

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Izaura Martins Fernandes

Promoção do crescimento de cafeeiros por *Aspergillus niger* sob diferentes formas de adubação fosfatada

Monte Carmelo
2024

Izaura Martins Fernandes

Promoção do crescimento de cafeeiros por *Aspergillus niger* sob diferentes formas de adubação fosfatada

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Agronomia da Universidade Federal de Uberlândia, Campus Monte Carmelo, como requisito necessário para a obtenção do grau de Engenheiro Agrônomo.

Orientador (a): Gilberto de Oliveira Mendes

Monte Carmelo
2024

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Izaura Martins Fernandes

Promoção do crescimento de cafeeiros por *Aspergillus niger* sob diferentes formas de adubação fosfatada

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Agronomia da Universidade Federal de Uberlândia, Campus Monte Carmelo, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Monte Carmelo, 25 de abril de 2024

Banca Examinadora

Prof. Dr. Gilberto de Oliveira Mendes

Juliana Fonseca Alves

Lauanda Gracielle Rodrigues

Monte Carmelo
2024

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	4
OBJETIVOS	5
REVISÃO DA LITERATURA	5
MATERIAL E MÉTODOS	7
RESULTADOS	11
DISCUSSÃO	15
CONCLUSÃO	16
REFERENCIAS	17

RESUMO

O P é um nutriente muito importante para as plantas, pois é fundamental para a realização de grandes processos, como transferência de energia da célula, na respiração, fotossíntese, estrutura dos ácidos nucleicos, fosfoproteínas, fosfolípidos, entre outros. Os solos brasileiros, principalmente da região do cerrado, apresentam limitações à produção agrícola por serem ácidos e possuírem baixa fertilidade natural, principalmente com relação ao fósforo. Uma alternativa natural e sustentável de tornar esse nutriente disponível para as plantas são os microrganismos solubilizadores de fósforo. Além de viabilizar o nutriente, fungos como *Aspergillus niger* possuem a capacidade de produzir fitormônios e assim promover o crescimento das plantas. O objetivo desse trabalho é avaliar a capacidade do fungo *A. niger* de promover o crescimento de cafeeiros sob diferentes formas de adubação fosfatada. Foram avaliadas as seguintes variáveis: altura de planta, diâmetro de copa, diâmetro de caule, comprimento de ramos, número de nós e número de ramos. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 3x5. Três formas de inoculação: não inoculada (Ni); muda inoculada (80 a 90 dias após a semeadura) e inoculação pós-plantio. O segundo fator, foi composto por adubações fosfatadas, com quatro fontes de fósforo: Fosfato Natural, (FN); Superfosfato Triplo (TSP); Fosfato Natural + Superfosfato triplo (FN+TSP), Termofosfato (TP) e sem P (SF). A aplicação dos adubos fosfatados foi de forma homogênea, no sulco de plantio, em novembro de 2020. Dos tratamentos inoculados com o fungo *Aspergillus niger*, o inoculado na muda mostrou ser mais viável que o inoculado pós plantio. Entre as fontes de fósforo utilizadas, a mistura de fosfato natural + superfosfato triplo garantiu maiores taxas de crescimento, em quatro variáveis de seis avaliadas, sendo elas: diâmetro de caule, diâmetro de copa, altura de planta e número de nós face norte.

PALAVRAS-CHAVE

Palavras-Chave: fitormônios, fosfato, inoculante, bioinsumo

INTRODUÇÃO

De acordo com estatísticas do Departamento de Agricultura Norte Americano (Estados Unidos, 2020), o maior produtor e o segundo maior consumidor mundial de café há mais de um século é o Brasil. O volume total de café produzido no Brasil no ano de 2023 foi 55,1 milhões de sacas de 60 kg (Conab), e referente ao consumo da população brasileira, foram 50,9 milhões de sacas (Conab). Sendo assim, a cafeicultura tem extrema importância na geração de renda e empregos no país e evita o êxodo rural com a geração de lucros devido à exportação. (SIQUEIRA et al., 2011).

Para ter a garantia de produção, é necessário que o fornecimento de fósforo (P) seja de forma adequada, pois esse nutriente possui a capacidade de interagir com os colóides do solo, principalmente nos solos do cerrado, ficando muito baixa a sua concentração na solução, comprometendo a produção de muitas culturas (AZEVEDO et al., 2004). A obtenção de conhecimento das formas de mudanças do P pela microbiota do solo pode dar auxílio a esse ponto, proporcionando assim, melhorias e maior sustentabilidade dos cultivos agrícolas (BINI; LOPÉZ, 2016).

O papel do P é principalmente armazenar e transferir energia, participando no funcionamento de vários processos metabólicos das plantas (MALAVOLTA, 2006). Os fertilizantes fosfatados utilizados na agricultura são obtidos de fontes não renováveis, sendo eles os superfosfatos ou fosfatos de amônio, que são retirados de rochas fosfáticas (KHAN et al., 2010). Uma alternativa para incrementar a eficiência agrônômica das rochas fosfáticas (RFs) é a utilização de micro-organismos solubilizadores de fosfato (MSF) (SCHNEIDER et al., 2010).

Diversos fungos e bactérias expressam potencial de solubilização de P, entretanto, fungos são normalmente superiores, uma vez que, apresentam maior potencial de acidificação de meio onde estão inseridos, condição que beneficia a solubilização de P (BANIK; DEY, 1982; CHATLI; BERI; SIDHU, 2008). Os gêneros fúngicos *Aspergillus* e *Penicillium* são capazes de solubilizar P (MENDES et al., 2014b; WHITELAW, 1999).

A solubilização de fosfato pelos microrganismos ocorre da produção e secreção de ácidos orgânicos de baixo peso molecular, que disponibilizam o P para as plantas, havendo contribuição para uma menor aplicação de fertilizante (XIAO et al., 2013). Além disso, esses organismos ainda podem apresentar outros benefícios para as culturas agrícolas, atuando como promotores do crescimento vegetal por meio da produção de fitormônios, proteção contra fitopatógenos e disponibilização de nutrientes (SANTOS, 2011).

Diversos microrganismos podem ser explorados como promotores de crescimento de plantas, como bactérias residentes de filoplano ou de rizosfera, fungos endofíticos e fungos micorrízicos (TRIVEDI et al., 2021). A variedade microbiana atrelada ao desenvolvimento de plantas é comum na natureza e pode ser explorada pelo homem como técnica de promoção de crescimento das plantas de interesse (TRIVEDI et al., 2021).

Os hormônios de plantas são chamados de fitormônios. Através da produção de fitormônios, os microrganismos podem estimular o crescimento vegetal e aumentar a produção de metabólitos pelas plantas que podem ser utilizados para o seu próprio crescimento (MANULIS et al., 1998). Microrganismos são produtores de hormônios que auxiliam no desenvolvimento vegetal, dentre elas auxinas, citocininas, giberelinas, ácido abscísico e etileno (SANTNER; ESTELLE, 2009).

Estudos comprovaram que *Aspergillus niger* é capaz de produzir fitormônios e solubilizar fósforo, o que o coloca como um potencial promotor multifuncional de crescimento de plantas (KALAYU, 2019; LUBNA et al., 2018; MENDES et al., 2015; MENDES et al., 2017). Mudanças de cafeeiro inoculadas com o isolado *A. niger* FS1 apresentaram maior altura, diâmetro de caule, número de folhas, volume e massa seca de raiz quando comparadas às não inoculadas (ARAÚJO et al., 2020).

Dessa forma, o uso de microrganismos produtores de fitormônios, que atuam como promotores de crescimento, e solubilizadores de fósforo, viabilizam de forma sustentável a produção de culturas agrícolas.

OBJETIVO

O objetivo desse trabalho foi avaliar a capacidade do fungo *A. niger* de promover o crescimento de cafeeiros sob diferentes formas de adubação fosfatada.

REFERENCIAL TEÓRICO

O Brasil é o maior produtor e exportador mundial de café, tendo em 2020 um recorde na exportação de 43,9 milhões de sacas de 60 kg (Conab 2021). A cultura do café é de grande importância para o país, devido suas características comerciais (MACHADO et al, 2020).

A origem do café Arábica vem das florestas tropicais da Etiópia, Quênia e Sudão. Essas regiões possuem altitudes de 1.500 a 2.800 m, com temperatura do ar de pouca variação sazonal,

variando entre 18°C e 22°C. A precipitação está entre 1.600 a 2.000 mm, sendo bem distribuída (CAMARGO, 2010).

No Cerrado Brasileiro, para a produção de café Arábica, são recomendadas áreas com altitudes variando de 800 e 1.300m, podendo ser dotadas de irrigação em função de regimes de chuva (FERNANDES et al, 2012).

Para manter-se na atividade cafeeira de forma competitiva, o produtor rural tem que aumentar sua produtividade, reduzir seus custos e, um dos aspectos mais importantes para a obtenção de elevadas produções consiste na nutrição adequada e equilibrada das plantas (DIAS, 2012).

O P é um nutriente muito importante para as plantas, pois é fundamental para a realização de grandes processos, como transferência de energia da célula, na respiração, fotossíntese, estrutura dos ácidos nucleicos, fosfoproteínas, fosfolipídeos, entre outros. A limitação desse nutriente para as plantas no início de seu ciclo vegetativo, podem resultar em restrições no desenvolvimento, não se recuperando posteriormente, mesmo aumentando adequadamente o suprimento de P (GRANT et al, 2001).

O fósforo é aplicado em quantidades elevadas em adubações no Brasil, pois ele é um nutriente de baixa disponibilidade devido sua tendência de reagir com componentes do solo, formando assim, compostos de baixa solubilidade (fixação de fósforo), tornando um grande desafio no manejo da fertilidade do solo (FURTINI NETO et al, 2001).

Para ter uma melhora significativa na fertilidade dos solos, essencialmente os de regiões tropicais, visto que esses solos são altamente intemperizados, ácidos e pouco férteis (BARBOSA et al, 2012), é preciso fazer grandes aplicações de fertilizantes fosfatados, porém, com a grande demanda por alimentos no mundo, as reservas de fosfato de maior qualidade podem se esgotar (SILVA, 2013). Além disso, o uso crescente de fertilizantes fosfatados leva a um forte impacto econômico, visto que para a produção deles, os processos químicos são de alto custo (OLIVEIRA et al, 2008).

Os microrganismos estão envolvidos em várias interações que influenciam no desempenho vegetal, mostrando que são componentes essenciais no sistema solo-planta (Wakelin et al., 2004). Eles podem solubilizar e mineralizar P de fontes orgânicas e inorgânicas, podendo serem utilizados como inoculantes, intencionando um aumento da disponibilidade de P que serão fornecidos para as plantas (Kucey et al., 1989). Portanto, no desenvolvimento de tecnologias que melhorem a eficiência do P pelas plantas, destaca-se a solubilização de fosfato por microrganismos (BARBOSA et al, 2012).

Os microrganismos solubilizadores de fosfato são capazes de liberar ácidos orgânicos que atuam no processo de solubilização. Entre as espécies de fungos e bactérias capazes de solubilizar o P a partir de diferentes minerais, a que mais se destaca é o fungo *Aspergillus niger*. Essa espécie produz alguns ácidos orgânicos, tais como: o ácido cítrico, oxálico e glucônico, que são associados ao processo de solubilização de fosfato de rochas (SILVA, 2013).

A eficiência dos ácidos orgânicos na solubilização de fosfato está relacionada à capacidade de acidificação do meio, à formação de complexos e à quelação de íons (VASSILEV, et al, 2013). Os grupos hidroxila e carboxila dos ácidos orgânicos ligam-se aos cátions na estrutura do fosfato, liberando o P em forma solúvel (SAGOE, et al, 1998). Conhecer a capacidade que os microrganismos possuem de solubilização é fundamental para fazer uma correta seleção deles, sendo que essa solubilização irá variar de acordo com o microrganismo e as condições ambientais em que ele está (FILHO, et al, 2001).

Além disso, o *Aspergillus niger* pode produzir fitormônios, o que o coloca como um potencial promotor multifuncional de crescimento de plantas. Mudanças de cafeeiro inoculadas com o isolado *A. niger* FS1 apresentaram maior altura, diâmetro de coleto, número de folhas, volume e massa seca de raiz quando comparadas às não inoculadas (ARAÚJO et al., 2020).

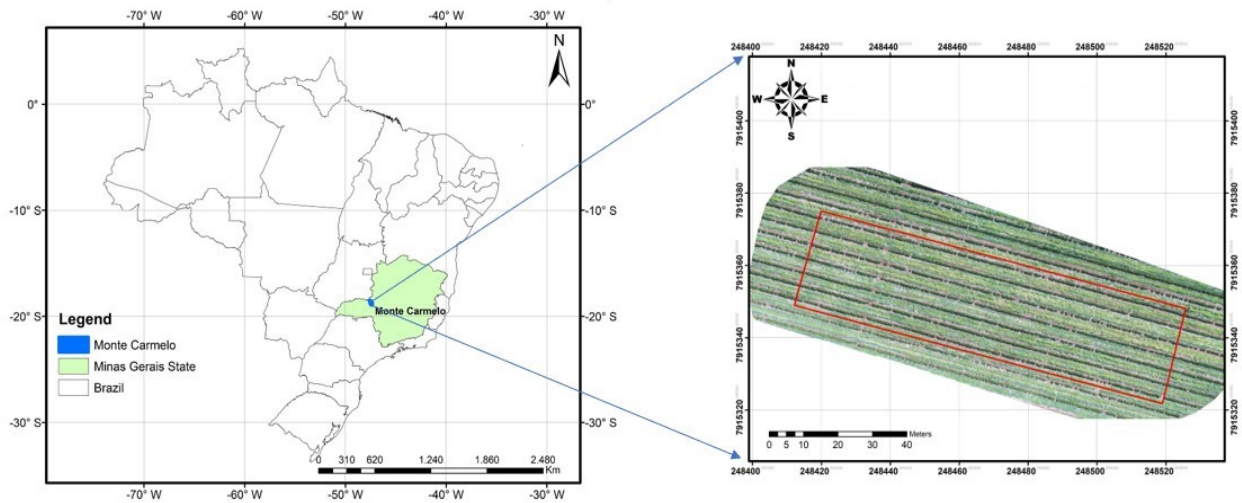
Os microrganismos promotores de crescimento de plantas (MPCP) estimulam a potencialização do desempenho vegetal através da produção de fitormônios, produção de sideróforos ou solubilização de nutrientes como o fósforo, potássio, zinco etc., e fixação de nitrogênio (PANDEY et al., 2019).

Os hormônios que auxiliam no desenvolvimento vegetal são auxinas, citocininas, giberelinas, ácido abscísico e etileno (SANTNER; ESTELLE, 2009). Os fungos tem a capacidade de produzir fitormônios semelhante ao ácido indolacético, citocininas e outros agentes promotores do crescimento da planta (TAN, ZOU, 2001). Portanto, os microrganismos apresentam extrema importância no desenvolvimento de novas tecnologias agrícolas, com o propósito de promover melhor desempenho no crescimento e na produção das plantas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em campo na Fazenda Jataí 2, município de Monte Carmelo, Minas Gerais, Brasil (18°50'18,5''S, 47°23'10, 8'' W e altitude 940 metros) (Figura 1). Em dezembro de 2020, realizou-se o plantio da lavoura de *Coffea arábica*, com a cultivar IPR 100, em sistema de sequeiro. O espaçamento do plantio foi de 3,8 m entre linhas e 0,60 m entre plantas, totalizando 4.386 plantas ha⁻¹. A instalação do sistema de irrigação via

gotejamento, foi em março de 2022, com espaçamento entre os gotejadores de 0,6 m e vazão de 1,6 L h⁻¹.



Fonte: CAMPOS, A. L

FIGURA 1. Mapa da área experimental.

Antes da implantação do experimento, em agosto de 2020, foram coletadas amostras de solo na profundidade de 0-20 cm, para as correções necessárias e recomendações adequadas para a cultura. Os resultados obtidos foram: P total= 253 mg dm⁻³; P Mehlich = 0,9 mg dm⁻³; P rem = 6,5 mg dm⁻³; K = 0,25 cmolc dm⁻³; Ca = 1,3 cmolc dm⁻³; Mg = 0,8 cmolc dm⁻³; Al³⁺ = 0,1 cmolc dm⁻³; H + Al = 3 cmolc dm⁻³; SB = 2,3 cmolc dm⁻³; T = 5,3 cmolc dm⁻³; V% = 43; m% = 4; S- SO₄⁻² = 9 mg dm⁻³; Zn = 0,6 mg dm⁻³; Fe = 23 mg dm⁻³; Mn = 1,9 mg dm⁻³; Cu = 1,7 mg dm⁻³ e B = 0,2 mg dm⁻³. O V% ideal para a cultura do café é de 60% a 70%. Fazendo um comparativo com o da análise de solo, de 43%, foi realizada a calagem pré-plantio em área total, com 3 t ha⁻¹ de calcário com 85% de Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT). Para a adubação no sulco de plantio, a dose utilizada foi de 8 L m⁻¹ da mistura de palha de café e esterco bovino, sendo 50% de cada. A adubação de cobertura, foi realizada três vezes, utilizando sulfato de amônio (20% de N e 23% de SO₄²⁻) na dose de 10g planta⁻¹. A classificação do solo da área experimental é Latossolo Vermelho, com 65,4% de argila.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 3x5. O primeiro fator foi composto por três formas de inoculação: não inoculada (Ni); muda inoculada (80 a 90 dias após a semeadura) onde foram inseridos dois grânulos da formulação de *A. niger* com a concentração de ~2x10⁶ conídios planta⁻¹ (Mi) (ARAÚJO et al., 2020) e inoculação pós-plantio, com adição de dez grânulos (0,071 g grânulo⁻¹) contendo *A. niger* na concentração de 2x10⁶ conídios cova⁻¹ (cova de 64L) (IP). O segundo fator, foi composto por

adubações fosfatadas, com quatro fontes de P. A dose utilizada de acordo com a análise de solo e recomendação para a cultura (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ, 1999) foi de 80 g de P_2O_5 cova⁻¹, desta forma, foi realizada a adubação com 1.166 kg ha⁻¹ de Fosfato Natural (9% de P_2O_5) (FN); 763 kg ha⁻¹ de Superfosfato Triplo (41% de P_2O_5) (TSP); 877 kg ha⁻¹ de Fosfato Natural + 189 kg ha⁻¹ de Superfosfato triplo (FN+TSP); 2.005 kg ha⁻¹ de Termofosfato (16% de P_2O_5) (TP) e sem P (SF). A aplicação dos adubos fosfatados foi de forma homogênea, no sulco de plantio, em novembro de 2020. A inoculação do fungo foi feita 77 dias após o plantio. Os grânulos foram adicionados ao lado da muda e da planta através de uma abertura no substrato e no solo respectivamente. No total, foram quinze tratamentos, e estão apresentados na Tabela 1 a seguir.

- Formas de inoculação:

Muda inoculada



Fonte: MUNDIM, G



Fonte: MUNDIM, G

Inoculação pós-Plantio



Fonte: MUNDIM, G



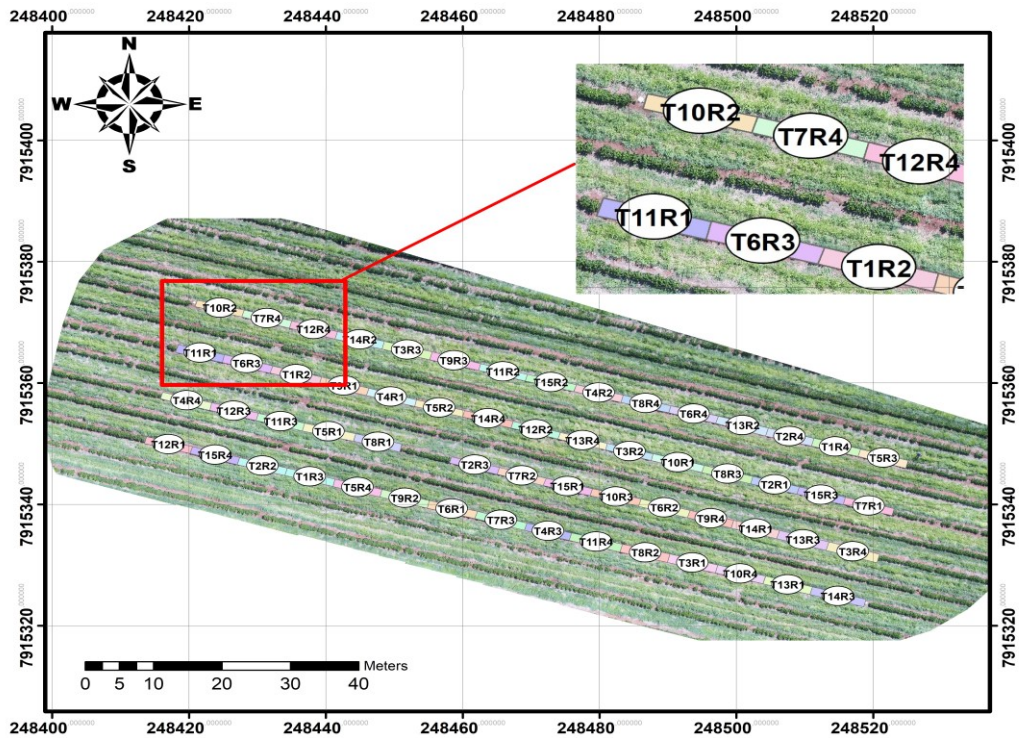
Fonte: MUNDIM, G

TABELA 1. Descrição dos tratamentos.

Tratamento	Inoculação	Adubação fosfatada
NiSF	Não inoculado	Sem P
NiFN	Não inoculado	FN
NiTSP	Não inoculado	TSP
NiFN+TSP	Não inoculado	FN + TSP
NiTP	Não inoculado	Termofosfato
MiSF	Mudas inoculadas	Sem P
MiFN	Mudas inoculadas	FN
MiTSP	Mudas inoculadas	TSP
MiFN+TSP	Mudas inoculadas	FN + TSP
MiTP	Mudas inoculadas	Termofosfato
IpSF	Inoculação pós-plantio	Sem P
IpFN	Inoculação pós-plantio	FN
IpTSP	Inoculação pós-plantio	TSP
IpFN+TSP	Inoculação pós-plantio	FN + TSP
IpTP	Inoculação pós-plantio	Termofosfato

FN: Fosfato Natural Reativo, TSP: Superfosfato Triplo, FN + TSP: 50% da dose de P para fonte.

As parcelas foram compostas por 12 plantas, sendo utilizado como padrão de avaliação 4 plantas homogêneas (parcela útil) destacadas com fitas brancas para a diferenciação das outras. Para que não ocorresse interferência entre os tratamentos, foi instalada uma linha de bordadura entre cada bloco. Os tratamentos possuem 4 repetições, somando um total de 60 parcelas (Figura 2).



Fonte: CAMPOS, A. L

FIGURA 2. Croqui da área experimental e distribuição dos tratamentos em campo: T1: NiSF; T2: NiFN; T3: NiTSP; T4: NiFN+TSP; T5: NiTP; T6: MiSF; T7: MiFN; T8: MiTSP; T9: MiFN+TSP; T10: MiTP; T11: IpSF; T12: IpFN; T13: IpTSP; T14: IpFN+TSP e T15: IpTP.

As avaliações do crescimento vegetativo das plantas foram feitas bimestralmente, com início em junho de 2021 a outubro de 2022. As características avaliadas foram: altura de planta (medida do colo até o ponto de inserção da gema terminal, utilizando uma régua com medidas em centímetros); diâmetro de copa (medida dos dois ramos nos sentidos das entrelinhas que apresentavam o maior comprimento, com régua em centímetros); diâmetro de caule (medido com paquímetro digital em milímetros, a 1 cm do colo da planta), número de nós por ramo plagiotrópico (contagem de nós localizados no terço médio da planta, nos dois lados da projeção da copa); comprimento de ramos plagiotrópicos (medida dos mesmos ramos usados na contagem de nós, com auxílio de uma régua em centímetros, desde a sua inserção no ramo ortotrópico) e número de ramos plagiotrópicos (contagem dos ramos produtivos que se originam do ramo ortotrópico).

- Características avaliadas:

Diâmetro de copa



Fonte: FERNANDES, M I

Altura de Planta



Fonte: FERNANDES, M I

Diâmetro de caule



Fonte: FERNANDES, M I

Comprimento de ramos



Fonte: CAMPOS, A. L

Número de nós



Fonte: CAMPOS, A. L

Número de ramos



Fonte: CAMPOS, A. L

As análises estatísticas foram feitas com o teste de Scott e Knott e Duncan a nível de 5%, e gráficos de crescimento mensal.

RESULTADOS

Os resultados da variável diâmetro de caule, obtidos em dezembro de 2021, um ano após o plantio, não apresentaram diferença pelo teste de Scott e Knott a nível de 5%, com exceção do tratamento MiSF, que obteve menor resultado. Em outubro de 2022, os resultados foram diferentes, onde os tratamentos NiTSP, NiFN+TSP, MiTSP, MiFN+TSP, MiTP, IpSF, IpFN,

IpTP se sobressaíram, quando comparados com NiSF, NiFN, NiTP, MiSF, MiFN, IpTSP e IpFN+TSP (Tabelas 2 e 3).

Para a variável altura de planta, o tratamento NiFN+TSP, obteve o melhor desempenho, nas avaliações feitas em outubro de 2022. Já para a variável diâmetro de copa, os resultados obtidos em dezembro de 2021, não apresentaram diferenças significativas pelo teste de Scott e Knott, a nível de 5%. Na última avaliação, em outubro de 2022, os tratamentos NiFN+TSP, MiTSP, MiFN+TSP, IpSF, IpTSP e IpTP se sobressaíram em comparação com os tratamentos NiSF, NiFN, NiTP, NiFN+TSP, MiSF, MiFN, MiTP, IpFN e IpFN+TSP (Tabelas 2, 3 e 4).

TABELA 2- Características biométricas do cafeeiro, submetido a diferentes formas de inoculação de *Aspergillus niger* e adubação fosfatada, em dezembro/2021.

Tratamentos	Diâmetro de caule (mm)		Altura de planta (cm)		Diâmetro de copa (mm)	
NiSF	11,8	a	49,00	b	33,1	a
NiFN	11,6	a	47,30	c	32,85	a
NiTSP	12,4	a	49,52	b	36,10	a
NiFN+TSP	12,62	a	53,15	a	36,60	a
NiTP	11,77	a	47,02	c	29,97	a
MiSF	10,82	b	46,97	c	30,65	a
MiFN	12,65	a	51,15	a	32,35	a
MiTSP	12,20	a	51,00	a	35,77	a
MiFN+TSP	12,25	a	51,27	a	34,85	a
MiTP	10,7	a	48,70	b	31,52	a
IpSF	12,70	a	51,72	a	40,20	a
IpFN	12,07	a	49,52	b	34,65	a
IpTSP	12,07	a	49,35	b	34,52	a
IpFN+TSP	12,07	a	52,45	a	36,15	a
IpTP	13,27	a	53,57	a	36,27	a

Médias seguidas por mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 95%. Ni (não inoculado); Mi (muda inoculada); Ip (inoculação pós-plantio); SF (sem P); FN (Fosfato Natural); TSP (Superfosfato Triplo); FN+TSP (Fosfato Natural + Superfosfato Triplo) e TP (Termofosfato).

TABELA 3- Características biométricas do cafeeiro, submetido a diferentes formas de inoculação de *Aspergillus niger* e adubação fosfatada, em outubro/2022

Tratamentos	Diâmetro de caule (mm)		Altura de planta (cm)		Diâmetro de copa (mm)	
NiSF	33,76	b	93,43	c	112,6	b
NiFN	33,95	b	93,47	c	112,02	b
NiTSP	35,07	a	94,85	c	114,02	b
NiFN+TSP	36,55	a	99,57	a	119,5	a
NiTP	34,52	b	90,22	d	111,4	b
MiSF	33,8	b	92,57	c	113,07	b
MiFN	34,45	b	93,97	c	114,17	b
MiTSP	35,7	a	96,12	b	117,15	a
MiFN+TSP	36,1	a	94,75	c	121,17	a
MiTP	35,25	a	90,72	d	112,65	b
IpSF	35,77	a	97,60	b	123,27	a
IpFN	35,05	a	92,70	c	113,2	b
IpTSP	32,95	b	94,07	c	117,5	a
IpFN+TSP	34,22	b	97,15	b	112,5	b
IpTSP	36,07	a	96,27	b	116,92	a

Médias seguidas por mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 95%. Ni (não inoculado); Mi (muda inoculada); Ip (inoculação pós-plantio); SF (sem P); FN (Fosfato Natural); TSP (Superfosfato Triplo); FN+TSP (Fosfato Natural + Superfosfato Triplo) e TP (Termofosfato).

No período de março de 2022 a outubro de 2022, foi observado um salto nos resultados para as características diâmetro de caule, diâmetro de copa e altura de planta (Figura 3, 4 e 5). Em março de 2022, foi instalado o projeto de irrigação por gotejamento na área experimental, onde pode ter favorecido o desenvolvimento das plantas, por reduzir o estresse hídrico, melhorar o ambiente do solo para as plantas e microrganismos, melhor aproveitamento dos nutrientes com o desenvolvimento das raízes etc. Com base nos dados dos gráficos para cada variável, o tratamento MiTSP, foi o que obteve melhor resultado de diâmetro de caule durante o intervalo dos sete meses, com 38,3 mm (Figura 3). Para a altura de planta, o tratamento NiFN+TSP, apresentou resultados maiores, quando comparado com os demais, com 99,6 cm (Figura 4). Já para a variável diâmetro de copa, o tratamento que se sobressaiu foi o IpSF com 123,3 mm (Figura 5).

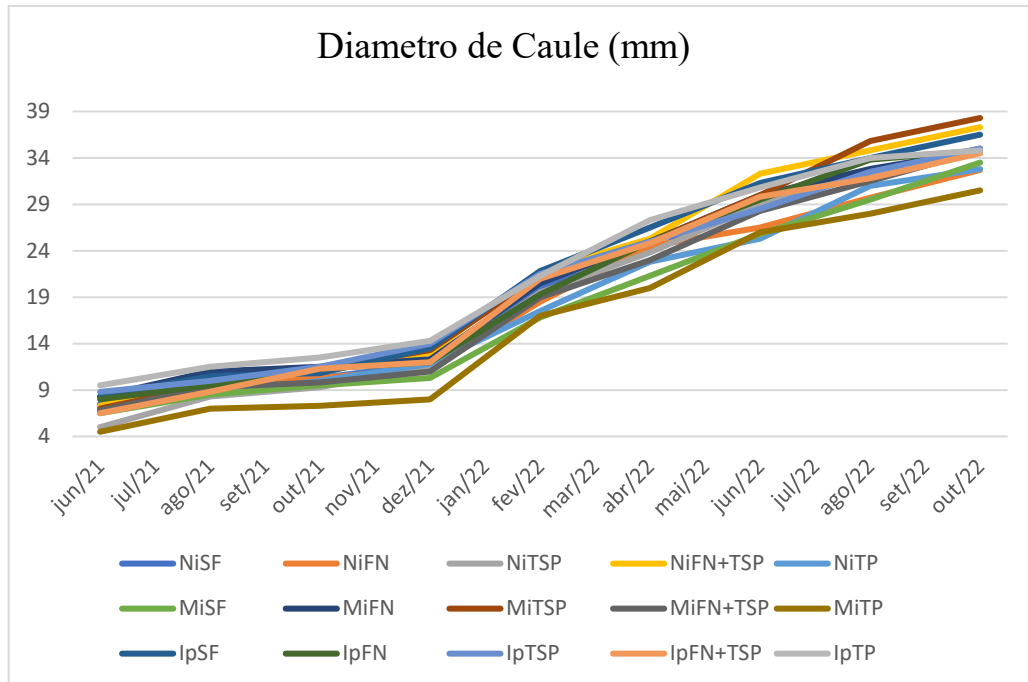


FIGURA 3- Taxa de crescimento mensal da variável diâmetro de caule do cafeeiro, após a instalação da irrigação na área experimental, em mar/2022.

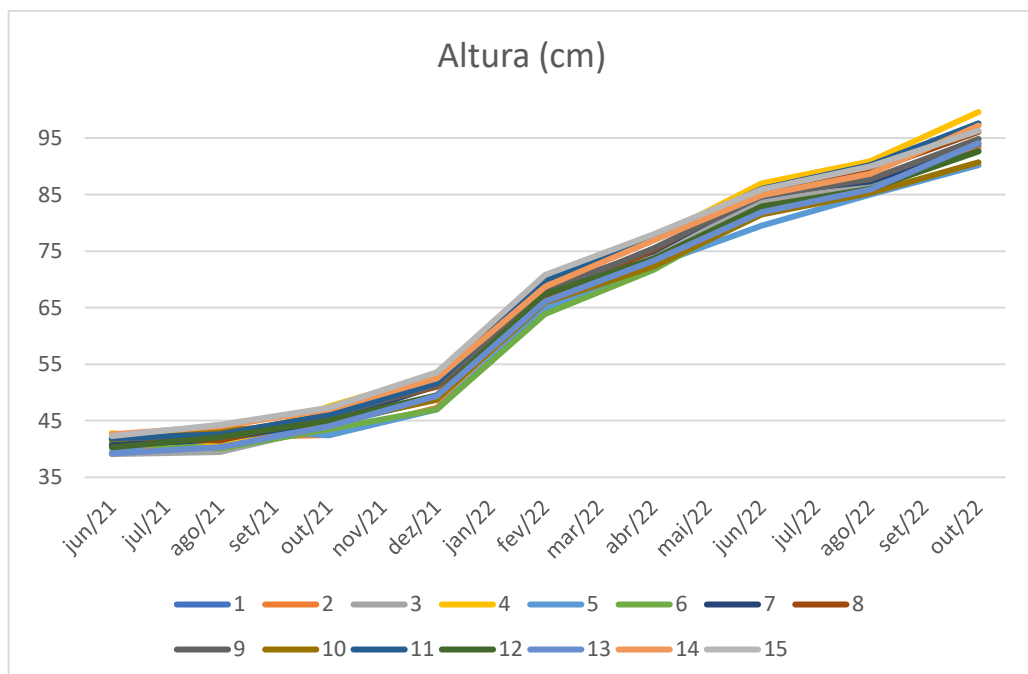


FIGURA 4- Taxa de crescimento mensal da variável altura de planta do cafeeiro, após a instalação da irrigação na área experimental, em mar/2022.

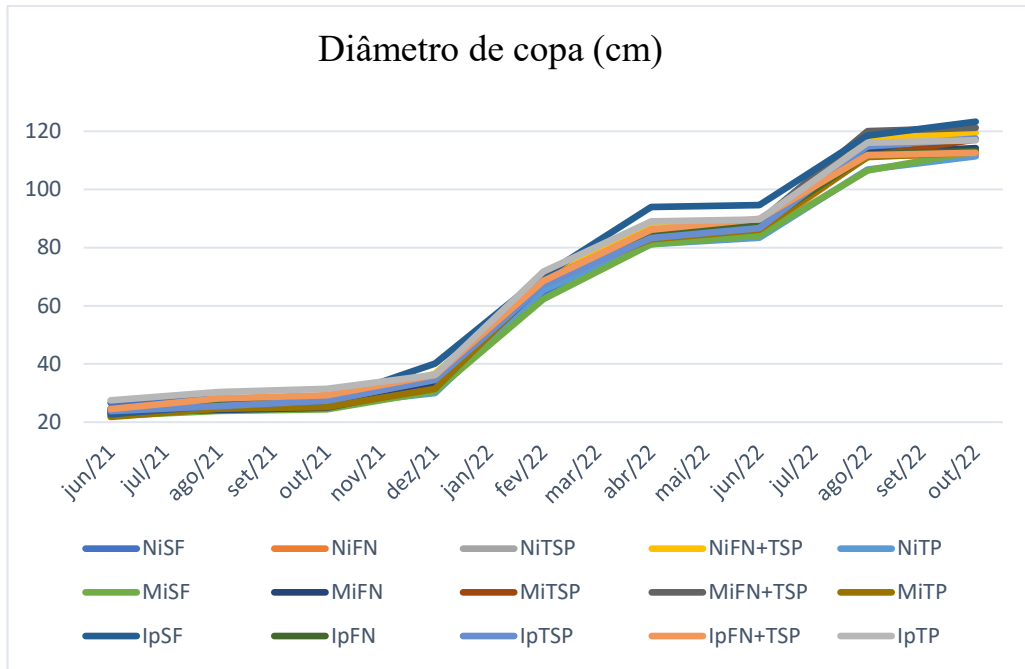


FIGURA 5- Taxa de crescimento mensal do diâmetro de copa do cafeeiro, após a instalação da irrigação na área experimental, em mar/2022.

A coleta de dados para as características número de nós por ramo plagiotrópico, comprimento de ramos plagiotrópicos e número de ramos plagiotrópicos foram feitas em fevereiro de 2022, pois antes desse período a planta estava pequena, dificultando as avaliações dessas características. De fev/22 a out/22, as características biométricas comprimento de ramo plagiotrópico face norte (cm), comprimento de ramo plagiotrópico face sul (cm) e número de ramos plagiotrópicos não apresentaram diferença entre as médias pelo teste de Duncan ($p < 0,05$).

Com relação a variável número de nós face sul, o tratamento MiSF obteve resultado melhor que os demais tratamentos, já para a variável número de nós face norte, o tratamento MiFN+TSP apresentou melhor desenvolvimento (Tabela 4)

TABELA 4. Taxa de crescimento mensal no período de fev/22 a out/22 das características biométricas do cafeeiro submetido a formas de inoculação de *Aspergillus niger* e fontes de P.

Tratamento	Nós face sul (unidades mês ⁻¹)	Nós face norte (unidades mês ⁻¹)
NiSP	1,34 ab	1,22 ab
NiFN	1,20 ab	1,18 ab
NiTSP	1,20 ab	1,14 b
NiFN+TSP	1,21 ab	1,28 ab
NiTP	1,18 ab	1,20 ab
MiSP	1,36 a	1,19 ab
MiFN	1,12 b	1,28 ab
MiTSP	1,22 ab	1,30 ab
MiFN+TSP	1,31 ab	1,36 a
MiTP	1,23 ab	1,24 ab
IpSP	1,24 ab	1,27 ab
IpFN	1,14 ab	1,13 b
IpTSP	1,13 ab	1,21 ab
IpFN+TSP	1,20 ab	1,17 ab
IpTP	1,17 ab	1,17 ab
CV (%)	11,09	10

Médias seguidas por letras distintas dentro de uma coluna diferem pelo teste de Duncan ($p < 0,05$).

DISCUSSÃO

Dos tratamentos inoculados com o fungo *Aspergillus niger*, o inoculado na muda mostrou ser mais viável que o inoculado pós plantio.

Entre as fontes de fósforo utilizadas, a mistura de fosfato natural + superfosfato triplo garantiu maiores taxas de crescimento, em quatro variáveis de seis avaliadas, sendo elas: diâmetro de caule, diâmetro de copa, altura de planta e número de nós face norte.

As variáveis analisadas, são de características reprodutivas da planta, ou seja, influenciará na produtividade final de grãos de café por hectare. Desta forma, como mostra essa pesquisa, a inoculação do fungo *Aspergillus niger* na muda do café, é uma alternativa benéfica e sustentável para se obter bons resultados na produtividade, por promover o crescimento dessas características biométricas, como o diâmetro de caule, que tem o papel fundamental no transporte de nutrientes e estabelecimento da planta na área, diâmetro de copa garantindo uma boa projeção das folhas, e número de nós por ramo plagiotrópico, que é de onde surgem os frutos.

O café é uma cultura perene e tem suas particularidades no manejo, por isso, sugere-se que é preciso fazer avaliações periódicas, em menor intervalo de tempo, bem como investigar a permanência do fungo no solo, analisar o comportamento do fósforo através da análise de solo e fazer um comparativo com a que foi feita antes do plantio, visto que pesquisas já comprovaram o potencial de isolados do fungo em solubilizar fósforo (MENDES et al., 2017; MENDES et al., 2014; MENDES et al., 2015; NASCIMENTO et al., 2021) contribuindo com o fornecimento do nutriente de forma sustentável e econômica para o produtor.

CONCLUSÃO

Portanto, essa pesquisa conclui que o fungo *Aspergillus niger* promove o crescimento de plantas de café, onde mostrou ser mais viável quando inoculado na muda, em comparação com a inoculação pós plantio. Com relação as formas de adubação fosfatada, a mistura de fosfato natural com superfosfato triplo, apresentou bons resultados estatísticos.

REFERÊNCIAS

- BANIK, S.; DEY, B. **Available phosphate content of an alluvial soil as influenced by inoculation of some isolated phosphate-solubilizing micro-organisms.** Plant and Soil, v. 69, n. 3, p. 353–364, 1982.
- BINI, D.; LOPÉZ, M. V. **Transformações microbianas do fósforo.** In: CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. (Eds.). Microbiologia do solo. 2. ed. Piracicaba: ESALQ, 2016. p. 149–167.
- CAMARGO, M. B. P. **The impact of climatic variability and climate change on Arabica coffee crop in Brazil.** Bragantia, Campinas, v. 69, n. 1, p. 239-247, 2010.
- CHATLI, A. S.; BERI, V.; SIDHU, B. S. **Isolation and characterisation of phosphate solubilising microorganisms from the cold desert habitat of Salix alba Linn. in trans Himalayan region of Himachal Pradesh.** Indian Journal of Microbiology, v. 48, n. 2, p. 267–273, 2008.
- DIAS, G. L.K. **Fontes e doses de fósforo para o cafeeiro: produtividade, dinâmica de nutrientes no solo e nutrição mineral das plantas.** Lavras: UFLA, 2012. 90p.

FERNANDES, L. T. A. et al. **A moderna cafeicultura dos cerrados brasileiros.** Pesquisa Agropecuária Tropical. 2012, v. 42, n. 2

FIGUEIREDO, S. M. **Doses e fontes de P₂O₅ no desenvolvimento inicial do cafeeiro.** Centro universitário do cerrado- Patrocínio, 2018.

FIGUEIREDO, G. M.; ALVES C. C. Análises de preços do mercado do café no mercado internacional. **Revista de Política Agrícola.** V. 31, N.2, p. 55-68 Jan./Fev./Mar. 2022.

FURTINI NETO, A. E. et al. **Fertilidade do Solo.** 2001. 261 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós-Graduação a distância Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas no Agronegócio) – UFLA, Lavras.

FILHO, Germano Nunes Silva; VIDOR, Caio. **Atividade de microrganismos solubilizadores de fosfatos na presença de nitrogênio, ferro, cálcio e potássio.** Pesq. agropec. bras., Brasília, v. 36, n. 12, p. 1495-1508, dez. 2001

GRANT, C. A.; FLATEN, D. N.; TOMASIESWICZ, D. J.; SHEPPARD, S. C. **A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta.** Informações Agronômicas, Piracicaba. 2001.

KUCEY, R.M.N., JANZEN, H.H., LEGGETT, M.E. **Microbially mediated increases in plant-available phosphorus.** Advanced Agronomy, v. 42, p. 199–228, 1989

KHAN, M. S.; ZAIDI, A.; AHMAD, M.; OVES, M.; WANI, P. A. **Plant growth promotion by phosphate solubilizing fungi – current perspective.** 2010. Archives of Agronomy and Soil Science, v. 56, n. 1, p. 73–98.

MACHADO, A. et al. A Cultura do Café (Coffea arabica) em Sistema Agroflorestal. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 3, n. 3, p. 1357-1369, jul./set. 2020.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas.** São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 631 p.

MANULIS, S. et al. **Characterization of the Erwinia amylovora Population in Israel.** Phytoparasitica, [s. 1.], v. 26, n. 2268, p. 39–46, 1998. DOI: Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF02981264>

MELO, B. et al. **Fontes e doses de fósforo no desenvolvimento e produção do cafeeiro, em um solo originalmente sob vegetação de cerrado de patrocínio- MG.** Ciência e Agrotecnologia, Volume: 29, Número: 2, Publicado: 2005

MENDES, G. O. et al. **Mechanisms of phosphate solubilization by fungal isolates when exposed to different P sources.** Annals of Microbiology, v. 64, n. 1, p. 239–249, 2014b.

PANDEY, A.; TRIPATHI, A.; SRIVASTAVA, P.; CHOUDHARY, K. K.; DIKSHIT, A. **Plant growth-promoting microorganisms in sustainable agriculture**. In: Role of Plant Growth Promoting Microorganisms in Sustainable Agriculture and Nanotechnology. [s.l.] Elsevier Inc., 2019. p. 1–19.

Sagoe CI, Ando T, Kouno K & Nagaoka T (1998) **Relative importance of protons and solution calcium concentration in phosphate rock dissolution by organic acids**. Soil Sci Plant Nutr 44: 617-625.

SANTOS, M. L. **Prospecção de fungos promotores de crescimento vegetal na rizosfera de eucalipto**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2011.

SANTNER, A.; ESTELLE, M. **Recent advances and emerging trends in plant hormone signaling**. Nature, London, v. 459, p. 1071-1078, 2009.

SCHNEIDER, K. D. et al. **Comparing phosphorus mobilization strategies using *Aspergillus niger* for the mineral dissolution of three phosphate rocks**. Journal of Applied Microbiology, v. 108, n. 1, p. 366–374, jan. 2010.

SILVA. **Seleção e caracterização de mutantes de *Aspergillus niger* eficientes em solubilizar fosfato na presença de fluoreto**. M.Sc. Thesis. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

SIQUEIRA, Halloysio Miguel de; SOUZA, Paulo Marcelo de; PONCIANO, Niraldo José. **Café convencional versus café orgânico: perspectivas de sustentabilidade socioeconômica dos agricultores familiares do Espírito Santo**. Revista Ceres, v. 58, n. 2, p. 155-160, 2011.

TAN R. X.; ZOU, W. X. **Endophytes: a rich source of functional metabolites**. Natural Product Reports, v. 18, p. 448-459, 2001.

TRIVEDI, P. et al. **Plant–microbiome interactions: from community assembly to plant health**. Nature Reviews Microbiology, [s. l.], v. 19, n. 1, p. 72–72, 23 jan. 2021. DOI: Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41579-020-00490-8>

TOLEDO, Maria Cristina Motta; PEREIRA, Vitor Paulo. **A variabilidade de composição da apatita associada a carbonatitos**. Revista do Instituto Geológico, São Paulo, 22 (1/2), 27-64, 2001.

Vassilev N, Mendes G, Costa M & Vassileva M. **Biotechnological tools for enhancing microbial solubilization of insoluble inorganic phosphates**. pp. Taylor & Francis, 2013.

WAKELIN, S.A., WARREN, R.A., HARVEY, P.R., RYDER, M.H.P. **Phosphate solubilization by *Penicillium* spp. closely associated with wheat roots**. Biology and Fertility of Soils, v. 40, p. 36-43, 2004

XIAO, C. Q.; ZHANG, H. X.; FANG, Y. J.; CHI, R. A. **Evaluation for rock phosphate solubilization in fermentation and soil–plant system using a stress-tolerant phosphatesolubilizing *Aspergillus niger* WHAK1.** Applied Biochemistry and Biotechnology, v. 169, n. 1, p. 123–133, 16 jan. 2013.