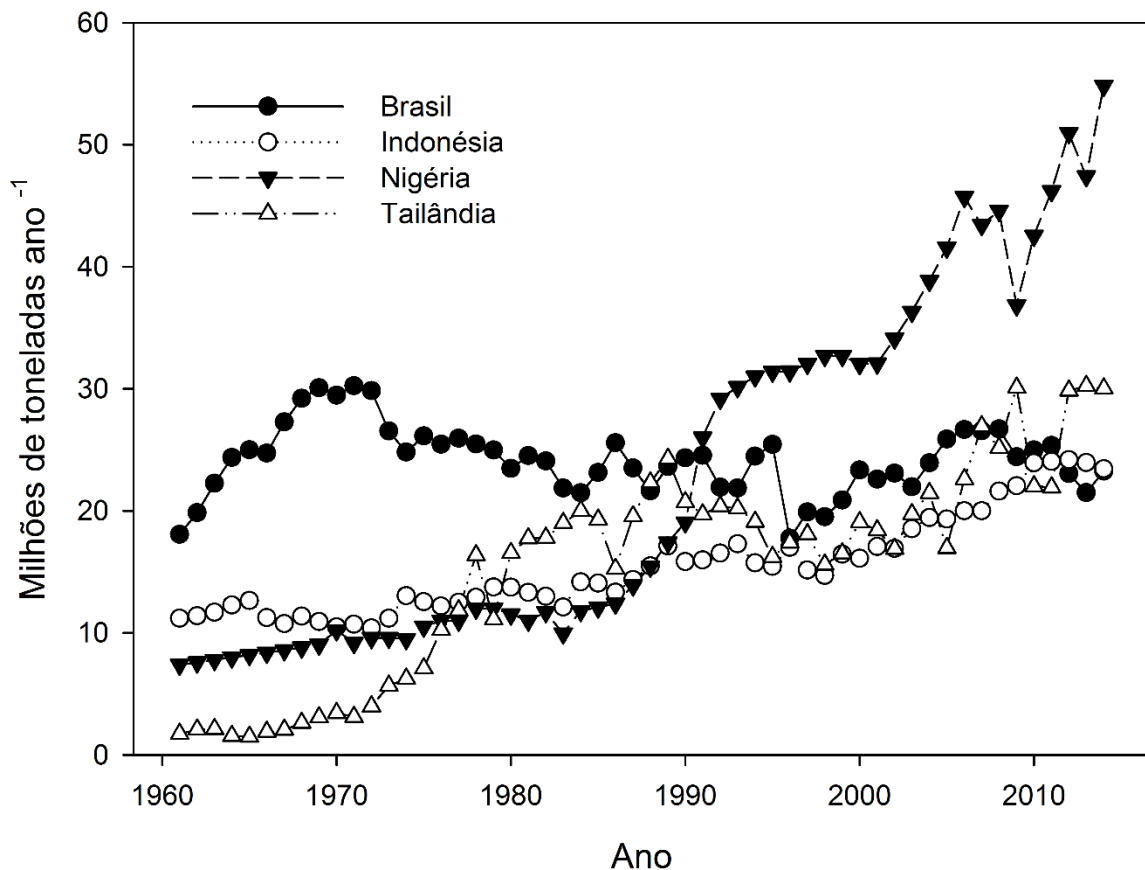
Depois da cana-de-açúcar, é a cultura que mais produz calorias por área (HOWELER, 1981 apud COLOZZI FILHO; NOGUEIRA, 2007). Essa alta eficiência na produção de carboidratos mostra o seu potencial para a produção de biocombustíveis (MALUF; MATZENAUER; MALUF, 2011).

Sua produção vem crescendo nos últimos anos, principalmente nos países africanos e asiáticos, onde a cultura representa uma das principais fontes energéticas para a população e garantia de emprego e renda para boa parte da população (SANTOS; MATIAS; BARBOSA, 2011).

O Brasil ocupa o quarto lugar na produção mundial de mandioca, atrás da Nigéria, Tailândia e Indonésia (FAO, 2016). A produção brasileira na safra 2015 foi de 22,7 milhões de toneladas, com maiores produções concentradas nos estados do Pará, Paraná e Bahia, com 4,8, 3,9 e 1,8 milhões de toneladas, respectivamente (IBGE, 2016).

Durante vários anos o Brasil foi maior produtor mundial de mandioca. Porém, nas últimas duas décadas, a Nigéria teve um aumento expressivo na sua produção, passando a ocupar o primeiro lugar no ranking mundial. Nos últimos anos, a Indonésia e a Tailândia também superaram o Brasil, passando este a ocupar o quarto lugar no ranking mundial (Figura 1), apesar de ser o centro de origem da mandioca.

Figura 01 - Evolução da produção de mandioca nos quatro países maiores produtores do mundo (1961-2014).



Fonte: Elaborado pelo autor (dados adaptados de FAO, 2016).

A produção brasileira vem caindo nos últimos anos, devido aos maiores estímulos dados a outras culturas, que vêm ocupando áreas anteriormente cultivadas com mandioca. Segundo Cardoso et al. (2008), a produção brasileira entre 1980 e 2005 caiu 0,17 % em todo o país, porém essa queda foi mais acentuada nas regiões nordeste e sudeste, devido principalmente à redução da área plantada, que foi de 2,48 e 1,72 %, respectivamente. Porém, o que tem assegurado a produção brasileira nesse período foi o aumento da área plantada na região norte e centro-oeste (3,14 e 1,06 %, respectivamente) e o aumento de produtividade na região sul, que foi de 1,19 %, apesar de também se observar redução da área plantada nessa região (0,13 %).

A mandioca geralmente é produzida em pequenas propriedades e agricultura familiar, com baixo aporte de tecnologia, não utilizando manivas livres de doenças e sem uso de

fertilizantes e outros insumos, o que gera baixos rendimentos (MALUF; MATZENAUER; MALUF, 2011). Porém a cultura é de grande importância nessas propriedades, por ser uma planta bastante rústica e adaptada à várias condições climáticas, além de servir de alimento para a família e para os animais, podendo serem aproveitadas todas as partes da planta (HEBERLE, 2014).

A cultura absorve grandes quantidades de nutrientes do solo e retorna muito pouco ao solo pelos resíduos culturais. Para cada 25 toneladas de raízes são extraídos 123 kg de N, 27 Kg de P, 146 kg de K, 46 kg de Ca e 20 kg de Mg (ALVES; SILVA, 2003). Embora o fósforo seja absorvido em menores quantidades que outros macronutrientes, o mesmo exerce grande importância nos cultivos, uma vez que os solos tropicais, principalmente os cultivados com mandioca, que geralmente ocupam solos marginais dentro da propriedade, são muito pobres nesse nutriente. Por esse fato, a adubação fosfatada é a que tem apresentado maiores incrementos de produtividade (ALVES; SILVA, 2003)

É importante destacar que a produtividade média mundial é de 12,8 toneladas por hectare, porém, em condições ótimas de desenvolvimento, a cultura pode atingir produtividades de até 80 toneladas por hectare (HOWELER; LUTALADIO; THOMAS, 2013). As produções podem ter ainda um incremento positivo de até 17,5 % com os impactos das mudanças climáticas previstas para o ano de 2030, enquanto a maioria das outras culturas possuem projeções de redução da produção nas mesmas condições (JARVIS et al., 2012).

2.2 FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES (FMAs)

Existem sete tipos de fungos micorrízicos, que são as micorrizas arbusculares, as ectomicorrizas, ectendomicorrizas, micorrizas arbutóides, micorrizas ericóides, micorrizas orquidóides e as micorrizas monotropóides (SAGGIN JUNIOR; SILVA, 2012; MOORE; ROBSON; TRINCI, 2011 apud MOORE, 2012). Porém, somente serão abordadas neste estudo as micorrizas arbusculares, que são as que mais ocorrem nas espécies vegetais, mais predominantes em ecossistemas tropicais e as que foram utilizadas no experimento.

Fungos micorrízicos arbusculares, também conhecidos pela sigla FMAs, são fungos que formam associações simbióticas com a maioria das espécies de plantas. Uma parte do fungo cresce dentro das células do córtex da raiz, formando estruturas conhecidas como arbúsculos, que são responsáveis pelas trocas de água e nutrientes entre o fungo e a planta; a outra parte prolonga-se externamente às raízes, constituindo as hifas (MOREIRA;

SIQUEIRA, 2006). Essas associações são formadas em sua maioria por fungos do Filo Glomeromycota, que são fungos asseptados, ocorrendo em cerca de 80% das plantas vasculares, nos mais variados tipos de ecossistemas, porém, raramente são encontrados em ambientes árticos ou regiões de tundra (MIRANDA, 2012).

Os FMAs são biotróficos obrigatórios, o que dificulta a obtenção de material isento de outros propágulos e também a produção de inóculo em larga escala (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Além disso, não existem evidências de que esses fungos se reproduzam sexuadamente (BERBARA et al, 2006). Porém, os FMAs possuem baixa especificidade de hospedeiro, podendo colonizar várias espécies vegetais (STÜRMER; SIQUEIRA, 2013)

O fósforo (P) é um nutriente essencial para as plantas e sua disponibilidade é um dos principais fatores limitantes do desenvolvimento de sistemas agrícolas (BAREA et al, 2008). Além disso, fertilizantes fosfatados solúveis são um recurso natural não-renovável, com suas reservas mundiais tendendo a se esgotarem num prazo de 60 a 100 anos, se mantido o ritmo atual de consumo de fertilizantes, correndo o risco de se esgotar antes do petróleo (OSAVA, 2011). Enquanto que no caso do petróleo existem outras formas de energia que podem substituí-lo, o mesmo não acontece no caso do fósforo (SCHMUNDT, 2010). Segundo o autor, a demanda de P tem aumentado nos últimos anos devido ao aumento da produção de biocombustíveis, aumentando a especulação no mercado financeiro e, conseqüentemente, o seu preço.

Apesar de se encontrar em grande concentração no solo, a disponibilidade de P na solução do solo é muito baixa, variando de 1 a 10 μM , o que restringe sua difusão para as raízes (BIELESKI 1973 apud BAREA et al, 2008). Essa difusão gera uma zona de depleção de P ao redor das raízes, limitando a absorção de P pelas plantas. (SMITH, 2002)

Os níveis críticos de P na solução do solo para se atingir a máxima eficiência econômica (MEE) podem variar com a presença ou ausência de FMAs. Howeler, Cavidad e Burckhardt (1982) estimaram o nível de crítico de P em 15 mg dm^{-3} para solos com presença de FMAs, e 190 mg dm^{-3} para solos com ausência de FMAs. Essa constatação implica que a presença de FMAs no solo, sejam eles nativos ou inoculados, reduz a necessidade de adubação fosfatada.

As hifas dos FMAs se estendem vários centímetros a partir das raízes, indo muito além dos pêlos radiculares, alcançando camadas que ultrapassam a zona de depleção de P. Por possuírem um menor diâmetro que as raízes, conseguem alcançar espaços no solo que não são alcançados pelas raízes, além de possuírem uma maior superfície de absorção devido ao menor diâmetro. As hifas de FMAs ainda são capazes de excretar enzimas no solo, como

fosfatases, que degradam o P presente na matéria orgânica do solo e facilitam a sua absorção (BAREA et al, 2008). Além do P, FMAs também possuem grande importância na absorção de N, Cu, Mg e Zn, ambos elementos pouco móveis no solo (BERBARA et al, 2006).

Parâmetros como k_m (concentração do nutriente na solução do solo na qual a taxa de absorção é metade da taxa de influxo máximo), I_{max} (taxa de influxo máxima do nutriente na raiz) e C_{min} (mínima concentração na solução do solo em que o nutriente possa ser absorvido) são diferentes para plantas micorrizadas e não-micorrizadas (SAGGIN JUNIOR; SILVA, 2012). Portanto, plantas micorrizadas conseguem absorver nutrientes em concentrações menores do mesmo no solo, necessitando-se um menor aporte de fertilizantes para se obter as mesmas produtividades.

A concentração de P dentro das raízes das plantas é em torno de 2000 vezes maior do que a concentração no solo, sendo necessárias grandes quantidades de energia para que ocorra a sua absorção (SCHACHTMAN et al., 1998). Portanto, para a planta é mais viável enviar energia para as micorrizas, que conseguem absorver o P mais facilmente, do que gastar grandes quantidades de energia para absorvê-lo pelas raízes (SAGGIN JUNIOR; SILVA, 2012).

Hifas de FMAs se propagam em grandes extensões no solo, podendo atingir 70 m de hifas por g de solo, chegando a 1 t ha^{-1} de matéria seca, o que representa em torno de 50 % da biomassa microbiana no solo, podendo contribuir significativamente nos estoques de matéria orgânica no solo (MOS) (BERBARA et al, 2006).

Plantas de cobertura também são importantes para os FMAs, pois atuam na multiplicação de propágulos de FMAs, além de servirem de hospedeiras aos fungos quando não existe outra cultura implantada, garantindo a permanência dos mesmos no solo. (KARASAWA; TAKEBE, 2011)

A eficiência do processo simbiótico entre plantas e FMAs é reduzida em manejos com mecanização excessiva, uso intenso de fertilizantes, aplicações de pesticidas, rotação de culturas com culturas não-hospedeiras, poluentes, aplicação excessiva de esterco (BERBARA et al, 2006). Portanto, deve-se adotar práticas de manejo que aumentem a ocorrência e a diversidade de FMAs nos agroecossistemas, aumentando a resiliência e a estabilidade destes (JEFFRIES et al., 2003; RYAN; TIBBETT, 2008).

Altas taxas de colonização radicular podem ser um indicador de baixa disponibilidade de P no solo, podendo também reduzir o crescimento das plantas em determinados manejos, devido aos FMAs absorverem maior quantidade de fotossintatos da planta do que retornam em benefícios, tornando-se parasitas das plantas hospedeiras (RYAN; TIBBETT, 2008).

Quanto ao uso de pesticidas, sua influência na abundância e função de FMAs varia de negativa para positiva, dependendo do tipo de pesticida utilizado. Plenchette e Perrin (1992) encontraram efeitos mínimos na porcentagem e colonização de raízes por FMAs com aplicação de fungicidas. Já para o uso de herbicidas, Feldmann e Boyle (1999) observaram redução significativa na diversidade de FMAs após aplicação de herbicidas.

Cultivos conduzidos em sucessão à pousio ou brassicaceas, como o nabo e a canola, apresentam redução na colonização radicular por FMAs (RYAN et al., 2002). Por isso, manejos com sistemas de pousio e rotação de culturas com brassicaceas devem ser evitados, quando se visa a manutenção de inóculo micorrízico no solo para as culturas sucessoras.

Em manejos orgânicos, a colonização radicular é estimulada, devido à não aplicação de adubos fosfatados solúveis, e também devido ao maior aporte de MOS (RYAN; TIBBETT, 2008). Porém, em experimento comparando cultivo convencional e orgânico de videira, Avila (2004) não encontrou diferenças de colonização radicular, ocorrência de espécies de FMAs, apesar de se observar um aumento de MOS no cultivo orgânico.

Outro benefício dos FMAs é a maior agregação do solo, formando macroagregados. Isto ocorre devido a glomalina, que é uma proteína formada por fungos e excretada no solo, que possui propriedades hidrofóbicas, atuando na estabilidade dos agregados do solo (RYAN; TIBBETT, 2008). Berbara et al (2006) afirmam ainda que a simbiose com FMAs possui ainda um imenso potencial biotecnológico e ecológico a ser explorado.

Os FMAs também possuem sua importância na absorção de água e redução do stress hídrico nas plantas. Vários são os processos promovidos pelos FMAs que contribuem para isso. A maior capacidade de armazenamento de água no solo, devido à maior agregação do solo promovida pela secreção de glomalina, maior infiltração de água no solo pelos canais criados pelas hifas e maior capacidade de absorção de água, que pode ser até 10 vezes maior que em plantas sem associações simbióticas com FMAs, devido à maior exploração do solo e maior superfície de absorção das hifas, são fatores que influenciam nesse processo (MYCORRHIZAL APPLICATIONS).

Outros fatores que também influenciam na redução do stress hídrico é o melhor estado nutricional da planta pela maior absorção de nutrientes (FOLLI-PEREIRA et al, 2012), propiciando uma maior absorção de água pelas raízes e menor perda pelos estômatos, e também pelo fato de ser necessário uma menor concentração de nutrientes no solo, o que torna o processo osmótico de transferência de água do solo para a raiz mais eficiente (PRIMAVESI, 2014). Silveira (2000 apud COELHO 2012) verificou um aumento de 20% na absorção de água e condutância estomática provocada por FMAs em erva-mate. Porém

Hetrick, Kitt e Wilson (1987), ao submeterem plantas de milho, capim-sudão e uma espécie de andropogon inoculadas e não-inoculadas à stress hídrico, encontraram diferenças significativas somente para o andropogon.

Os FMAs ainda possuem efeito sinérgico com bactérias fixadoras de nitrogênio noduloníferas (BFNN), também conhecido como simbiose tripla, onde há interação entre FMA, BFNN e planta. Como o processo de fixação de nitrogênio requer grandes quantidades de ATP para seu metabolismo, os FMAs suprem boa parte do P necessário às bactérias para que o processo de fixação de N seja mais eficiente, além de outros nutrientes necessários para o processo (SAGGIN JUNIOR; SILVA, 2012).

2.3 FMAs NA CULTURA DA MANDIOCA

O sistema radicular da mandioca é composto por raízes grossas, com poucos pêlos radiculares, possuindo assim baixa superfície específica para absorção de água e nutrientes (BALOTA et al., 1997). Apesar disso, a cultura tem boa adaptação em solos de baixa fertilidade, obtendo níveis razoáveis de produtividade nessas condições (HOWELER, 1982).

Essa contradição, conforme apontam os estudos realizados por Miranda e Miranda (2004), explicita a importância das associações micorrízicas na mandioca. Devido à sua alta dependência micorrízica, que é maior que 75% segundo os autores, fato também verificado por Howeler e Sieverding (1983). A mandioca ainda pode ser classificada como de associação obrigatória com FMAs, segundo classificação de Smith e Read (1997 apud BERBARA et al., 2006), que classifica as associações como facultativas, obrigatórias ou não-micorrizadas.

Em sistema de cultivo *alley cropping*, onde a mandioca foi cultivada em meio a faixas de espécies florestais, foi observado um aumento significativo na biomassa total das plantas de mandioca inoculadas em relação às não-inoculadas aos 9 meses, enquanto em monocultivo essa diferença só foi observada aos 12 meses (FAGBOLA; OSONUBI; MULONGOY, 1998).

Diferentes níveis críticos de P no solo foram observados para mandioca cultivada em solo estéril e solo inoculado com FMAs, em ambiente controlado. Os níveis críticos foram 190 mg dm^{-3} e 15 mg dm^{-3} , respectivamente, tendo como extrator o método Bray II. Porém em experimento a campo, o único tratamento que diferiu dos demais foi em solo esterilizado e sem inoculação, e baixas doses de adubação. Entre os fatores que geram essa equivalência entre os tratamentos, os autores citam a competição com FMAs nativos do solo, já adaptados ao ecossistema edáfico (HOWELER; CAVIDAD; BURCKHARDT, 1982).

A relação entre a resposta da mandioca à inoculação de FMAs e doses de adubação fosfatada foi observada por Howeler e Sieverding (1983), encontrando maior eficiência da inoculação em doses de 100 kg de P ha⁻¹, enquanto que em doses mais elevadas houve um decréscimo da produtividade de raízes de mandioca. Além disso, doses menores (50 kg de P ha⁻¹) com inoculação de FMA proporcionaram produtividades semelhantes às doses maiores (100 kg P ha⁻¹) sem inoculação de FMAs, demonstrando o potencial de redução no uso de insumos quando usado inoculação com FMAs. A maior resposta na dose de 100 kg de P ha⁻¹ se deve ao baixo teor de P disponível no solo em que foi conduzido o experimento, que era de 1,6 mg dm⁻³, sendo que sem adubação a inoculação reduziu a produtividade. A partir do estudo pode-se perceber que tanto níveis muito baixos como níveis muito altos de P no solo prejudicam o desenvolvimento dos FMAs (HOWELER; SIEVERDING, 1983).

Os diferentes tipos de solo também exercem influência na resposta à inoculação (HOWELER; SIEVERDING, 1983). No solo de Quilichao, na Colômbia, por exemplo, com maior diversidade de FMAs nativos, a inoculação não apresentou diferenças estatísticas. Já no solo de Carimagua, também na Colômbia, que possuía uma menor população de FMAs, a inoculação com FMAs mostrou incrementos significativos na produtividade de mandioca (HOWELER; SIEVERDING, 1983).

Apesar do incremento no rendimento da mandioca com a inoculação de FMAs, a viabilidade do processo necessita ser avaliada. A inoculação comercial de *Rhizophagus irregularis* na mandioca em dois locais na Colômbia resultou em produtividades de mandioca semelhantes às obtidas na região com apenas 50% da dose de adubação fosfatada usada na região (CEBALLOS et al 2013). Porém, a inoculação não se mostrou uma alternativa viável, devido ao alto custo do inóculo, que foi importado. No entanto, com a redução dos custos do inóculo, através da produção nacional do mesmo, e uma elevação futura no preço dos adubos fosfatados, devido à sua escassez, a inoculação micorrízica poderá trazer altos retornos econômicos aos produtores.

Percebe-se que em muitos casos os FMAs nativos do solo são suficientes para estabelecer a simbiose com plantas de mandioca, podendo serem maximizados os seus benefícios quando se evitam práticas de manejo que envolvam revolvimento do solo e uso de agroquímicos. Porém, a inoculação possui grande potencial para uso em certas culturas, como a mandioca, que é geralmente cultivada em solos de baixa fertilidade, bastante erodidos, geralmente revolvidos para implantar o seu cultivo, apresentando uma baixa ou ineficiente população de FMAs nativos (HOWELER; SIEVERDING, 1983).

3 METODOLOGIA

3.1 LOCAL DO EXPERIMENTO

O experimento foi implantado a campo, na área experimental da UFFS, campus Cerro Largo – RS, com Latossolo Vermelho (SANTOS, 2013), clima subtropical Cfa, conforme classificação de Köppen, coordenadas sexagesimais 28°08'30,77" S 54°45'17,13" W, coordenadas UTM 21J 719.829 m E 6.885.133 m S e altitude de 280,9 m. As manivas de mandioca utilizadas foram da variedade Cascuda, fornecidas pelo Sr. Jacó Damke da agroindústria Polvilho Solar, localizada no município de Salvador das Missões. O inóculo de FMA foi obtido junto ao Centro Internacional de Cultura de Glomeromycota (CICG-FURB), localizado em Blumenau – SC.

3.2 TRATAMENTOS

Os tratamentos foram instalados em delineamento blocos ao acaso (DBC), num esquema fatorial 2 x 4, com e sem inoculação de FMA (*Rhizophagus clarus*), e com 4 doses de fósforo 0, 30, 60, 120 kg de P₂O₅ ha⁻¹, utilizando-se superfosfato triplo (SFT) na fórmula NPK 00.46.00 como fonte do mesmo, em quatro repetições. As dimensões das parcelas foram de 4,0 m x 4,8 m, com manivas plantadas com 0,8 m de espaçamento entrelinhas, e espaçadas em 0,8 m na linha, totalizando 20 manivas por parcela. Esse espaçamento corresponde a uma população de 15.625 plantas ha⁻¹.

O sorteio das parcelas foi realizado em planilha eletrônica do Microsoft Excel, usando-se a função “aleatório” para cada parcela, somado o número da parcela dividido por 17, e a partir desses valores foi usado a função “ordem” em cada bloco.

3.3 COLETA DE SOLO E PREPARO DA ÁREA

A coleta das amostras para análise química do solo foi realizada no dia 11 de setembro de 2015, na profundidade de 0 a 20 cm, e encaminhada para o laboratório de análises de solos da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, o qual emitiu o laudo no dia 28 de setembro de 2015, com os valores apresentados na Tabela 01.

Tabela 01 – Laudo de análise química do solo

pH H ₂ O	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC ef.	Sat. Al
5,3	7,4	1,6	0,1	4,4	9,9	1
	cmol _c dm ⁻³					%
Sat. Bases	SMP	MO	Argila	Textura	S	P-Mehlich
%			%			mg dm ⁻³
69,1	6,0	2,9	60	2,0	13,4	3,7
K	CTC pH7		K	Cu	Zn	B
	cmol _c dm ⁻³				mg dm ⁻³	
0,818	14,2		320	8,6	2,1	0,8

O preparo da área foi feito no dia 19 de outubro de 2015, que consistiu numa escarificação seguida de gradagem. O plantio foi realizado no dia 29 de outubro de 2015. A abertura das covas foi feita com auxílio de enxada. Foi feita a aplicação do fertilizante fosfatado nas covas, nas doses calculadas para cada tratamento, o qual foi incorporado com enxada. Após foram colocadas as manivas, e o inóculo despejado por cima das manivas, sendo usado uma quantidade de aproximadamente 6,25 g de inóculo por cova. O fechamento das covas foi feito com enxada. O fertilizante utilizado no plantio foi superfosfato triplo, com fórmula NPK 00.46.00.

3.4 INÓCULO UTILIZADO E CONTAGEM DE ESPOROS

O inóculo utilizado no plantio foi fornecido pelo Centro Internacional de Cultura de Glomeromicota – CICG – FURB, localizado em Blumenau – SC. O mesmo consistia em uma mistura de areia, vermiculita e raízes de braquiária colonizadas com *Rhizophagus clarus*.

A contagem dos esporos contidos no material foi realizada no laboratório da Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS, campus Cerro Largo, conforme protocolo de Gerdemann e Nicolson (1963 apud PAULA, 2016), consistindo na seguinte metodologia: foram coletadas 3 amostras de 10 g cada, às quais foi adicionado água destilada até aproximadamente 20 ml, e agitadas, dentro de béquers. Após, o conteúdo dos béquers foi despejado em 2 peneiras, sendo a peneira superior com orifícios de 425 µm e a inferior de 38 µm, e feita a lavagem da peneira para se retirar o excesso de areia. O material retido na

peneira de 425 μm foi descartado, e o material retido na peneira de 38 μm foi colocado em tubetes, e centrifugados por 3 minutos a uma rotação de 3000 rpm.

Feito isso, foi descartado o sobrenadante dos tubetes, e adicionado uma solução de sacarose e água destilada, a 60%, até se atingir o mesmo peso em todos os tubetes. Os tubetes foram então agitados manualmente, e colocados na centrífuga, por 2 minutos a uma rotação de 2000 rpm. Depois de centrifugado, o material foi despejado na peneira de 38 μm , e feita a lavagem com água para retirada da sacarose. O material retido na peneira foi colocado em placas de Petri. Com o auxílio de um estereomicroscópio, foram então contados os esporos presentes nas placas de Petri, sendo uma placa por amostra. O número de esporos em cada amostra foi de 278, 222 e 376 esporos, com uma média de 292 esporos por amostra de 10 g. Como foi usado aproximadamente 6,25 g de inóculo por cova, teve-se então uma média de 182 esporos por cova inoculada.

3.5 TRATAMENTOS CULTURAIS E COLHEITA

A adubação nitrogenada e potássica se deu 45 dias após o plantio (DAP), na dose de 20 kg de N e 20 kg de K ha^{-1} , conforme Manual de Adubação e Calagem para o RS e SC (CQFS - RS/SC, 2004), baseadas na análise de solo. O controle de plantas daninhas foi feito manualmente, com auxílio de enxada, quando necessário. O controle de pragas se deu de forma manual e com uso de iscas para formigas.

A colheita foi realizada 7 meses após a implantação do experimento, no dia 02 de junho de 2016. As avaliações foram realizadas após a colheita do experimento.

3.6 AVALIAÇÕES

Os parâmetros analisados foram produtividade fresca de raízes com casca, contagem de esporos do solo, teor de amido nas raízes e os teores de P e N nas raízes.

3.6.1 Produtividade de raízes

Foi realizada a colheita de 4 plantas de cada parcela, deixando-se uma fileira ao redor da parcela como bordadura. Após colhidas, as raízes foram separadas da parte aérea, lavadas

em água corrente e pesadas com casca. A partir do peso com casca de cada parcela, foi estimada a produtividade por hectare de cada parcela.

3.6.2 Densidade de esporos

A coleta de solo para contagem de esporos foi realizada após a colheita, sendo escolhidos 4 tratamentos: com e sem inoculação de FMAs e nas doses de 0 e 120 kg P ha⁻¹. Foi coletado solo nos locais em que haviam plantas, com uma pá de corte, na profundidade de 0 a 20 cm, em três repetições. As amostras de solo foram colocadas em uma bandeja e bem homogeneizadas, e então foi separado aproximadamente 1 dm³ de solo e levado ao laboratório de Química e Fertilidade dos Solos da UFFS.

No laboratório foi separado 50 ml de solo de cada amostra, que foi despejado em um béquer de 500 ml e completado com água corrente. Essa solução foi agitada e após foi despejada em peneiras, com malhas de 425 µm, 125 µm e 53µm, de cima para baixo. O solo das peneiras foi lavado para separação dos grânulos. O solo retido na peneira de 425 µm foi descartado, e o solo das peneiras de 125 e 53 µm foi despejado em tubos de centrífuga, que foram completados com água até atingirem todos o mesmo peso.

Os tubos foram então centrifugados em uma rotação de 3000 rpm por 3 minutos. Após foi descartado o sobrenadante dos tubos, e acrescentado uma solução de sacarose a 60% aos tubos, até atingirem o mesmo peso. Os tubos foram então agitados e novamente centrifugados, a 2000 rpm por 2 minutos. Depois de centrifugados, o sobrenadante foi despejado na peneira de 53 µm, e lavado com água corrente para retirada do excesso de sacarose.

O material retido na peneira foi acondicionado em placas de Petri, divididas em 32 quadrantes para facilitar a contagem, sendo uma placa por amostra. A contagem foi feita no estereomicroscópio, por meio de observação visual.

3.6.3 Teor de amido

A avaliação do teor de amido foi feita pelo método de balança hidrostática, de acordo com protocolo ISI 13-2e do International Starch Institute (1999). Foi usada uma balança de pêndulo, onde foi pendurado um cesto perfurado, e pesado aproximadamente 3 kg de raízes de mandioca de cada parcela. Após, essa mesma amostra foi submersa em um balde cheio de

água, ainda dentro do cesto, e novamente anotado o peso. As pesagens ao ar e em água foram então aplicadas na fórmula 01 para determinação da gravidade específica ou densidade relativa, e após convertidas em teor de amido pela fórmula 02.

$$\text{Fórmula 01 - GE} = \frac{P_0}{P_0 - P_u + (C_0 - C_u)}$$

onde:

GE = Gravidade específica;

P_0 = Peso da amostra de mandioca no ar;

P_u = Peso da amostra de mandioca em água;

C_0 = Peso do cesto no ar;

C_u = Peso do cesto em água.

Fonte: Adaptado de Sungzikaw, 2008.

$$\text{Fórmula 02 - \% amido} = \frac{GE - 1,00906}{0,004845}$$

onde:

% amido = Teor de amido em %;

GE = Gravidade específica.

Fonte: Adaptado de Sungzikaw, 2008.

3.6.4 Teores de fósforo (P) e nitrogênio (N)

Para análise dos teores de P e N foram coletados aproximadamente 100 g de raízes de cada parcela. Essas amostras foram descascadas, e colocadas para secar em estufa com circulação de ar, a temperatura constante de 60 °C, até atingirem peso constante. Depois de secas, as amostras foram moídas em moinho de facas tipo Willye.

Os teores de P e N foram então analisados por meio de digestão ácida, conforme metodologia de Tedesco et al. (1995), no laboratório de Química e Fertilidade dos Solos da UFFS. A metodologia consistiu na separação de 0,2 g de cada amostra, que foram colocadas em tubos de digestão, sendo um tubo para cada amostra, mais dois tubos brancos, sem amostra, somente com os reagentes.

Em cada tubo foi adicionado água oxigenada (H_2O_2) e ácido sulfúrico (H_2SO_4), para oxidação dos compostos orgânicos e início do aquecimento. Após os tubos foram colocados em bloco digestor, aumentando-se constantemente a temperatura, até atingir $350\text{ }^\circ\text{C}$, para digestão completa do material. Para diluição das amostras foi adicionado água destilada até o volume de 50 ml, dentro dos tubos de digestão, e agitadas em agitador vortex.

Para análise do teor de fósforo, foi inicialmente preparada a solução B, a qual consistiu de 50 ml de solução A, já previamente preparada, e 0,678 g de ácido ascórbico. A solução A consistia em 15,35 g de molibdato de amônio ($(NH_4)_6Mo_7O_{24}\cdot 4H_2O$), 0,3511 g de antimoniato de potássio ($KSbOC_4O_6\cdot 1/2H_2O$) e 178 mL de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) para 1 L de água destilada. Foi coletado 1 ml das amostras já digeridas, e adicionados 2 ml de água destilada. Os procedimentos foram realizados com as 32 amostras do experimento (1 amostra por parcela), 2 amostras brancas da digestão, e 7 amostras da curva com concentrações de P conhecidas (0; 0,1; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 e $1,0\text{ mg l}^{-1}$). Como a amostra apresentou dados de absorvância fora da curva, a mesma foi diluída novamente, sendo coletados 1 ml da amostra já diluída, e acrescentados mais 2 ml de água destilada, resultando em uma diluição de 1:9 da amostra original, que consistia em 0,2 g de raízes diluídos em 50 ml de amostra.

A essa solução foi adicionada 1 gota de paranitrofenol 0,25 %, e 4 gotas de hidróxido de sódio (NaOH) 10M, até neutralizar a amostra. Então foi adicionado 0,5 ml da solução B, e deixado as amostras em repouso por 30 minutos. Após foi lida a absorvância de cada amostra num espectrofotômetro, com comprimento de onda de 882 nm. Os dados de absorvância das amostras foram então comparados com os dados de absorvância da curva com concentração de P conhecida, e correlacionados por meio da equação gerada, que teve índice de regressão $R^2 = 0,99$.

Para análise de nitrogênio foram usados 20 ml das amostras digeridas, que foram colocados em tubos de digestão, e acrescentados 10 ml de NaOH a concentração de 10 M. Esses tubos foram colocados no destilador de nitrogênio, e a amostra destilada em tubos de erlenmeyer contendo 5 ml de ácido bórico. A solução de amostra destilada com ácido bórico foi então titulada com ácido sulfúrico (H_2SO_4) a concentração de 0,02 M, até a neutralização das amostras. O ponto de neutralização pôde ser reconhecido quando a coloração das amostras mudou de verde para rosa, e a quantidade de H_2SO_4 necessária para neutralização pôde ser correlacionada com o teor de nitrogênio presente nas raízes.

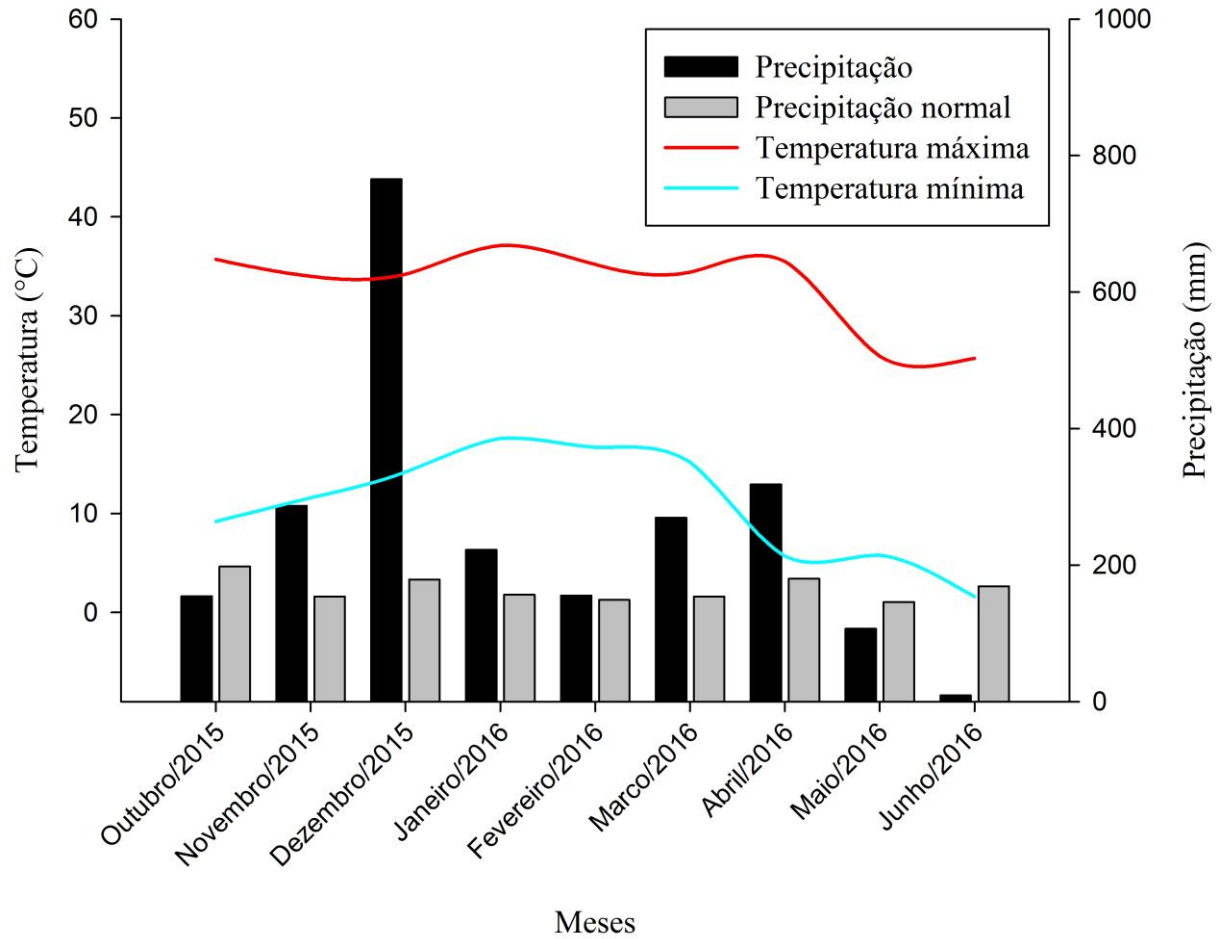
3.6.5 Análise estatística

Os resultados foram avaliados por meio da análise de variância entre os tratamentos, e aplicação do teste de Tukey para comparação de médias, com $\alpha = 5\%$. Os testes foram realizados com auxílio do software Assistat, para cada uma das variáveis analisadas.

3.7 DADOS METEOROLÓGICOS

Os dados meteorológicos foram coletados da estação automática da UFFS, localizada a 350 m da área do experimento, e representam as condições meteorológicas ocorridas durante o período de realização do experimento. No Gráfico 02 são apresentados a precipitação mensal, temperatura mínima e máxima mensal, e a precipitação normal da estação convencional de São Luiz Gonzaga, nos meses de outubro de 2015 a junho de 2016, sendo que o plantio foi realizado no dia 29 de outubro de 2015 e a colheita no dia 02 de junho de 2016. A precipitação total do período foi 2.127,8 mm. A temperatura máxima ocorrida foi de 37,1 °C e a temperatura mínima de 5,7 °C. A temperatura média foi de 22,8 °C.

Figura 02 – Dados meteorológicos ocorridos durante o período do experimento



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da estação meteorológica da UFFS *Campus* Cerro Largo e normais de precipitação da estação meteorológica convencional de São Luiz Gonzaga.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PRODUTIVIDADE

De acordo com a análise realizada, os dados de produtividade não apresentaram diferenças significativas a um nível de 5% de probabilidade. Resultados semelhantes foram encontrados por Howeler, Cavidad e Burckhardt (1982) em experimento a campo,

Porém houve diferenças significativas entre os blocos, conforme a Tabela 02. Isso mostra que o delineamento utilizado foi eficiente. Uma das diferenças entre os blocos foi devido ao ataque de formigas, que foi mais severo em alguns blocos do que em outros.

Tabela 02 – Análise de variância para a variável produtividade

Análise de variância					
FV	GL	SQ	QM	F	
Fator1(F1) – Inoculação	1	64,1633	64,1633	3,8872	ns
Fator2(F2) – Doses P	3	73,1472	24,3824	1,4772	--
Int. F1xF2	3	24,5319	8,1773	0,4954	ns
Tratamentos	7	161,8424	23,1203	1,4007	ns
Blocos	3	203,4535	67,8178	4,1086	*
Resíduo	21	346,6336	16,5064		
Total	31	711,9295			

-- Os tratamentos são quantitativos. O Teste F não se aplica

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$)

ns não significativo ($p \geq 0,05$)

Fonte: Assistat com dados do autor.

As médias de produtividade dos tratamentos podem ser conferidas na Tabela 03. A produtividade média do experimento foi de 24,05 Mg ha⁻¹, bem acima da média nacional, que foi de 15,2 Mg ha⁻¹ na safra de 2015, conforme IBGE (2016).

A produtividade, assim como o teor de amido e teores de P e N foram estatisticamente iguais em doses de adubação fosfatada variando de 0 a 120 kg ha⁻¹. Esse resultado pode ser explicado pela difusão facilitada, onde o fósforo disponibilizado na solução do solo pode ter sido suficiente para suprir a demanda pelas plantas. Outra razão para semelhança entre os tratamentos pode ter sido a presença de algum nutriente limitante, como

por exemplo o zinco (Zn), elemento apontado como limitante por Howeler, Cavidad e Burckhardt (1982) e que tem relação direta com a absorção de fósforo. Portanto são necessários estudos que visem suplementar outros nutrientes e observar se existem aumentos de produtividade com aumento das doses de fósforo.

Tabela 03 - Produtividade de raízes de mandioca com casca, em Mg ha⁻¹, em função de diferentes doses de fósforo, com e sem inoculação de *Rhizophagus clarus* (média de 4 blocos)

Inoculação	Dose P (kg ha ⁻¹)				Média
	0	30	60	120	
	Mg ha ⁻¹				
Sem	24,86 ^{ns}	28,48	22,71	25,83	25,47
Com	23,23	22,64	20,51	24,17	22,64
Média	24,05	25,56	21,61	25,00	24,05
CV %					16,89

^{ns} não significativo

Fonte: Elaborado pelo autor.

A produtividade elevada se deu devido aos bons índices pluviométricos ocorridos no ano. Devido à alta umidade do solo, a difusão de fósforo no solo foi facilitada, superando a absorção de fósforo pelos FMAs. Além disso, a presença de FMAs tanto nos tratamentos com inoculação como nos tratamentos sem inoculação pode ter sido equivalente na absorção de nutrientes, não vindo a diferir nas variáveis analisadas.

Outro fator que pode ter influenciado nos resultados foi a eficiência da inoculação. No experimento, o inóculo foi aplicado junto às manivas, no momento do plantio. Já Howeler, Cavidad e Burckhardt (1982) usaram o inóculo em plantas de mandioca micropropagadas, já enraizadas, encontrando diferenças significativas somente em solo previamente esterilizado.

Também a quantidade de inóculo pode ser um fator decisivo. Ceballos et al (2013) usaram uma quantidade de inóculo equivalente a 12.500 propágulos por planta, obtendo aumentos significativos de produtividade nos tratamentos inoculados. No experimento foram usados em média 182 esporos por planta, devido à quantidade de material disponível.

4.2 DENSIDADE DE ESPOROS

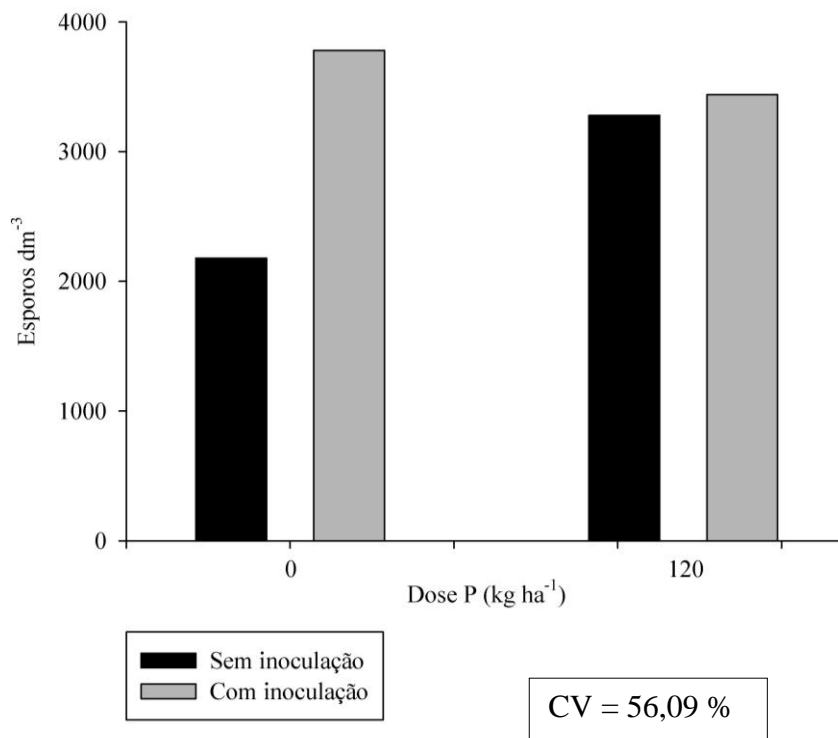
A contagem de esporos foi realizada nos tratamentos com doses de fósforo de 0 e 120 kg ha⁻¹, com e sem inoculação. Não foram encontradas diferenças estatísticas entre os tratamentos, tanto no fator inoculação como no fator doses de P, a um nível de significância de 95%.

Foram encontrados esporos tanto nos tratamentos com inoculação como nos tratamentos sem inoculação, conforme se observa na Figura 03. Isso demonstra a existência de FMAs nativos no solo, que podem ter se associado com as raízes, atuando como simbioses da mesma forma que os FMAs inoculados, razão pela qual não se observa diferenças significativas nas demais variáveis analisadas.

Apesar de se observar densidades maiores de esporos nos tratamentos com inoculação (Figura 03), as mesmas não foram significativas devido ao alto coeficiente de variação (CV). A grande variação se deve ao número de tratamentos analisados, sendo que foram analisados somente nas doses de 0 e 120 kg P ha⁻¹.

Também não se observou redução da densidade de esporos em doses maiores de P. Este fato se deve ao baixo teor de P encontrado no solo, sendo que a dose maior foi em grande parte para correção do nível de P, podendo também ter sido adsorvida por íons de Fe, adsorção esta que aumenta em níveis de pH mais baixo, que são ideais para o desenvolvimento da cultura da mandioca.

Figura 03 – Densidade de esporos nos tratamentos com e sem inoculação, nas doses de 0 e 120 kg ha⁻¹ (média de três repetições).



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3 TEOR DE AMIDO

Assim como a produtividade, o teor de amido também não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos, quando comparados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os fatores que contribuíram para tais resultados foram a alta umidade do solo durante o ciclo da cultura, conforme se pode verificar na Figura 02, que as precipitações ficaram bem acima das normais, o que facilitou a difusão do fósforo para as raízes.

Na Tabela 04 podem ser observadas as médias do teor de amido em cada tratamento. Os teores de amido foram baixos, sendo que o mínimo necessário para agroindustrialização é de 29,7 % (CEREDA; VILPOUX, 2003). O teor de amido é uma característica que varia de acordo com a cultivar de mandioca, porém a boa condição de umidade no solo pode ter diminuído o teor de matéria seca das raízes, diminuindo também o teor de amido.

Tabela 04 - Teor de amido em raízes de mandioca, em %, em função de diferentes doses de fósforo, com e sem inoculação de *Rhizophagus clarus* (média de 4 blocos)

Inoculação	Dose P (kg ha ⁻¹)				Média
	0	30	60	120	
	%				
Sem	28,06 ^{ns}	27,59	30,63	27,76	28,51
Com	28,67	27,60	28,30	27,49	28,02
Média	28,37	27,59	29,47	27,63	28,26
CV%	9,19				

^{ns} não significativo a 5% de probabilidade

Fonte: Elaborado pelo autor

4.4 TEORES DE FÓSFORO E NITROGÊNIO NAS RAÍZES

Assim como as demais variáveis analisadas, os teores de fósforo e nitrogênio nas raízes não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos. Nas tabelas 05 e 06 podem ser conferidas as médias de cada tratamento para as variáveis nitrogênio e fósforo, respectivamente.

Tabela 05 – Teor de nitrogênio na matéria seca de raízes de mandioca descascadas, em g kg⁻¹, em função de diferentes doses de adubação fosfatada, com e sem inoculação de *Rhizophagus clarus* (média de 4 blocos)

Inoculação	Dose P (kg ha ⁻¹)				Média
	0	30	60	120	
	g kg ⁻¹				
Sem	5,1 ^{ns}	5,3	4,6	4,7	4,9
Com	4,6	5,2	4,4	4,7	4,7
Média	4,8	5,2	4,5	4,7	4,8
CV%	21,56				

^{ns} não significativo a 5% de probabilidade

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 06 – Teor de fósforo na matéria seca de raízes de mandioca descascadas, em mg kg^{-1} , em função de diferentes doses de adubação fosfatada, com e sem inoculação de *Rhizophagus clarus* (média de 4 blocos)

Inoculação	Dose P (kg ha^{-1})				Média
	0	30	60	120	
	mg kg^{-1}				
Sem	918 ^{ns}	897,3	930,3	896,3	910,4
Com	855,8	907,8	973,0	940,8	919,3
Média	886,9	902,5	951,6	918,5	914,9
CV%					13,36

^{ns} não significativo a 5% de probabilidade

Fonte: Elaborado pelo autor

Se comparados com os dados de Balota et al. (1997), os dados de nitrogênio foram muito altos. Esses autores encontraram teores médios de $20,14 \text{ mg kg}^{-1}$ de nitrogênio nas raízes. Porém esse experimento foi realizado em vasos e em casa de vegetação, com solo arenoso e as plantas foram colhidas aos 95 dias de idade.

Já os teores de fósforo nas raízes ficaram dentro da faixa encontrada por Howeler, Asher e Edwards (1982), que variou entre 600 a 6.900 mg kg^{-1} . Também Kato et al (1990) encontraram concentrações de fósforo semelhantes, variando entre 1.000 e 3.300 mg kg^{-1} .

5 CONCLUSÕES

A inoculação de mandioca com *Rhizophagus clarus* não apresentou aumentos na produtividade, teor de amido, teor de fósforo e nitrogênio nas raízes e densidade de esporos.

A presença de esporos tanto nos tratamentos inoculados como nos não inoculados indica que a absorção de água e nutrientes foi semelhante entre os FMAs nativos e os inoculados.

Doses de adubação fosfatada entre 0 e 120 kg ha⁻¹ não apresentaram diferenças estatísticas, e não influenciaram a população de FMAs no solo.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nas condições estudadas no experimento, a adubação fosfatada e a inoculação com FMAs não apresentaram ganhos nas variáveis analisadas. Estudos de longa duração e em diferentes condições são necessários para, aliado a este estudo, possibilitarem a elaboração de uma recomendação técnica para a cultura da mandioca na região.

REFERÊNCIAS

- ALVES, A. A. C.; SILVA, A. F. **Cultivo da mandioca para a região semi-árida**. 2003. Disponível em: https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mandioca/mandioca_semiarido/adubacao.htm . Acesso em: 21 abr. 2016.
- ÁVILA, A. L. **Ocorrência de fungos micorrízicos arbusculares em cultivos de videira (*Vitis sp.*) sob manejo orgânico e convencional**. 2004. 68 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Fitotecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.
- BALOTA, E. L. et al. Inoculação de bactérias diazotróficas e fungos micorrízico-arbusculares na cultura da mandioca. In: **Pesq Agropec Bras**. v.32, n. 6. Brasília, 1997. p. 627-639.
- BAREA, J. M. et al. Mycorrhizal Symbioses. In: WHITE, Philip J.; HAMMOND, John P. (Ed.). **The ecophysiology of plant-phosphorus interactions**. Berlin-Heidelberg: Springer Science, 2008
- BERBARA, R. L. L.; SOUZA, F. A.; FONSECA, H. M. A. C. Fungos micorrízicos arbusculares: muito além da nutrição. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: SBCS, 2006. Cap. 3. p. 53-85.. Cap. 7. p. 143-163.
- CARDOSO, C. E. L. et al. Produção e produtividade agrícola da cultura da mandioca no Brasil. In: ALBUQUERQUE, A. C. S.; SILVA, A. G. (Ed.). **Agricultura tropical: Quatro décadas de inovação tecnológicas, institucionais e políticas**. Brasília: Embrapa, 2008. Cap. 6. p. 609-629.
- CEBALLOS, I. et al. The In Vitro Mass-Produced Model Mycorrhizal Fungus, *Rhizophagus irregularis*, Significantly Increases Yields of the Globally Important Food Security Crop Cassava. **Plos One**, [s.l.], v. 8, n. 8, p.1-10, 7 ago. 2013. Public Library of Science (PLoS). <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0070633>.
- CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. F. (Org.). **Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas latino americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, 2003. 771 p. (Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas).
- COELHO, G. C. **Sistemas Agroflorestais**. São Carlos: Rima, 2012. 204 p.
- COLOZZI FILHO, A.; NOGUEIRA, M. A. Micorrizas Arbusculares em Plantas Tropicais: Café, Mandioca e Cana-de-açúcar. In: SILVEIRA, A. P. D.; FREITAS, S. S. (Ed.). **Microbiota do Solo e Qualidade Ambiental**. Campinas: Instituto Agronômico, 2007. p. 39-56.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – CQFS. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004. 400 p.

FAGBOLA, O.; OSONUBI, O.; MULONGOY, K. Growth of cassava cultivar TMS 30572 as affected by alley-cropping and mycorrhizal inoculation. In: **Biol. Fertil. Soils**. v. 27, n.1, 1998. p. 9-14.

FELDMANN, F.; BOYLE, C. Weed-mediated stability of arbuscular mycorrhizal effectiveness in maize monocultures. **Angew Bot.** Braunschweig, DE, p. 1-5. abr. 1999.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **Statistic division (FAOSTAT)**, 2016. Disponível em: <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E> Acesso em: 21 abr. 2016.

FOLLI-PEREIRA, M. S. et al. Micorriza arbuscular e a tolerância das plantas ao estresse. **Rev Bras Ciênc Solo**. Viçosa, v. 36, n. 6, p.1663-1679, nov/dez 2012.

FRAIFE FILHO, G. A.; BAHIA, J. J. S. **Mandioca**. Disponível em: <http://www.ceplac.gov.br/radar/Mandioca.htm>. Acesso em: 29 ago. 2015.

HEBERLE, E. S. **Ocorrência e Estrutura de Comunidades de Fungos Micorrízicos Arbusculares na Cultura da Mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) após Cultivo de Plantas de Cobertura**. 2014. 70 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Agroecossistemas, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

HETRICK, B. A. D.; KITT, D. G.; WILSON, G. T. Effects of drought stress on growth response in corn, sudan grass, and bluestem to *Glomus etunicatum*. **New Phytol**, Manhattan, KS-USA, n. 105, p.403-410, 1987.

HOWELER, R.; ASHER, C. J.; EDWARDS, D. G. Establishment of an effective endomycorrhizal association on cassava in flowing solution and its effects on phosphorus nutrition. In: **New Phytol**. v. 90, 1982. p. 229-238.

HOWELER, R. H.; CAVIDAD, L. F.; BURCKHARDT, E. Response of cassava to VA mycorrhizal inoculation and phosphorus application in greenhouse and field experiments. **Plant Soil**. The Hague, NL, p. 327-339. jun. 1982.

HOWELER, R. H.; SIEVERDING, E. Potential and limitations of mycorrhizal inoculation illustrated by experiments with field-grown cassava. **Plant Soil**. The Hague, NL, p. 245-261. jul. 1983.

HOWELER, R.; LUTALADIO, N.; THOMAS, G. **Cassava: A guide to sustainable production intensification**. Rome: FAO, 2013. 129 p. (Save and Grow).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. v. 29, n. 3. Rio de Janeiro: IBGE, mar. 2016. 79p.

INTERNATIONAL STARCH INSTITUTE. **ISI 13-2e Determination of Starch in Tubers by Under Water Weight**. Aarhus, Dinamarca, 1999. Disponível em: <http://www.starch.dk/isi/methods/13starch.htm> . Acesso em: 03 jun. 2016.

JARVIS, A. et al. Is Cassava the Answer to African Climate Change? In: **Trop Plant Biol**. p. 9-29. 15 fev. 2012.

JEFFRIES, P. et al. The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. **Biol Fert Soils**. [s.i.], p. 1-16. jan. 2003.

KARASAWA, T.; TAKEBE, M. Temporal or spatial arrangements of cover crops to promote arbuscular mycorrhizal colonization and P uptake of upland crops grown after nonmycorrhizal crops. **Plant Soil**, [s.l.], v. 353, n. 1-2, p.355-366, 5 nov. 2011. Springer Science + Business Media. <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-011-1036-z> .

KATO, O. R. et al. Efeito de diferentes espécies de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares no crescimento e nutrição da mandioca. **Pesq Agropec Bras**, Brasília, v. 8, n. 25, p.1175-1181, ago. 1990.

MALUF, J. R. T.; MATZENAUER, R.; MALUF, D. E. **Zoneamento Agroclimático da Mandioca no Estado do Rio Grande do Sul** – Uma alternativa para a produção de etanol. Porto Alegre: FEPAGRO, 2011. Boletim Fepagro, n. 22, 60p.

MIRANDA, J. C. C.; MIRANDA, L. N. **Dependência micorrízica de diferentes culturas anuais, adubos verdes e pastagens em solos de cerrado**. Comunicado técnico 114. Planaltina: Embrapa, 2004.

MIRANDA, J. C. C. **Cerrado: micorriza arbuscular: Ocorrência e manejo**. 2. ed. Brasília: Embrapa, 2012.

MOORE, D. **David Moore's World of Fungi: where mycology starts: Mycorrhizal types**. 2012. Disponível em: http://www.davidmoore.org.uk/assets/mostly_mycology/diane_howarth/mycorrhizal_types.htm . Acesso em: 07 dez. 2016.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Micorrizas. In: MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2006. Cap. 10. p. 543-662.

MYCORRIZAL APPLICATIONS. Grants Pass, USA. Disponível em: <http://mycorrhizae.com/> Acesso em: 08 abr. 2016.

OSAVA, M. **Agricultura diante da grave escassez de fosfato**. 2011. Disponível em: <http://www.revistaforum.com.br/2011/10/21/agricultura-diante-da-grave-escassez-de-fosfato/>.

Acesso em: 22 abr. 2016.

PASCOAL FILHO, W.; SILVEIRA, G. S. R. **Cultura da Mandioca (Manihot esculenta subsp. esculenta)**. Emater – MG, 2012.

PAULA, A. M. Micorrizas Arbusculares. In: DIONÍSIO, J. A. et al. **Guia prático de biologia do solo**. Curitiba: SBCS/NEPAR, 2016. Cap. 6. p. 33-42.

PLENCHETTE, C.; PERRIN, R. Evaluation in the greenhouse of the effects of fungicides on the development of mycorrhiza on leek and wheat. **Mycorrhiza**, [s.l.], v. 1, n. 2, p.59-62, mar. 1992. Springer Science + Business Media. <http://dx.doi.org/10.1007/bf00206137>.

PRIMAVESI, A. **Pergunte ao solo e às raízes: uma análise do solo tropical e mais de 70 casos resolvidos pela agroecologia**. 1. Ed. São Paulo: Nobel, 2014. 288p.

RYAN, M. H. et al. Increasing mycorrhizal colonisation does not improve growth and nutrition of wheat on Vertosols in south-eastern Australia. **Aust J Agr Res**. Collingwood, AU, p. 1173-1181. jan. 2002.

RYAN, M. H.; TIBBETT, M. The role of arbuscular mycorrhizas in organic farming. In: KIRCHMANN, H.; BERGSTRÖM, L. (Ed.). **Organic Crop Production: Ambitions and Limitations**. Crawley, AU: Springer Science, 2008. Cap. 10. p. 189-229.

SAGGIN JÚNIOR, O. J.; SILVA, E. M. R. Micorriza arbuscular - Papel, funcionamento e aplicação da simbiose. In: AQUINO, A. M.; ASSIS, R. L. (Ed.). **Processos biológicos no sistema solo-planta: Ferramentas para uma agricultura sustentável**. 2. ed. Brasília: Embrapa, 2012. Cap. 5. p. 101-150.

SANTOS, E. S.; MATIAS, E. C.; BARBOSA, M. M.. **Mandioca: Cultivo agroecológico e uso na alimentação humana e animal**. João Pessoa: Emepa-pb, 2011. 90 p.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.

SCHACHTMANN, D. P.; REID, R. J.; AYLING, S. M.. Phosphorus Uptake by Plants: From Soil to Cell. **Plant Physiol**. Adelaide, AU, p. 447-453. 1998.

SCHMUNDT, H. **Especialistas alertam sobre a iminente crise de escassez do fósforo**. 2010. Disponível em:

<http://noticias.bol.uol.com.br/internacional/2010/04/26/especialistas-alertam-sobre-a-iminente-crise-de-escassez-de-fosforo.jhtm>. Acesso em: 22 abr. 2016.

SMITH, F. W. The phosphate uptake mechanism. **Plant Soil**, [s.l.], v. 245, n. 1, p.105-114, 2002. Springer Science + Business Media. <http://dx.doi.org/10.1023/a:1020660023284> .

STÜRMER, S. L.; SIQUEIRA, J. O. Fungos micorrízicos. In: MOREIRA, F. M. S. et al (Ed.). **O ecossistema solo**. Lavras: UFLA, 2013. Cap. 15. p. 289-310.

SUNGZIKAW, S. **Measurements of Starch Content in Cassava**. Hangzhou, China: Workshop on Metrology in Food Safety, Agricultural Products and Product Safety, 2008. 35 slides, color.

TEDESCO, M. J. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995.