

**DESENVOLVIMENTO E ASSIMILAÇÃO DE NUTRIENTES DE MILHO
INOCULADO COM *Azospirillum brasilense* E DIFERENTES DOSES DE
NITROGÊNIO E FÓSFORO**

DEVELOPMENT AND NUTRIENT ASSIMILATION OF MAIZE UNDER INOCULATION WITH
Azospirillum brasilense AND DIFFERENT DOSES OF NITROGEN AND PHOSPHORUS

Leonardo Rodrigo Parra Mendes Santos¹

Higo Forlan Amaral²

Maria Paula Nunes³

RESUMO

Há mais de uma década a inoculação de *Azospirillum brasilense* é recomendação agrônômica para a cultura do milho, havendo possibilidade de reduzir de 30 a 40% da adubação nitrogenada (N). Além do suprimento de N, esta bactéria auxilia na promoção de crescimento vegetal e na absorção e fixação de outros nutrientes. O objetivo deste trabalho foi avaliar o desenvolvimento vegetal e absorção de nutrientes pela cultura do milho inoculados por *A. brasilense* em diferentes dosagens de fósforo (P) e nitrogênio (N). O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em Latossolo Vermelho distroférrico em Delineamento inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 2 x 4 com cinco repetições, sendo duas doses de N (100% e 70% do recomendado de 360 kg ha⁻¹ de N) e quatro de P (100%, 80%, 60% e 40% de 300 kg ha⁻¹ de P). As plantas foram conduzidas até a sexta (62 dias após a semeadura) folha verdadeira, foram coletadas e aferidos, o diâmetro de colmo (DC), altura de plantas (AP), massa fresca (MFA) e seca (MSA) da parte aérea e raiz (MFR) e (MSR), comprimento de raiz (CR), e de área foliar (IAF). Os dados foram submetidos a ANOVA e teste Scott-Knott em 5% e Análise de Componente Principais (ACP). Segundo o teste F da ANOVA foram significativos para o fator 1 (N) IAF, CR e K-aéreo; já para fator 2 foram significativos IAF, MFR e K-aéreo e para a interação dos fatores foi significativo N-aéreo e K-aéreo. As variáveis que mais se correlacionaram positivamente no 1º componente da ACP, foram MFA, MSA, MFR, MSR, já negativamente N-aéreo. Já no 2º componente da ACP, CR, AP, IAF (positivamente) e N-, P- e K-aéreo negativamente. Foi possível estabelecer agrupamentos distintos pela ACP em destaque para os tratamentos 70N100P e 70N80P e 100N40P. Evidencia-se que há possibilidade de novas recomendações do *A. brasilense* para redução da dosagem de P, o tratamento 70N40P demonstrou-se maior MSR, DC, IAF e AP, assim como expressivo aumento de absorção de nutrientes. Considera-se, portanto, boas perspectivas em modular novas recomendações de adubação de N e P para a cultura de milho inoculados com *A. brasilense*.

140

Palavras-chave: *Zea mays* (L.). Bactéria diazotrófica. Promoção de crescimento vegetal. Nutrição vegetal.

¹ Discente do curso de Agronomia do Centro Universitário Filadélfia (UniFil), Londrina, PR.

² Docente, Dr., do curso de Agronomia do Centro Universitário Filadélfia (UniFil), Londrina, PR. E-mail: higo.amaral@unifil.br.

³ Docente, Dr^a graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina (UEL), Londrina, Pr.

ABSTRACT

The inoculation of *Azospirillum brasilense* is an agronomic recommendation for the corn crop in Brazil for more than a decade that allows the reduction of 30% of the nitrogen fertilization (N). In addition to the N supply, these bacteria assist in promoting plant growth and absorption and fixation of other nutrients. The objective of this study was to evaluate the plant growth and nutrient uptake by maize inoculated with *A. brasilense* in different dosages of phosphorus (P) and nitrogen (N). The experiment was conducted in a greenhouse, in Haplorthox in a completely randomized design in 2 x 4 factorial with five repetitions two N (100% and 70% of the recommended 360 kg ha⁻¹ of N) and four of P (100%, 80%, 60% and 40% of 300 kg ha⁻¹ of P). The plants were harvested until the V-6 (62 days after sowing), there were measured the diameter of stem (DS), height of plants (HP), fresh weight (LFW) and dry (LDW) of leaf and root (RFW) and (RDW), root length (RL), and leaf area (LA). Data were submitted to ANOVA and Scott-Knott's test at 5% and Principal Component Analysis (PCA). According to the F test of ANOVA were significant for factor 1 (N) LA, RL and K; already for factor 2 were significant LA, LDW and K and for the interaction of the factors was significant N and K of leaf. The variables LFW, LDW, RFW and RDW were most positively correlated in the 1st component of the ACP and N were negatively correlation. The RL, PH, LA were positively correlation and N-, P- and K-leaf negatively on 2st component of ACP. According to ACP, treatments 70N100P and 70N80P and 100N40P were superior from the others. New studies can explore the *A. brasilense* inoculation to reduce the dosage of P. This is because 70N40P treatment was demonstrated on MSR, DC, IAF and AP, as well as expressive increase of nutrient absorption. Therefore, new perspectives are considered in modulating new recommendations of fertilization of N and P for the corn cultivation inoculated with *A. brasilense*.

141

Keywords: *Zeamays* (L.). Diazotrophic bactéria. Plant growth promotion. Plant nutrition.

1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* (L.)) é uma gramínea pertencente à família Poaceae. Possui elevada importância econômica no cenário da produção agrícola mundial, sendo consumido e cultivado em diversas partes do mundo, devido às suas qualidades nutricionais. A cultura do milho possui inúmeras aplicações, que vão desde a alimentação animal, por meio da produção de ração, alimentação humana, na forma de farinhas, óleos e flocos, à indústria de alta tecnologia, como a produção de biocombustível (FORNASIERI FILHO, 2007; CRUZ et al., 2011; CONAB, 2013; JUN-HONG; BO, 2016; USDA, 2016).

O Brasil ocupa a terceira posição no ranking mundial da produção de milho, com 85 milhões de toneladas métricas na safra 2014/2015, sendo, portanto

autossuficiente para o consumo interno, estando atrás apenas dos Estados Unidos (361,09 milhões de toneladas) e da China (215,65 milhões de toneladas) (USDA, 2016). Dentre os principais estados brasileiros produtores de milho estão Mato Grosso, Paraná, Mato Grosso do Sul, Goiás, Minas Gerais, Rio Grande do Sul, São Paulo, Santa Catarina, e Bahia, em ordem decrescente de produção na safra de 2014/2015, sendo Minas Gerais responsável por 8% da produção nacional (IBGE, 2015; CONAB, 2016).

O uso de fertilizantes sintéticos com o objetivo de suprir a demanda da cultura e incrementar a produtividade da planta (FRAZÃO et al., 2014) tem se tornado uma prática dispendiosa, uma vez que os custos para obtenção do produto estão cada vez mais elevados, acarretando evasão de recursos financeiros da propriedade rural e onerando a rentabilidade da lavoura (PÖTTKER; WIETHÖLTER, 2004; SILVA et al., 2005; DIAS; FERNANDES, 2006; SANTOS et al., 2013).

Considerando o elevado custo econômico e ambiental do processo industrial de fixação de N aliado ao aumento da demanda por alimentos, surge a necessidade de se incorporar, à atividade agrícola, novas tecnologias que visem à racionalização do uso de fertilizantes nitrogenados. Uma alternativa é o aproveitamento dos benefícios proporcionados pela associação entre bactérias diazotróficas (fixadoras de N) e culturas de grande interesse econômico visto que tais micro-organismos são capazes de promover o crescimento vegetal e gerar incrementos no desenvolvimento e na produtividade das culturas (BALDANI et al., 1997).

No Brasil, estudos pioneiros com bactérias diazotróficas associadas a gramíneas têm apresentado grande diversidade de microrganismos isolados de diversas culturas destacando-se, para a cultura do milho, bactérias dos gêneros *Azospirillum* e *Herbaspirillum*. Microrganismos do gênero *Azospirillum* são denominadas bactérias endofíticas facultativos (DÖBEREINER; BALDANI, 1982) uma vez que colonizam tanto o interior quanto a superfície das raízes.

Devido à baixa eficiência de aproveitamento do fósforo pela cultura do milho, em relação a outros nutrientes, como nitrogênio e potássio, Vitti et al. (1985) recomendam a utilização de elevadas doses. Esse fator pode estar relacionado com a alta fixação de fósforo no solo, resultando assim, em uma menor disponibilidade para as plantas, fato este evidenciado em solos com elevado teor de argila. Outro motivo que pode estar relacionado com a recomendação de elevadas taxas de fósforo

na cultura é pelo fato do milho apresentar um crescimento rápido e vigoroso da parte aérea, em um pequeno espaço de tempo, necessitando assim que a reposição de fósforo no solo seja mais rápida do que quando comparado com outras culturas perenes, por exemplo.

Nesse sentido, veem sendo estudados o emprego de novas tecnologias almejando a diminuição da utilização dos fertilizantes sintéticos, a implementação de práticas de manejo agrícola mais sustentáveis que possibilitem a preservação dos serviços ecossistêmicos, além de priorizar a diversidade natural e emissão de menores quantidades de poluentes (HUNGRIA, 2011; SMITH; KURTZ, 2015).

Mesmo na agricultura menos intensiva, onde são feitos baixos e médios investimentos em adubação nitrogenada, a inoculação não apresenta bons resultados em termos de possibilitar a eliminação do aporte de N (SANGOI et al., 2015). Por outro lado, a inoculação permite a redução da quantidade de fertilizantes nitrogenados aplicados em cobertura. Outros estudos já apresentaram resultados similares (HUNGRIA et al., 2010), o que pode representar uma importante economia na agricultura.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o desenvolvimento vegetal e assimilação de fósforo e nitrogênio pela cultura do milho inoculado por *A. brasilense* em diferentes dosagens de (P) e (N).

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em Casa de Vegetação, localizada no Campus Palhano do Centro Universitário Filadélfia, no município de Londrina-Pr. Brasil, latitude 23° .36' e longitude 51° .19' com altitude média de 610 metros. Segundo a classificação de Köppen, o clima de Londrina é do tipo Cfa, caracterizado como subtropical úmido, com chuvas em todas as estações, podendo ocorrer secas no período do inverno. Geralmente, a temperatura média do mês mais quente é superior a 25,5°C e a do mês mais frio, inferior a 16,4°C. Foram devidamente coletadas amostras de solo em outra propriedade do Centro Universitário Filadélfia, localizada na Fazenda Experimental segundo as coordenadas 23°23'21.3"S e 51°10'31.1"N.

O solo utilizado foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico (EMBRAPA, 2013). De acordo com os teores dos nutrientes a cima citados, realizou-

se a adubação de correção e incorporação ao solo com 200 Kg ha⁻¹ de Cloreto de Potássio – KCL (60% K₂O) e 300 Kg ha⁻¹ de Superfosfato Simples (21% P₂O₅), vinte dias antes do plantio. A adubação nitrogenada foi com base na recomendação de 360 Kg ha⁻¹ para os tratamentos.

Tabela 1 - Caracterização química de Latossolo Vermelho distroférico, coletado na camada de 0 a 20 cm.

pH	H+Al	MO g.dm ⁻³	P mg.dm ⁻³	Ca ----- cmolc.dm ⁻³ -----	Mg	K	V%	CTC
5,04	4,44	45,85	4,15	8,08	2,28	0,25	70,59	15,09

Sendo: pH em CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹; MO Walkley-Black; N (total): Mo x 0,05; P, K, e Na em Mehlich – 1; Ca, Mg, Al+3 em por KCl 1 mol L⁻¹. CTC em pH 7,0.

Segundo as recomendações da cultura, o solo foi corrigido com 0,3 g de cloreto de potássio (KCL) e 0,54 g de Superfosfato Simples que foram incorporados ao solo que foi acondicionado em vasos plásticos de três litros com 15 dias de antecedência do plantio. Foi utilizado também, 0,54 g de Ureia que foi aplicado um dia antes do plantio.

144

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado (DIC) 4 x 2 com cinco repetições.

As adubações nitrogenadas foram divididas em dois tratamentos em 100% e 70 % da dose, com base na recomendação do IAPAR (2003) de 360 kg ha⁻¹. Utilizando para o experimento repetições com 100%, 80%, 60% e 40% da dose de superfosfato simples e 100% de cloreto de potássio em todos os vasos, recebendo as sementes do milho Syngenta Fórmula TL de ciclo super precoce (130 a 140 dias) inoculadas com *Azospirillum brasilense*.

Para a inoculação foi utilizado o produto comercial líquido Azototal®, contendo estirpes AbV5 e Abv6 de *Azospirillum brasilense* de natureza líquida, suporte utilizado água, densidade 1,0 g cm⁻³, extrato de levedura: Cloreto de amônio como fonte de nitrogênio e vitaminas; Glicerol; Ácido málico como fonte de carbonol; Fosfato de potássio, Sulfato de magnésio; Cloreto de sódio; Cloreto de cálcio; Sulfato de cobre; Sulfato de zinco; Ácido bórico e Molibdênio de sódio e manganês.

A inoculação foi realizada adicionando-se o inoculante, na proporção de 100 mL do produto para 60.000 sementes. Após a homogeneização do produto com as sementes, deixou agir por aproximadamente 30 minutos antes do plantio.

A semeadura foi manual com auxílio de pinça, sendo realizado a 0,05 m de profundidade no dia 04 de julho de 2017. Para tanto foram semeadas quatro sementes por vaso. Realizou-se o desbaste após a apresentação da fase fisiológica V4, deixando apenas duas plantas por unidade experimental. A irrigação foi realizada diariamente de acordo com a demanda da cultura. Para avaliação das massas secas da parte aérea e radicular, as folhas e raízes foram condicionadas em estufa com a 68° por 72 horas. Para a mensuração do diâmetro do colmo e da largura da folha bandeira, foram realizadas medições com paquímetro, para mensurar a altura de planta e tamanho da folha bandeira foi utilizado uma fita métrica.

O experimento foi conduzido até a emergência completa da fase fisiológica V6. As plantas foram retiradas dos vasos uma a uma e cortadas na altura do solo, para mensuração das seguintes variáveis: diâmetro do colmo; altura de planta; massa fresca e seca da parte aérea; massa fresca e seca da parte radicular, índice da área foliar foi de acordo com Guimaraes et. al. (2002) que descreve o IAF segundo a fórmula: $(IAF=0,7458*LFB*CFB)$. E análise foliar de macro nutrientes foi realizada segundo metodologia comercial de DRIS no laboratório AGROLAB do município de Assis – SP.

145

Os resultados foram submetidos a ANOVA e teste Scott-Knott 5% e Análise de Componentes Principais. As análises foram realizadas pelo software estatísticos PAST versão 3.2 (HAMMER; HARPER; RYAN, 2001).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de significância do teste, o p-valor da ANOVA foram apresentados na tabela 2. Para massa fresca da parte aérea (MFA) e massa seca da parte aérea (MSA) não houve diferença estatística em relação aos fatores estudados (Tabela 2). Quando analisados graficamente foi possível houve diminuição de MFA e MSA no tratamento 70N/60P e aumento no tratamento 70N/40P, obtendo uma melhor resposta do que o tratamento 100N/100P (testemunha) (Figura1).

Tabela 2 - P-valor e nível de significância de ANOVA em DIC em esquema fatorial 2x4, sendo Fator 1 duas doses de nitrogênio (N) e Fator 2 quatro doses de fósforo (P) de parâmetros milho inoculado com *Azospirillum brasilense*.

Parâmetros	Fator 1 (Nitrogênio)	Fator 2 (Fósforo)	Fat1 x 2	CV%
Massa Fresca da parte Aérea (MFA)	0,094 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,2073 ^{ns}	29,96
Massa Seca da parte Aérea (MSA)	0,097 ^{ns}	0,49 ^{ns}	0,1688 ^{ns}	30,27
Massa Fresca de Raiz (MFR)	0,95 ^{ns}	0,039*	0,2252 ^{ns}	32,30
Massa Seca de Raiz (MSR)	0,88 ^{ns}	0,58 ^{ns}	0,2581 ^{ns}	37,73
Diâmetro de colmo (DC)	0,39 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,2089 ^{ns}	16,85
Índice de Área Foliar (IAF)	0,009*	0,043*	0,1373 ^{ns}	20,16
Comprimento de Raiz (CR)	0,046*	0,68 ^{ns}	0,029*	22,62
Altura de Plantas (AP)	0,046*	0,10 ^{ns}	0,1067 ^{ns}	10,06
Nitrogênio da Parte aérea (N-aéreo)	0,071 ^{ns}	0,082 ^{ns}	0,039*	15,10
Fósforo da Parte aérea (P-aéreo)	0,098 ^{ns}	0,092 ^{ns}	0,051 ^{ns}	18,55
Potássio da Parte aérea (K-aéreo)	0,041*	0,038*	0,028*	20,90

*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, ns = não significativo a 5% pelo teste F da ANOVA. CV% = coeficiente de variação em percentual.

Segundo Milléo e Cristófoli (2016) descreveram que a inoculação de *Azospirillum brasilense* seja responsável pelo aumento da de matéria vegetal de milho, principalmente a matéria seca, quando na presença de elevadas doses de N, correspondente ao encontrado neste trabalho (Figura1 e 2). No entanto, importante ressaltar.

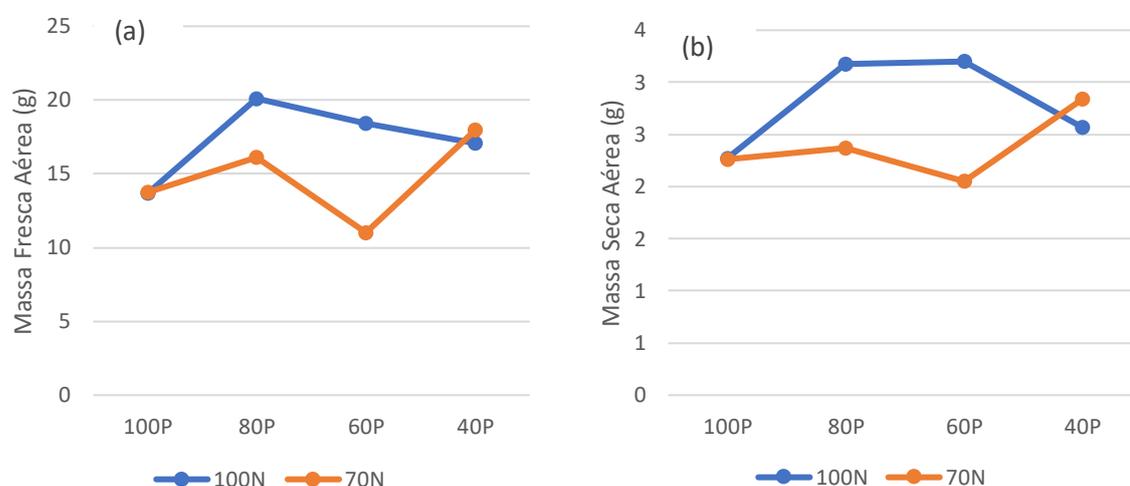
Para massa fresca aérea (MFA), todos os tratamentos deram como não significativas as mudanças a não ser para o tratamento 70N/60P que teve uma queda em rendimento de massa, porém, esse rendimento volta a melhorar no tratamento 70N/40P, obtendo uma melhor resposta do que o tratamento 100N/100P (testemunha) (Figura1).

Mensurando-se a massa seca aérea (MSA), os resultados comprovaram que a mudança que foi significativa foi do tratamento 70N/60P que foi observado uma queda de rendimento, porém, no tratamento 70N/40P esse índice já volta a melhorar e consegue ser melhor do que o tratamento 100N/100P (testemunha) (Figura1).

De acordo com os resultados encontrados por Majerowicz et. al. (2002), demonstra-se que o aumento na dose de N propiciou maior teor de massa de milho quando na inoculação de *A. brasilense*. Assim, Fernandes et. al. 2005 observou que

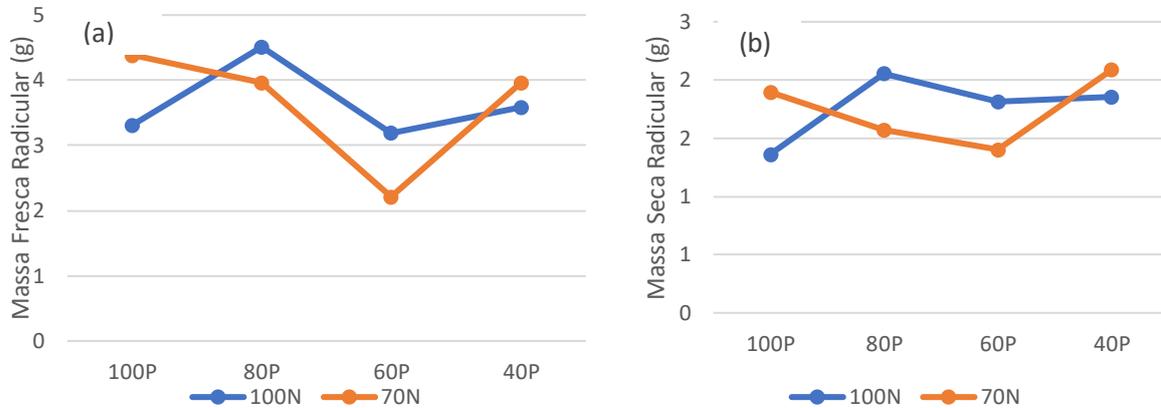
quanto maior a disponibilidade de N, maior foi o acúmulo de massa seca, corroborando com os resultados encontrados neste trabalho. Importante, ressaltar que não houve diferença significativa para MFA e MSA para o fator N e fator P, portanto, as observações de diferenças apontadas na Figura 1 não resultaram em alterações drásticas destes parâmetros. No entanto, no tratamento 70N/40P a MFA e MSA de plantas de milho tiveram um aumento, mesmo não havendo diferença estatística.

Figura 1 - Massa fresca e seca da parte aérea das plantas de milho em diferentes doses de nitrogênio e fósforo inoculados com *A. brasilense*.



Para MFR observou-se menor média nas duas doses de N e 60P, principalmente quanto 70N (Figura 2a), e novamente, observou aumento, neste caso de MFA, em 70N/40P. Os resultados médios de MSR foram relativamente constantes na dose de 100N, porém, notou-se a mesma diminuição e aumento, respectivamente, em 70N com 60P e 40P (Figura 2b).

Figura 2 - Massa fresca e seca da parte radicular das plantas de milho em diferentes doses de nitrogênio e fósforo inoculados com *A. brasilense*.



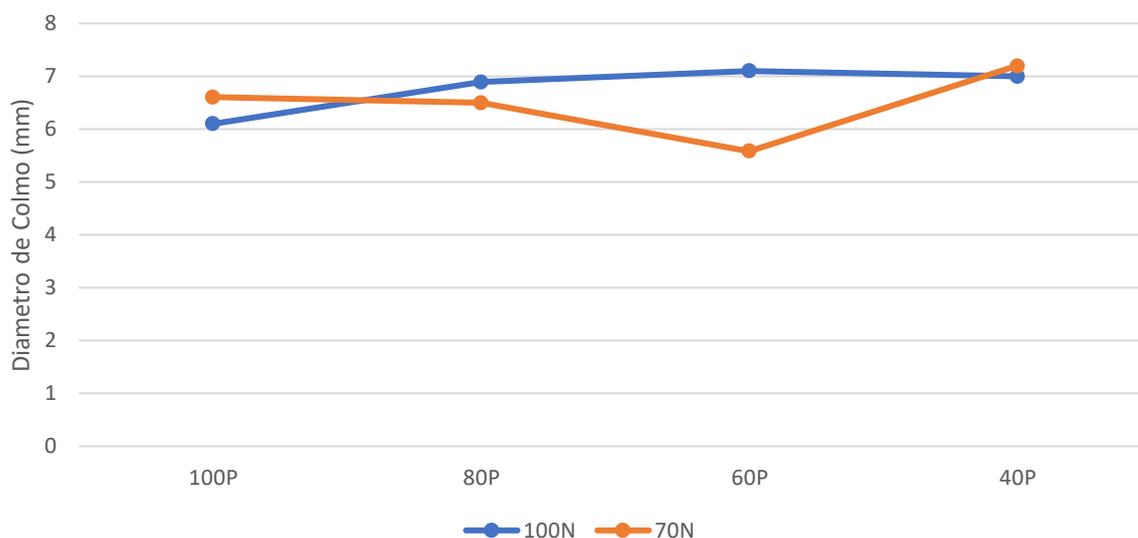
Realizado o teste estatístico para os dados de DC avaliado o Fator 1 (dose de N) e o Fator 2 (dose de P) como significativo a 5% de probabilidade com a dosagem de 100N, indiferente da dosagem de P, não foi possível observar diferença significativa (Figura 3).

148

No entanto, para o fator 2 (dose de P) na dosagem de 70N pode-se observar um pequeno aumento de diâmetro de colmo quando a dosagem foi de 40P. A qualidade de colmo é uma das mais importantes características do milho para a produção em larga escala com colheita mecanizada, podendo ser avaliada pela porcentagem de plantas acamadas e quebradas (MIRANDA, et al., 2003).

Cabe salientar que maior DC está diretamente relacionado com o aumento da produção, uma vez que atua no armazenamento de sólidos solúveis que serão utilizados posteriormente para a formação dos grãos (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000) especialmente se algum estresse vier a comprometer a taxa de produção e translocação de fotoassimilados durante a fase de enchimento de grãos.

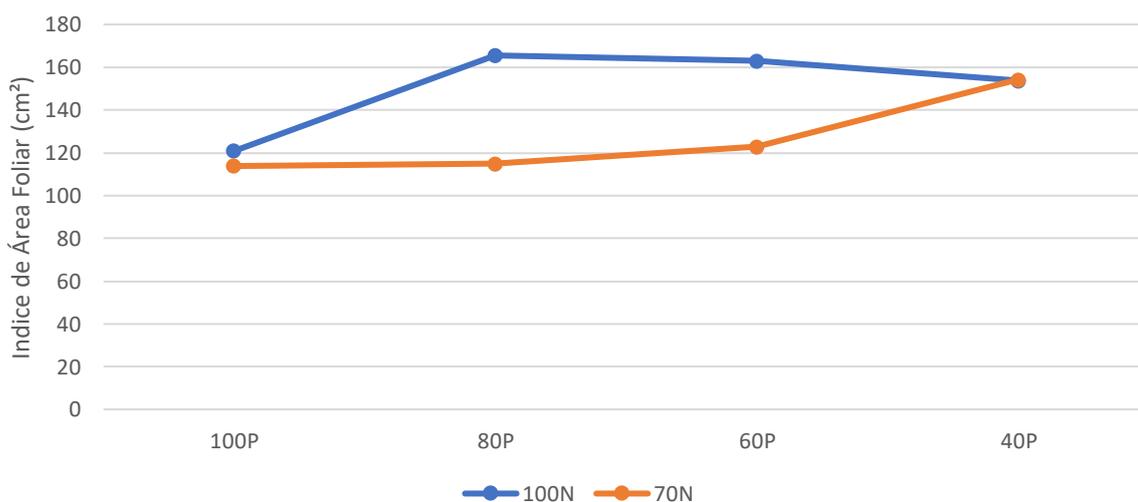
Figura 3 - Diâmetro de colmo das plantas de milho em diferentes doses de nitrogênio e fósforo inoculados com *A. brasilense*.



Nos resultados de Índice de Área Foliar (IAF), houve diferença significativa em todas as dosagens do Fator 1 e no Fator 2 a não ser na dosagem de 40P que obteve uma resposta entre o tratamento 100N/40P e 70N/40P iguais (Figura 4).

149

Figura 4 - Índice de área foliar das plantas de milho em diferentes doses de nitrogênio e fósforo inoculados com *A. brasilense*.



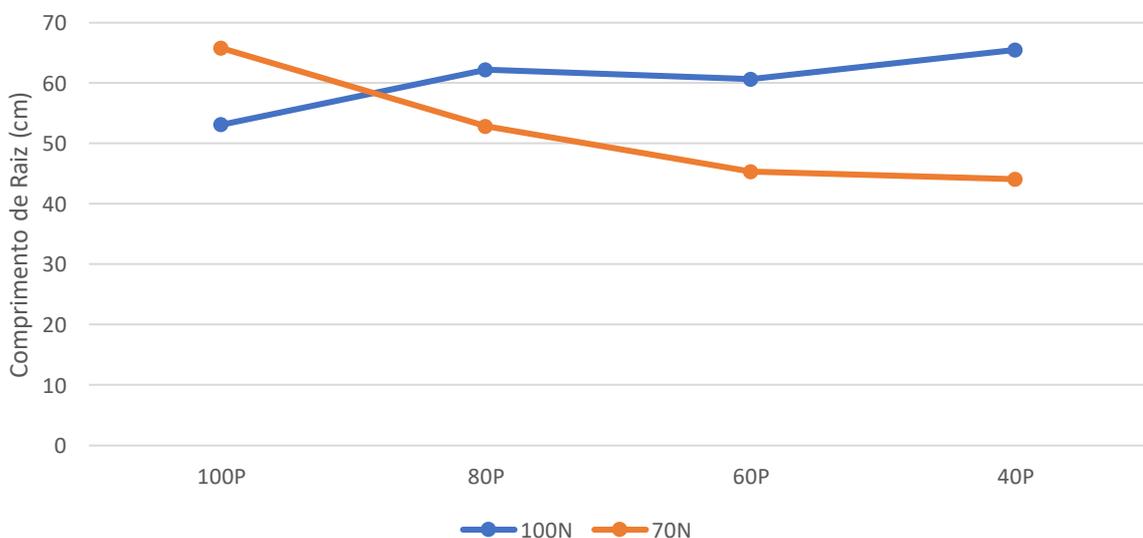
O aumento do teor de N disponibilizado às plantas proporcionou maior crescimento e aumento da área foliar. Folhas bem nutridas em N têm maior capacidade de assimilar CO₂ e sintetizar carboidratos durante a fotossíntese,

resultando em maior crescimento e duração da área foliar. Assim, a fotossíntese mostra-se imprescindível. Em termos gerais, considera-se como importante característica condicionadora de produção a extensão da área foliar, que permanece fisiologicamente ativa após a emergência das espigas (CASTRO et. al., 2008). Ainda no estágio V4, para as doses de 50% e 100% não foi pronunciado esse efeito, possivelmente pela maior presença de nutriente próximo a raiz aplicado na semeadura, o que fez com que a planta não se necessita explorar o solo em busca de nutrientes. Com água das chuvas, nitrogênio aplicado fica disponível às plantas, favorecendo a absorção deste nutriente (ARAUJO et. al., 2005), não sendo necessário crescimento acentuado das raízes em busca de N.

Nos resultados de CR foi significativo para o Fator 1 (N) e a interação Fatores 1 vs. 2 (N*P), em 100N houve ligeiro aumento CR com diminuição do P, com 70N houve ligeira diminuição de CR com diminuição de P (Figura 5). Como o experimento foi conduzido em vaso de três litros a necessidade da raiz em ir em busca de nutrientes não foi alta e a irrigação foi realizada conforme a exigência da cultura, por isso, não foram obtidos resultados satisfatórios nessa variável, porém, se comparado com o trabalho de Ceccato Junior, Guimarães e Suss (2016), todas as médias dos tratamentos, tiveram comprimento de raiz a cima de 40 cm que correspondem a plantas de milho inoculadas com *A. brasilense* (Figura 5).

150

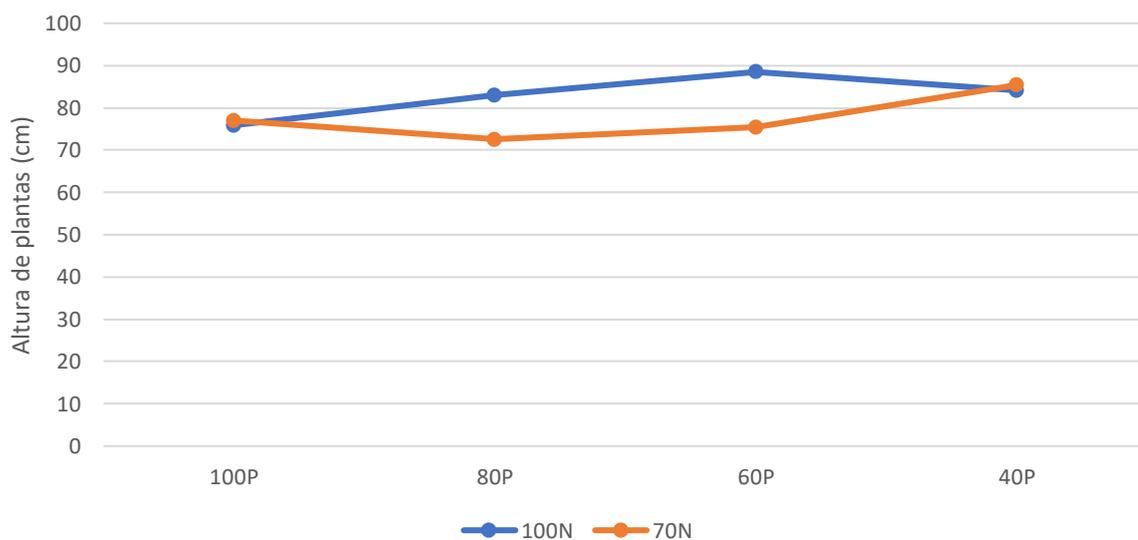
Figura 5 - Comprimento de raiz das plantas de milho em diferentes doses de nitrogênio e fósforo inoculados com *A. brasilense*.



Ceccato Junior, Guimarães e Suss (2016) verificaram efeito significativo da inoculação com *A. brasilense* no comprimento de raiz, sendo o valor médio de comprimento de raiz de plantas inoculadas 56,07 cm e 38,39 cm para não inoculadas.

Como o presente trabalho foi utilizado no Fator 1 utilizando diferentes dosagens de N, na diferença de altura de plantas (AP), houve diferença significativa em todas as dosagens do Fator 1. No Fator 2 a não ser na dosagem de 100P e de 40P que obtiveram uma resposta entre o tratamento, 100N/100P, 70N/100P e 100N/40P, 70N/40P iguais respectivamente (Figura 6).

Figura 6 - Altura das plantas de milho em diferentes doses de nitrogênio e fósforo inoculados com *A. brasilense*.



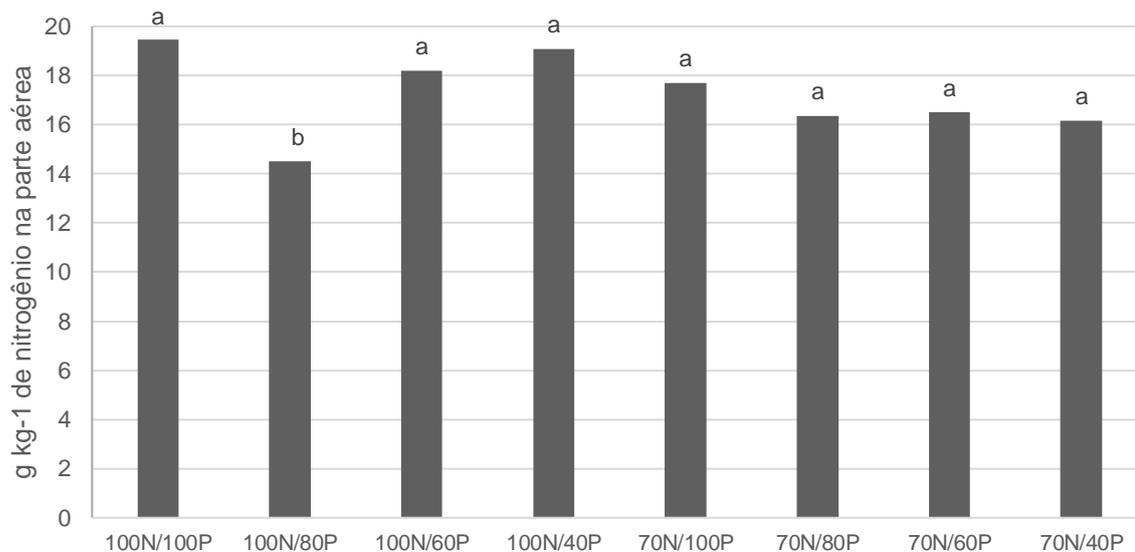
Segundo Castro et. al. (2008), a AP é influenciada pela disponibilidade de nitrogênio no solo, uma vez que este nutriente participa diretamente na divisão e expansão celular e no processo fotossintético. Isso evidencia que plantas nutridas adequadamente com N podem ter maior desenvolvimento vegetativo.

Se referindo especificamente ao milho, vários trabalhos têm demonstrado os benefícios do uso de inoculantes do gênero *Azospirillum*, tais como aumento na produtividade de grãos, aumento da matéria seca, acúmulo de N na parte aérea (OKON; LABANDERA-GONZALEZ, 1994)

Em relação a análise foliar do nutriente N, as diferenças foram significativas em relação aos tratamentos.

No tratamento 100N/40P foi possível observar uma boa resposta em relação ao nitrogênio se for comparado com os demais tratamentos e com o tratamento 100N/100P (testemunha) que obteve a melhor resposta (Figura 7).

Figura 7 - Quantidade (g kg^{-1}) de N aérea de milho em diferentes doses de nitrogênio e fósforo inoculados com *A. brasilense*.

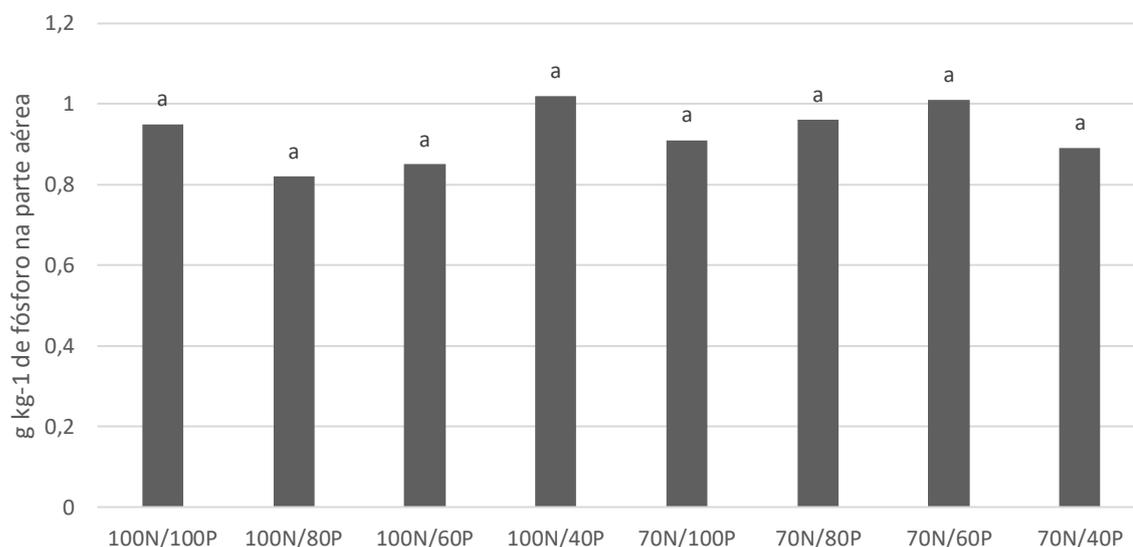


Azospirillum produzem hormônios vegetais, como o ácido indol-acético (IAA), que desempenham um papel essencial no crescimento da planta. Eles podem melhorar a absorção de várias macro e micronutrientes, aumentando a eficiência da planta no uso de nutrientes disponíveis, o que pode ajudar a explicar o aumento da concentração de P e S no tecido foliar (HUNGRIA et al., 2010). Outra possível explicação para o aumento da concentração de P nas folhas está relacionada à habilidade de algumas bactérias endofíticas para promover o crescimento da planta através da dissolução do fosfato (COLLAVINO et al., 2010).

A inoculação de bactérias com a capacidade de dissolver fosfato no solo significa que pode haver P dissolvido ou precipitado de uma forma que a planta não consegue absorver (P não lábil) e isso pode resultar em maior concentração de nutrientes nos rebentos, com melhor desenvolvimento da planta e capacidade produtiva (CANBOLAT et al., 2009; DIAS et al., 2009).

Nos tratamentos 100N/40P e 70N/60P foi possível observar uma melhor resposta em relação ao fósforo se for comparado com os demais tratamentos em relação a análise foliar observando o nutriente P (Figura 8).

Figura 8 - Quantidade (g kg^{-1}) de P aérea de milho em diferentes doses de nitrogênio e fósforo inoculados com *A. brasilense*.

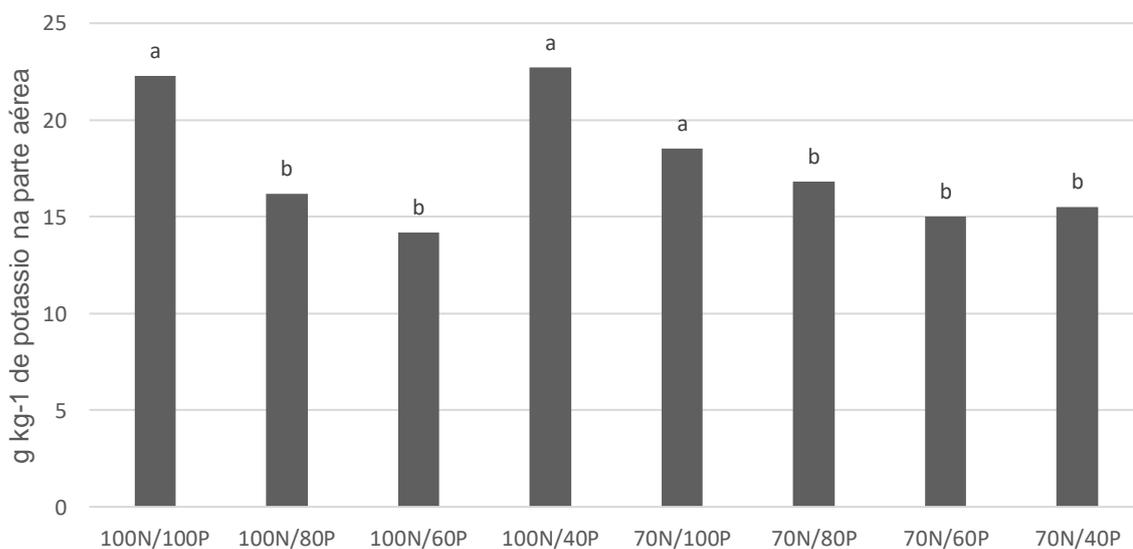


Em relação a análise foliar do nutriente K, as diferenças foram significativas em relação aos tratamentos.

153

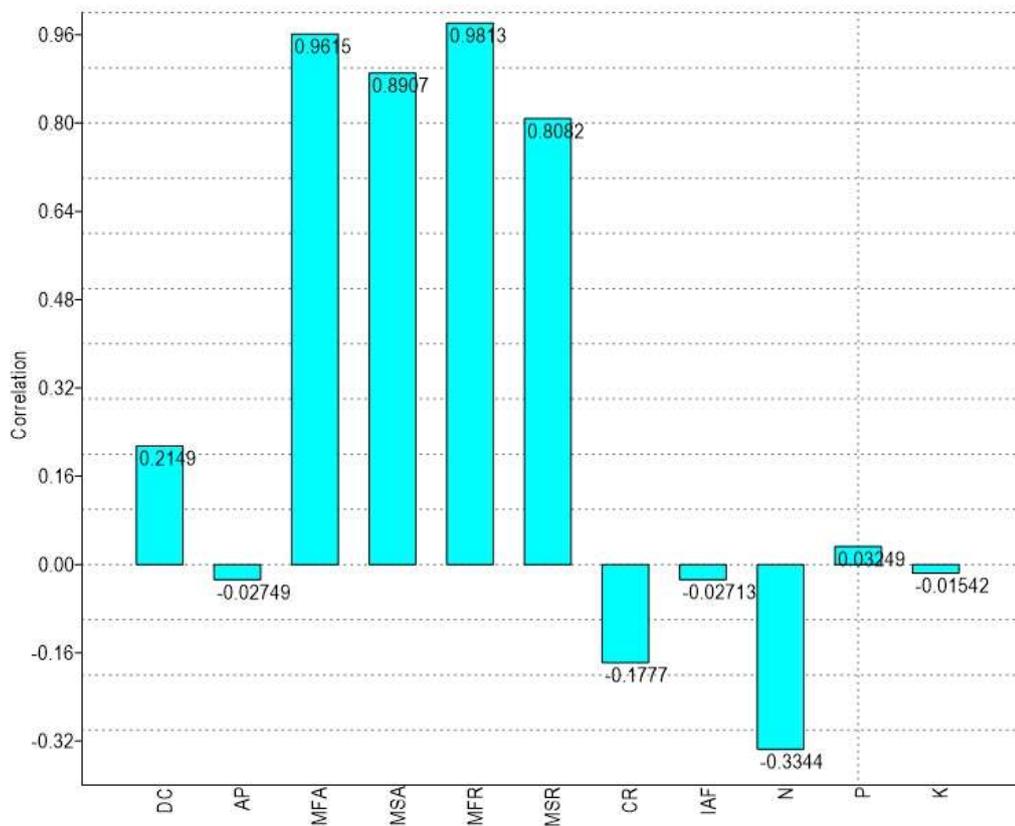
No tratamento 100N/40P foi possível observar uma boa resposta em relação ao potássio se for comparado com os demais tratamentos e com o tratamento 100N/100P (testemunha) que obteve a mesma resposta (Figura 9).

Figura 9 - Quantidade (g kg^{-1}) de K aérea de milho em diferentes doses de nitrogênio e fósforo inoculados com *A. brasilense*.



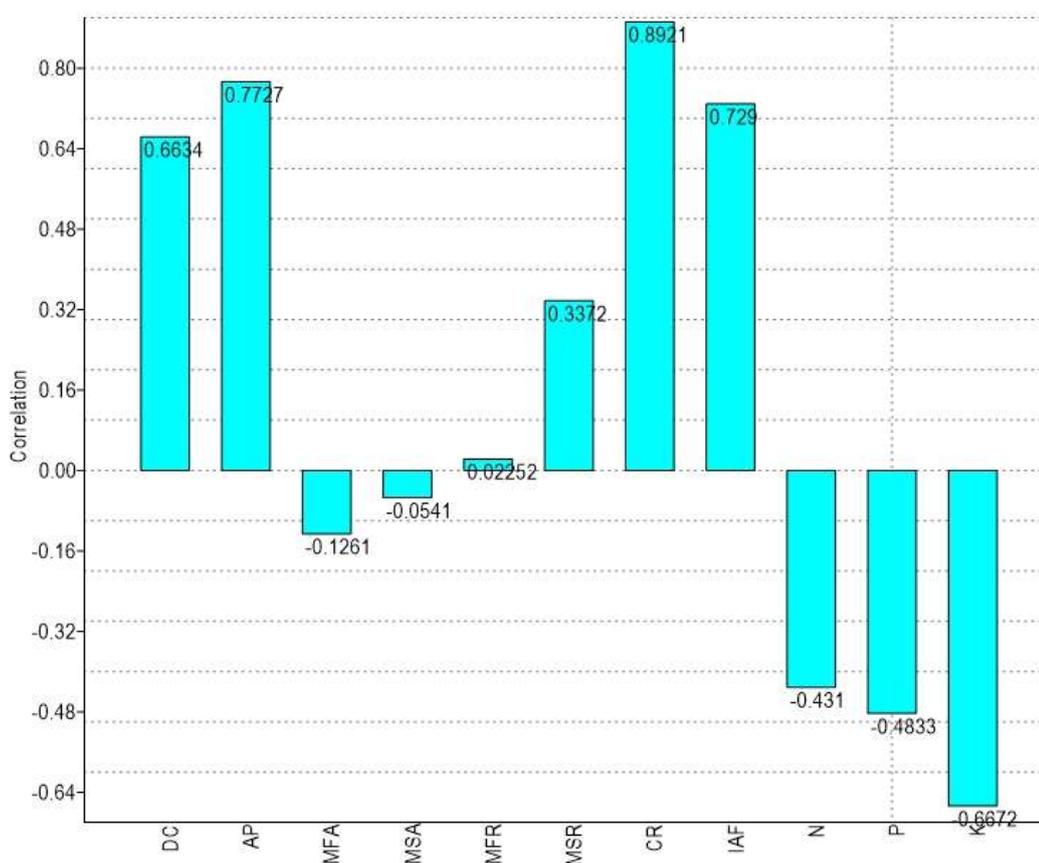
Os dois primeiros componentes da ACP responderam 65,006 % da variância do modelo estudado, com valor de Jolliffe cut-out de 0,01583. No 1º componente observaram-se que MFA, MSA, MFR e MSR tiveram correlação positiva, com 96,15%, 89,07%, 98,13% e 80,82% respectivamente (Figura 10). Negativamente, observou-se que o N-aéreo teve correlação de -33,44% no 1º componente.

Figura 10 - Primeiro (1º) componente da ACP de parâmetros de milho inoculado com *Azospirillum brasilense* em duas doses de nitrogênio (N) e quatro doses de fósforo (P).



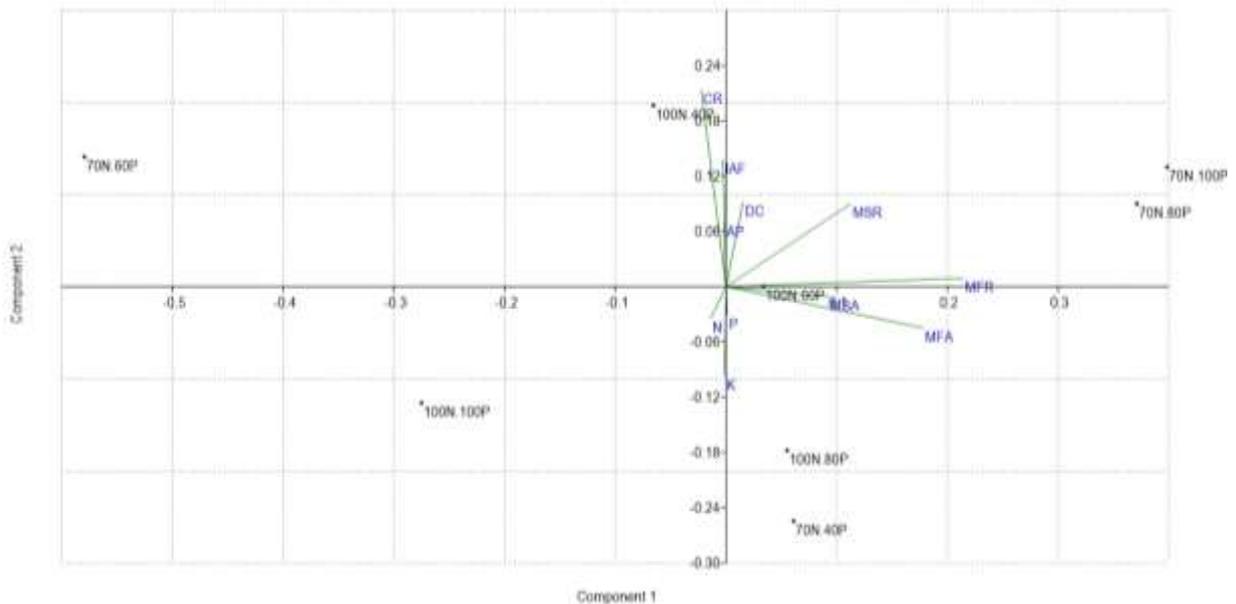
Já no 2º componente da ACP notaram-se que CR teve 89,21% de correlação positiva, com AP com 77,27%, IAF com 72,9% e DC com 66,34% (Figura 11). Importante ressaltar que os elementos N, P e K correlacionaram negativamente no 2º componente com -43,1%, - 48,33% e - 66,72%, respectivamente (Figura 11).

Figura 11 - Primeiro (2º) componente da ACP de parâmetros de milho inoculado com *Azospirillum brasilense* em duas doses de nitrogênio (N) e quatro doses de fósforo (P).



No 1º componente, os tratamentos os tratamentos que correspondiam a 70% da dosagem de N que foram 70N/100P e 70N/80P ficaram positivamente relacionados com MFA, MSA, MFR e MSR, o que justifica a redução da dosagem de N com a inoculação de *A. Brasilense* (Figura12). Porém, negativamente ficaram CR e N-aéreo. No 2º componente, CR, AP e IAF ficaram satisfatórios para o tratamento com a menor dosagem de P que corresponde ao tratamento 100N/40P.

Figura 12 - Análise discriminante (ACP) de diferentes níveis de N e P em milho inoculados com *A. Brasilense*.



Foi possível estabelecer agrupamentos distintos pela ACP em destaque para os tratamentos 70N100P e 70N80P e 100N40P. Evidencia-se que há possibilidade de novas recomendações do *A. brasilense* para redução da dosagem de P, o tratamento 70N40P demonstrou-se maior MSR, DC, IAF e AP, assim como expressivo aumento de absorção de nutrientes. Considera-se, portanto, boas perspectivas em modular novas recomendações de adubação de N e P para a cultura de milho inoculados com *A. brasilense*.

4 CONCLUSÃO

Em relação as doses de nitrogênio (Fator 1) o desenvolvimento de milho, de maneira geral, quando inoculado com *A. brasilense*, não apontou diferenças significativas na maioria dos parâmetros. Portanto, confirma-se a recomendação para redução de 30% de N para milho quando inoculado com tal bactéria.

Já para as doses de fósforo (Fator 2) em 100% de N e redução para 40% de P aumentou-se os parâmetros de desenvolvimento e absorção de N, P e K aferidos da parte aérea das plantas de milho. No entanto, deve-se ressaltar que alguns parâmetros de desenvolvimento como massa da parte aérea e radicular e diâmetro

de colmo aumentaram com 70% de N e 40% de P, mas neste tratamento reduziu-se o K assimilado.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, A. S. F.; TEIXEIRA, G. M.; CAMPOS, A. X.; SILVA F. C., AMBROSANO, E. J. TRIVELIN, P. C. O. Utilização de nitrogênio pelo trigo cultivado em solo fertilizado com adubo verde (*Crotalaria juncea*) e/ou uréia. **Ciência Rural**, v.35, p.284-289, 2005.

BALDANI, J. I.; CARUSO, L.; BALDANI, V. L. D.; GOI, S. R.; DOBEREINER J. Recent advances in BNF with non-legume plants. **Soil Biology and Biochemistry**, v.29, p.911-922, 1997.

CANBOLAT MY, BILEN S, CAKMAKCI RS, AHIN F, AYDIN A. Effect of plant growth-promoting bacteria and soil compaction on barley seedling growth, nutrient uptake, soil properties and rhizosphere microflora. **Biology Fertility of Soils**, v.42, p.350-7, 2009.

CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A.; SESTARI, I. **Manual de fisiologia vegetal: fisiologia de cultivos**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2008. 864 p.

157

CECCATO JUNIOR, R.; GUIMARÃES, V.F.; SUSS, A.D. Fertilização com sulfato de magnésio na cultura do milho submetido a inoculação de *Azospirillum brasilense*. In: ENCONTRO ANUAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, TECNOLÓGICA E INOVAÇÃO, 2., 2016, Marechal Cândido Rondon. **Anais...** Cascavel: Unioeste, 2016. 5 p.

Collavino MM, Sansberro PA, Mroginski LA, Aguilar OM. Comparison of in vitro solubilization activity of diverse phosphate-solubilizing bacteria native to acid soil and their ability to promote *Phaseolus vulgaris* growth. **Biology Fertility of Soils**, v. 46, p.727-38, 2010.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. 2016. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_01_12_09_00_46_boletim_graos_janeiro_2016.pdf> Acesso em: 17 jan. 2017.

CRUZ, J. C. et al. **Cultivo do milho: plantio**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_6_ed/manejomilho.htm>. Acesso em: 01 set. 2015.

DIAS, V. P.; FERNANDES, E. Fertilizantes: uma visão global sintética. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 24, p. 97-138, 2006. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set2404.pdf>, Acesso em: 11 Mar. 2016.

DÒBEREINER, J.; BALDANI, I. J. Bases científicas para uma agricultura biológica. **Ciência e Cultura**, v.34, p.869-881, 1982.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação do Solo - SIBCS**. 3 ed. Brasília/DF, 2013. 353 p.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360p.

FORNASIERI FILHO, D. **Manual da cultura do milho**. Jaboticabal: Funep, 2007. 573p.

FRAZÃO, J. J. Et al. Fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada e ureia na cultura do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 12, p. 1262-1267, 2014.

HUNGRIA M. et al. Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. **Plant and Soil**, v.331, p.413-25, 2010.

HUNGRIA, M. **Inoculação com *Azospirillum brasilense*: inovação em rendimento a baixo custo**. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 36 p.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; SOUZA, E. M.; PEDROSA, F. O. Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. **Plant Soil**, v. 331, p. 413-425, 2010.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. 2015. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_[mensal]/Fasciculo/lspa_201504.pdf>. Acesso em: 01 ago. 2015.

JUN-HONG, LIU; BO, YANG. The pre-treatment of corn straw in the bioethanol production in China. **Energy & Environment**, v. 27, n. 3-4, p. 414-419, 2016.

MIRANDA, G.V. et al. Potencial de melhoramento e divergência genética de cultivares de milho-pipoca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.6, p.681-688, 2003.

PÖTTKER, D.; WIETHÖLTER, S. Épocas e métodos de aplicação de nitrogênio em milho cultivado no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 34, n. 4, p. 1015-1020, 2004.

REIS JUNIOR FB, MACHADO, CTT, MACHADO AT, SODEK L. Inoculação de *Azospirillum amazonense* em dois genótipos de milho sob diferentes regimes de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1139-1146, 2008.

SANGOI, L. et al. Desempenho agronômico do milho em razão do tratamento de sementes com *Azospirillum sp.* e da aplicação de doses de nitrogênio mineral. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 1141-1150, 2015.

SANTOS, D. G. et al. Eficiência de fertilizantes nitrogenados de liberação lenta em sistema de produção de milho durante dois ciclos agrícolas na Amazônia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 34., 2013, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, SC, 2013.

SMITH, S.; KURTZ, B. Why do us corn yields increase? The contributions of genetics, agronomy, and policy instruments. **AgBioForum**, v. 18, n.3, p. 297-302, 2015.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA. **World Agricultural Supply and Demand Estimates**. 2016. Disponível em: <<http://usda.mannlib.cornell.edu/usda/current/wasde/wasde-02-09-2016.pdf>>. Acesso em: 05 jan. 2016.

VITTI, G.C.; MALAVOLTA, E. Fosfogesso: uso agrícola. In: SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS AGRÍCOLAS, 1985, Piracicaba. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1985.