



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO ANIMAL NA AMAZÔNIA
CAMPUS DE PARAUAPEBAS

LEONARDO JOSÉ DAMASCENO

**DESEMPENHO E ANÁLISE ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE BIOMASSA E
GRÃOS DE MILHO COM *Azospirillum brasiliense* ASSOCIADO A FERTILIZANTES
NITROGENADOS DE EFICIÊNCIA AUMENTADA**

Parauapebas – PA
2020

LEONARDO JOSÉ DAMASCENO

DESEMPENHO E ANÁLISE ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE BIOMASSA E GRÃOS DE MILHO COM *Azospirillum brasiliense* ASSOCIADO A FERTILIZANTES NITROGENADOS DE EFICIÊNCIA AUMENTADA

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Produção Animal na Amazônia da Universidade Federal Rural da Amazônia, para obtenção do título de mestre.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Shigueru okumura

Coorientadora: Dra. Daiane de Cinque Mariano

Coorientador: Dr. Candido Ferreira de Oliveira Neto

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas da Universidade Federal Rural da Amazônia

D155d Damasceno, Leonardo José Damasceno

Desempenho e análise econômica da produção de biomassa e grãos de milho com *Azospirillum brasilense* associado a fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada / Leonardo José Damasceno Damasceno
108 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado) - Programa de PÓS-GRADUAÇÃO em Produção Animal na AMAZÔNIA (PPGPAA), Campus Universitário de Parauapebas, Universidade Federal Rural Da Amazônia, Parauapebas, 2020.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Shigeru Okumura Okumura

Coorientador: Profa. Dra. Daiane de Cinque Mariano.

1. Milho. 2. *Azospirillum brasilense*. 3. Fertilizante nitrogenado. 4. Produção animal. I.Okumura, Ricardo Shigeru (Orient.) II. Título

CDD 23.ed. - 633.1

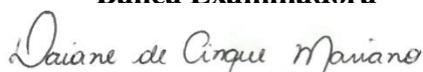
LEONARDO JOSÉ DAMASCENO

**DESEMPENHO E ANÁLISE ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE BIOMASSA E
GRÃOS DE MILHO COM *Azospirillum brasiliense* ASSOCIADO A
FERTILIZANTES NITROGENADOS DE EFICIÊNCIA AUMENTADA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Produção Animal na Amazônia, Linha de Pesquisa Interface Solo-Planta-Animal para obtenção do título de Mestre.

BANCA EXAMINADORA

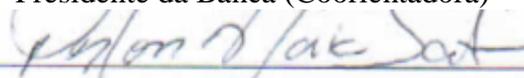
Banca Examinadora



Prof. Dra. Daiane de Cinque Mariano

Universidade Federal Rural da Amazônia

Presidente da Banca (Coorientadora)



Prof. Dr. Perlon Maia dos Santos

Universidade Federal Rural da Amazônia

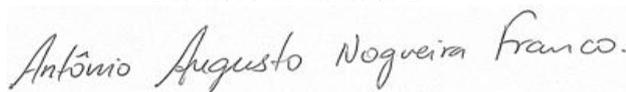
Membro Avaliador 1



Prof. Dr. Luciano Fernandes Sousa

Universidade Federal do Tocantins

Membro Avaliador 2



Prof. Dr. Antônio Augusto Nogueira Franco

Instituto Federal do Pará

Membro Avaliador 3

Parauapebas – PA

2020

DEDICO

À minha esposa Karlina, pelo apoio incondicional e constante inventivo.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por permitir a concretização desse trabalho.

À toda minha família, principalmente a minha mãe Celeste Maria Damasceno e meu pai José Odil Damasceno que sempre estiveram dispostos a me ajudar no que fosse possível.

Àos meus filhos Anna Clara e Bernardo pela compreensão de minhas ausências em uma fase tão especial da sua vida.

À Fadespa – Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao meu Orientador Prof. Dr. Ricardo Shigueru Okumura e minha e Coorientadora Dra. Daiane de Cinque Mariano pela confiança depositada em mim, pelo ensino, apoio, dedicação prestados neste trabalho e pelas sugestões pertinentes de grande valia para a escrita desta dissertação.

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Produção Animal na Amazônia /PPGPAA - Parauapebas pela colaboração, conhecimento transmitido ao longo deste trabalho e pela amizade construída.

Aos estudantes de Agronomia, Engenharia Florestal e Zootecnia pelo apoio em todas as fases do trabalho. Destaque aos alunos (as): Beatriz, Chayanne, Hermogenes, Gabriel, Henrique, Kamila, Leila, Naira, Thiago Santiago e Vanessa.

Ao Professor Dr. Rafael Ferreira da Costa que auxiliou nos dados agrometeorológicas, e principalmente pela sua paciência.

Aos vigilantes por prestarem segurança e estar sempre à disposição no que fosse necessário ao andamento do experimento.

A Universidade Federal Rural da Amazônia, seu corpo docente, direção e administração que proporcionaram as condições necessárias para a minha formação como Mestre.

A minha esposa Karlina, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

*“Semeia um pensamento, colhe um ato; semeia um ato, colhe um hábito; semeia um hábito,
colhe um caráter; semeia um caráter, colhe um destino.”*
Marion Lawense.

RESUMO

Foi objetivo neste trabalho avaliar o efeito do *Azospirillum brasiliense* associado com fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada no milho cultivado na região de Carajás. O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5 x 3 x 2, com seis repetições. Os fatores estudados foram: i) fator A - cinco doses de N aplicado em cobertura (0; 50; 100; 150 e 200 kg ha⁻¹ de N) no estágio fenológico V₄; ii) fator B - três fontes de N (ureia, ureia com inibidor da urease e ureia revestida); e iii) fator C – com e sem inoculação de sementes com *Azospirillum brasiliense*. A dose de inoculante foi 100 mL ha⁻¹ contendo estirpes da bactéria na concentração mínima de 2 x 10⁸ células viáveis mL⁻¹. Foram realizadas as seguintes avaliações fitotécnicas da planta: altura média de planta, altura média de inserção da espiga, diâmetro médio do colmo, prolificidade, comprimento médio da espiga, diâmetro médio da espiga, número médio de fileiras por espiga, número médio de grãos por fileira e massa de espiga sem palha. As avaliações do estado nutricional por meio das variáveis: determinação não destrutiva da clorofila “a”, “b” e total na folha; eficiência no uso do fertilizante. Houve interação (P<0,05) entre os fatores inoculação e doses de nitrogênio para diâmetro do colmo, índice de área foliar, clorofila A, B e total, comprimento da raiz, largura da Raiz, produção de massa seca da raiz. Enquanto, as variáveis, altura, massa seca da folha e massa seca do colmo não apresentaram interação significativa, contudo os fatores, dose, fonte e *azospirillum* influenciaram de forma isolada. A dose de 100 kg ha⁻¹ de N na fonte inibidor de urease promove maior altura das plantas de milho. A inoculação das sementes de milho com *Azospirillum brasiliense* aumenta a área foliar e a produção de massa seca da parte aérea e radicular.

Palavras-chave: Bactéria Promotora de Crescimento; Bactérias diazotróficas; Inoculação.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the effect of *Azospirillum brasiliense* associated with nitrogen fertilizers of increased efficiency in corn grown in the Carajás region. The experimental design adopted was completely randomized, in a 5 x 3 x 2 factorial scheme, with six replications. The factors studied were: i) factor A - Five doses of N applied in coverage (0; 50; 100; 150 and 200 kg ha⁻¹ of N) at the phenological stage V4; ii) factor B - three sources of N (urea, urea with urease inhibitor and coated urea); and iii) factor C - with and without seed inoculation with *Azospirillum brasiliense*. The inoculant dose was 100 mL ha⁻¹ containing strains of the bacterium at a minimum concentration of 2 x 10⁸ viable mL⁻¹ cells. The following plant phytotechnical evaluations were carried out: average plant height, average ear insertion height, average stem diameter, prolificacy, average ear length, average ear diameter, average number of rows per ear, average number of grains per row and cob mass without straw. Assessments of nutritional status through the variables: non-destructive determination of chlorophyll "a", "b" and total on the leaf; efficiency in the use of fertilizer. There was an interaction (P <0.05) between the inoculation factors and nitrogen doses for stem diameter, leaf area index, A, B and total chlorophyll, root length, root width, root dry matter production. While, the variables, height, leaf dry mass and stem dry mass did not present significant interaction, however the factors, dose, source and *azospirillum* influenced in isolation. The dose of 100 kg ha⁻¹ of N in the urease inhibitory source promotes greater height of the corn plants. The inoculation of corn seeds with *Azospirillum brasiliense* increases the leaf area and the production of dry mass of the aerial and root parts.

Keywords: Growth-promoting Bacteria, Diazotrophic Bacteria, Inoculation.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Experimento com milho inoculado com <i>Azospirillum brasilense</i> associado a doses de N em cobertura. Campos UFRA Parauapebas, ano agrícola 2019.	18
FIGURA 2. Relação área plantada/produção Milho 2015-2019.	19
FIGURA 3. Fertilizante nitrogenado Uréia sólido, apresentando na forma de grânulos. Campos UFRA Parauapebas, 2019.	20
FIGURA 4. Fertilizante nitrogenado; uréia sólido (A), uréia com inibidor de uréase (B) e uréia revestida (C) apresentando na forma de grânulos. Campos UFRA Parauapebas, 2019.	21
FIGURA 5. Esquema da classificação dos fertilizantes nitrogenados. *NBPT: N-(n-butil) tiofosfórico triamida, DCD: Dicianodiamida.	23
FIGURA 6. Uréia Revestida Kincoat®. Campos UFRA Parauapebas, 2019.	24
FIGURA 7. Modo de ação de um fertilizante de liberação controlada revestido / encapsulado (Basacote®)	25
FIGURA 8. Uréia com Inibidor de Urease. Campos UFRA Parauapebas, 2019.	26
FIGURA 9. Modelo esquemático do processo de colonização de bactérias do gênero <i>Azospirillum</i> em raízes de plantas como o milho.	29
FIGURA 10. Fitoestimulação e nutrição das bactérias promotoras de crescimento vegetal na raiz de planta.....	31
FIGURA 11. Estrutura das Raízes de milho.....	32
FIGURA 12. Temperatura (A) e Umidade (B) durante a condução do experimento. Campos UFRA Parauapebas, 2019.....	45
FIGURA 13. Diâmetro do Colmo (cm) em plantas de milho, em função da inoculação com <i>Azospirillum brasiliense</i> , fontes e doses de nitrogênio com Inibidor de Urease (A), Ureia Revestida (B) e Ureia Pura (C) expressa em Kg N ha ⁻¹ . Campos UFRA Parauapebas, 2019. × Presença e ◇ Ausência de <i>Azospirillum brasiliense</i>	56
FIGURA 14. Índice de área foliar da cultura do milho em função da inoculação com <i>Azospirillum brasiliense</i> , fontes e doses de nitrogênio com Inibidor de Urease (A), Ureia Revestida (B) e Ureia Pura (C) expressa em Kg N ha ⁻¹ . Campos UFRA Parauapebas, 2019. ×Presença e ◇ Ausência de <i>Azospirillum brasiliense</i>	58
FIGURA 15. Comprimento da raiz em função da inoculação com <i>Azospirillum brasiliense</i> , fontes e doses de nitrogênio com Inibidor de Urease (A), Ureia Revestida (B) e Ureia Pura (C) expressa em Kg N ha ⁻¹ . Campos UFRA Parauapebas, 2019. ×Presença e ◇ Ausência de <i>Azospirillum brasiliense</i>	59
FIGURA 16. Largura da raiz em função da inoculação com <i>Azospirillum brasiliense</i> , fontes e doses de nitrogênio com Inibidor de Urease (A), Ureia Revestida (B) e Ureia Pura (C) expressa em Kg N ha ⁻¹ . Campos UFRA Parauapebas, 2019. ×Presença e ◇ Ausência de <i>Azospirillum brasiliense</i>	60
FIGURA 17- Teor relativo de clorofila A, B e Total da cultura do em função da inoculação com <i>Azospirillum brasiliense</i> , fontes e doses de nitrogênio com Inibidor de Urease com	

ausência de inoculação (A), Ureia Revestida com ausência de inoculação (B), Ureia Pura com ausência de inoculação(C), expressa em Kg N ha ⁻¹	62
FIGURA 18. Produção de Massa Seca – Raiz - em função da inoculação com <i>Azospirillum brasiliense</i> , fontes e doses de nitrogênio com Inibidor de Urease (A), Ureia Revestida (B) e Ureia Pura (C) expressa em Kg N ha ⁻¹ . Campos UFRA Parauapebas, 2019. ×Presença e ◇ Ausência de <i>Azospirillum brasiliense</i>	65
FIGURA 19. Altura da inserção da espiga de milho em função da inoculação com <i>Azospirillum brasiliense</i> , de acordo com as dose e fonte de nitrogênio com Inibidor de Urease (A), Ureia Revestida (B) e Ureia Pura (C) expressa em Kg N ha ⁻¹ . Campos UFRA Parauapebas, 2019. ×Presença e ◇ Ausência de <i>Azospirillum brasiliense</i>	66
FIGURA 20. Comprimento da espiga de milho em função da inoculação com <i>Azospirillum brasiliense</i> , de acordo com as dose e fonte de nitrogênio com Inibidor de Urease (A), Ureia Revestida (B) e Ureia Pura (C) expresso em Kg N ha ⁻¹ . Campos UFRA Parauapebas, 2019. × Presença e ◇ Ausência de <i>Azospirillum brasiliense</i>	67
FIGURA 21. Diâmetro da espiga de milho em função da inoculação da presença e ausência de <i>Azospirillum brasiliense</i> , sobre dose e fonte de nitrogênio com Inibidor de Urease (A), Ureia Revestida (B) e Ureia Pura (C) expresso em Kg N ha ⁻¹ . Campos UFRA Parauapebas, 2019. × Presença e ◇ Ausência de <i>Azospirillum brasiliense</i>	69
FIGURA 22. Número de Fileira na Espiga (NFE) da espiga de milho em função da inoculação da presença e ausência de <i>A. brasiliense</i> , sobre dose e fonte de nitrogênio com Inibidor de Urease (A), Ureia Revestida (B) e UreiaPura (C) expresso em Kg N ha ⁻¹ . Campos UFRA Parauapebas, 2019. ×Presença e ◇ Ausência de <i>Azospirillum brasiliense</i>	71
FIGURA 23. Número de Grão por Fileira (NGF) da espiga de milho em função da inoculação da presença e ausência de <i>A. brasiliense</i> , sobre dose e fonte de nitrogênio com Inibidor de Urease (A), Ureia Revestida (B) e Ureia Pura (C) expresso em Kg N ha ⁻¹ . Campos UFRA Parauapebas, 2019. ×Presença e ◇Ausência de <i>Azospirillum brasiliense</i>	72
FIGURA 24. Massa seca de 1000 grãos em função da inoculação da presença e ausência de <i>Azospirillum brasiliense</i> , sobre dose e fonte de nitrogênio com Inibidor de Urease (A), Ureia Revestida (B) e Ureia Pura (C) expresso em Kg N ha ⁻¹ . Campos UFRA Parauapebas, 2019. × Presença e ◇ Ausência de <i>Azospirillum brasiliense</i>	74
FIGURA 25. Índice de colheita da espiga de milho em função da inoculação da presença e ausência de <i>A. brasiliense</i> , sobre dose e fonte de nitrogênio com Inibidor de Urease (A), Ureia Revestida (B) e Ureia Pura (C) expressa em Kg N ha ⁻¹ . Campos UFRA Parauapebas, 2019. ×Presença e ◇ Ausência de <i>Azospirillum brasiliense</i>	75
FIGURA 26. Produtividade de espiga de milho em função da inoculação da presença e ausência de <i>Azospirillum brasiliense</i> , sobre dose e fonte de nitrogênio com Inibidor de Urease (A), Ureia Revestida (B) e Ureia Pura expressa em Kg N ha ⁻¹ . Campos UFRA Parauapebas, 2019. ×Presença e ◇ Ausência de <i>Azospirillum brasiliense</i>	77
FIGURA 27. Pesagem (A) e aplicação de adubo NPK (B). Campos UFRA Parauapebas, 2019.	105
FIGURA 28. Pesagem (A) e aplicação de adubo em cobertura (B). Campos UFRA Parauapebas, 2019.	105

- FIGURA 29.** *Azospirillum brasiliense* na forma líquida (A), *Azospirillum brasiliense* inoculado nas sementes de milho (B). Campos UFRA Parauapebas, 2019.105
- FIGURA 30.** Plantio das Sementes. Campos UFRA Parauapebas, 2019.....106
- FIGURA 31.** Plantas desbastadas (A) e uma planta por vaso (B). Campos UFRA Parauapebas, 2019.106
- FIGURA 32.** Avaliação das plantas no campo: Altura da planta (A); Diâmetro do Colmo (B); Altura de Inserção da Espiga viável (C); IAF (D1 e D2); - Mensuração de unidade experimental utilizando o clorofilômetro (E1 e E2); Raízes secas ao ar (F1 e F2) e Comprimento da espiga utilizando trena (G). Campos UFRA Parauapebas, 2019.....107
- FIGURA 33.** Avaliação dos componentes de produção do milho: Número de Fileira de Grãos por Espiga (NGE) (A); Número de grão por fileira (NGF) (B) e Massa de Mil Grãos (C). Campos UFRA Parauapebas, 2019.108

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Uso de Fertilizantes de Eficiência Aumentada – Promoção de Eficiência.....	27
TABELA 2: Resultados das análises químicas do solo. Campos UFRA Parauapebas, 2019.	46
TABELA 3: Quadro de anava das variáveis diâmetro do colmo (DC), índice de área foliar (IAF), altura da planta (AP), comprimento da raiz (COMR), massa seca da raiz (MSR), massa seca da folha (MSF), massa seca do colmo (MSC), clorofila A (Clo A), clorofila B (Clo B), clorofila total (Clo total), altura da espiga (AE), comprimento da espiga (CE), diâmetro da espiga (DE), número de fileira por espiga (NFE) e número de grão por espiga (NGF), massa seca da raiz (MSR) e índice de colheita (IC). Campos UFRA Parauapebas, 2019.	52
TABELA 4: Altura das (cm) plantas de milho, em função da inoculação com <i>Azospirillum brasiliense</i> , fontes e doses de nitrogênio*. Campos UFRA Parauapebas, 2019.	54
TABELA 5: Produção de Massa Seca – Folha e Colmo - em função da inoculação com <i>Azospirillum brasiliense</i> , fontes e doses de nitrogênio expressa em Kg N ha ⁻¹ . Campos UFRA Parauapebas, 2019.....	63
TABELA 7: Custo das operações mecanizadas e dos insumos no milho - Sem Inoculação.	94
TABELA 8: Custo das operações mecanizadas e dos insumos no milho - Com Inoculação.	95
TABELA 9: COT, Produtividade (Prod.) e Receita bruta (RB) para o milho.....	97
TABELA 10: Lucro operacional (L.O) e índice de lucratividade (I.L) para o milho	99

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	17
2. ESTUDO BIBLIOGRÁFICO	18
2.1 Adubações nitrogenadas na cultura do milho	18
2.1.1 A cultura do milho	18
2.1.2 A relação adubação nitrogenada e milho	20
2.2 Uso da uréia de eficiência aumentada na cultura do milho	21
2.2.1 Ureia Protegida.....	24
2.2.2 Ureia tratada com inibidor da uréase	25
2.3 Bactéria <i>Azospirillum brasiliense</i> – Bactérias Promotoras de Crescimento de Plantas (BPCP).....	28
2.3.1 Efeitos do <i>Azospirillum brasiliense</i> na produção de fitormônios e no desenvolvimento vegetativo.....	30
2.3.2 Ação do <i>Azospirillum brasiliense</i> no desenvolvimento das raízes	31
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33
CAPITULO I - DESEMPENHO DO MILHO GRÃO TRATADO COM <i>Azospirillum brasiliense</i> EM COMBINAÇÃO COM FONTES E DOSES DE NITROGÊNIO	41
RESUMO.....	41
ABSTRACT	42
1 INTRODUÇÃO	43
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	44
2.1 Caracterização experimental	44
2.1.1 Localização do experimento	44
2.1.2 Análise de solo e adubação	46
2.1.3 Tratamentos das sementes de milho e semeadura	46
2.1.4 Delineamento experimental e Caracterização dos Tratamentos	47
2.1.5 Manejo e colheita do milho	47
2.2 Análises fitotécnicas da planta	47
2.2.1 Altura de plantas (AP) e Altura de inserção da espiga viável (AIE):.....	47
2.2.2 Diâmetro médio do colmo (DMC).....	48
2.2.3 Índice de área Foliar (IAF)	48
2.3 Avaliação do estado nutricional da planta.....	48
2.3.1 Determinação não destrutiva da clorofila “a”, “b” e total na folha:	48

2.4	Avaliações da massa de matéria fresca e seca (Colmo, Folha e Raiz)	49
2.4.1	Avaliação das raízes	49
2.5	Avaliação qualitativa das espigas	49
2.5.1	Diâmetro (DE) e Comprimento da Espiga (CE)	50
2.5.2	Número de grãos por Fileira (NGF)	50
2.5.3	Número de fileiras de grãos por espiga (NFE)	50
2.5.4	Massa de mil grãos (MMG)	50
2.5.5	Peso de grãos (PG) e Produtividade de grãos (PG)	50
2.6	Análises Estatísticas	51
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
3.1	Altura das plantas	53
3.2	Diâmetro do colmo	55
3.3	Índice de Área Foliar (IAF)	56
3.4	Comprimento das raízes	58
3.5	Largura das raízes	60
3.6	Índice de clorofila	61
3.7	Produção de massa seca da parte aérea – Folha e Colmo	63
3.8	Produção de massa seca de raízes	64
3.9	Altura da Inserção da espiga	65
3.10	Comprimento da espiga de milho	66
3.11	Diâmetro médio da espiga (DE)	68
3.12	Número de fileiras de grãos por espiga (NFE)	69
3.13	Número de grãos por fileira (NGF)	71
3.14	Massa de mil grãos e Índice de Colheita	73
3.15	Peso de grãos (PG) e Produtividade de grãos (Prod.G)	75
4.	CONCLUSÕES	77
5.	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS	78
CAPITULO II - ANÁLISE ECONÔMICA DO MILHO GRÃO SOBRE		
INFLUÊNCIA DA BACTÉRIA <i>Azospirillum brasiliense</i>, ASSOCIADO A		
FERTILIZANTES NITROGENADOS DE EFICIÊNCIA AUMENTADA EM DOSES.		
	85
	RESUMO	85

ABSTRACT	86
1 INTRODUÇÃO	87
2 MATERIAL E MÉTODOS	89
2.1 Caracterização experimental	89
2.1.1 Localização do experimento	89
2.1.2 Variáveis agrometeorológicas	89
2.1.3 Análise do Solo e adubação	90
2.1.4 Inoculação	90
2.1.5 Delineamento experimental e Caracterização dos Tratamentos	91
2.1.6 Sistema de irrigação Manejo da irrigação	91
2.1.7 Controle de Plantas Daninhas e Pragas	91
2.1.8 Colheita	92
2.1.9 ANÁLISE ECONÔMICA	92
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	93
4 CONCLUSÃO	100
5 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS	101
6 APÊNDICE - FIGURAS	105

1. INTRODUÇÃO GERAL

Atrelado a grande área de produção e a necessidades de nitrogênio (N), culturas como o trigo, milho e arroz utilizam aproximadamente 60% do fertilizante nitrogenado produzido no mundo (ESPÍNDULA et al., 2014). Devido à limitada quantidade deste mineral nos solos, que na maioria das vezes não é compatível com a exigência nutricional da cultura é necessário aplicar altas doses de nitrogênio (N) (TEIXEIRA FILHO et al., 2014; GALINDO et al., 2016). Mas, o uso de fertilizantes nitrogenados contribui para produção de CO₂ e NO₂, gases diretamente relacionados ao aumento do efeito estufa na Terra (XU et al., 2012).

O fertilizante nitrogenado mais utilizado e encontrado no comércio é a uréia, porém sua grande desvantagem refere-se às perdas de N, principalmente por volatilização de amônia (NH₃), principalmente com a aplicação superficial em condições inadequadas de umidade e temperatura (GUELFY, 2017).

Novas estratégias estão sendo adotadas pelas indústrias para melhorar a eficiência dos fertilizantes nitrogenados, visando reduzir perdas, denominadas fertilizantes de eficiência aumentada ou fertilizantes “inteligentes”. São divididos em fertilizantes com inibidores de reações bioquímicas (inibidores de urease) e fertilizantes de liberação lenta ou controlada, que são caracterizados por grânulos revestidos com substâncias orgânicas (resinas, borracha) (EMBRAPA, 2016).

Além dos fertilizantes de eficiência aumentada, alternativas outras estão sendo testadas para redução do consumo de fertilizantes químicos pela cultura do milho. Dentre elas tem-se a utilização de bactérias diazotróficas não simbióticas (BDNS), as quais são capazes de fixar o N atmosférico e disponibilizá-lo às plantas em formas lábeis, produzindo e liberando substâncias reguladoras do crescimento vegetal. O N fixado torna-se disponível para a planta pela excreção direta da bactéria ou pela mineralização de bactérias mortas.

Dentre as espécies de microrganismos que realizam a fixação de nitrogênio nas raízes das gramíneas, a bactéria *Azospirillum brasilense* é a mais estudada e vem obtendo sucesso para inoculação de gramíneas no campo (FERREIRA et al., 2013; HUNGRIA et al., 2016) e está sendo recomendada por pesquisadores nacionais (HUNGRIA, 2011; ARAÚJO et al., 2014; QUADROS et al., 2014) e internacionais (DÍAZ-ZORITA & FERNANDEZ-CANIGIA, 2009; HARTMANN E BASHAN, 2009; MARKS et al., 2015). Os

microrganismos possuem vida livre, com alta competitividade no período de colonização, utilizando N, amônia, nitrato, nitrito, aminoácidos e nitrogênio molecular como fonte de N.

Com isso, objetivou-se avaliar o efeito do *Azospirillum brasiliense* associado com fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada em diferentes doses sobre o desempenho produtivo do milho na região de Carajás - PA.

2. ESTUDO BIBLIOGRÁFICO

2.1 Adubações nitrogenadas na cultura do milho

2.1.1 A cultura do milho

O milho (*Zea mays* L.), é uma planta anual pertencente à família Poaceae (Figura 1) originada nas Américas (MÔRO E NETO, 2017), sendo uma espécie importante para economia agrícola, de elevada demanda, com destinação tanto para consumo animal, quanto para humano. Planta de sistema fotossintético C4, considerado hoje um dos cereais mais eficientes sob a ótica fisiológica, bem como de elevada capacidade produtiva, contudo apresenta sensível e condicionada às condições ambientais (FANCELLI, 2017). Exige um rigoroso e eficiente sistema de manejo, a fim de possibilitar a máxima expressão de sua capacidade produtiva (OLIVEIRA, 2014).

FIGURA 1- Experimento com milho inoculado com *Azospirillum brasiliense* associado a doses de N em cobertura. Campos UFRA Parauapebas, ano agrícola 2019.

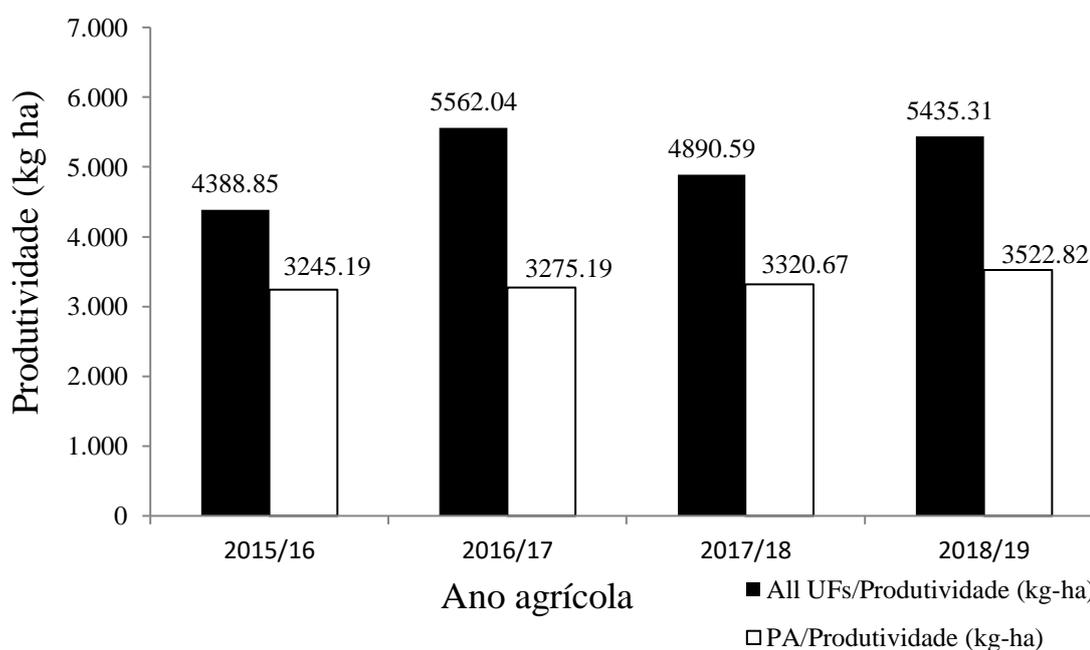


Fonte: O Autor

O USDA (Departamento de Agricultura dos Estados Unidos) classifica o Brasil em terceiro em produção de milho, tendo a primeira e segunda posição ocupada por EUA e China respectivamente (USDA, 2019). A produção de grãos, para a safra 2018/19, foi de 241,3 milhões de toneladas. O crescimento deverá ser de 6% ou 13,7 milhões de toneladas acima da safra anterior, sendo a área plantada estimada em 63 milhões de hectares. Os maiores aumentos de área são de milho segunda safrinha (894 mil hectares), soja (726,6 mil hectares) e algodão (435,6 mil hectares) (CONAB, 2019).

Ainda segundo a CONAB (2019), na Região Norte e Nordeste do país, a área cultivada de milho na segunda safra atingiu 1.261,7 mil hectares, com produtividade esperada de 3.438 kg ha⁻¹, resultando numa produção estimada de 4.338,2 mil toneladas. No estado do Pará a produtividade média de grãos é de 3522,82 kg ha⁻¹, inferior à produtividade nacional de 5435,31 kg ha⁻¹ (Gráfico 1).

FIGURA 2 - Relação área plantada/produção Milho 2015-2019.



Fonte: Grãos - Série Histórica- Conab 2019

2.1.2 A relação adubação nitrogenada e milho

O nitrogênio (N) é constituinte de muitos componentes da célula vegetal, tais como os aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, e inúmeras enzimas e coenzimas, glicoproteínas, lipoproteínas e a clorofila (MALAVOLTA, 2006). É o elemento que proporciona os maiores efeitos no rendimento e na produtividade do milho, influenciando diretamente nas características de crescimento da planta. O manejo e recomendação do N é de grande complexidade, em decorrência das reações químicas e biológicas e da dependência das condições edafoclimáticas para absorção pela planta (MOTA et al., 2017).

Os solos do Brasil apresentam em sua maioria deficiência de nitrogênio, sendo a fertilização um dos custos mais altos do processo de produção de culturas não leguminosas (NUNES et al., 2015), em que a fonte uréia é a mais utilizada mundialmente (IFASTAT, 2019).

A ureia (Figura 3) representa 56% dos fertilizantes nitrogenados comercializados no Brasil (IPNI, 2019). O milho e a cana de açúcar são as culturas que mais consomem fertilizantes nitrogenados, 27% e 21% do total, respectivamente (HEFFER et al., 2017), ocasionando a elevação do índice de consumo de energia para produção agrícola.

FIGURA 3 - Fertilizante nitrogenado Ureia sólido, apresentando na forma de grânulos. Campos UFRA Parauapebas, 2019.



Fonte: O Autor

A ureia aplicada no solo apresenta algumas reações, tais como o processo de hidrólise na qual é dependente da atividade da enzima urease, que é comum na natureza e está presente em microrganismos, plantas e animais (PAULSON e KURTZ, 1969). Assim, a aplicação da uréia no campo está susceptível a perdas por volatilização e lixiviação, sendo

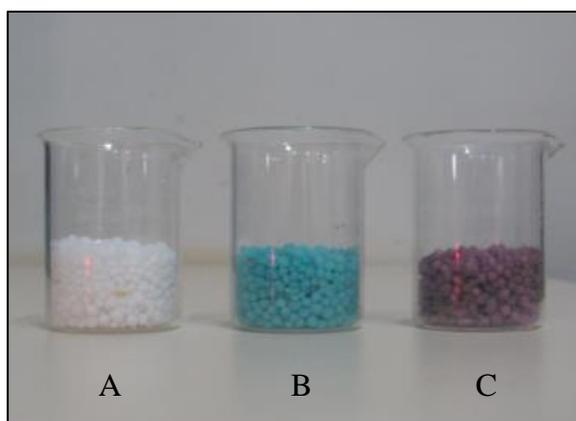
que esta última perda pode promover contaminação de águas superficiais e subterrâneas (PRIMAVESI, et al., 2006; RAIJ, 2011; SKONIESKI, 2015). No milho estima-se que, apenas cerca de 30 a 50% do N aplicado é utilizado pela planta (DOBERMANN, 2005; CONANT et al., 2013). Os demais são perdidos por volatilização de amônia (NH_3).

A volatilização da amônia é uma das principais vias de perda de nitrogênio e contribui para a baixa eficiência de uso de N de fertilizantes nitrogenados. Globalmente, até 70% dos fertilizantes nitrogenados aplicados podem ser perdidos como NH_3 ; quanto maiores os níveis de fertilizantes utilizados, maiores as perdas (MODOLO et al., 2018). No entanto, o uso de fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada e a incorporação de fertilizantes no solo pode reduzir a volatilização do NH_3 em até 75 e 55%, respectivamente (PAN et al., 2016).

2.2 Uso da uréia de eficiência aumentada na cultura do milho

A eficiência de uso de nitrogênio visa maximizar a eficiência produtiva da cultura e reduzir o impacto ambiental negativo. Entre as estratégias tecnológicas adotadas pelas indústrias para melhorar a eficiência dos fertilizantes nitrogenados, os fertilizantes de eficiência aumentada ou fertilizantes “inteligentes” (Figura 4) vem se destacando (EMBRAPA, 2016, TRENKEL, 2010; TIMILSENA et al., 2015).

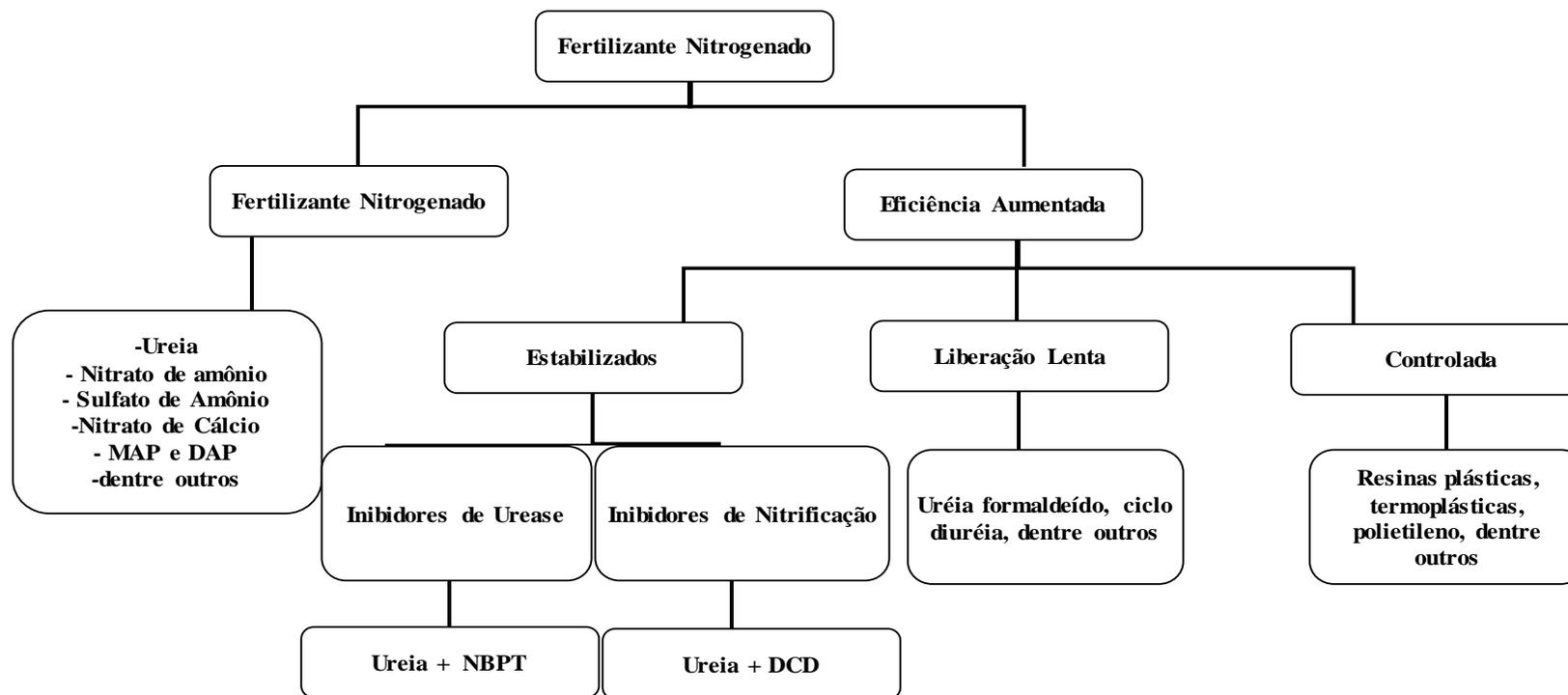
FIGURA 4 - Fertilizante nitrogenado; uréia sólida (A), uréia com inibidor de uréase (B) e uréia revestida (C) apresentando na forma de grânulos. Campos UFRA Parauapebas, 2019.



Fonte: O Autor

Esses fertilizantes melhoram a eficiência na utilização e assimilação de nutrientes, reduzindo as perdas por lixiviação, volatilização, fixação e emissão de óxido nitroso (depende da fonte N, P ou K), aumentando a absorção pelas plantas por meio do fornecimento gradual, de acordo com a necessidade da planta (EMBRAPA, 2016). São classificados em três categorias (Figura 5), conforme as tecnologias utilizadas nos seus processos de produção: (i) estabilizados; (ii) liberação lenta e (iii) liberação controlada (GUELFY, 2017).

FIGURA 5 - Esquema da classificação dos fertilizantes nitrogenados. *NBPT: N-(n-butil) tiofosfórico triamida, DCD: Dicianodiamida.



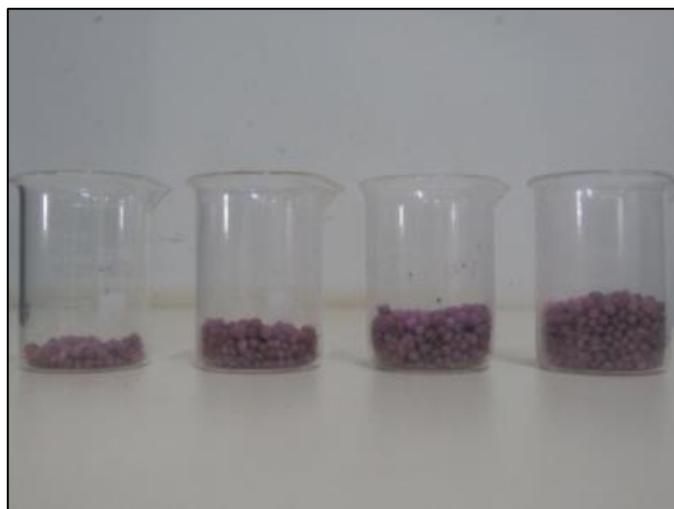
Fonte: Guelfi, 2017

2.2.1 Ureia Protegida

A liberação controlada do nitrogênio (N) por ação de agentes de revestimento é considerada uma tecnologia promissora para melhorar a eficiência da adubação nitrogenada (YANG, 2012). Os materiais mais comuns utilizados para o revestimento dos grânulos da ureia são: (i) fontes orgânicas de baixa solubilidade como ureia formaldeído e isobutylidene-diureia (IBDU), esterco (ii) fontes inorgânicas como enxofre e (iii) polímeros sintéticos de diversas naturezas (TRENKEL, 2010).

A ureia é revestida por três camadas de polímeros (Figura 6) distintos que protegem o fertilizante nitrogenado das principais perdas que ocorrem no processo de adubação, como: volatilização de NH_3 , nitrificação e desnitrificação, o que permite maior presença do nitrogênio na forma de amônio (NH_4^+) no solo (REIS JÚNIOR, 2007).

FIGURA 6 - Ureia Revestida Kincoat®. Campos UFRA Parauapebas, 2019.

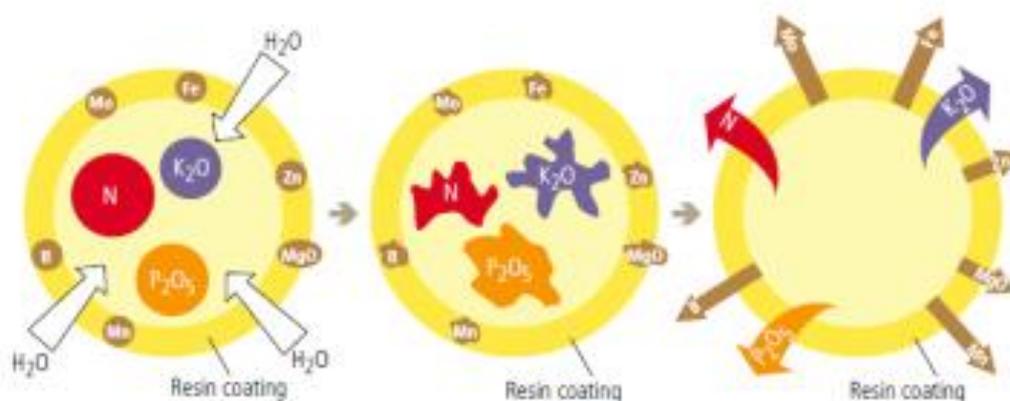


Fonte: O Autor

Os polímeros apresentam membranas semi-permeáveis ou impermeáveis com poros minúsculos, em que os nutrientes são liberados através da membrana polimérica que não é influenciada pelas propriedades do solo, como pH, salinidade, textura, atividade microbiana, potencial redox, força iônica do solo, sendo que a permeabilidade das membranas é afetada pela temperatura e umidade do revestimento de polímero (Figura 7). Assim, é possível reduzir perdas por volatilização, uma vez que a ureia está protegida das condições

ambientais favoráveis à volatilização da amônia, e sua liberação ocorre, em tese, em um evento chuvoso favorável (SHAVIV, 2005; TRENKEL 2010).

FIGURA 7- Modo de ação de um fertilizante de liberação controlada revestido / encapsulado (Basacote®)



Fonte: (Adaptado de Hähndel 1997, Tekel 2010).

2.2.2 Uréia tratada com inibidor da uréase

A ureia tratada com inibidores da urease tem o processo de hidrólise retardado por 7 a 14 dias (TRENKEL, 2010) pela ocupação do sítio ativo da enzima urease, que é responsável pela hidrólise da molécula. Com o atraso na hidrólise da ureia o fertilizante se mantém na forma amídica (ureia) por maior tempo. Assim, o fertilizante fica mais tempo no solo sem iniciar o processo de volatilização, até ocorrer um evento chuvoso para incorporação dos grânulos de ureia no solo (TRENKEL, 2010).

Os principais inibidores da urease são: NBPT (Figura 8), hidroquinona, cobre, boro e catecol (TRENKEL, 2010; AZEEM et al., 2014; TIMILSENA et al., 2015). O mais comumente utilizado com fertilizantes é tiofosfato de N- (n-butil) triamida (NBPT) (MATHIALAGAN et al., 2017).

FIGURA 8 - Uréia com Inibidor de Urease. Campos UFRA Parauapebas, 2019.



Fonte: O Autor

Pesquisas realizadas por alguns autores (Tabela 1) mostram que o efeito da utilização dos fertilizantes de eficiência aumentada, obtiveram resultados positivos em relação a respostas em produtividade, diâmetro do colmo, altura ou maior aproveitamento do N do fertilizante, resultando tanto no potencial de resposta dos cultivos quanto nos processos de perda do nitrogênio do sistema que interagem, aumentando a eficiência da adubação nitrogenada por reduzir as perdas por lixiviação ou volatilização.

TABELA 1: Uso de Fertilizantes de Eficiência Aumentada – Promoção de Eficiência.

Trabalhos com resposta positiva ao uso de Fertilizantes de Eficiência Aumentada	Referências
Aplicação de nitrogênio (N) de liberação controlada em sistemas de cultivo e formas de aplicação em solos argilosos mal drenados com alto potencial de perda de N, e concluíram que a ureia revestida com polímero aumenta a produtividade de milho em 12% a 14% em relação à ureia comum quando aplicadas de forma incorporada.	Nash et al., (2013)
Inibidores de urease e de nitrificação em diversos cultivos, e concluíram que os inibidores em geral promovem aumento de 7,5% em produtividade e em 12,9% na eficiência de uso do N. Mas estes efeitos positivos dependem das condições ambientais e de manejo. Para estes autores os melhores resultados para estes inibidores ocorrem em condições de solos bem drenados e em casos de aplicações de altas doses de N. Para casos de alto potencial de perda por volatilização, como em solos alcalinos, o uso do inibidor de urease (NBPT) é a opção mais apropriada.	Abalos et al., (2015)
<p>Chegaram à conclusão que:</p> <p>1- Independente da fonte de nitrogênio (N), o aumento das doses de N favoreceu a produção de massa seca de parte aérea de plantas, a massa de cem grãos, o teor de N na folha e a produtividade de grãos.</p> <p>2- O revestimento da ureia com camadas de polímeros ou o tratamento com inibidor de urease a partir da dose de 65 kg ha⁻¹ de N, favoreceu a obtenção de maior teor de N na folha como, também, maiores produtividades de grãos.</p>	Frazão et al., (2014)
Observaram que a aplicação de nitrogênio (N) aumentou o DC (Diâmetro do Colmo), AP (Altura da Planta), AIE (Altura de Inserção da Espiga), GF (Grãos por Fileira), CE (Comprimento da Espiga) e MMG (Massa de Mil Grãos) na cultura do milho.	Besen et al., (2015)

Fonte: O Autor

Neste processo de desenvolvimento de novas tecnologias produtivas que melhorem os indicadores produtivos e que causem menos impactos ambientais tem-se a previsão que, nos próximos anos, haverá incremento substancial no uso de fertilizantes no Brasil para atender à intensificação da agricultura e à recuperação de áreas degradadas. Sabendo que o mercado brasileiro de fertilizantes é frágil e com grande dependência das importações, sendo fundamental, encontrar alternativas para o uso mais eficiente dos fertilizantes (HUNGRIA, 2011).

Assim, a associação da utilização eficiente dos fertilizantes e a aplicação de microrganismos, como as bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico, as bactérias promotoras do crescimento de plantas e os fungos micorrízicos podem desempenhar um papel relevante e estratégico para garantir altas produtividades a baixo custo e com menor dependência de importação de insumos. (HUNGRIA et al., 2015).

2.3 Bactéria *Azospirillum brasiliense* – Bactérias Promotoras de Crescimento de Plantas (BPCP).

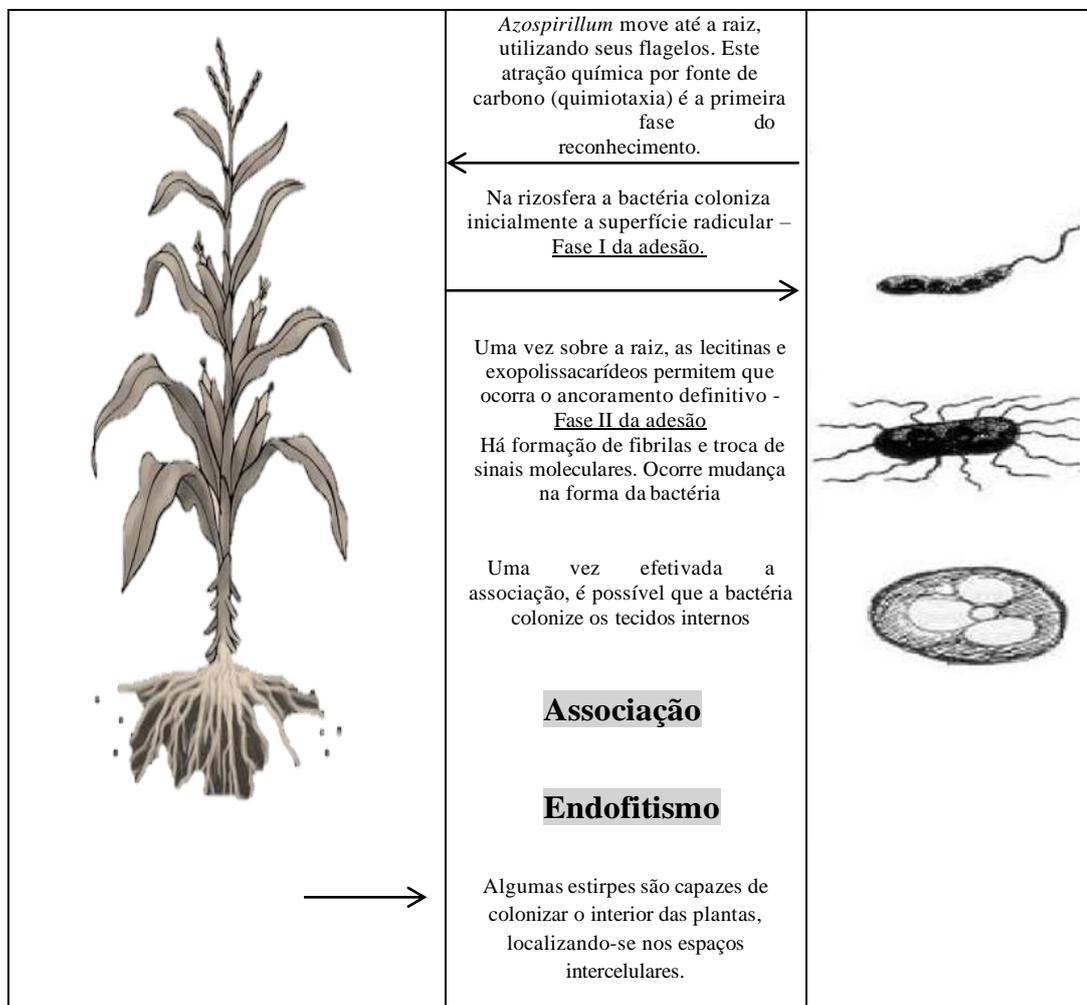
De acordo com o Bergey's (1957), define no manual determinative bacteriology o gênero *Azospirillum* como gênero fixador de nitrogênio. O nome é formado pela junção da bactéria: anteriormente denominada *Spirillum* e o prefixo azo (de azoto, antigo nome do nitrogênio), que foi acrescentado quando descoberto seu poder fixador de nitrogênio.

As bactérias promotoras do crescimento de plantas (BPCP) como o *Azospirillum brasiliense* é denominado diazotrófica ou fixadoras de N₂, e pertencem a um grupo heterogêneo e benéfico de microrganismos encontrados na rizosfera, na superfície das raízes ou associados disponibilizando nitrogênio às plantas por meio da fixação biológica (FBN) e aumentando a eficiência de utilização dos fertilizantes. A associação ocorre com diferentes graus de especificidade nas espécies da família Poaceae, como no milho (HUNGRIA et al., 2015).

A bactéria *Azospirillum brasiliense* classificada como endofíticas, caracterizam-se por habitar o interior da planta, em parte ou durante todo o ciclo de vida (SAIKKONEN et al., 2007). Os microrganismos endofíticos possuem a capacidade de penetrar na planta e colonizar sistemicamente o hospedeiro, acessando o interior através de ferimentos, de sítios de emergência de raízes, coifa e estômatos nas folhas, espalhando-se pelos tecidos radiculares,

colonizando os espaços intercelulares das células da hipoderme, córtex radicular e parede do aerênquima, ocasionando alterações nas condições fisiológicas e morfológicas do hospedeiro (ANDREOTE et al., 2010). Na Figura 9 estão apresentadas as diferentes etapas da adesão e colonização do *Azospirillum brasiliense* nas raízes de milho junto à rizosfera, bem como a estrutura da bactéria que facilita seu processo de fixação e locomoção. A rizosfera é a área do solo influenciada pelas raízes das plantas. Isto é composto por populações microbianas que são de alguma forma diferente que o resto das populações do solo, geralmente denominadas como o "efeito rizosfera" (DE BRUIJN, 2013).

FIGURA 9 - Modelo esquemático do processo de colonização de bactérias do gênero *Azospirillum* em raízes de plantas como o milho.



Fonte: Weller, D. M., 1983.

As bactérias diazotróficas ainda podem sintetizar sideróforos, solubilizar fosfatos e serem antagônicas a fitopatógenos, promovendo, dessa forma, raízes mais volumosas e, conseqüentemente absorver maiores quantidades de água e nutrientes promovendo o crescimento das plantas e aumentando a tolerância e a habilidade para induzir resistência sistêmica (MELNICK et al., 2008).

2.3.1 Efeitos do *Azospirillum brasiliense* na produção de fitormônios e no desenvolvimento vegetativo

Os fitormônios são substâncias orgânicas que em determinadas concentrações, exercem ações que promovem, inibem ou modificam o crescimento e desenvolvimento de plantas, com a identificação de seis principais grupos de fitormônios: giberelinas, citocininas, ácido abscísico, etileno, brassinosteróides e auxinas (MARTÍNEZ-MORALES et al., 2003).

A bactéria coloniza as raízes das plantas e têm como principal característica a produção de fitormônios, resultando na melhoria da absorção de nutrientes, Hungria et al., (2011), estudando diferentes cepas de *Azospirillum brasiliense*, verificaram que os teores de macro e micronutrientes em folhas e grãos aumentaram em função da inoculação, o que representa a diminuição na suplementação de adubos minerais das plantas inoculadas.

Outros efeitos da infecção dos endofíticos na planta hospedeira incluem o ajuste osmótico, controle da abertura e fechamento estomático, modificação da morfologia radicular, aumento da captação de minerais e alteração do acúmulo, suprimento de vitaminas essenciais e metabolismo do nitrogênio (BANDARA; SENEVIRATNE; KULASOORIYA, 2006; FIGUEIREDO et al., 2008).

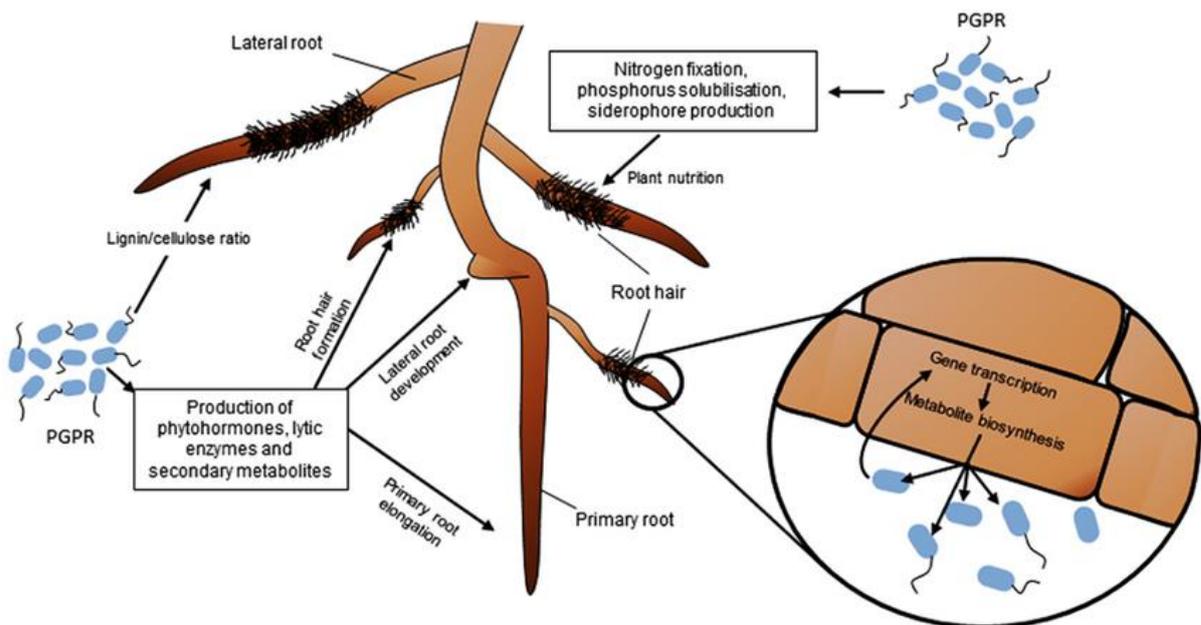
A bactéria *Azospirillum* produz fitormônios que promovem o desenvolvimento das raízes aumentando a absorção de água e capacitando uma melhor absorção dos nutrientes pouco móveis no solo, como exemplo, o fósforo, tornando assim as plantas mais resistentes aos estresses ambientais, resultando em plantas mais vigorosa e produtiva (DOBBELAERE et al., 2001; BASHAN et al., 2006). Além disso, influenciam na atividade da glutamina sintetase (enzima que desempenha um papel essencial no metabolismo do nitrogênio) em raízes de gramíneas, assim como altera a morfologia da raiz, por meio do aumento das raízes laterais e dos pêlos radiculares, atribuídos à produção de auxinas pelas bactérias (STEENHOUDT et al., 2000).

2.3.2 Ação do *Azospirillum brasiliense* no desenvolvimento das raízes

As plantas desenvolvem o sistema radicular com a missão de explorar o solo e encontrar nutrientes para sustentar o crescimento, na qual a raiz é um órgão elaborado de regiões distintas, como a coifa (ponta da raiz), o meristema da raiz, as zonas de diferenciação e alongamento e as raízes laterais emergentes (SCHERES et al., 2002).

Nas *Poaceae*, de acordo com a especificidade, os pêlos radiculares e raízes laterais são colonizados preferencialmente pelas bactérias promotoras do crescimento de plantas (BPCP) (Figura 10), em que expressam suas propriedades benéficas para as plantas, melhorando o fluxo e a fixação de nitrogênio, promovendo a solubilização do fósforo e a produção de sideróforos (POTHIER et al., 2007; COMBES-MEYNET et al., 2011).

FIGURA 10 - Fitoestimulação e nutrição das bactérias promotoras de crescimento vegetal na raiz de planta

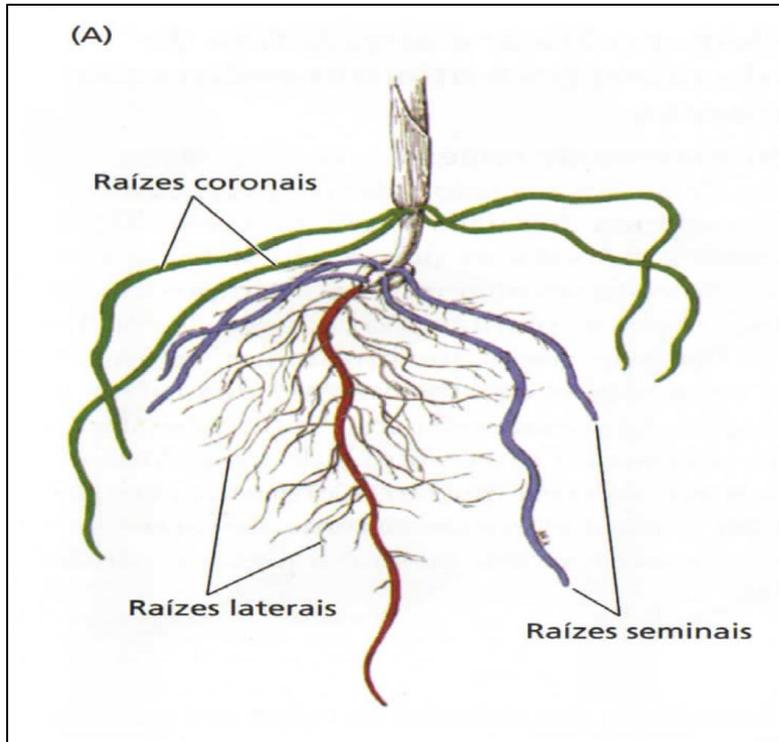


Fonte: (Flores-Felix, 2015).

A arquitetura do sistema radicular integra a topologia do sistema radicular, a distribuição espacial das raízes primárias e laterais e o número e comprimento de vários tipos de raízes (Figura 11). O *Azospirillum* promove alterações morfológicas e fisiológicas nas

raízes e dos tecidos radiculares principalmente por sua capacidade de interferir no equilíbrio hormonal da planta resultando em maior absorção de água e nutrientes (SPAEPEN; VANDERLEYDEN, 2011; HUNGRIA et al., 2016; MARTINS et al., 2017).

FIGURA 11 - Estrutura das Raízes de milho.



Fonte: Taiz e Zeiger, 2017.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABALOS, D.; JEFFERY, S.; SANZ-COBENA, A.; GUARDIA, G.; VALLEJO, A. Meta-analysis of the effect of urease and nitrification inhibitors on crop productivity and nitrogen use efficiency. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 189, p. 136-144, 2015.

ANDREOTE, F.D.; ROCHA, U.N.; ARAÚJO, W.L.; AZEVEDO, J.L.; OVERBEEK, L.S. VAN. Effect of bacterial inoculation, plant genotype and developmental stage on root-associated and endophytic bacterial communities in potato (*Solanum tuberosum*). **Antonie van Leeuwenhoek Journal**, v. 97, p. 389-399, 2010.

ARAÚJO, R. M.; ARAÚJO, A. S. F. DE; NUNES, L. A. P. L.; FIGUEIREDO, M. DO V. B. Resposta do milho verde à inoculação com *Azospirillum brasilense* e níveis de nitrogênio. **Ciência Rural**, v. 44, p. 1556-1560, 2014.

ARAÚJO, W. L., DOURADO, M. N. & BRAGA, R. M. Microbial interactions: ecology in a molecular perspective. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 1, p. 86–98, 2016.

AZEEM, B.; KUSHAARI, K.; MAN, Z. B.; BASIT, A.; THANH, T. H. Review on materials and methods to produce controlled release coated urea fertilizer. **Journal of Controlled Release**, v. 181, p. 11-21, 2014.

BANDARA, W.M.M.S.; SENEVIRATNE, G.; KULASOORIYA, S.A. Interactions among endophytic bacteria and fungi: effects and potentials. **Journal of Biosciences**, v. 31, p. 645-650, 2006.

BASHAN, Y.; BUSTILLOS, J.J.; LEYVA, L.A.; HERNANDEZ, J.-P.; BACILIO, M. Increase in auxiliary photoprotective photosynthetic pigments in wheat seedlings induced by *Azospirillum brasilense*. **Biology and Fertility of Soils**, v. 42, p. 279-285, 2006.

BERGEY'S: **Manual of determinative bacteriology**. Williams & Wilkins Co, Baltimore, v.7, p. 27-31, 1957.

BESSEN, M. R. Influência de fontes de nitrogênio no fluxo de gases e na produtividade do milho e do trigo em sistema de plantio direto. **Monografia (Graduação em Agronomia)-Universidade Federal de Santa Catarina**, 2015.

COMBES-MEYNET, E., POTHIER, J. F., MOËNNE-LOCCOZ, Y. & PRIGENT-COMBARET, C. The Pseudomonas secondary metabolite 2,4-diacetylphloroglucinol is a signal inducing rhizoplane expression of Azospirillum genes involved in plant-growth promotion. **Molecular Plant-Microbe Interactions**, V. 24, p. 271–284, 2011.

CONAB, Companhia Nacional De Abastecimento, **Série Históricas, Acompanhamento de safra brasileira: grãos. Décimo primeiro levantamento**, p.10, 2019.

CONANT, R.T., A.B. BERDANIER, AND P.R. GRACE. Patterns and trends in nitrogen use and nitrogen recovery efficiency in world agriculture. **Global Biogeochemical Cycles**, EUA, V. 27, p. 558–566, 2013.

DE BRUIJN FJ. *Molecular Microbial Ecology of the Rhizosphere*. Hoboken, **Wiley-Blackwell Publishers**, p. 1–1328, 2013.

DÍAZ-ZORITA M, FERNÁNDEZ-CANIGIA MV. Field performance of a liquid formulation of Azospirillum brasilense on dryland wheat production. **European Journal of Soil Biology**. v. 11, p. 3-45, 2009.

DOBBELAERE, S., CROONENBORGH, A., THYS, A., PTACEK, D., VANDERLEYDEN, J., DUTTO, P., et al. Response of agronomically important crops to inoculation with Azospirillum. **Aust J Plant Physiol**, v. 28, p. 871–879, 2001.

DOBERMANN, A. Nitrogen use efficiency State of the art. In: IFA International Workshop on Enhanced Efficiency Fertilizers, **International Fertilizer Industry Association**, p. 28–30, 2005.

EMBRAPA. Fertilizantes de eficiência aumentada: uso de ureia de liberação controlada ou com inibidores em sistemas agrícolas sustentáveis. Rodrigo Estevam Munhoz de Almeida. Palmas, TO: **Embrapa Pesca e Aquicultura, (Documentos / Embrapa Pesca e Aquicultura)**, p. 28, 2016.

ESPÍNDULA MC, ROCHA VS, SOUZA MA, CAMPANHARO M, PIMENTEL AJB. Urease inhibitor (NBPT) and efficiency of single or Split application of urea in wheat crop. **Revista Ceres**, v. 61, p. 79-273, 2014.

FANCELLI, A. L. Ecofisiologia, fenologia e implicações básicas de manejo. In: BORÉM, A. GALVÃO, J. C. C.; PIMENTEL, M. A. **Milho: do plantio à colheita**. 2ed, Editora UFV, p. 21- 49, 2017.

FERREIRA, E. P. B.; KNUPP, A. M.; MARTIN-DIDONET, C. C. G. Crescimento de Cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) influenciado pela inoculação com bactérias promotoras de crescimento de plantas. **Bioscience Journal**, v. 30, p. 655-665, 2013.

FIGUEIREDO, M.V.B.; MARTINEZ, C.R.; BURITY, H.A.; CHANWAY, C.P. Plant growth- promoting rhizobacteria for improving nodulation and nitrogen fixation in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 24, p. 1187-1193, 2008.

FLORES-FELIX JD, SILVA LR, RIVERA LP et al. Plants proiotics as a tool to produce highly functional fruits: the case of phyllobacterium and vitamin C in strawberries. **Journal plos**, v. 15, p. 18, 2015.

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

GALINDO, F. S. Desempenho Agrônômico do milho e do trigo em função da inoculação com *Azospirillum brasilense* e doses e fontes de nitrogênio. **Dissertação de mestrado**

(Agronomia – Sistemas de produção) – Universidade Estadual Paulista “Júlio e Mesquita Filho” – UNESP, p. 150, 2016.

GUELFY, D. Fertilizantes nitrogenados de liberação lenta ou controlada. **Informações Agronômicas, Piracicaba, IPNI**, v. 157, p. 14, 2017.

HARTMANN, A., BASHAN, Y. Ecology and application of Azospirillum and other plant growth-promoting bacteria (PGPB) - Special issue. **European Journal of Soil Biology**. v. 45, p. 1–2, 2009.

HEFFER, P.; GRUÈRE, A.; ROBERTS, T. Assessment of fertilizer use by crop at the global level. **Paris: International Fertilizer Association; International Plant Nutrition Institute**, p. 20, 2017.

HUNGRIA, M. Inoculation with Azospirillum brasilense: innovation in performance at low cost. **Londrina: Embrapa Soja**, p. 36, 2011.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M.; ARAUJO, R. S. Soybean seed co-inoculation with Bradyrhizobium spp. and Azospirillum brasilense: a new biotechnological tool to improve yield and sustainability. **American Journal of Plant Sciences**, v. 6, p. 811-817, 2015.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M.A.; ARAUJO, R.S. Inoculation of Brachiaria spp with the plant growth-promoting bacterium Azospirillum brasilense: an environment-friendly component in the reclamation of degraded pastures in the tropics. **Agriculture Ecosystems Environment**, v. 221, p. 125–131, 2016.

IFASTAT. Consumption: 2019. **Available at: <<https://www.ifastat.org/databases/plant-nutrition>>**. Accessed on: August 19, 2019.

IPNI – INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE. **Fertilizantes**. 2019. Disponível em: <http://brasil.ipni.net> > Acesso em: 30 nov. 2016. Acesso em: 11 jan. 2019.

MALAVOLTA, E. **Handbook of plant mineral nutrition**. São Paulo: Ceres, p. 638, 2006.

MARKS, B. B.; MEGÍAS, M.; OLLERO, F. J.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S.; HUNGRIA, M. Maize growth promotion by inoculation with *Azospirillum brasilense* and metabolites of *Rhizobium tropici* enriched on lipo-chitooligosaccharides (LCOs). **AMB Express**, v. 5, p. 71-82, 2015.

MARTÍNEZ-MORALES, L. J.; SOTO-URZÚA, L.; BACA, B. E.; SÁNCHEZ-AHÉDO, J. A. Indole-3-butyric acid (IBA) production in culture medium by wild strain *Azospirillum brasilense*. **FEMS Microbiology Letters**. v. 228, p. 167 – 173, 2003.

MARTINS, M.R.; JANTALIA, C.P.; REIS, V.M.; DOWICH, I.; POLIDORO, J.C.; ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M.; URQUIAGA, S. Impacto f plant growth-promoting bacteria on grain yield, protein content, and urea-15 N recovery by maize in a Cerrado Oxisol. **Plant Soil**, v. 422, p. 239-250, 2017.

MATHIALAGAN, R.; MANSOR, N.; AL-KHATEEB, B.; MOHAMAD, M.H.; SHAMSUDDIN, M.R. Evaluation of allicin as soil urease inhibitor. **Procedia Engineering**, v. 184, p. 449-459, 2017.

MELNICK, RACHEL L.; ZIDACK, NINA K.; BAILEY, BRYAN A.; MAXIMOVA, SIELAN; GUILTINAN, MARK; BACKMAN, PAUL A. Bacterial endophytes: *Bacillus* spp. from annual crops as potential biological control agents of black pod rot of cacao. **Biological Control**, v. 46, p. 46–56, 2008.

MODOLO, L.V., C.J. DA-SILVA, D.S. BRANDÃO, AND I.S. CHAVES. A minireview on what we have learned about urease inhibitors of agricultural interest since mid-2000s. **Journal of Advanced Research**, v. 13, p. 29–37, 2018.

MÔRO, G. V.; NETO, R. F. Importância e usos do milho no Brasil. In: BORÉM, A. GALVÃO, J. C. C.; PIMENTEL, M. A. Milho: do plantio à colheita. 2ed, **Editora UFV**, p. 9, 2017.

MOTA, F. F. A.; FERRAZ, Y. T.; MARIANO, D.C.; OLIVEIRA NETO, C.F.; OKUMURA, R. S. Associação de turfa e de nitrogênio em cobertura na produtividade do milho. **Enciclopédia Biosfera**, v. 14, p. 170-181, 2017.

NASH, P.R.; NELSON, K.A.; MOTOVALLI, P.P. Corn yield response to polymer and non-coated urea placement and timings. **International Journal of Plant Production**, v. 7, p. 373-392, 2013.

NUNES, W. A. G. A; MENEZES, J. F. S; BENITES, V. M; JUNIOR, S. A. L; OLIVEIRA, A. S. Use of organic compost produced from slaughterhouse waste as fertilizer in soybean and corn crops. **Scientia Agricola**. v. 72, p. 343-350, 2015.

OLIVEIRA, J. P. P. Influência da densidade populacional na fenologia e na produtividade da cultura do milho, Dissertação (Mestre em Agricultura de Precisão) - **Curso de Mestrado Profissional do Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, Universidade Federal De Santa Maria, Santa Maria-RS**, 2014.

PAN, X.L., DONG, F.S., XU, J., LIU, X.G., CHEN, Z.L., ZHENG, Y.Q. Stereoselective analysis of novel chiral fungicide pyrisoxazole in cucumber, tomato and soil under different application methods with supercritical fluid chromatography/tandem mass spectrometry. **Journal of Hazardous Materials**, v. 311, p. 115–124, 2016.

PAULSON, K.N.; KURTZ, L.T. Locus of urease activity in soil. **Soil Science Society of American Procedure**, v. 33, p. 897-901, 1969.

POTHIER, J. F.; WISNIEWSKI-DYÉ; WEISS-GAYET, M.; MOËNNE-LOCCOZ, Y.; PRIGENT-COMBARET, C. Promoter-trap identification of wheat seed extract-induced genes in the plant-growth-promoting rhizobacterium *Azospirillum brasilense* Sp245. **Microbiology**, v. 153, p. 3608-3622, 2007.

PRIMAVESI, O.; PRIMAVESI, A.C.; CORRÊA, A. L.; SILVA, A. G.; CANTARELLA, H. Lixiviação de nitrato em pastagem de coastcross adubada com nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 3, p. 683-690, 2006.

QUADROS, P. D., ROESCH, L. F. W., SILVA, P. R. F., VIEIRA, V. M., ROEHRS, D. D. E CAMARGO, F. A. O. Desempenho agrônômico a campo de híbridos de milho inoculados com *Azospirillum*. **Revista Ceres**, v. 61, p. 209-218, 2014.

RAIJ, B. V. Fertilidade do solo e manejo dos nutrientes. **Piracicaba: International Plant Nutrition Institute**, p. 420, 2011.

REIS JÚNIOR, R. A. Kimcoat N - Uma nova ferramenta para a otimização do uso de fertilizantes. **Informações Agronômicas**, n. 117, p. 13-14, 2007.

SAIKKONEN, K. Forest structure and fungal endophytes. **Fungal Biology Reviews**, v. 21, p. 67-74, 2007.

SCHERES B., BENFEY P., DOLAN L. **Root development. Arabidopsis Book 1**, e010110.1199/tab.0101, 2002.

SHAVIV, A.: **Controlled Release Fertilizers**. IFA International Workshop on Enhanced Efficiency Fertilizers, Frankfurt. **International Fertilizer Industry Association Paris**, France, p. 163, 2005.

SKONIESKI, F. R. Inoculação de *Azospirillum brasilense* e doses de Nitrogênio em Milho para produção de Silagem e Grãos. **Dissertação Zootecnia, Área de concentração em Produção Animal**. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), 2015.

SPAEPEN, S.; VANDERLEYDEN, J. **Auxin and plant-microbe interactions**. In: MARK, E; WEIJERS, D; LEYSER, O; LJUNG, K (eds). **Cold Spring Harbor Perspectives in Biololgy**. Cold Spring Harbor Laboratory Press, 2011.

STEENHOUDT, O.; VANDERLEYDEN, J. Azospirillum, a free-living nitrogen-fixing bacterium closely associated with grasses: genetic biochemical and ecological aspects. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 24, p. 487-506, 2000.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal e desenvolvimento vegetal**, 6. ed. Porto Alegre: Artmed, p. 954, 2017.

TEIXEIRA FILHO M. C. M.; BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M.; BENETT, C. G. S.; ARF, O.; SÁ, M. E. Wheat nitrogen fertilization under no till on the low altitude Brazilian Cerrado. **Journal of Plant Nutrition**, v. 37, p. 1732-1748, 2014.

TIMILSENA, Y. P.; ADHIKARI, R.; CASEY, P.; MUSTER, T.; GILL, H.; ADHIKARI, B. Enhanced efficiency fertilisers: a review of formulation and nutrient release patterns. **Journal of Science Food Agriculture**, v. 95, p. 1131-1142, 2015.

TRENKEL, M. E. Slow and controlled-release and stabilized fertilizers: An option for enhancing nutrient use efficiency in agriculture. **International Fertilizer Industry Association**, p. 167, 2010.

USDA - **United States Department of Agriculture**. Disponível em: www.usdabrazil.org.br
Acesso em 5 de setembro de 2019.

XU, J.; WEN, Z.; GONG, Z.; ZHANG, M.; XIE, P. & HANSSON, L. Seasonal trophic niche shift and cascading effect of a generalist predator fish. **PloS One**, v. 7, p. 1-9, 2012.

YANG, Y. Controlled release urea improved nitrogen use efficiency, activities of leaf enzymes, and rice yield. **Soil Science Society American Journal**, v. 76, p. 2307-2317, 2012

WELLER, D. M. Colonization of wheat roots by a fluorescent pseudomonad suppressive to take-all. **Phytopathology**, St. Paul, v. 73, p. 1548-1553, 1983.

CAPITULO I - DESEMPENHO DO MILHO GRÃO TRATADO COM *Azospirillum brasiliense* EM COMBINAÇÃO COM FONTES E DOSES DE NITROGÊNIO

RESUMO

A inoculação de sementes de milho com a bactéria *Azospirillum brasiliense* em associação com fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada pode ser uma alternativa agrônômica para aumentar o rendimento da cultura e o lucro líquido dos produtores. Diante disso o objetivo do estudo foi avaliar a eficiência agrônômica na cultura do milho, em semente inoculada com *Azospirillum brasiliense* em combinação com fontes e doses de nitrogênio. Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5 x 3 x 2, com seis repetições. Os fatores estudados foram: fator A - cinco doses de N aplicado em cobertura (0; 50; 100; 150 e 200 kg de N ha⁻¹) no estágio fenológico V₄; fator B - três fontes de nitrogênio (ureia, ureia com inibidor da urease e ureia revestida) e fator C - com e sem inoculação de sementes com *Azospirillum brasiliense*. A dose de inoculante foi 100 mL ha⁻¹, contendo estirpes da bactéria na concentração mínima de 2 x 10⁸ células viáveis mL⁻¹. Foram realizadas as seguintes avaliações fitotécnicas da planta: altura média de planta, altura média de inserção da espiga, massa seca do colmo e folha, diâmetro médio do colmo, comprimento médio da espiga, diâmetro médio da espiga, número médio de fileiras por espiga e número médio de grãos por fileira. As avaliações do estado nutricional por meio das variáveis: determinação não destrutiva da clorofila "a", "b" e total na folha; eficiência no uso do fertilizante. Houve interação (P<0,05) entre os fatores inoculação e doses de nitrogênio para diâmetro do colmo, índice de área foliar, clorofila A, B e total, comprimento da raiz, largura da Raiz, produção de massa seca da raiz. Enquanto, as variáveis, altura, massa seca da folha e massa seca do colmo não apresentaram (P>0,05) interação significativa, contudo os fatores, dose, fonte e *Azospirillum* influenciaram de forma isolada. As doses de 100 kg de N ha⁻¹ com inibidor de uréase e, inoculada com *Azospirillum* proporcionam o máximo teor de clorofila A (37,95), B (10,88) e total (48,70). Os resultados foram 25% superior comparativamente ao tratamento controle.

Palavras-chave: bactérias promotoras de crescimento; fontes de nitrogênio, sustentabilidade.

ABSTRACT

The inoculation of corn seeds with the bacteria *Azospirillum brasilense* in association with nitrogen fertilizers of increased efficiency can be an agronomic alternative to increase the crop yield and the producers' net profit. Therefore, the objective of the study was to evaluate the agronomic efficiency in maize culture, in seed inoculated with *Azospirillum brasilense* in combination with nitrogen sources and doses. A completely randomized design was used, in a 5 x 3 x 2 factorial scheme, with six replications. The factors studied were: factor A - five doses of N applied in coverage (0; 50; 100; 150 and 200 kg of N ha⁻¹) at the phenological stage V4; factor B - three sources of nitrogen (urea, urea with urease inhibitor and coated urea) and factor C - with and without seed inoculation with *Azospirillum brasiliense*. The inoculant dose was 100 mL ha⁻¹, containing strains of the bacterium at a minimum concentration of 2 x 10⁸ viable mL⁻¹ cells. The following phytotechnical evaluations of the plant were performed: average plant height, average height of ear insertion, dry stem and leaf mass, average stem diameter, average ear length, average ear diameter, average number of rows per ear and average number of grains per row. Assessments of nutritional status through the variables: non-destructive determination of chlorophyll "a", "b" and total on the leaf; efficiency in the use of fertilizer. There was an interaction (P <0.05) between the inoculation factors and nitrogen doses for stem diameter, leaf area index, A, B and total chlorophyll, root length, root width, root dry matter production. While, the variables, height, leaf dry mass and stem dry mass did not show (P > 0.05) significant interaction, however the factors, dose, source and *Azospirillum* influenced in isolation. The doses of 100 kg of N ha⁻¹ with urea inhibitor e, inoculated with *Azospirillum* provide the maximum content of chlorophyll A (37.95), B (10.88) and total (48.70). The results were 25% higher compared to the control treatment.

Keywords: growth promoting bacteria, nitrogen sources, sustainability.

1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é uma das culturas de grande importância sócio econômica devido aos diversos usos, que vai desde a alimentação animal e humana até a indústria. O Brasil está entre os maiores produtores e exportadores de grãos. De acordo com a CONAB, em 2019, exportou quase 35 milhões de toneladas do grão.

A adubação nitrogenada tem papel importante na determinação da produtividade e na rentabilidade do cultivo da cultura. Porém, a recomendação de adubação com este nutriente é um tanto difícil em relação a outros elementos em função da dificuldade de avaliar sua disponibilidade no solo (Kaneko et al., 2016).

A eficiência de absorção do nitrogênio pelas plantas normalmente é igual ou menor que 60%, sendo que este nutriente é o mais exigente em maior quantidade pela cultura do milho, o que mais onera os custos de produção (Portugal et al., 2017; Galindo et al., 2017).

A ureia é um dos fertilizantes nitrogenados mais comercializados no Brasil, devido o seu menor custo em relação aos demais adubos que contêm este nutriente, contudo o mais sujeito a perdas de nitrogênio (N) (Martins; Cazetta; Fukuda, 2014).

Na cultura do milho a adubação nitrogenada é aplicada na superfície do solo e sem incorporação, no qual podem ocorrer perdas de nitrogênio (N) por volatilização ocorrendo na hidrólise enzimática da ureia no solo, com produção de amônia (NH₃) (Tasca et al., 2011).

Para se obter altos rendimentos de grãos do cereal, altas doses de ureia devem ser aplicadas porque os solos em geral não pode atender aos requisitos da colheita ao longo do seu ciclo (Galindo et al., 2017). Por tanto, o manejo do nitrogênio precisa ser bem gerenciado para que se possa garantir sucesso na atividade agrícola (Kaneko et al., 2015).

O mercado brasileiro de fertilizantes é vulnerável e com grande dependência das importações, sendo fundamental, encontrar alternativas para o uso mais eficiente dos fertilizantes nitrogenados (HUNGRIA et al., 2016). Dentre os mecanismos, destacam-se por tecnologias que aumentem a eficiência da adubação, adotando-se o uso de fertilizantes de eficiência aumentada, como os de liberação lenta ou controlada ou com inibidores, visando reduzir os processos de perdas do N proveniente do fertilizante (Frazão et al., 2014).

Um dos tipos de fertilizante de liberação controlada é composto por grânulos de ureia revestidos por uma ou mais camadas protetoras. Como proteção, dentre outras substâncias, têm sido utilizados polímeros ou resinas permeáveis à água, aplicados em camadas, que,

supostamente, regulam o processo de liberação do nutriente contido no interior das camadas protetoras (Martins; Cazetta; Fukuda, 2014).

Já os inibidores de urease são compostos ou recobrimentos adicionados ao fertilizante convencional, e são métodos de manejo que visa diminuir a atividade da enzima urease, retardando a hidrólise da ureia, principal fonte mineral de N na atualidade, com isso possibilitando o aumento da eficiência da ureia aplicada em superfície, pela redução da volatilização (Scivittaro et al., 2018).

Outro método de reduzir a perda do nutriente, destacam-se o uso de bactérias do gênero *Azospirillum*. Este gênero possui capacidade de maior aproveitamento na adubação nitrogenada e na fixação biológica do nitrogênio, além da produção de hormônios que promovem o crescimento das plantas (Portugal et al., 2017; Szilagyi-Zecchin et al., 2017).

De acordo com Skonieski et al. (2019) o uso da bactéria do gênero *Azospirillum*, melhora o desenvolvimento radicular e a absorção radical de superfície, água e nutrientes e a tolerância das plantas a condições de estresse, como salinidade e déficit hídrico, entre outras, possibilitando de forma positiva o aumento da produtividade das culturas, reduzindo as perdas, aumentando a eficiência do uso de nutrientes.

Diante disso, o presente estudo objetivou-se avaliar a eficiência agrônômica na cultura do milho inoculada com *Azospirillum* brasileiro em combinação com fonte e doses de nitrogênio.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização experimental

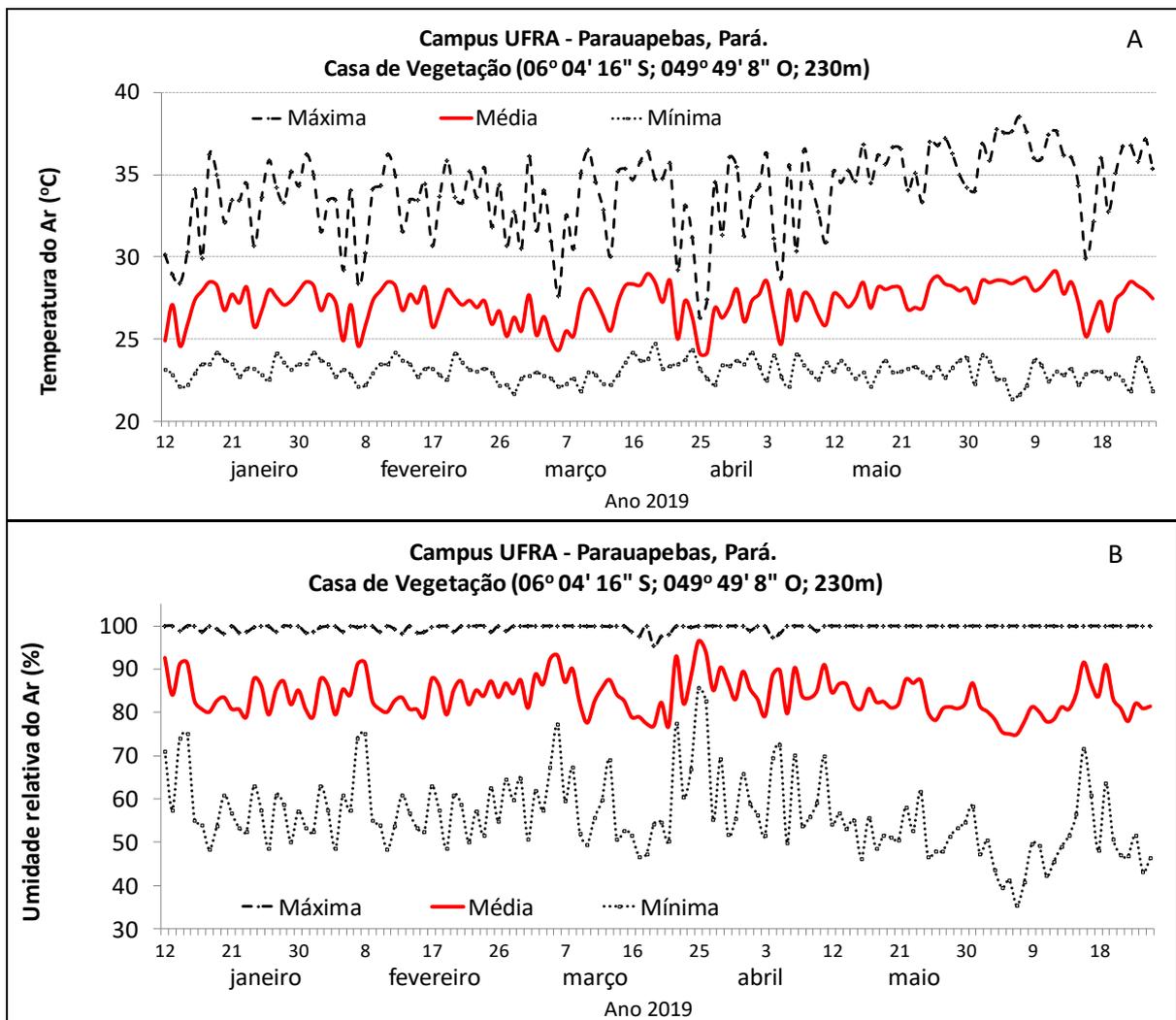
2.1.1 Localização do experimento

O experimento foi conduzido em casa de vegetação tipo capela, coberto com polietileno de 150 micras, e pé direito de 3 metros de altura, instalado na Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus de Parauapebas, localizado nas coordenadas 06°04'03'' latitude Sul e 49°04'03'' longitude Oeste, no período de janeiro a maio de 2019. Pela classificação de Köppen o município de Parauapebas, Pará, possui clima do tipo Aw, ou seja,

tropical chuvoso, com as chuvas concentradas no verão, e estação seca no inverno. O solo utilizado foi do tipo Argissolo Vermelho Amarelo (EMBRAPA SOLOS, 2006).

As temperaturas mínimas, médias e máximas do ar ($^{\circ}\text{C}$) e umidade do ar (%) foram avaliadas diariamente através de termohigrômetro digital durante todo o período experimental considerando-se as médias mensais para a representação gráfica dos dados (Figura 12).

FIGURA 12- Temperatura (A) e Umidade (B) durante a condução do experimento. Campos UFRA Parauapebas, 2019.



Fonte: O Autor

2.1.2 Análise de solo e adubação

A adubação de plantio (nitrogênio, fósforo e potássio) e cobertura (N) foi realizada de acordo com o resultado da análise química do solo (Tabela 2). As doses foram realizadas conforme a 5ª Aproximação - Recomendação da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (1999) para alto potencial de rendimento de grãos ($\geq 8 \text{ t ha}^{-1}$). No momento do plantio (12/01/2019) foi aplicado 2,78 g saco de plantio⁻¹, com volume de 15 dm³, NPK na formulação 05:25:15 correspondendo à 18,5 kg ha⁻¹ de N, 92,5 kg ha⁻¹ de P (P₂O₅), 55,5 kg ha⁻¹ de K (K₂O) (Figura 26A e 26B).

TABELA 2 - Resultados das análises químicas do solo. Campos UFRA Parauapebas, 2019.

Perfil	Arg.	pH	H+Al	CTC	Al	Ca	Mg	P	K	M.O	Sat. Bases
cm	%		cmol/dm ²		-----cmol/dm ³ -----			mg/dm ³		g/ dm ³	----- %-----
0-5	32,0	4,3	2,5	4,22	0,3	1,1	0,4	0,3	70,7	13,0	40,73
5-10	34,0	4,5	2,3	4,09	0,3	1,2	0,4	0,3	61,9	10,0	43,77
10-20	31,0	4,6	2,2	5,44	0,2	2,2	0,7	0,8	121,3	21,0	59,64

Fonte: Laboratório Agropecuário Ltda, 2017.

As doses de N aplicadas em cobertura foram realizadas de acordo com as fontes e doses de N no estágio fenológico V4, realizado em 01/02/2019 20 dias após a semeadura (DAS). A aplicação dos fertilizantes foi realizada de forma manual, após serem abertos sulcos com profundidade de 5 cm, na distância de 10 cm entre sacos de plantio (Figura 27A e 27 B).

2.1.3 Tratamentos das sementes de milho e semeadura

Anterior à semeadura, as sementes de milho foram inoculadas com a bactéria *Azospirillum brasilense*, estirpes Ab-V5 e Ab-V6 na concentração de 2,0 x 10⁸ Unidade formado de colônia (UFC) mL⁻¹ UFC semente⁻¹, com a utilização de 100 mL ha⁻¹ de inoculante (AzoTotal® – Total Biotecnologia, desenvolvido pela Total Biotecnologia e Embrapa) para cada 25 kg de sementes com auxílio de um copo graduado (Figura 28A e 28 B).

A cultivar de milho utilizado foi a Al Bandeirante, conhecida popularmente como “Amarelão”, a semeadura constou de 2 sementes a 3 cm de profundidade (Figura 29).

2.1.4 Delineamento experimental e Caracterização dos Tratamentos

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5 x 3 x 2, com seis repetições. Os fatores avaliados foram:

- i) fator A - cinco doses de N aplicado em cobertura (0; 50; 100; 150 e 200 kg de N ha⁻¹, nas quantidades de 1,85; 3,70; 5,56 e 7,41 g m⁻¹, respectivamente) no estágio fenológico V4, de acordo com Ritchie et al. (1993);
- ii) fator B - três fontes de N (ureia, ureia com inibidor da urease e ureia com inibidor da nitrificação do amônio);
- iii) fator C – com e sem inoculação de sementes com *Azospirillum brasiliense*. A dose de inoculante foi de 100 mL ha⁻¹ contendo estirpes da bactéria na concentração mínima de 2 x 10⁸ células viáveis mL⁻¹.

2.1.5 Manejo e colheita do milho

A determinação da quantidade de água no solo pelo método de campo, o ponto de murcha Permanente- PMP, foi com base na metodologia descrita por Kiehl (1979), porém sem a necessidade de utilização de selamento superficial do solo nem, tampouco, de câmara úmida; também para essa determinação o milho grão foi utilizado como planta teste.

O desbaste do milho foi realizado sete dias após o plantio (19/01/2019), deixando apenas uma planta por vaso (Figura 30A e 30B). O controle das plantas daninhas foi realizado por retirada manual dos vasos.

A colheita do milho foi realizada no dia 24/05/2019, 132 dias após a semeadura (DAS), estágio R6, ponto específico para produção de milho, momento em que os grãos são considerados maduros fisiologicamente, e alcançaram seu peso máximo seco.

2.2 Análises fitotécnicas da planta

2.2.1 Altura de plantas (AP) e Altura de inserção da espiga viável (AIE):

A avaliação da altura de plantas foi determinada manualmente utilizando uma fita métrica graduada (Figura 31A), sendo medido da base do solo até a última folha, realizados

na data de 29/03 e (76 DAS), e expresso em metros por planta (LANA et al., 2009).

Altura de inserção da espiga viável foi realizada com o uso de fita métrica graduada em milímetros (Figura 31 C), medindo-se do nível do solo até o ponto de inserção da espiga, com dados expressos em cm, aos 79 DAS.

2.2.2 Diâmetro médio do colmo (DMC)

O diâmetro foi medido no primeiro entrenó com um paquímetro digital (mm) (Figura 31B), realizado nas datas 29/03 (76 DAS), e expressos em centímetros por planta.

2.2.3 Índice de área Foliar (IAF)

Na determinação da área foliar (AF) foram avaliadas nas datas 29/03 (76 DAS), nas quais foram mensurados o comprimento (C) e a largura (L), na parte mediana de todas as folhas de cada uma das plantas (Figura 31D1 e 31D2), para a obtenção inicial da área foliar (AF) (SANGOI et al., 2007). Adotando a metodologia proposta por Francis et al. (1969), o cálculo da área foliar foi realizado mediante emprego da equação: $AF (m^2) = 0,75 * C * L$, onde C e L são comprimento e largura.

Posteriormente, foram somados os valores individuais de todas as folhas para obter o valor total de área foliar por planta da unidade experimental. Assim, o índice de área foliar foi calculado a partir das medidas de área foliar, utilizando a equação: $IAF = AF / (e1 * e2)$, em que e1 e e2 referem-se ao espaçamento entre plantas na linha de plantio (m) e entre as linhas de plantio (m), respectivamente.

2.3 Avaliação do estado nutricional da planta

2.3.1 Determinação não destrutiva da clorofila “a”, “b” e total na folha:

No dia 29/03 (76 DAS) foi realizada a determinação da clorofila, padronizando as leituras na folha índice horário compreendido das 8h00m às 10h00m, por meio da utilização do clorofilômetro eletrônica marca ClorofilLOG®, modelo CFL 1030, que fornece valores chamados Índice de Clorofila Falker (ICF) proporcionais à absorvância das clorofilas,

operando conforme as instruções do fabricante (FALKER, 2019). O clorofiLOG mede a quantidade de radiação transmitida através das folhas, de forma óptica, em três diferentes comprimentos de onda, dois na faixa do vermelho, próximos aos picos de absorção da clorofila ($\lambda=635$ e 660 nm) e um no infravermelho próximo ($\lambda=880$ nm). A combinação destes valores de transmitância nestes três comprimentos de onda gera o ICF – Índice de Clorofila Falker. (FALKER, 2019).

Foram mensuradas em todas as unidades experimentais, com as medições realizadas nos terços superior, médio e inferior a mais ou menos 1,5 cm da margem da folha índice (Figura 31E1 e 31E2), sendo posteriormente obtida a média geral das partes da folha.

2.4 Avaliações da massa de matéria fresca e seca (Colmo, Folha e Raiz)

Foram coletadas todas as plantas ao nível de solo, identificadas, pesadas e realizada a separação dos componentes morfológicos (lâminas foliares, colmos, espiga, sabugo, grão e palha). Após separação, os componentes foram armazenados em sacos de papel, pesados e, em seguida, secos em estufa de ventilação forçada a 65 °C por 72 horas, sendo novamente pesado para determinação da produção de massa seca (MS) dos componentes morfológicos e total (através da diferença de massa).

2.4.1 Avaliação das raízes

As raízes foram lavadas em peneiras, retirada o excesso de solo e secas ao ar (Figura 21), e determinação do CR - comprimento total de raiz (cm) e LR - largura das raízes (cm) utilizando uma trena.

Após medir o comprimento e largura as raízes foram identificadas, sendo armazenadas em sacos de papel pesados e, em seguida, secos em estufa de ventilação forçada a 65 °C por 72 horas, em seguida, pesadas em balança de precisão analítica para obtenção da massa seca de raízes (MSR) em gramas.

2.5 Avaliação qualitativa das espigas

A determinação dos componentes de produção das plantas de milho foi colhida, as

espigas viáveis das unidades experimentais. Os resultados foram expressos em: número de espigas (unidade), comprimento da espiga (cm) realizado com uma fita métrica.

2.5.1 Diâmetro (DE) e Comprimento da Espiga (CE)

Diâmetro e comprimento da espiga (DE): foi realizada a medição de espigas colhidas aleatoriamente por cada parcela útil, foi utilizado uma trena para medição do comprimento entre as extremidades da espiga (Figura 32A) e também o paquímetro para medir o diâmetro no terço médio da espiga. Expresso em centímetro (VIEIRA et al., 2010).

2.5.2 Número de grãos por Fileira (NGF)

Número de grãos por fileira (NGF): Após a colheita, o número de grãos por fileira foi realizado mensurando, mediante contagem simples dos grãos presentes em uma fileira de cada espiga viável (Figura 32 B) (VIEIRA et al., 2010).

2.5.3 Número de fileiras de grãos por espiga (NFE)

O número de fileiras de grãos por espiga foi determinado mediante contagem simples do número de fileiras presentes em uma espiga (VIEIRA et al., 2010).

2.5.4 Massa de mil grãos (MMG)

A massa de mil grãos foi determinada mediante contagem simples de 1000 grãos por repetições (Figura C), e pesados em balança analítica (DUETE et al., 2008).

2.5.5 Peso de grãos (PG) e Produtividade de grãos (PG)

Determinado por meio do peso dos grãos após o processo de debulha. Sendo pesados, acondicionadas em sacos de papel, colocadas em estufa com circulação forçada do ar para serem corrigidos na base úmida de 13%, e os resultados transformados em $t\ ha^{-1}$ (OKUMURA et al., 2011).

2.6 Análises Estatísticas

Para a análise estatística, inicialmente, os dados experimentais, foram submetidos aos testes de Shapiro-Wilks ($p > 0,01$) e de Levene ($p > 0,01$), para verificação da normalidade e homocedasticidade residuais, respectivamente. Posteriormente, havendo atendimento as pressuposições básicas, os efeitos das doses de N aplicados em cobertura foram estudados mediante análise de regressão polinomial, observando-se os resultados do teste F ($p < 0,05$) da análise de variância e do teste t ($p < 0,05$) (CRUZ E REGAZZI, 2001). Para os efeitos fontes de N e inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense*, as médias dos tratamentos foram submetidas ao teste de Tukey, a 5% de probabilidade, por meio do software estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para os tratamentos testados foram observados interações significativas ($P < 0,05$) entre a inoculação e fonte para as variáveis, diâmetro do colmo (DC), índice de área foliar (IAF), clorofila total (Clo total), altura da espiga (AE), comprimento da espiga (CE), diâmetro da espiga (DE), número de fileira por espiga (NFE) e número de grão por espiga (NGF) (Tabela 3). Para a interação entre inoculação e dose, observaram-se interações significativas para as características diâmetro do colmo (DC), índice de área foliar (IAF), clorofila B (Clo B), clorofila total (Clo total), comprimento da espiga (CE), número de fileira por espiga (NFE), número de grão por espiga (NGF), produtividade (PROD), massa seca da raiz (MSR) e índice de colheita (IC). Enquanto para a relação fonte e dose, observou-se interação apenas para as variáveis clorofila A (Clo A), clorofila total (Clo total), altura da espiga (AE), comprimento da espiga (CE), diâmetro da espiga (DE), produtividade (PROD), massa seca da raiz (MSR) e índice de colheita (IC).

Observou-se também interação ao nível de 1% e 5% de probabilidade entre os tratamentos inoculação, fonte e dose, para as variáveis clorofila total (Clo total), comprimento da espiga (CE), diâmetro da espiga (DE), número de fileira por espiga (NFE) e número de grão por espiga (NGF) e produtividade (PROD), como mostra a tabela 3

Também, foi verificado efeitos isolados da dose, fonte e inoculação sobre as variáveis citadas (Tabela 3).

TABELA 3. Quadro de anava das variáveis diâmetro do colmo (DC), índice de área foliar (IAF), altura da planta (AP), comprimento da raiz (COMR), massa seca da raiz (MSR), massa seca da folha (MSF), massa seca do colmo (MSC), clorofila A (Clo A), clorofila B (Clo B), clorofila total (Clo total), altura da espiga (AE), comprimento da espiga (CE), diâmetro da espiga (DE), número de fileira por espiga (NFE) e número de grão por espiga (NGF), massa seca da raiz (MSR) e índice de colheita (IC). Campos UFRA Parauapebas, 2019.

FV	DC	IAF	AP	COMR	MSR	MSF	MSC	CLOR A	CLOR B	CLOR TOTAL
AZOSPIRILL	197.32**	10.12**	27679.28**	880.02**	316009.8 **	5173.47**	150222.22**	204.67*	2.37NS	147.26*
FONTE	2.038NS	2.73**	279.55NS	266.87**	45795.11**	133.62NS	1739.21NS	67.73NS	10.26NS	113.40*
DOSE	324.85**	11.473**	31109.16**	618.02**	63845.61**	1349.05**	59129.08**	522.14**	17.09**	660.23**
AZOSPIRILL*FONTE	9.71**	0.475*	533.22NS	117.76*	8028.05NS	12.29NS	1333.44NS	72.52NS	9.65NS	120.67*
AZOSPIRILL*DOSE	16.45**	0.34*	1403.30NS	73.12NS	12269.69*	194.69NS	8047.51NS	72.72NS	12.74*	104.73**
FONTE*DOSE	3.57NS	0.22NS	1236.60NS	17.52NS	4054.31NS	57.59NS	9101.07NS	70.82*	4.65NS	67.76*
AZOSPIRILL*FONTE*DOSE	7.58NS	0.08NS	689.80NS	44.19NS	5460.40NS	100.95NS	11582.86NS	49.76NS	6.36NS	72.50*
CV%	8,65	10,59	10,64	15,01	31,23	29,99	37,91	23,08	29,43	18,14
FV	AE	CE	DE	NFE	NGF	PROD	MS	IC		
AZOSPIRILL	0.62**	0.25NS	119.80**	30.66**	79.95**	109269926.98**	128.88*	50.97NS		
FONTE	0.35**	7.50*	90.84**	10.67**	54.81**	25254307.58**	23.55NS	251.25**		
DOSE	0.12*	5.62*	310.39**	40.142**	108.01**	56740933.54**	393.23**	229.23**		
AZOSPIRILL*FONTE	0.16*	1.79*	85.75**	4.80*	21.87**	1299925.43NS	47.10NS	5.76NS		
AZOSPIRILL*DOSE	0.05NS	12.10**	13.57NS	3.62*	18.34**	8727455.82**	123.2**	200.36**		
FONTE*DOSE	0.10*	5.60**	20.61*	1.26NS	2.57NS	2727564.01**	110.55**	121.33**		
AZOSPIRILL*FONTE*DOSE	0.05NS	3.64*	51.70**	3.79**	11.96**	5023505.86**	10.26NS	40.55NS		
CV%	13,65	9,6	8,5	8,7	7,96	12,75	32,66	19,44		

Nota: ** significativo a 1% de propabilidade, * significativo a 5% de propabilidade e NS= não significativo.

3.1 Altura das plantas

Como observado na tabela 4, a altura da planta apresentou diferenças significativas com resposta positiva para a fonte de nitrogênio com inibidor de urease na dose de 100 kg ha⁻¹ de N e ureia pura na dose de 200 kg ha⁻¹ de N, para as sementes tratadas com o inoculante *A. brasiliense*. No entanto, a presença ou ausência da bactéria, nas demais fontes e suas respectivas doses, não proporcionaram interação para a altura da planta de milho.

A interação entre doses elevadas de N e a inoculação com *A. brasiliense* pode ser negativa, atribuída à rápida e reversível redução da atividade da nitrogenase, a qual é inibida pela adição de NH₄⁺ no meio, com redução na fixação biológica do nitrogênio e produção de fitohormônios, devido o alto custo energético da redução do N₂ (LANA et al., 2012; REIS e TEIXEIRA, 2005). Pelos resultados obtidos nas fontes inibidoras de urease, verificou-se que a ação da *A. brasiliense* foi dependente das baixas concentrações de N mineral nos solos ou de baixas e médias doses de N aplicadas em cobertura.

De acordo com Marschner (1995) o aumento na produção de fitormônios promotores do crescimento e de desenvolvimento, é um dos fatores responsáveis pelos processos de divisão e expansão celular, aumentando o alongamento do caule e, conseqüentemente, a altura das plantas.

TABELA 4: Altura das (cm) plantas de milho, em função da inoculação com *Azospirillum brasilense*, fontes e doses de nitrogênio*. Campos UFRA Parauapebas, 2019.

ALTURA DA PLANTA										
Fonte N	Azosp.	Dose de N					Fonte N			CV (%)
		0	50	100	150	200	EL	EQ	DL	
U. Inibidor	Ausente	213.33A	282.5A	276.66B	264.83A	287.50A	0.001	0.029	0.017	10,64
	Presente	232.67A	277.16A	344.85A	294.33A	320.50A	0.000	0.001	0.002	
U. Revestida	Ausente	209.17A	268.83A	271.50A	294.67A	291.83A	0.000	0.022	0.339	
	Presente	242.17A	272.67A	302.83A	306.00A	302.17A	0.000	0.035	0.885	
U. Pura	Ausente	216.67A	262.17A	266.83A	286.00A	276.33B	0.000	0.035	0.590	
	Presente	246.67A	287.33A	293.83A	304.50A	313.17A	0.000	0.186	0.635	
Médias ¹		276.99								
P* - Efeito das interações										
Azoz x Fonte N		Azoz x Doses N			Fonte x Dose N		Azoz x Fonte N x Doses N			
0.543		0.173			0.191		0.609			

* Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de *Tukey*.

Nota: ** significativo a 1% de probabilidade, * significativo a 5% de probabilidade e NS= não significativo

3.2 Diâmetro do colmo

O diâmetro do colmo foi influenciado ($P < 0,05$) pela inoculação com *A. brasiliense* e aplicação de N em cobertura (Figura 13). As sementes ausentes do *A. brasiliense* apresentaram efeito linear, conforme aumentava-se a dose de ureia com inibidor de uréase, observou-se incremento de 1,45 cm do diâmetro do colmo, por outro lado as sementes tratadas com *A. brasiliense* apresentaram efeito quadrático proporcionando o aumento de 29,53 cm do diâmetro do colmo na dose máxima de $148,50 \text{ kg N ha}^{-1}$ de ureia (Figura 3A).

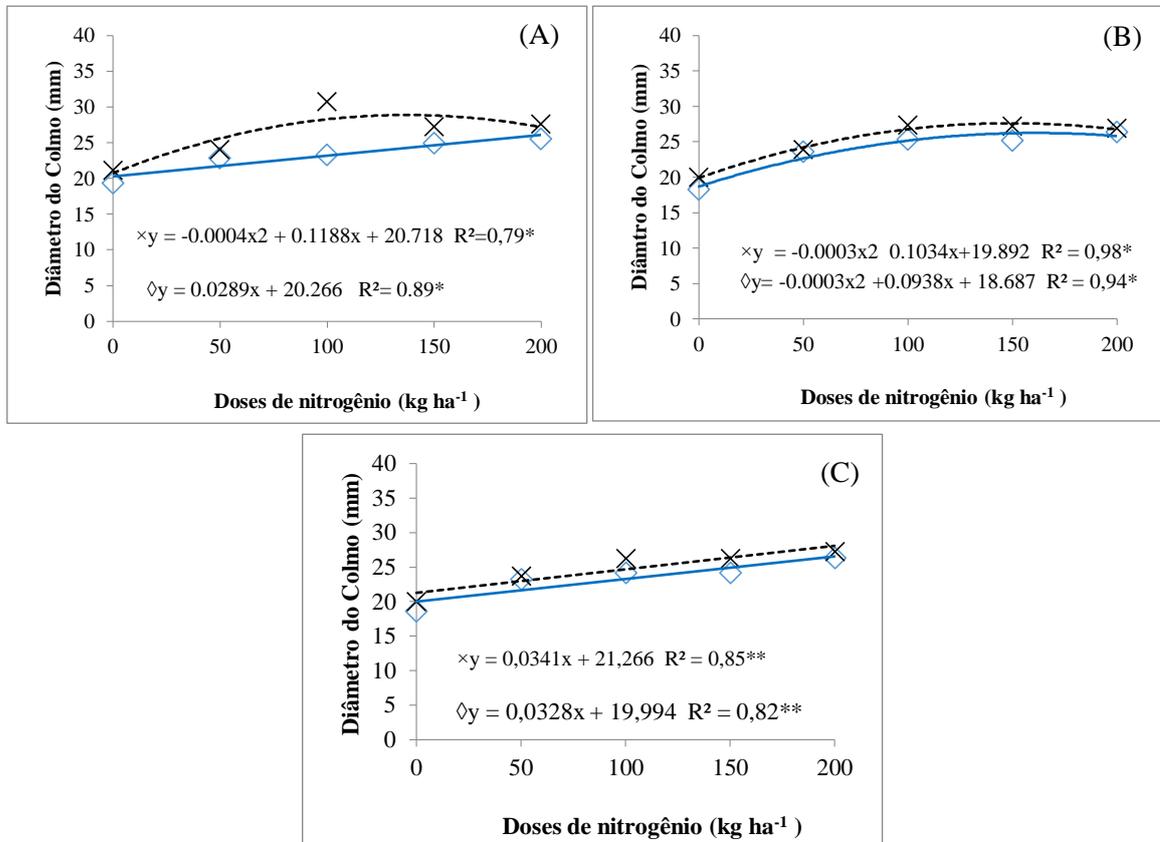
Para a adubação com ureia revestida, observou-se que as doses máximas de ureia foram de $172,33 \text{ kg N ha}^{-1}$ promovendo aumento do diâmetro de 28,80 cm de colmo para sementes tratadas e na dose máxima de $156,33 \text{ kg N ha}^{-1}$ promovendo o diâmetro de 33,35 cm de colmo para sementes não tratadas com a bactéria *A. brasiliense* (Figura 3B).

Observou-se que as sementes adubadas com ureia pura nas diferentes doses testadas, apresentaram efeito linear tanto na ausente como na presença da bactéria *A. brasiliense*, promovendo acréscimo de 1,64 e 1,71 cm do diâmetro do colmo, respectivamente (Figura 3C).

O aumento do diâmetro de colmo tem sido relacionado com o percentual de acamamento e quebramento das plantas de milho. Além disso, é uma variável importante para incrementos na produtividade, uma vez que quanto maior o seu diâmetro, maior será a capacidade da planta em armazenar fotoassimilados que contribuiriam com o enchimento dos grãos (KAPPES et al., 2011).

Resultados descritos por Repke et al., (2013) demonstram a importância do acúmulo e remobilização dos carboidratos contidos no colmo, nas quais são responsáveis pela manutenção da demanda nutricional requerida no estágio de florescimento das plantas, desenvolvimento das espigas e enchimento dos grãos.

FIGURA 13 - Diâmetro do Colmo (cm) em plantas de milho, em função da inoculação com *Azospirillum brasiliense*, fontes e doses de nitrogênio com Inibidor de Urease (A), Ureia Revestida (B) e Ureia Pura (C) expressa em Kg N ha⁻¹. Campos UFRA Parauapebas, 2019. × Presença e ◇ Ausência de *Azospirillum brasiliense*



Nota: ** significativo a 1% de propabilidade, * significativo a 5% de propabilidade e NS= não significativo.

Fonte: O Autor

3.3 Índice de Área Foliar (IAF)

Conforme observado na **tabela 3**, observou-se efeito significativo ($P < 0,05$) para o tratamento com a bactéria, quando inoculada com *A. brasiliense*, promovendo aumento do índice da área foliar de plantas de milho, quando comparada com plantas não inoculadas.

Sementes adubadas com Inibidor de Urease apresentaram efeito quadrático para sementes com presença de *A. brasiliense* com 4,60 cm de o índice da área foliar de plantas de milho, na dose máxima de 136,11 kg de N ha⁻¹, e efeito linear para semente ausente de *A. brasiliense*, apresentado incremento de 0,33 cm, a medida que se aumentava as dose da fonte de nitrogênio (Figura 14A).

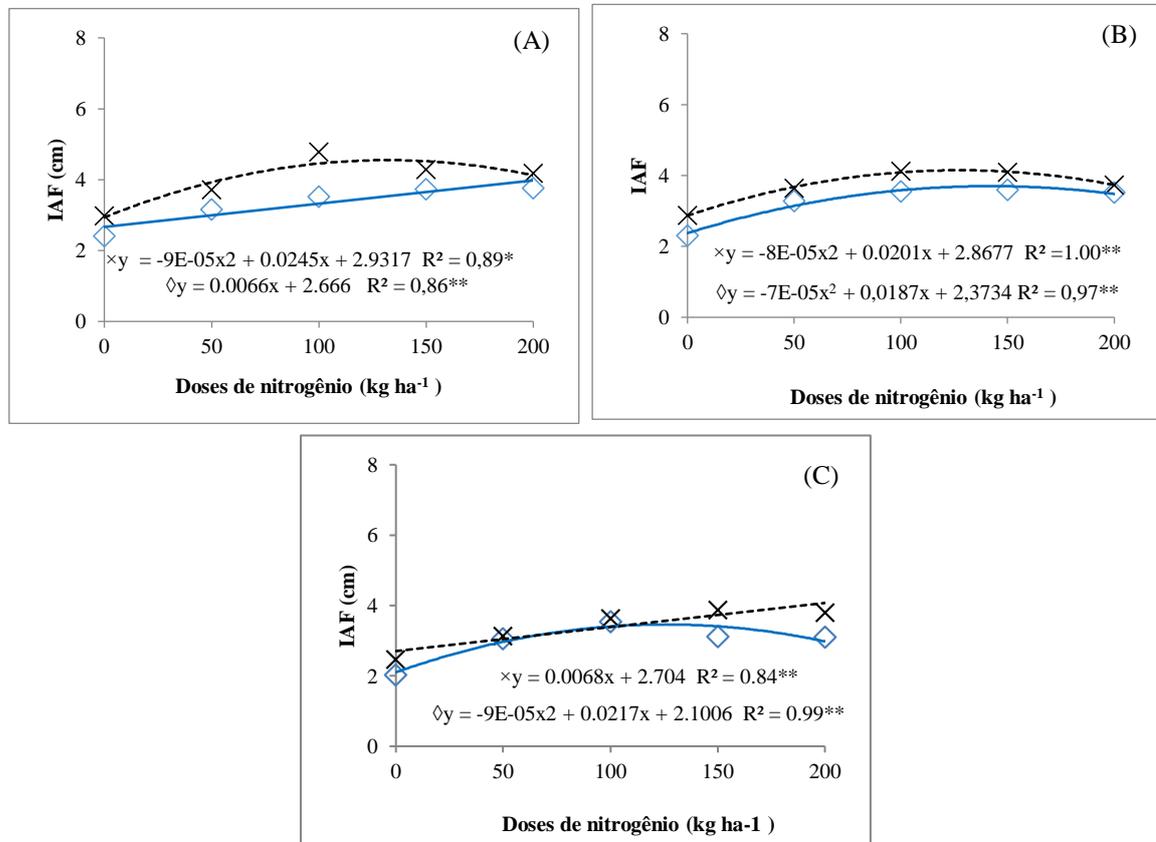
Para o tratamento com ureia revestida, as sementes na ausência ou presença de *A. brasiliense*, apresentaram efeito quadrático em resposta as doses de nitrogênio, apresentando índice da área foliar de 4,13cm na dose máxima de 125,63 kg de N ha⁻¹ e 3,62 cm na dose máxima de 133,57 kg de N ha⁻¹, respectivamente (Figura 14B).

O tratamento com ureia pura (Figura 14C) também apresentou efeito linear e quadrático para as sementes tratadas na ausência e presença da bactéria *A. brasiliense*, apresentando incremento 0,35 cm no índice da área foliar conforme aumento das doses de nitrogênio, e aumento de 3,41 cm no índice da área foliar na dose máxima de 116,67 kg de N ha⁻¹, respectivamente.

De acordo com Fancelli e Dourado Neto (2004), o IAF ideal para a cultura do milho varia entre 3 e 5, dependendo do arranjo de plantas, número e tamanho das folhas, do genótipo, clima, da fertilidade do solo e nutrição da planta. O que corrobora com os valores encontrados neste estudo. Como a produtividade está diretamente relacionado à fotossíntese e esta depende do índice de área foliar, pode-se dizer que quanto mais rápido o IAF crítico for atingido e quanto mais tempo permanecer ativo maior será a produtividade do milho (PEREIRA e MACHADO, 1987).

Nota-se pela média dos tratamentos que a presença de N garantiu incremento significativo do IAF, mesmo nas menores doses testadas, efeito este que pode ser atribuído a importância do nutriente no crescimento da planta. Do mesmo modo, na análise de regressão foi verificado comportamento quadrático.

FIGURA 14- Índice de área foliar da cultura do milho em função da inoculação com *Azospirillum brasilense*, fontes e doses de nitrogênio com Inibidor de Urease (A), Ureia Revestida (B) e Ureia Pura (C) expressa em Kg N ha⁻¹. Campos UFRA Parauapebas, 2019. xPresença e \diamond Ausência de *Azospirillum brasilense*



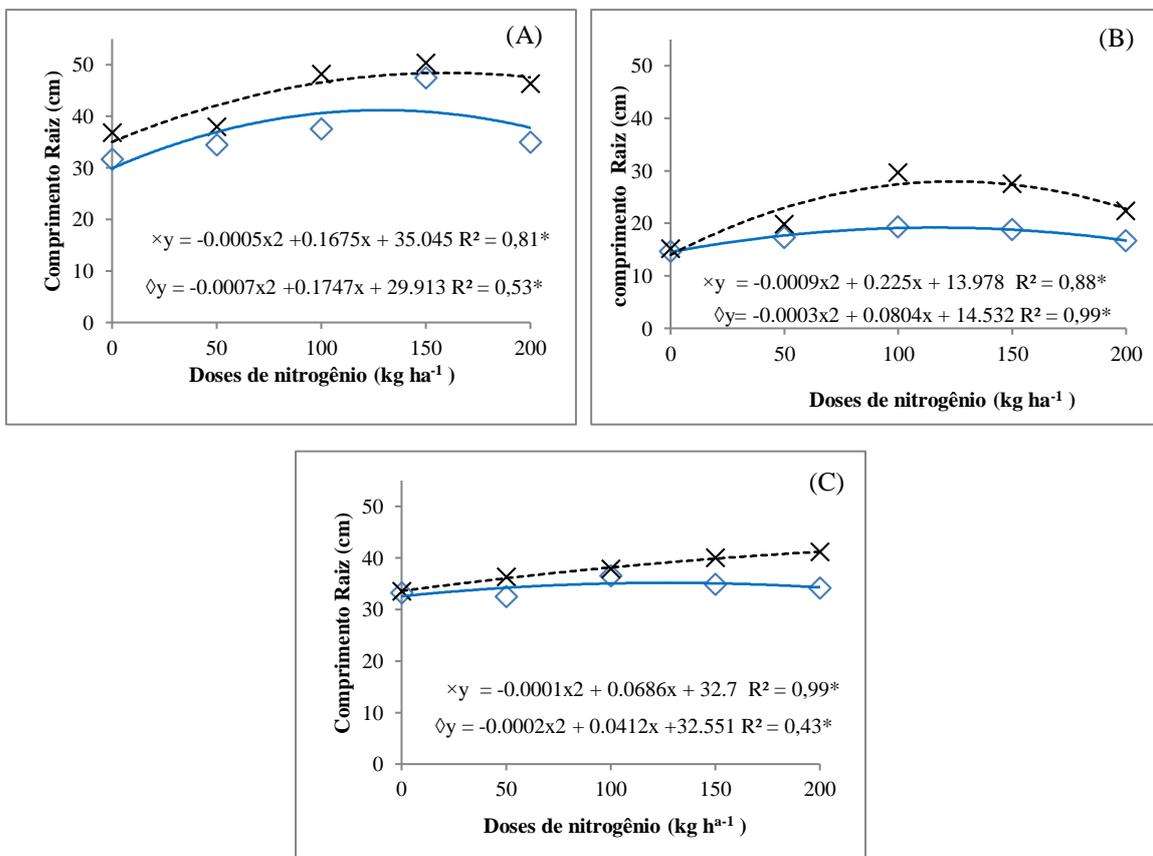
Nota: ** significativo a 1% de propabilidade, * significativo a 5% de propabilidade e NS= não significativo.
Fonte: O Autor

3.4 Comprimento das raízes

Verificou-se que a fonte de nitrogênio com inibidor de uréase nas doses de máximas de 167,50 e 124,79 kg de N ha⁻¹ (Figura 15A) promoveram os maiores comprimentos das raízes de 77,13 e 40,81 cm, para sementes com e sem a utilização de *A. brasilense*, respectivamente. Para o tratamento com fonte de nitrogênio com ureia revestida, ocorreu efeito quadrático para sementes tratadas com utilização de *A. brasilense* promovendo aumento de 43, 30 cm do comprimento das raízes na dose máxima de 86,17 kg de N ha⁻¹ e efeito linear para sementes não tratadas com aumento de 0,92 do comprimento das raízes em função as doses de nitrogênio (Figura 15B).. Enquanto para sementes tratadas com ureia pura em função

da fonte de nitrogênio, observou-se efeito linear com aumento de 1,9 do comprimento das raízes em função as doses de ureia pura, e efeito quadrático para sementes não tratadas, com aumento de 34,67 cm do comprimento das raízes na dose máxida de 10,3 kg de N ha⁻¹ (Tabela 15C). De acordo com Okon e Vanderleyden (1997) e Hungria (2016), plantas inoculadas com *Azospirillum* spp. tem a morfologia do sistema radicular alterados como o aumento do número de radículas, do diâmetro médio das raízes laterais e de adventícias, em que componentes responsáveis pelo estímulo do crescimento de raízes são o ácido indol-acético (AIA), giberelinas e citocininas produzidos pela bactéria (TIEN et al., 1979), o que possibilita a exploração de maior volume de solo e aumenta a superfície de absorção das raízes da planta (BERGAMASCHI, 2006).

FIGURA 15 – Comprimento da raiz em função da inoculação com *Azospirillum brasiliense*, fontes e doses de nitrogênio com Inibidor de Urease (A), Ureia Revestida (B) e Ureia Pura (C) expressa em Kg N ha⁻¹. Campos UFRA Parauapebas, 2019. ×Presença e ◇ Ausência de *Azospirillum brasiliense*



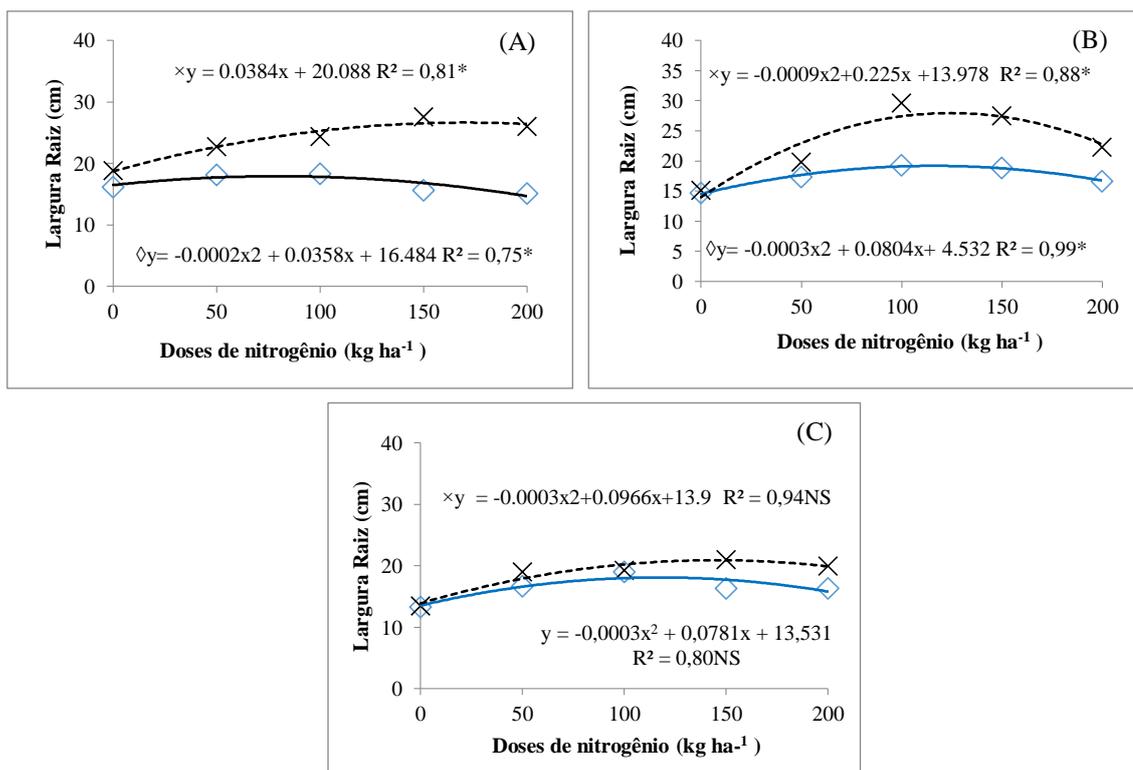
Nota: ** significativo a 1% de propabilidade, * significativo a 5% de propabilidade e NS= não significativo.

Fonte: O Autor

3.5 Largura das raízes

Sementes com e sem a presença da bactéria em função a fonte e doses de nitrogênio com inibidor de uréase *A. brasiliense* apresentaram efeito linear 1,92 cm de largura das raízes e efeito quadrático com largura máxima de 18,09 cm de raízes na dose máxima de 89,50 kg de N ha⁻¹ (Figura 16A). Quanto a forma de inoculação em função às doses de nitrogênio, observou-se efeito quadrático com aumento da largura das raízes de 28,04 cm e 25,35 cm nas doses máximas de 125 kg de N ha⁻¹ e 134,00 kg de N ha⁻¹ em função a fonte de ureia revestida, respectivamente (Figura 16B). Para a fonte de nitrogênio em função as doses de ureia pura, obteve-se efeito quadrático com aumento de 21,68 cm da largura de raiz na dose máxima de 161,00 kg de N ha⁻¹ para sementes tratadas com *A. brasiliense*, e largura de 18,62 cm de raiz na dose de 130,17 kg de N ha⁻¹ em sementes ausentes de *A. brasiliense* (Figura 16C).

FIGURA 16. Largura da raiz em função da inoculação com *Azospirillum brasiliense*, fontes e doses de nitrogênio com Inibidor de Urease (A), Ureia Revestida (B) e Ureia Pura (C) expressa em Kg N ha⁻¹. Campos UFRA Parauapebas, 2019. ×Presença e ◇ Ausência de *Azospirillum brasiliense*



Nota: ** significativo a 1% de propabilidade, * significativo a 5% de propabilidade e NS= não significativo.

Fonte: O Autor

3.6 Índice de clorofila

A semente não inoculada e na fonte com o inibidor de urease em função das doses apresentou função quadrática da concentração de nitrogênio na parte aérea, atingindo máxima de 25,65 de clorofila A, 8,37 de clorofila B e 33,50 de clorofila total, na dose máxima de 153,17; 110,50 e 142,50 kg de N ha⁻¹, respectivamente (Figura 17A). Por outro lado, observou-se efeito linear para sementes não inoculadas em função das doses de adubação com ureia revestida, com incremento de 13,75 da clorofila A, 0,38 de clorofila b e 1,76 de clorofila total (Figura 17B). O mesmo comportamento foi observado para sementes inoculadas em função das doses de úreia pura sem inoculação, apresentando aumento de 2,16 de clorofila A, 0,51 de clorofila B e 2,67 de clorofila total (Figura 17C).

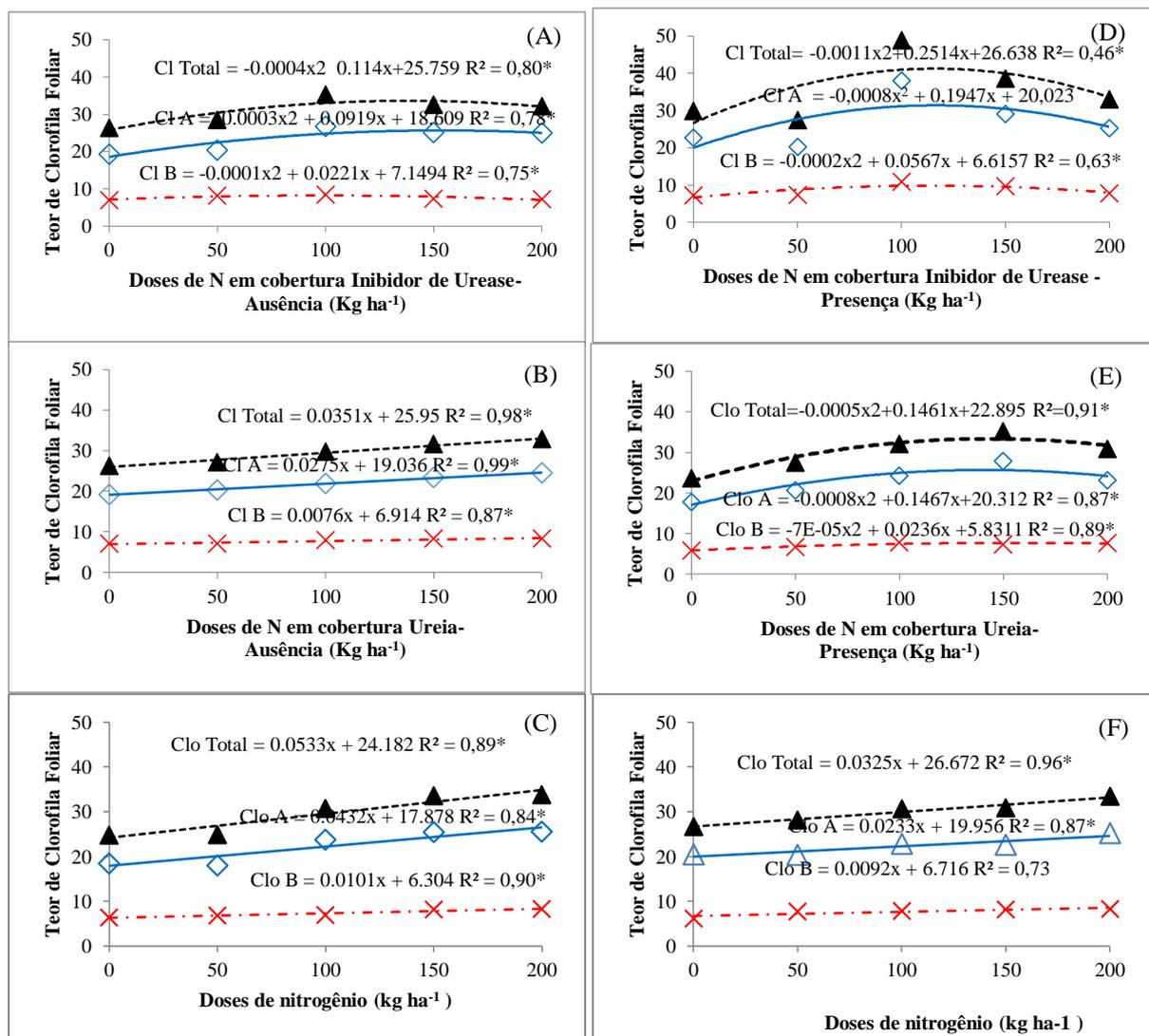
Efeito quadrático também foi observado para sementes com a presença da bactéria em função as doses de inibidor de uréase, obtendo máxima de 31,87 de clorofila A, 10,63 de clorofila B e 55,37 de clorofila total, para as doses máximas de 121,69; 141,75 e 114,27 kg de N ha⁻¹, respectivamente (Figura 17D). Da mesma forma foi observado efeito quadrático para semente com presença da inoculação da bactéria em função das doses de ureia revestida apresentando máxima de 27,03 de clorofila A, 7,82 de clorofila B e 33,57 de clorofila total para as doses máximas de 91,69; 168,57 e 146,10, respectivamente, (Figura 17E). As sementes com presença da bactéria adubadas com ureia pura apresentaram efeito linear, com incremento de 1,17 de clorofila A, 0,46 de clorofila B e 1,63 de clorofila total (Figura 16F).

De acordo com Ferreira et al. (2013) folhas bem nutridas por N, tem maior capacidade para assimilar CO₂ e sintetizar carboidratos no processo de fotossíntese, resultando em maior acúmulo de matéria seca e produtividade da cultura. A relação positiva entre o teor de clorofila (SPAD) e a adubação nitrogenada na cultura do milho foram observadas por Jakelaitis et al. (2005), sendo atribuída ao fato de mais de 50% do nitrogênio total das folhas serem integrantes de compostos do cloroplasto e da clorofila das folhas (CHAPMAN e BARRETO, 1997), assim utilizado como parâmetro para predizer o nível nutricional de nitrogênio nas plantas (PIEKIELEK et al., 1995).

Provavelmente, as alterações morfológicas (altura de planta, inserção, área foliar) e fisiológicas (teor de clorofila A, B e Total) na planta foi proporcionado pelo maior acúmulo de N nas folhas resultantes do aumento das doses do fertilizante nitrogenado aplicado e/ou pela contribuição da fixação biológica de nitrogênio.

FIGURA 17- Teor relativo de clorofila A, B e Total da cultura do em função da inoculação com *Azospirillum brasiliense*, fontes e doses de nitrogênio com Inibidor de Urease com ausência de inoculação (A), Ureia Revestida com ausência de inoculação (B), Ureia Pura com ausência de inoculação(C), expressa em Kg N ha⁻¹.

Inibidor de Urease com presença de inoculação (D), Ureia Revestida com presença de inoculação (E), Ureia Pura com presença de inoculação, expressa em Kg N ha⁻¹.



Nota: ** significativo a 1% de propabilidade, * significativo a 5% de propabilidade e NS= não significativo

Fonte: O Autor

Jordão et al. (2010) e Kappes et al. (2013) avaliando plantas de milho, constataram efeito positivo da inoculação das sementes com *Azospirillum brasiliense*, em que o índice de

clorofila foliar foi superior nos tratamentos com a presença da bactéria comparativamente ao tratamento controle.

3.7 Produção de massa seca da parte aérea – Folha e Colmo

A inoculação do *Azospirillum brasiliense* associada ao fornecimento de 150 kg de N ha⁻¹ na fonte com inibidor de urease, proporcionou maior produção de massa seca da folha de 54,83 g, enquanto a massa seca do colmo foi de 391 g na dose de 200 kg ha⁻¹ de N. (Tabela 5).

Lana et al. (2012) verificaram que a inoculação com *A. brasiliense* promoveu resultados semelhantes na produção de massa seca da parte aérea das plantas independente do fornecimento de nitrogênio em cobertura, sugerindo a possibilidade da substituição da adubação nitrogenada pela inoculação. Quadros et al. (2014) obtiveram incrementos de até 48 g na matéria seca de plantas de milho inoculadas.

O aumento na produção da massa seca da parte aérea, possivelmente ocorreu pela maior produção e liberação de fitormônios, principalmente o ácido indol acético, que desempenha papel essencial na promoção do crescimento de plantas (HUERGO et al., 2008).

TABELA 5: Produção de Massa Seca – Folha e Colmo - em função da inoculação com *Azospirillum brasiliense*, fontes e doses de nitrogênio expressa em Kg N ha⁻¹. Campos UFRA Parauapebas, 2019.

TECNOLOGIA	DOSE Kg ha ⁻¹	FOLHA SECA Gramas (g)		COLMO SECO Gramas (g)	
		SEM	COM	SEM	COM
Inibidor de Urease	0	24.67a	31.00a	179.50a	231.17a
Inibidor de Urease	50	21.83a	32.17a	189.17a	242.00a
Inibidor de Urease	100	32.33a	46.50b	255.33a	287.50a
Inibidor de Urease	150	32.17a	54.83b	262.33a	269.67a
Inibidor de Urease	200	39.33a	43.67a	289.83a	391.00a
Ureia Revestida	0	28.83a	32.17a	188.33a	207.50a
Ureia Revestida	50	33.17a	33.67a	234.17a	248.83a
Ureia Revestida	100	32.50a	44.33a	259.17a	285.67a
Ureia Revestida	150	34.00a	53.33b	188.67a	355.83b
Ureia Revestida	200	32.50a	51.67b	258.50a	343.00a
Ureia	0	23.50a	32.17a	171.67a	178.67a
Ureia	50	28.17a	36.17a	229.33a	294.00a
Ureia	100	28.00a	38.00a	220.00a	368.33b
Ureia	150	36.17a	45.83a	212.67a	325.83b
Ureia	200	33.00a	45.50b	236.67a	256.33a
	MÉDIA		29.99		255.35
	CV		36.04		37.91

* Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

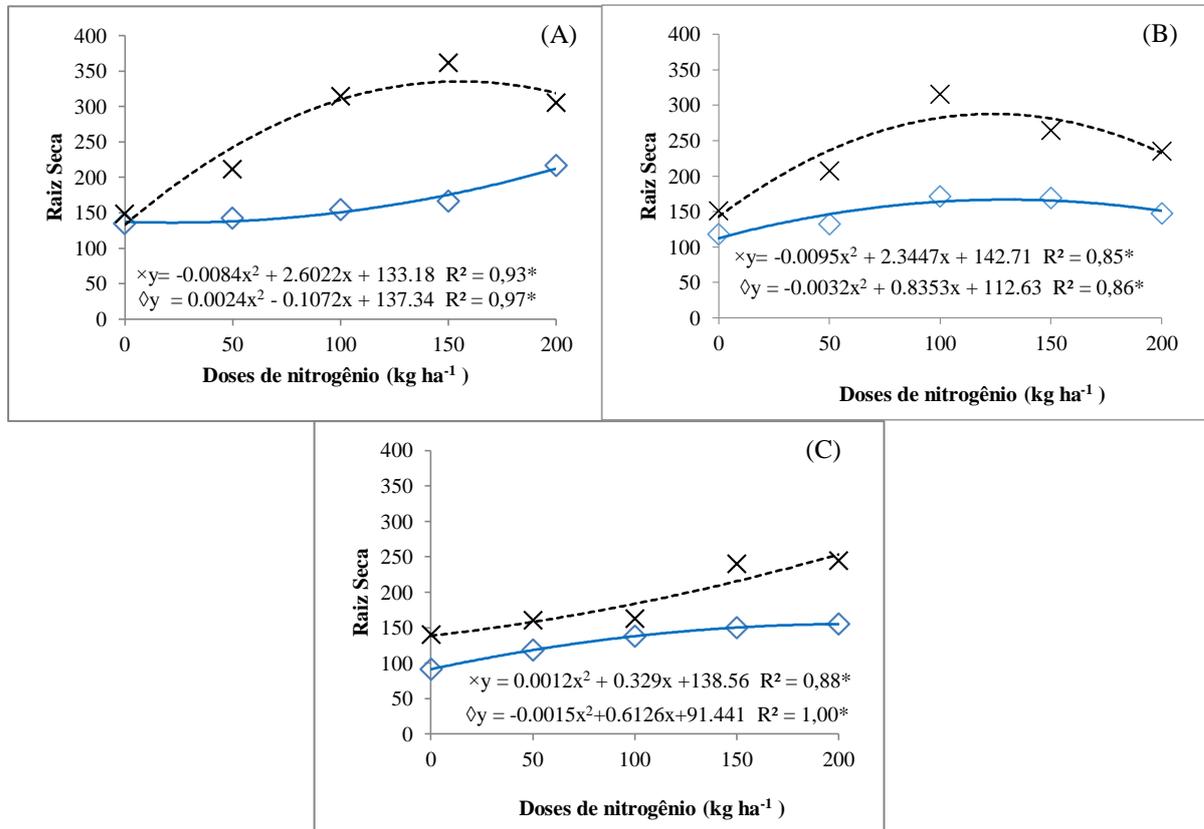
Nota: ** significativo a 1% de probabilidade, * significativo a 5% de probabilidade e NS= não significativo

Fonte: O Autor

3.8 Produção de massa seca de raízes

A inoculação com a bactéria *A. brasiliense* e aplicação de nitrogênio em cobertura, independente da fonte, proporcionaram incrementos na massa seca radicular. Verificou efeito quadrático para sementes com inoculação com *A. brasiliense*, onde obteve maior massa seca das raízes 178,12 Kg ha⁻¹ na dose máxima 154,89 kg ha⁻¹ associada à fonte com inibidor de uréase, e efeito linear para sementes sem a presença da bactéria, proporcionando aumento de 18,73 de massa seca de raiz em função as doses de fonte de nitrogênio com inibidor de urease (Figura 18A). Mesmo efeito foi observado para a adubação com fonte de nitrogênio com ureia revestida, onde observou-se efeito quadrático com dose máxima de 123,41 kg de N ha⁻¹ provendo aumento de 287,38 da massa seca de raiz para sementes presente de *A. brasiliense*, e efeito linear para sementes ausente do inoculante, proporcionando aumento de 9,61 de massa seca de raiz em função a dose de ureia revestida (Figura 17B). Por outro lado, as plantas adubadas com ureia pura apresentaram efeito linear para as sementes presente e ausente de *A. brasiliense*, apresentando aumento de 28,68 e 15,92 de massa seca de raiz em função das doses de ureia, respectivamente, (Figura 17C). O comportamento da massa seca das raízes observado no trabalho semelhante ao do reportado por Dranski et al., (2012). Estes autores observaram incrementos na variável com a utilização de doses crescentes de inoculante com *A. brasiliense* (0, 2, 4, 6 e 8 mL para 1000 g de sementes de milho).

FIGURA 18 - Produção de Massa Seca – Raiz - em função da inoculação com *Azospirillum brasilense*, fontes e doses de nitrogênio com Inibidor de Urease (A), Ureia Revestida (B) e Ureia Pura (C) expressa em Kg N ha⁻¹. Campos UFRA Parauapebas, 2019. ×Presença e ◇ Ausência de *Azospirillum brasilense*



Nota: ** significativo a 1% de propabilidade, * significativo a 5% de propabilidade e NS= não significativo

Fonte: O Autor

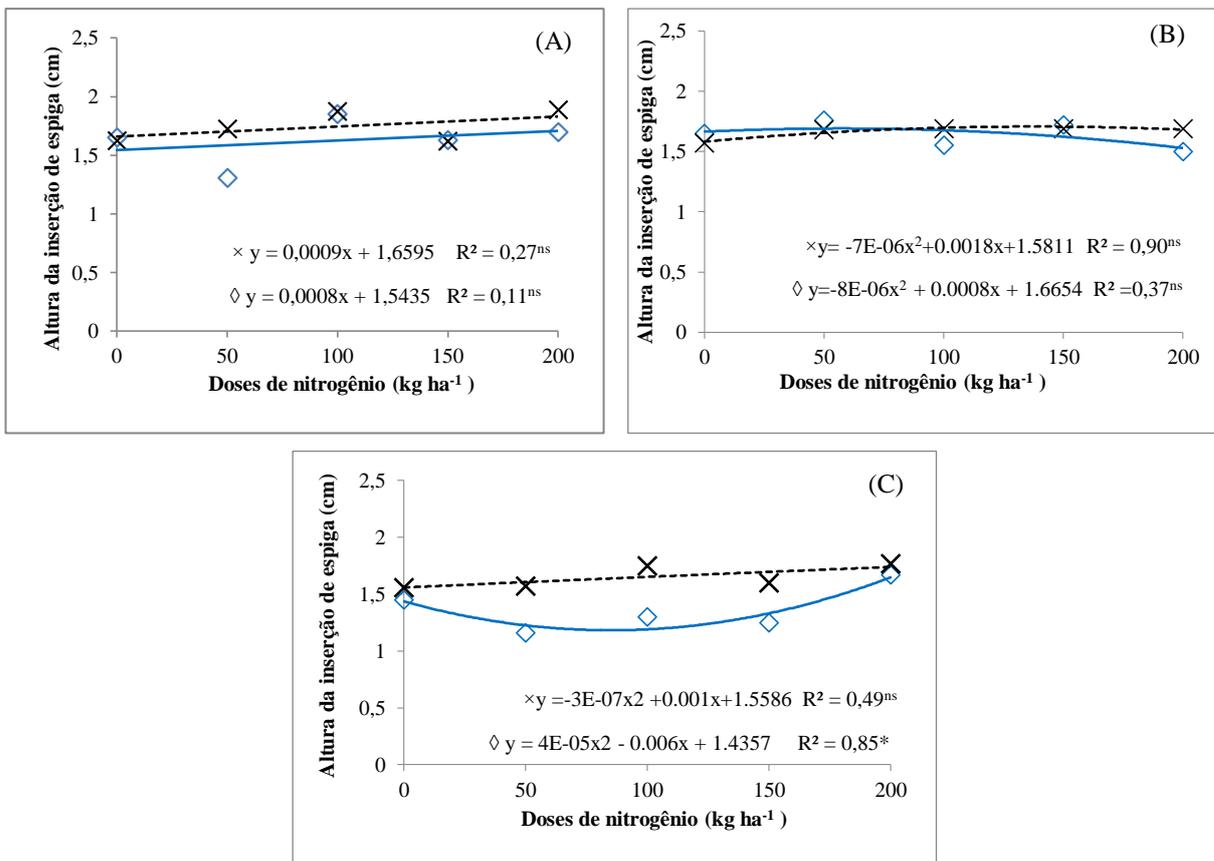
3.9 Altura da Inserção da espiga

Observou-se diferença significativa ($P < 0,05$) apenas para as sementes sem inoculação adubadas com ureia pura, apresentado efeito quadrático em função das doses de nitrogênio, ocorrendo diminuição da altura de inserção da espiga em função as doses de nitrogênio, observou-se que na dose de 75 kg de N ha⁻¹ de ureia convencional, tem-se uma altura máxima de 1,65 cm (Figura 19C). Estudos tem demonstrados que o aumento das doses de nitrogênio tem influenciado positivamente no crescimento vegetativo da planta (DO CARMO et al., 2012; OKUMURA et al., 2013).

De acordo com Kappes (2013) o N influencia diretamente a divisão, a expansão celular e o processo fotossintético, promovendo acréscimo em altura de planta e de inserção

da espiga e no diâmetro do colmo. Porém Neste trabalho, não houve aumento significativo da altura da inserção da espiga em função ao aumento as doses de N.

FIGURA 19. Altura da inserção da espiga de milho em função da inoculação com *Azospirillum brasiliense*, de acordo com as dose e fonte de nitrogênio com Inibidor de Urease (A), Ureia Revestida (B) e Ureia Pura (C) expressa em Kg N ha⁻¹. Campos UFRA Parauapebas, 2019. ×Presença e ◇ Ausência de *Azospirillum brasiliense*



Nota: ** significativo a 1% de propabilidade, * significativo a 5% de propabilidade e NS= não significativo.

Fonte: O Autor

3.10 Comprimento da espiga de milho

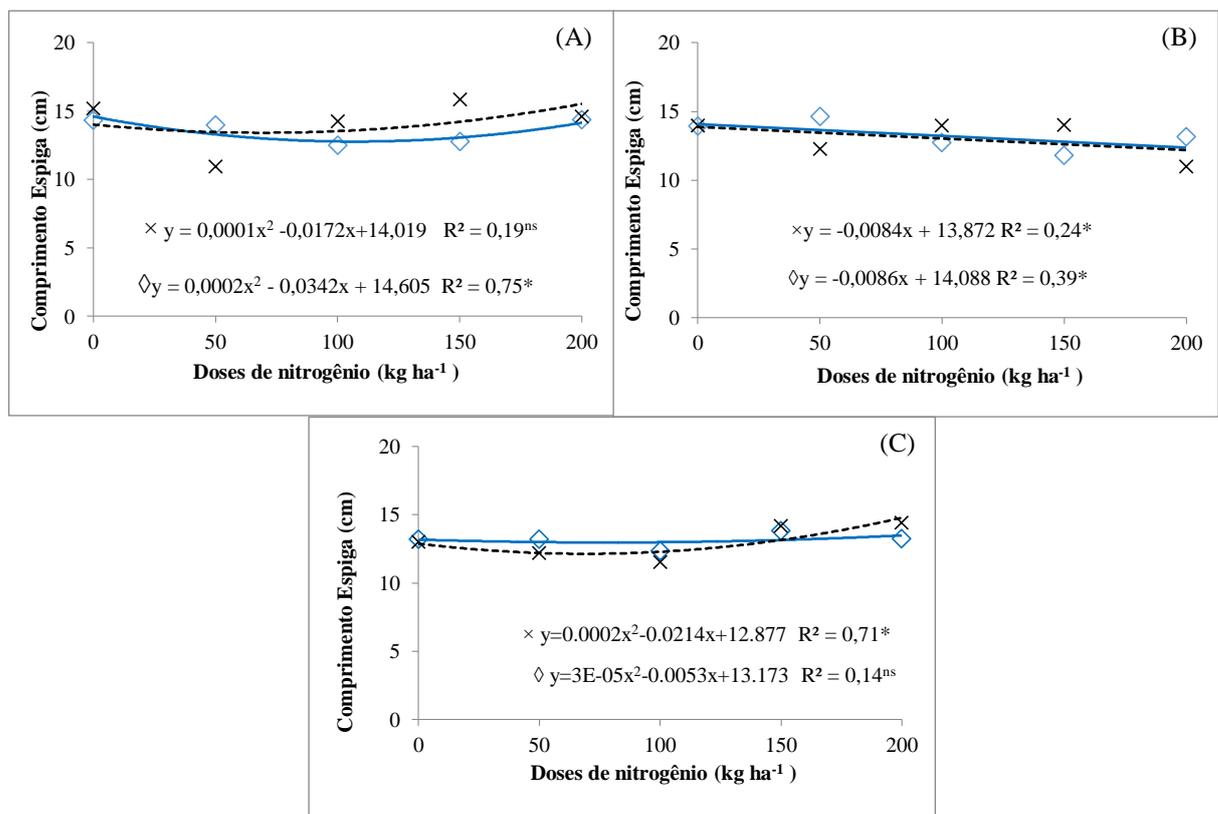
Para a variável comprimento da espiga de milho, observou-se que as sementes com e sem inoculação não apresentaram interação ($P > 0,05$) em função das doses de nitrogênio (Figura 20).

Observou-se um efeito quadrático com diminuição do comprimento das espigas de milhos para o tratamento com inoculante quando submetido a adubação com inibidor de urease (Figura 19A), obtendo-se aumento de 13,15 cm com ponto máximo na dose de 85,5 kg

ha⁻¹. O mesmo comportamento foi observado para sementes com inoculação, obtendo-se um comprimento significativo de 13,41 cm no ponto máximo de adubação na dose de 52,85 kg ha⁻¹.

Para a adubação com ureia revestida, observou-se uma regressão linear, onde a medida que se aumentava as doses de nitrogênio ocorria um decréscimo de 0,43 e 0,40 cm de comprimento das espigas, para sementes sem e com inoculação, respectivamente (Figura 19B). A liberação de nutrientes dos adubos recobertos ou encapsulados depende da temperatura e umidade do solo, pois estes adubos consistem em compostos solúveis, envoltos por uma resina permeável à água, que irá regular o processo de fornecimento dos nutrientes (VALDERRAMA et al., 2011).

FIGURA 20. Comprimento da espiga de milho em função da inoculação com *Azospirillum brasiliense*, de acordo com as dose e fonte de nitrogênio com Inibidor de Urease (A), Ureia Revestida (B) e Ureia Pura (C) expresso em Kg N ha⁻¹. Campos UFRA Parauapebas, 2019. × Presença e ◇ Ausência de *Azospirillum brasiliense*.



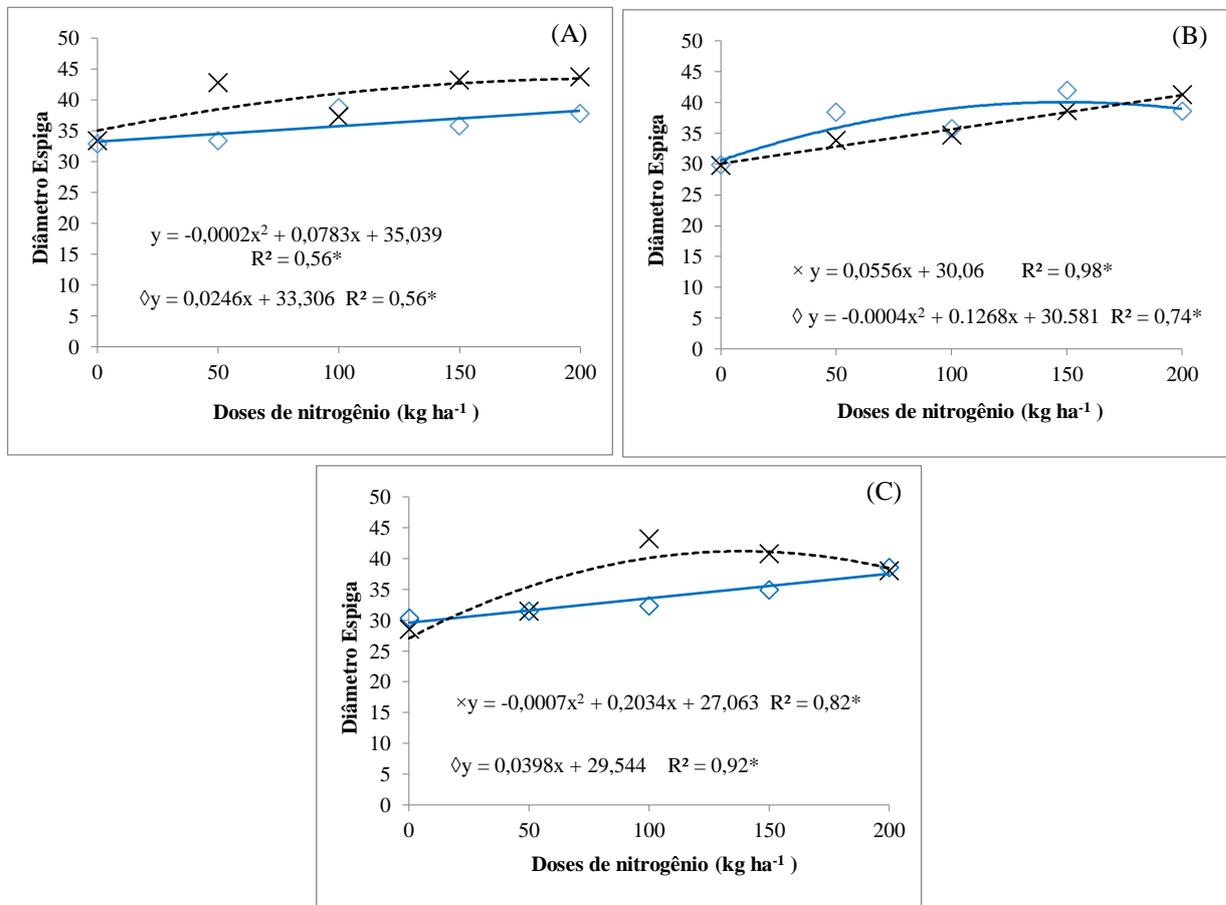
Nota: ** significativo a 1% de propabilidade, * significativo a 5% de propabilidade e NS= não significativo
Fonte: O Autor

3.11 Diâmetro médio da espiga (DE)

Para o diâmetro das espigas, observou-se efeito linear para semente não inoculadas em função a dose de nitrogênio, a medida que se aumentava as dose com inibidor de urease, ocorria incremento de 1,23 cm no diâmetro das espigas de milhos por outro lado, em sementes tratadas com inoculate, obteve-se efeito no modelo quadratico, com maior diâmetro de 42,70 cm no ponto máximo de 195,75 Kg ha⁻¹ de fonte de adubação (Figura 21A). O mesmo comportamento foi observado para sementes inoculadas em função a dose de ureia convencional (Figura 21C), onde ocorre incremento de 1,99 cm de diâmetro de espigas, enquanto para sementes com *A. brasiliense* o maior diâmetro foi de 41,84 cm na dose de 145,29 Kg ha⁻¹.

Já o tratamento com dose de ureia revestida (Figura 21B), apresentou efeito contrário, com efeito linear para semente inoculada, no qual à medida que se aumenta as dose de nitrogênio, ocorre incremento de 2,78 cm do diâmetro da espiga, enquanto que sementes ausentes de *A. brasiliense*, onde o diâmetro da espiga foi de 40,63 cm no ponto máximo da dose de 158,5 Kg ha⁻¹ de fonte de nitrogênio. Estudos realizados por (PORTUGAL et al., 2017) mostrou efeito com interação entre inoculação e doses de N para diâmetro de espiga, onde a inoculação proporcionou maior diâmetro. A maior eficiência de fertilizantes revestidos por polímeros em relação à utilização de adubos solúveis ou solução nutritiva, é decorrente da diminuição de perdas de nutrientes (GUARESCHI; PERIN; GAZOLLA, 2013).

FIGURA 21. Diâmetro da espiga de milho em função da inoculação da presença e ausência de *Azospirillum brasiliense*, sobre dose e fonte de nitrogênio com Inibidor de Urease (A), Ureia Revestida (B) e Ureia Pura (C) expresso em Kg N ha⁻¹. Campos UFRA Parauapebas, 2019. × Presença e ◇ Ausência de *Azospirillum brasiliense*



Nota: ** significativo a 1% de propabilidade, * significativo a 5% de propabilidade e NS= não significativo

Fonte: O Autor

3.12 Número de fileiras de grãos por espiga (NFE)

Para o número de fileira na espiga, houve uma regressão linear e o ajuste ao modelo quadrático em função das doses de nitrogênio, apresentando diferença significativa ($P < 0,05$) para os fatores estudados (Figura 22).

Sementes com e sem inoculante, apresentaram efeito linear crescente (Figura 22A), com incremento de 1,15 e 0,45 em função das doses de nitrogênio com inibidor de uréase.

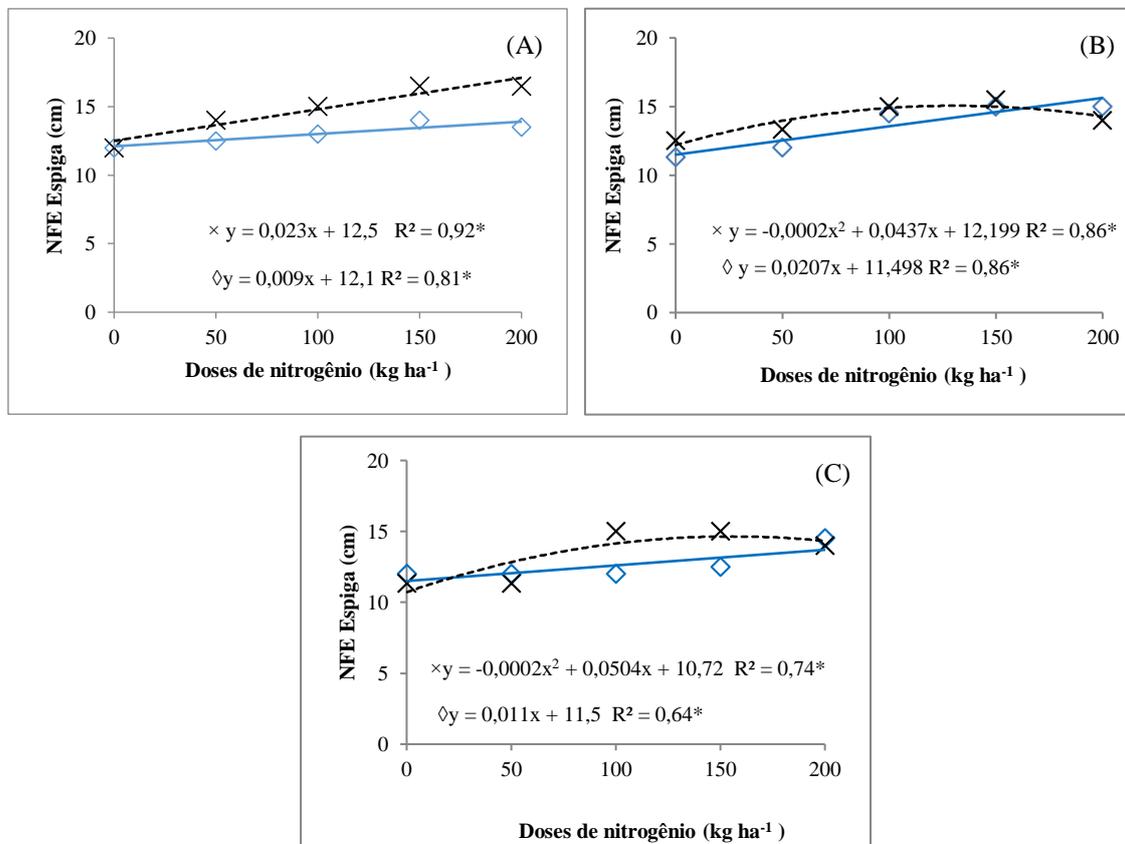
Para as sementes adubadas com doses de ureia revestida, observou-se efeito no modelo quadrático, obtendo-se aumento de 9,81 do número de fileiras na espiga no ponto máximo de 109,25 Kg ha⁻¹ para sementes inoculadas, e efeito linear para sementes não

inoculadas com incremento de 1,04 do número de fileiras na espiga a medida que as doses de nitrogênio foi aumentando (Figura 22B).

Mesmo comportamento foi observado na adubação com ureia revestida, onde o maior número de fileiras na espiga (13,90) foi obtido no ponto máximo de 126 Kg ha⁻¹ para sementes inoculadas, enquanto observou-se efeito linear para sementes não inoculadas com aumento de 0,55 do número de fileiras na espiga a medida que as doses de nitrogênio foi aumentando (Figura 22C).

O número de fileiras de grãos é definido no estágio V8, fase em que há disponibilidade de nutrientes, especialmente N, uma vez que nesta época é iniciada elevação da demanda desse nutriente pela planta (REPKE et al., 2013).

FIGURA 22. Número de Fileira na Espiga (NFE) da espiga de milho em função da inoculação da presença e ausência de *A. brasiliense*, sobre dose e fonte de nitrogênio com Inibidor de Urease (A), Ureia Revestida (B) e Ureia Pura (C) expresso em Kg N ha⁻¹. Campos UFRA Parauapebas, 2019. × Presença e ◇ Ausência de *Azospirillum brasiliense*



Nota: ** significativo a 1% de propabilidade, * significativo a 5% de propabilidade e NS= não significativo
Fonte: O Autor

3.13 Número de grãos por fileira (NGF)

Assim como para o número de fileira na espiga, também ocorreu para número de grão por fileira regressão linear e o ajuste ao modelo quadrático em função das doses de nitrogênio, apresentando interação ($P < 0,05$) para os fatores estudados (Figura 23).

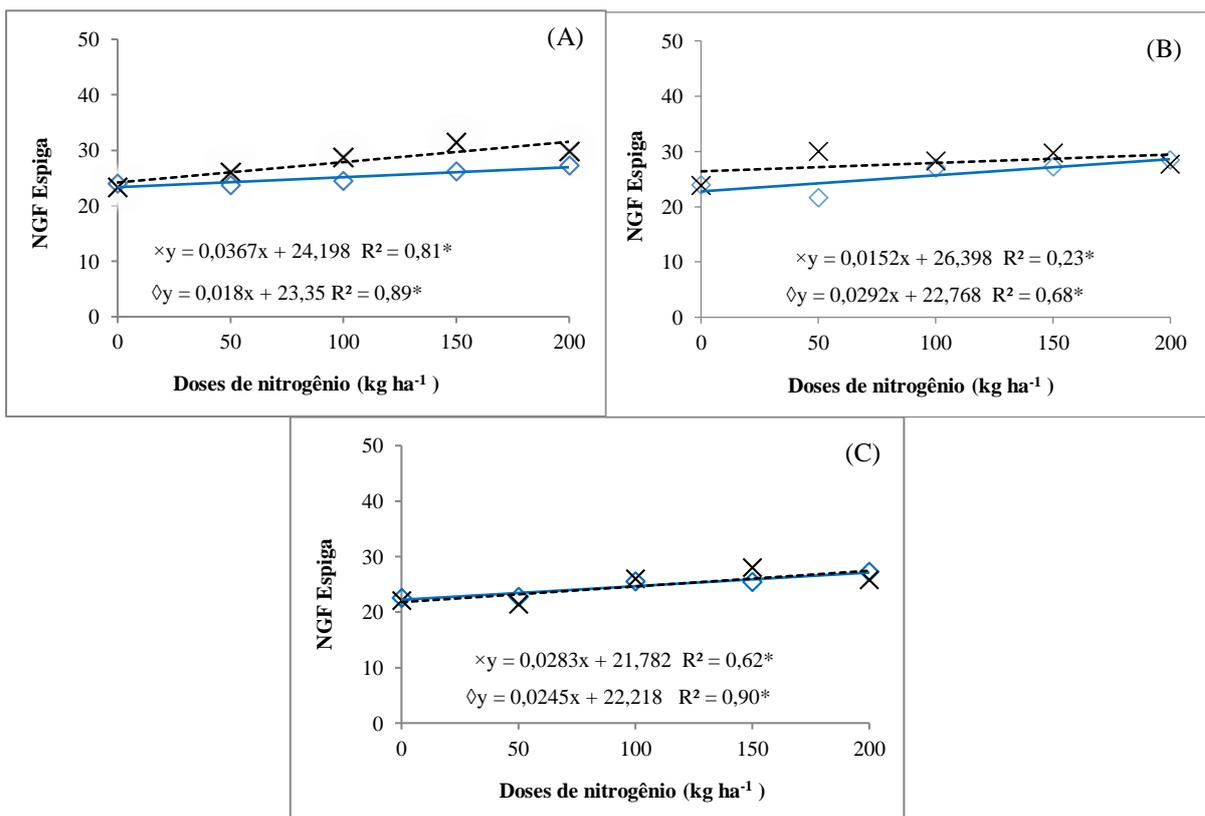
Para fonte de nitrogênio com inibidor de uréase, obteve-se incremento de 1,85 e 0,9 de grão por fileira, para semente com e sem inoculação, respectivamente, à medida que se aumentava as doses de nitrogênio (Figura 23A).

As sementes com e sem inoculação apresentaram regressão linear positiva, à medida que se aumentava as doses de nitrogênio com ureia revestida obteve-se incremento de 0,76 e 1,46 de número de grãos por fileira (Figura 23B).

Para a adubação com ureia convencional, também ocorreu regressão no modelo linear positivo, ocorrendo incremento de 1,42 e 1,23 do número de grão por fileiras para sementes com e sem inoculação (Figura 23C).

Resultados diferentes foram encontrados por (VALDERRAMA et al., 2011), verificaram que as doses de nitrogênio não influenciaram nos números de fileiras por espiga e consequente no número de grãos por espiga. De acordo com (DO CARMO et al., 2012) o aumento da disponibilidade de N no solo aumenta o potencial da planta em diferir maior número de grãos por espiga, fato este encontrado neste estudo.

FIGURA 23. Número de Grão por Fileira (NGF) da espiga de milho em função da inoculação da presença e ausência de *A. brasiliense*, sobre dose e fonte de nitrogênio com Inibidor de Urease (A), Ureia Revestida (B) e Ureia Pura (C) expresso em Kg N ha⁻¹. Campos UFRA Parauapebas, 2019. ×Presença e ◇Ausência de *Azospirillum brasiliense*



Nota: ** significativo a 1% de propabilidade, * significativo a 5% de propabilidade e NS= não significativo
Fonte: O Autor

3.14 Massa de mil grãos e Índice de Colheita

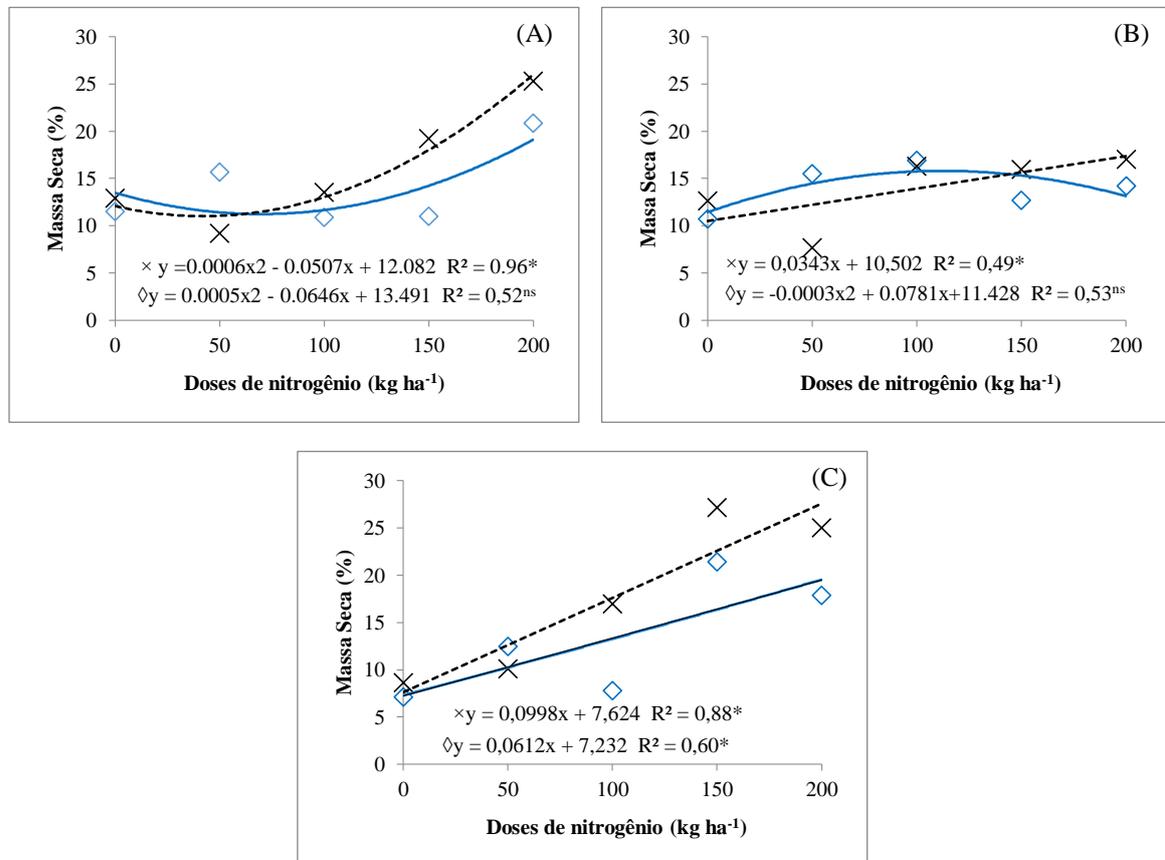
Efeito quadrático foi observado para sementes com inoculação, onde obteve-se maior massa seca das espigas (1371,62) na dose máxima de 42,25 Kg ha⁻¹ de inibidor de urease, e efeito linear com incremento de 1,72% de massa seca em função a doses de ureia revestida (Figura 24A e B).

Para sementes com e sem inoculante observou-se regressão linear positiva, com incremento de 3,06 e 4,99% de massa seca, respectivamente, em função das doses de ureia revestida (Figura 24C).

O rendimento de grãos é fortemente influenciado pela disponibilidade de N no solo, e a adição dele eleva o rendimento da cultura (PANDOLFO et al., 2014). A competição por nutrientes e fotoassimilados dentro da espiga pode reduzir ou aumentar a massa unitária dos grãos (VALDERRAMA et al., 2011).

As doses adequadas de N estimulam a produção de clorofila e outros compostos que aumentam a eficiência fotossintética, aumentando, assim, a quantidade de fotoassimilados produzidos, que são transportados e fixados nos grãos, elevando sua matéria seca (MOREIRA; VALADÃO; VALADÃO JÚNIOR, 2019).

FIGURA 24. Massa seca de 1000 grãos em função da inoculação da presença e ausência de *Azospirillum brasiliense*, sobre dose e fonte de nitrogênio com Inibidor de Urease (A), Ureia Revestida (B) e Ureia Pura (C) expresso em Kg N ha⁻¹. Campos UFRA Parauapebas, 2019. × Presença e ◊ Ausência de *Azospirillum brasiliense*



Nota: ** significativo a 1% de propabilidade, * significativo a 5% de propabilidade e NS= não significativo
Fonte: O Autor

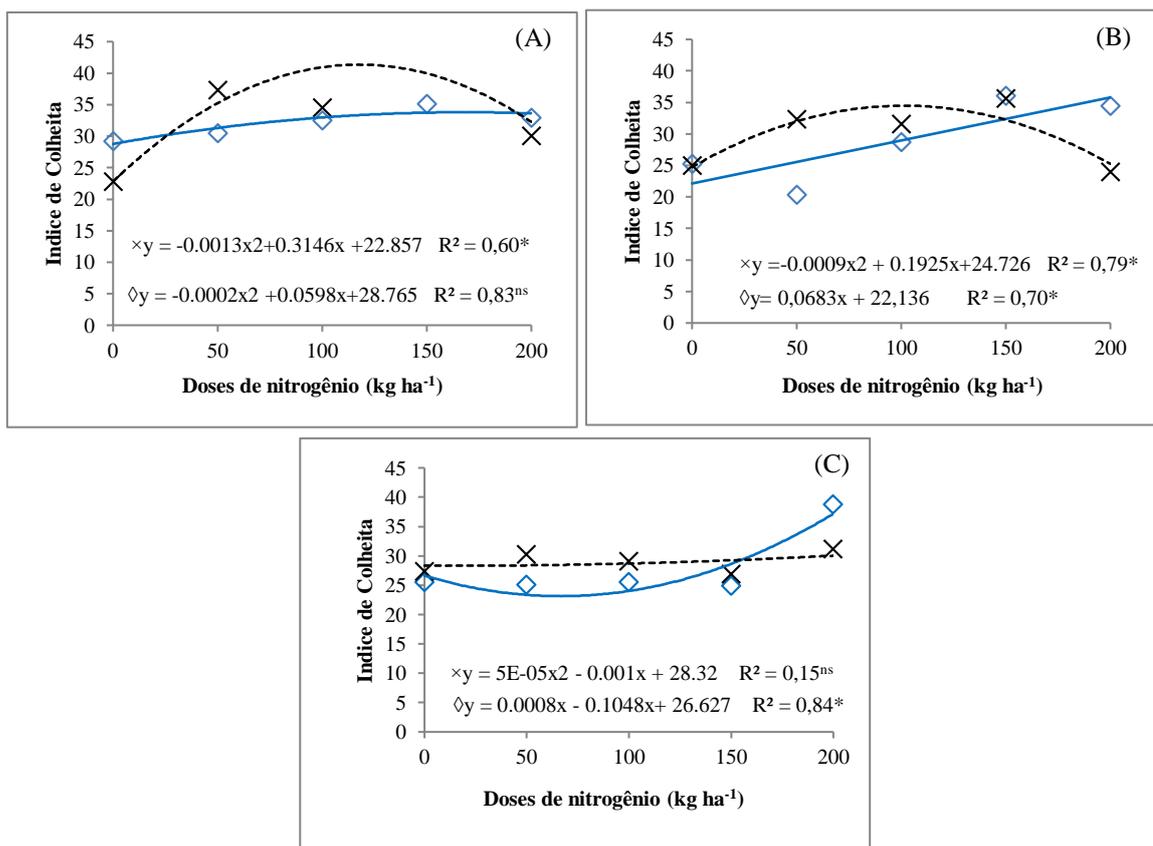
Em relação ao índice de colheita das espigas, observou-se ajuste ao modelo quadrático para as sementes inoculadas, apresentado ótima produção (23.190,00 Kg ha⁻¹) de colheita na dose máxima de 121 Kg ha⁻¹ de inibidor de uréase (Figura 25A).

Para a fonte de ureia revestida, observou-se regressão linear para sementes sem inoculante, com incremento de 3,41% em função as doses de nitrogênio, enquanto que as sementes inoculadas apresentaram um rendimento de 12.766 Kg ha⁻¹ na dose máxima de 106,94 Kg ha⁻¹ de nitrogênio (Figura 25B).

Por outro lado, no tratamento com ureia revestida, observou-se regressão no modelo quadrático para sementes não inoculadas, apresentando máximo índice de colheitas (26.623,57 Kg ha⁻¹) na dose 65,5 Kg ha⁻¹ (Figura 25C).

De acordo com (OKUMURA et al., 2013) o aumento das doses de N tem influência positiva nos valores fitotécnicos da cultura do milho, porém, há dúvida de qual dose acarreta o máximo valor, fato encontrado nesta pesquisa.

FIGURA 25. Índice de colheita da espiga de milho em função da inoculação da presença e ausência de *A. brasiliense*, sobre dose e fonte de nitrogênio com Inibidor de Urease (A), Ureia Revestida (B) e Ureia Pura (C) expressa em Kg N ha⁻¹. Campos UFRA Parauapebas, 2019. × Presença e ◇ Ausência de *Azospirillum brasiliense*



Nota: ** significativo a 1% de probabilidade, * significativo a 5% de probabilidade e NS= não significativo
Fonte: O Autor

3.15 Peso de grãos (PG) e Produtividade de grãos (Prod.G)

Em relação a produtividade observou-se que as sementes inoculadas com *A. brasiliense* apresentaram regressão no modelo quadrático para as três fontes de nitrogênio e significativo à 5% de probabilidade, sendo este tratamento mais eficiente quando comparado com as sementes não tratadas (Figura 26). Aumento da produtividade do milho em função da

presença de *A. brasiliense* também foi observado por outros autores (MUMBACH et al., 2017; SZILAGYI-ZECCHIN; MARRIEL; SILVA, 2017).

A produtividade aumentou linearmente com o incremento nas doses de N em cobertura (Figura 26B), cujo modelo de regressão permitiu estimar que para cada 30 kg ha⁻¹ de N aplicado, obteve-se incremento de 113 kg ha⁻¹ na produtividade da cultura.

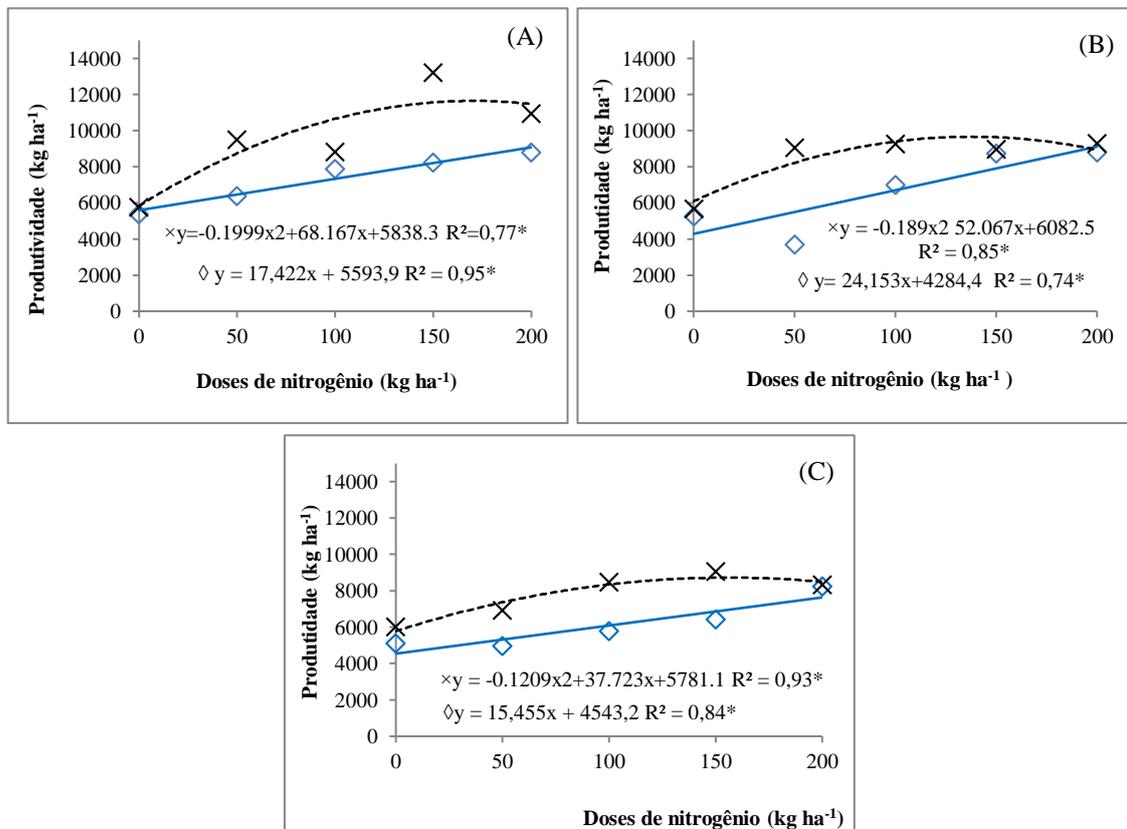
Observou-se aumento da produtividade para semente sem inoculação em função as dose de nitrogênio com inibidor de uréase, apresentando incremento de 871,1 Kg ha⁻¹ para cada 50 Kg ha⁻¹ de dose aplicada, enquanto que para sementes inoculadas, obteve-se efeito quadrático com máxima produtividade (6.426,53 Kg ha⁻¹) obtida com aplicação de 88,69 Kg ha⁻¹ de nitrogênio (Figura 26A). Okumura et al. (2013) obtiveram a máxima produtividade (13.288,26 kg ha⁻¹) nas doses de 145,18 kg ha⁻¹.

Mesmo comportamento foi observado para adubação com fonte de ureia revestida, onde as sementes sem inoculação apresentou efeito linear positivo, com incremento de 1.207,65 Kg ha⁻¹ de produtividade em função das doses de nitrogênio, enquanto as sementes inoculadas apresentou produção de 13.646,444 Kg ha⁻¹ de grão, na dose máxima de 137,74 Kg ha⁻¹ de adubação (Figura 26B).

Assim como os demais tratamentos, as doses de ureia convencional influenciaram na produtividade de espigas, onde as sementes sem inoculação apresentou regressão linear com incremento de 772,75 Kg ha⁻¹ em função as doses de adubação, quanto as sementes com inoculação apresentaram efeito no modelo quadrático com produção de 8.723,67 Kg ha⁻¹, na dose máxima de 156,01 Kg ha⁻¹ de adubação (Figura 25C).

Aumento do rendimento foi encontrado na literatura para a inoculação das sementes de milho em associação à adubação nitrogenada (FRAZÃO et al., 2014; MUMBACH et al., 2017). O nitrogênio é o elemento mineral presente em maior concentração nas plantas, perfazendo 1,5% da MS, sendo essencial para o crescimento e desenvolvimento vegetativo, na cultura do milho, este nutriente interfere no seu crescimento e desenvolvimento, que pode afetar as quais, direta ou indiretamente, a produtividade da cultura (GUARESCHI; PERIN; GAZOLLA, 2013).

FIGURA 26. Produtividade de espiga de milho em função da inoculação da presença e ausência de *Azospirillum brasiliense*, sobre dose e fonte de nitrogênio com Inibidor de Urease (A), Ureia Revestida (B) e Ureia Pura expressa em Kg N ha⁻¹. Campos UFRA Parauapebas, 2019. × Presença e ◇ Ausência de *Azospirillum brasiliense*



Nota: ** significativo a 1% de propabilidade, * significativo a 5% de propabilidade e NS= não significativo
Fonte: O Autor

4. CONCLUSÕES

A dose de 100 kg de N ha⁻¹ na fonte inibidor de urease promove maior desenvolvimento das plantas de milho. A inoculação das sementes de milho com *Azospirillum brasiliense* aumenta a área foliar e a produção de massa seca da parte aérea e radicular.

A dose de 100 kg de N ha⁻¹ na fonte inibidor de urease promove maior desenvolvimento das plantas de milho, com valores de 344,85cm para altura de plantas.

A inoculação das sementes de milho com *Azospirillum brasiliense* aumenta significativamente a área foliar (4,78 cm de IAF) e a produção de massa seca da parte aérea (54,83 g de folha e 287,5 g de colmo) e radicular (361 g de raiz).

5. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, V. M. C.; VASCONCELLOS, C. A.; FREIRE, F. M.; PITTA, G. V. E.; FRANÇA, G. E.; RODRIGUES FILHO, A.; ARAÚJO, J. M.; VIEIRA, J. R.; LOUREIRO, J. E. Milho. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ VENEGAS, V. H. (Ed.). *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5a aproximação*. Viçosa: **Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais**, p.360, 1999.

BALDANI J. I.; BALDANI L. D. History on the biological nitrogen fixation research in graminaceous plants: special emphasis on the Brazilian experience. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**, v. 77, p. 549-579. 2005.

BERGAMASCHI, C. Ocorrência de bactérias diazotróficas associadas às raízes e colmos de cultivares de sorgo. **Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola)**, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 71p, 2006.

BRUIJN, F.J. DE. Biological Nitrogen Fixation. In *Principles of Plant - Microbe Interactions*. **Springer International Publishing**, Cham. p. 215–224, 2013

CHAPMAN, S.C.; BARRETO, H.G. Using a chlorophyll meter to estimate specific leaf nitrogen of tropical maize during vegetative growth. **Agronomy Journal**, v.89, p.557-562, 1997.

CRAVO, M.S.; VIÉGAS, I.J.M.; BRASIL, E.C. **Recomendação de adubação e calagem para o Estado do Pará**. Belém: Embrapa, p.262, 2010.

CRUZ, C.D. Programa Genes: versão Windows: **Aplicativo computacional em genética e estatística**. Viçosa: UFV, p. 648, 2001.

DOBBELAERE, S.; VANDERLEYDEN, J.; OKON, Y. Plant growthpromoting effects of diazotrophics the rhizosphere. **CRC Critical Reviews in Plant Science**, Boca Raton, v. 22, p. 107-149, 2003.

DOBBELAERE S OKON Y. The plant growth promoting effects and plant responses. **Associative and Endophytic Nitrogen-Fixing Bacteria and Cyanobacterial Associations (Elmerich C & Newton WE, eds)**, p. 145–170, 2007.

DO CARMO, M. S. et al. Doses e fontes de nitrogênio no desenvolvimento e produtividade da cultura de milho doce (*Zea mays* convar. *saccharata* var. *rugosa*). **Bioscience Journal**, v. 28, n. SUPPL. v. 1, p. 223–231, 2012.

DRANSKI, J.A.L.; PINTO-JUNIOR, A. S.; FRANDOLOSO, J.; GUIMARÃES, V.F.; RENAN FELIPE BELLÉ, R.F.; RODRIGUES, L.F.O.S.; DARTORA, J.; STETS, M.I.; ARAUJO, L.M.; CRUZ, L.M.; POZZEBOM, W. Desenvolvimento Inicial de Plantas de Milho em Função da Inoculação das Sementes com Diferentes Volumes de Inoculante. In: XXIX Congresso Nacional de Milho e Sorgo, **Instituto Agronômico de Campinas**, p. 226-232, 2012.

DUETE, R.R.C.; MURAOKA, T.; SILVA, E.C.; TRIVELIN, P.C.O.; AMBROSANO, E.J. Manejo da adubação nitrogenada e utilização do nitrogênio pelo milho em Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p.161-171, 2008.

EMBRAPA SOLOS. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2.ed. p.360, 2006.

FALKER AUTOMAÇÃO AGRÍCOLA. **ClorofiLOG: Medidor Eletrônico do Teor de Clorofila**. Disponível em: <<http://www.falker.com.br/produto-clorofilog-medidor-clorofila.php>>. Acesso em: Agosto /2019.

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. 2.ed. Guaíba: Agropecuária, p. 360. 2004.

FANCELLI, A. L. Ecofisiologia, fenologia e implicações básicas de manejo. In: BOREM, A. GALVÃO, J. C. C.; PIMENTEL, M. A. **Milho: do plantio à colheita**. 2ed, Editora UFV, p. 35-40, 2017.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, p. 1039-1042, 2011.

FERREIRA, E. P. B.; KNUPP, A. M.; MARTIN-DIDONET, C. C. G. Crescimento de Cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) influenciado pela inoculação com bactérias promotoras de crescimento de plantas. **Bioscience Journal**, V. 30, p. 655-665, 2013.

FRANCIS, C.A.; RUTGER, J.N. & PALMER, A.F.E. A rapid method for plant leaf area estimation in maize (*Zea mays* L.). **Crop Science**, v. 9, p. 537-539, 1969.

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.

GUARESCHI, R. F.; PERIN, A.; GAZOLLA, P. R. Produtividade de Milho Submetido a Aplicação de Ureia Revestida por Polímeros. **Global Science and Technology**, v. 6, n. 2, p. 31–37, 2013.

GUIMARÃES, S.L.; BALDANI, J.I.; BALDANI, V.L.D. JACOBNETO, J. Adição de molibdênio ao inoculante turfoso com bactérias diazotróficas usado em duas cultivares de arroz irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 393-398, 2007.

HUERGO, L.F.; MONTEIRO, R.A.; BONATTO, A.C.; RIGO, L.U.; STEFFENS, M.B.R.; CRUZ, L.M.; CHUBATSU, L.S.; SOUZA, E.M.; PEDROSA, F.O. **Regulação da fixação de nitrogênio em *Azospirillum brasilense***. In: CASSÁN, F.D.; GARCIA DE SALAMONE, I. *Azospirillum* sp: Fisiologia celular, as interações de plantas e pesquisa agrônômica na Argentina. Associação Argentina de Microbiologia, p. 261-272, 2008.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M.A.; ARAUJO, R.S. Inoculation of *Brachiaria* spp with the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum brasilense*: an environment-friendly component in the reclamation of degraded pastures in the tropics. **Agriculture Ecosystems Environment**, v. 221, p. 125–131, 2016.

JAKELAITIS, A.; SILVA, A. F.; SILVA, A. A.; FERREIRA, L. R.; FREITAS, F. C. L.; VIVIAN, R. Influência de herbicidas e de sistemas de semeadura de *Brachiaria brizantha* consorciada com milho. **Planta Daninha**, v. 23, p. 59-67, 2005.

JORDÃO, L.T.; LIMA, F.F., LIMA, R.S.; MORETTI, P.A.E.; PEREIRA, H.V.; MUNIZ, A.S.; OLIVEIRA, M.C.N. Teor relativo de clorofila em folhas de milho inoculado com *Azospirillum brasilense* sob diferentes doses de nitrogênio e manejo com Braquiária. In.: **Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 29. Reunião Brasileira sobre Micorrizas, 13. Simpósio Brasileiro de Microbiologia do Solo, 11. Reunião Brasileira de Biologia do Solo, 8. Anais**, Guarapari, ES: FERTIBIO, p. 5, 2010.

KAPPES, C.; ANDRADE, J. A. C.; ARF, O.; OLIVEIRA, A. C.; ARF, M. V.; FERREIRA, J. P. Desempenho de híbridos de milho em diferentes arranjos espaciais de plantas. **Bragantia**, v. 70, p. 334-343, 2011.

KAPPES, C.; ARF, O.; ARF, M. V.; FERREIRA, J. P.; DAL BEM, E. A.; PORTUGAL, J. R.; VILELA, R. G. Inoculação de sementes com bactérias diazotróficas e aplicação de nitrogênio em cobertura e foliar em milho. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, p. 527-538, 2013.

KIEHL, E. S. **Manual de edafologia: relações solo planta**. São Paulo, SP: Ceres, p. 262, 1979.

LANA, M.C.; DARTORA, J.; MARINI, D.; HANN, J.E. Inoculation with *Azospirillum*, associated with nitrogen fertilization in maize. **Revista Ceres**, v. 59, p. 399-405, 2012.

LANA, M.C.; WOYTICHOSKI JÚNIOR, P.P.; BRACCINI, A.L.; SCAPIM, C.A.; ÁVILA M.R.; ALBRECHT, L.P. Arranjo espacial e adubação nitrogenada em cobertura na cultura do milho. **Acta Scientiarum-Agronomy**, v. 31, n. 3, p. 433-438, 2009.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2th. London: **Academic Press**, 889p, 1995.

MOREIRA, R. C.; VALADÃO, F. C. DE A.; VALADÃO JÚNIOR, D. D. Desempenho agronômico do milho em função da inoculação com *Azospirillum brasilense* e adubação nitrogenada. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 62, p. 1–10, 2019.

MUMBACH, G. L. et al. Response of inoculation with *Azospirillum brasilense* in wheat and corn of second crop. **Scientia Agraria**, v. 18, n. 2, p. 97–103, 2017.

OKON, Y.; VANDERLEYDEN, J. Root-associated *Azospirillum* species can stimulate plants. **Applied and Environment Microbiology**, v. 6, n. 7, p. 366-370, 1997.

OKUMURA, R. S. et al. Nutrição nitrogenada no milho fertilizado com uréia tratada com inibidor de urease. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 1, p. 157–170, 2013.

OKUMURA, R.S.; TAKAHASHI, H.W.; SANTOS, D.G.C.; LOBATO, A.K.S.; MARIANO, D.C.; MARQUES, O.J.; SILVA, M.H.L.; OLIVEIRA NETO, C.F.; LIMA JR., J.A. Influence of diferent nitrogen levels on growth and production parameters in maize plants. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, v. 09, p. 510-514, 2011.

PANDOLFO, C. et al. Desempenho de milho inoculado com *Azospirillum brasiliense* associado a doses de nitrogênio em cobertura. n. 43, p. 94–99, 2014.

PEREIRA, A.R.; MACHADO, E.C. Análise quantitativa do crescimento de comunidade vegetal. Campinas: Instituto Agronômico. **Boletim Técnico 114**, p. 33, 1987.

PERSELLO-CARTINEAUX, F.; NUSSAUME, L.; ROBAGLIA, C. Tales from the underground: molecular plant rhizobacteria interactions. **Plant Cell and Environment**, v. 26, p. 189-199, 2003.

PIEKIELEK, W. P.; FOX, R. H.; TOTH, J. D.; MacNEAL, K. E. Use of a chlorophyll meter at the early dent stage of corn to evaluate nitrogen sufficiency. **Agronomy Journal**, Madison, v. 87, n. 3, p. 403-408, 1995.

PORTUGAL, J. R. et al. Coberturas vegetais, doses de nitrogênio e inoculação com *Azospirillum brasilense* em milho no Cerrado. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 48, n. 4, p. 639-649, 2017.

QUADROS, P. D.; ROESCH, L.F.W.; SILVA, P.R.F.; VIEIRA, V.M.; ROEHRS, D.D.; CAMARGO, F. A. O. Desempenho agrônômico a campo de híbridos de milho inoculados com *Azospirillum*. **Revista Ceres**, v. 61, n. 2, p. 209-218, 2014.

REIS V. M.; TEIXEIRA, K. R. S. Fixação biológica do nitrogênio - Estado da arte. In: Aquino AM, Assis RL, editores. **Processos biológicos no sistema solo-planta: ferramentas para uma agricultura sustentável**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 350-68, 2005.

REPKE, R. A.; CRUZ, S. J. S.; SILVA C. J.; FIGUEIREDO, P. G.; BICUDO, S. J. **Eficiência do *Azospirillum brasilense* combinada com doses de nitrogênio no desenvolvimento de plantas de milho**. *Revista Brasileira de Milho Sorgo*, v. 12, p. 214-226, 2013.

RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J.; BENSON. G.O. How a corn plant develops. **Ames, Iowa State University of Science and Technology, Cooperative Extension Service**, v. 48, p. 15-17, 1993.

SANGOI, L.; SCHMIT, A.; ZANIN, C.G. Área foliar e rendimento de grãos de híbridos de milho em diferentes populações de plantas. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 6, p. 263-271, 2007.

SZILAGYI-ZECCHIN, V. J.; MARRIEL, I. E.; SILVA, P. R. F. Produtividade de milho inoculado com *Azospirillum brasilense* em diferentes doses de nitrogênio cultivado em campo no Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n. 4, p. 795–798, 2017.

TIEN, T.M.; GASKIN, M.H.; HUBBELL, D.H. Plant growth substances produced by *Azospirillum brasilense* and their effect on growth of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.) **Applied and Environmental Microbiology**, v. 37, p. 1016-1024, 1979.

TOTAL BIOTECNOLOGIA. **Azototal**. (a) Disponível em:. Acesso em: 16 Agostos 2019.

VALDERRAMA, M. et al. Fontes e doses de NPK em milho irrigado sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 2, p. 237–242, 2011.

VIEIRA, M.A.; CAMARGO, M.K.; DAROS, E.; ZAGONEL, J.; KOEHLER, H.S. Cultivares de milho e população de plantas que afetam a produtividade de espigas verdes. **Acta Scientiarum-Agronomy**, v. 32, p. 81-86, 2010.

CAPITULO II - ANÁLISE ECONÔMICA DO MILHO GRÃO SOBRE INFLUÊNCIA DA BACTÉRIA *Azospirillum brasilense*, ASSOCIADO A FERTILIZANTES NITROGENADOS DE EFICIÊNCIA AUMENTADA EM DOSES.

RESUMO

Este estudo teve como objetivo estimar e avaliar os indicadores econômicos do cultivo de milho grão sob ação conjunta ou isolada da inoculação com *Azospirillum brasilense* em diferentes fontes (ureia, ureia revestida e com inibidor de uréase) e doses de N em cobertura (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) na cultura do milho em Carajás. Utilizou-se delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 2x3x5, com seis repetições. Conclui-se que a inoculação com *Azospirillum brasilense* mostrou-se, de modo geral, viável economicamente no cultivo do milho. A ureia com inibidor de uréase proporcionou maior retorno econômico em relação à ureia revestida e ureia convencional, em que as doses de N em cobertura que proporcionaram maior viabilidade econômica foram de 100 e 150 kg ha⁻¹, obtendo um acréscimo de 62,33 e 135,53 sacas ha⁻¹ e aumento de R\$ 3.253,76, R\$ 7.074,88 respectivamente, se comparado com o tratamento controle. No entanto, a determinação da adubação nitrogenada em cobertura deve também estar atrelada principalmente às exigências nutricionais da cultura e às propriedades químicas do solo, para que não haja esgotamento do N disponível, o que acarretaria maiores quantidades a serem fornecidas às culturas nas safras posteriores.

Palavras-chave: Adubação Nitrogenada; Relação custo benefício; Fixação Biológica.

ABSTRACT

This study aimed to estimate and evaluate the economic indicators of the cultivation of grain corn under joint action or isolated from inoculation with *A. brasilense* in different sources (urea, coated urea and urea inhibitor) and doses of N under cover (0, 50, 100, 150 and 200 kg ha⁻¹) in the corn crop in Carajás. A randomized complete design in a 2x3x5 factorial scheme was used, with six replications. It is concluded that the inoculation with *Azospirillum brasilense* proved to be, in general, economically viable in the cultivation of corn. Urea with urea inhibitor provided greater economic return in relation to coated urea and conventional urea, in which the doses of N in coverage that provided greater economic viability were 100 and 150 kg ha⁻¹, obtaining an increase of 62.33 and 135.53 bags ha⁻¹ and an increase of R \$ 3,253.76, R \$ 7,074.88 respectively, when compared to the control treatment. However, the determination of nitrogen fertilization in cover must also be linked mainly to the nutritional requirements of the crop and to the chemical properties of the soil, so that there is no depletion of available N, which would result in greater quantities to be supplied to the crops in the subsequent harvests.

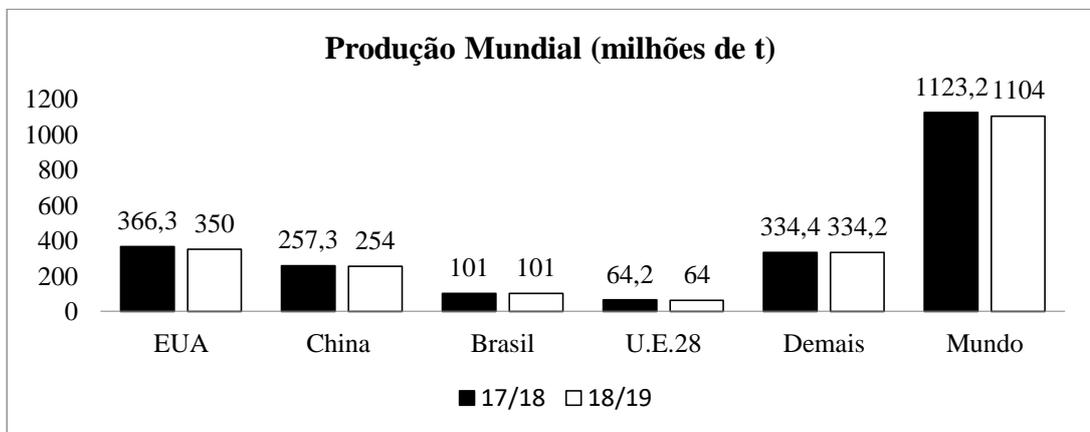
Palavras-chave: Nitrogen fertilization; Value for money; Biological Fixation.

1 INTRODUÇÃO

O aumento da produção de milho não está relacionado apenas ao aumento da área cultivada, mas também ao aumento da produtividade. O Brasil encontra-se consolidado como 3º maior produtor de milho no mundo e 2º maior exportador (USDA 2019). Possui um elevado consumo interno, sendo um dos principais produtores mundiais de proteína animal.

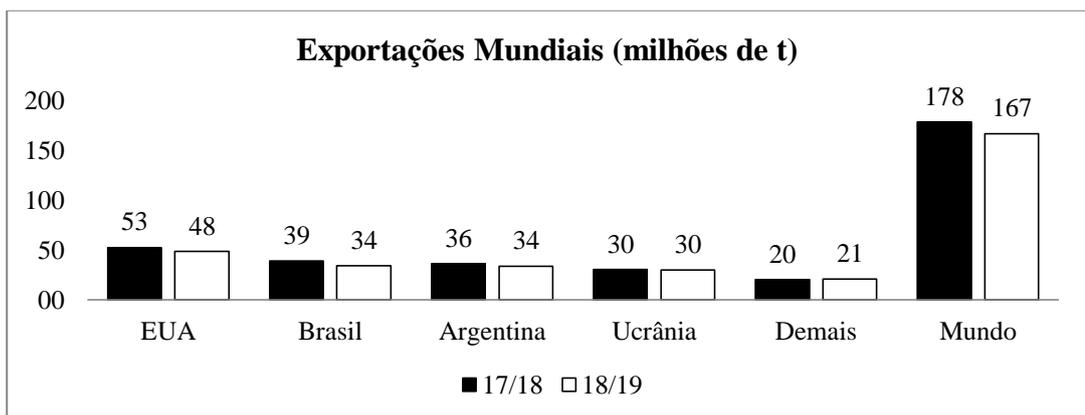
Durante os últimos cinco anos, a dinâmica da cadeia produtiva do milho mudou significativamente no país, visto que o grão deixou de ser apenas um produto destinado à alimentação animal, mas também uma commodity exportável, além de se firmar, nestes dois últimos anos, como uma matriz energética na produção de etanol, destacando ainda mais sua importância econômica. (CONAB, 2019).

GRÁFICO 1 - Produção Mundial de Milho (18/19).



Fonte: O Autor

GRÁFICO 2 - Exportação mundial de milho 18/19.



Fonte: O Autor

De acordo com a série histórica da produção de grãos brasileiros iniciada em meados da década de 70, foi registrado um aumento de mais de 245% na produção do milho nos últimos 39 anos. (SOUZA et al., 2018).

Tecnologias vêm favorecendo o alcance de elevados níveis de produtividade, o que comprova o desenvolvimento do setor. Essas novas tecnologias são associadas a cultivares transgênicas de alto potencial produtivo genético (híbridos simples e triplos); redução do espaçamento associado à maior densidade de plantio; melhoria na qualidade de sementes; correção de solos; controle de pragas e doenças (EMBRAPA, 2019).

A adubação nitrogenada sofre influências negativas quando se trata da sua eficiência devido às perdas deste elemento para o sistema, entre os principais fatores que contribuem para o aumento da produtividade do milho, destacam-se o clima, solo e o uso de tecnologia na condução da cultura, segundo os dados da CONAB (2019).

A ureia é o principal fertilizante sólido no mercado mundial. Corresponde, no Brasil por cerca de de 60% dos fertilizantes nitrogenados comercializados, sendo que há uma preferência da indústria pela sua fabricação em comparação com outras fontes sólidas de nitrogênio, devido ao menor custo e à maior facilidade de produção (Cantarella, 2007).

Entretanto, possuem algumas desvantagens, como alta higroscopicidade, perdas por volatilização principalmente quando a aplicação é realizada de forma superficial no solo (SILVA et al., 2012).

No sentido de reduzir perdas de N, principalmente por volatilização da amônia, modificações têm sido feitas em fertilizantes contendo ureia que incluem a adição de produtos inibidores de urease e a produção de fertilizantes com solubilidade controlada por meio de resinas ou polímeros. Existem vários produtos comercializados no mundo, mas, devido ao elevado preço, são utilizados em nichos de mercado de culturas de alto valor agregado e não competem com os adubos convencionais (CANTARELLA, 2007).

Pelo exposto, verifica-se a necessidade em buscar alternativas viáveis para aumentar a eficiência da adubação nitrogenada, de preferência possibilitando sua redução no sistema de produção sem causar queda na produção e na qualidade dos produtos agrícolas.

O gerenciamento do manejo do nitrogênio é fundamental para que se possa garantir sucesso na atividade agrícola, tecnologias que visam a maior aproveitamento na adubação nitrogenada, como a fixação de N por *Azospirillum brasilense* (HUNGRIA et al., 2016) e utilização de fertilizantes de eficiência aumentada, estão sendo desenvolvidos.

Diante disso, estudos que possam contribuir para uma indicação mais eficiente dos resultados, do ponto de vista agroeconômico são de grande importância para os produtores rurais, sendo de suma importância para os agricultores obter informações sobre os custos de uma cultura, pois estes dados irão auxiliar na otimização dos recursos utilizados em sua produção e, conseqüentemente, terão possibilidade de melhores resultados.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização experimental

2.1.1 Localização do experimento

Os cálculos de viabilidade econômica foram realizados com base nos resultados de produtividade obtidos no experimento conduzido em vasos, em casa de vegetação, na Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus de Parauapebas, localizado nas coordenadas 06°04'03'' latitude Sul e 49°04'03'' longitude Oeste, com a semeadura em Janeiro e colheita do milho em Maio.

2.1.2 Variáveis agrometeorológicas

Pela classificação de Köppen o município de Parauapebas, Pará, possui clima do tipo Aw, ou seja, tropical chuvoso, com as chuvas concentradas no verão, e estação seca no inverno. Podendo variar para Aw' apresentando chuvas de verão e outono. A precipitação (Prp) média anual é de 1626±98 mm. Sendo os meses de março (303 mm) e agosto (19 mm) os mais e menos chuvosos, respectivamente. A temperatura do ar (Tar), em média, tem valores máximos de 35,4±2,0 oC, sendo que em agosto a Tar máx. alcança os 37,4 oC. As temperaturas médias são de 26,9±1,3 oC e, temperaturas mínimas de 20,8±0,8 oC, sendo julho o mês mais frio com Tar min. de 19,98 oC. A umidade relativa (UR) do ar, em média, tem valores máximos de 96,7±1,9%, sendo que janeiro registra URmáx de 98,6%. A URmed é de 73,6±14,7% e, URmin de 41±20%, sendo que em agosto a URmin atinge até 21% (FERREIRA DA COSTA et al., 2018). Foi instalado na casa de vegetação, local do

experimento, termohigrômetro com medições diárias de temperatura e umidade (FERREIRA DA COSTA et. al., 2018).

2.1.3 Análise do Solo e adubação

A adubação de plantio (nitrogênio, fósforo e potássio) e cobertura (N) foram realizadas de acordo com o resultado da análise química do solo (Tabela 2) segundo Cravo et al., (2010). E as doses foram realizadas conforme a 5ª Aproximação - Recomendação da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (1999) para alto potencial de rendimento de grãos (≥ 8 t ha⁻¹). No momento do plantio (12/01/2019) foi aplicado 2,78 g vaso⁻¹, com volume de 15 dm³, NPK na formulação 05:25:15 correspondendo à 140 kg ha⁻¹ de N, 100 kg ha⁻¹ de P (P₂O₅), 80 kg ha⁻¹ de K (K₂O) (Figura 26A e 26B).

TABELA 2 - Resultados das análises químicas do solo. Campos UFRA Parauapebas, 2019.

Perfil	Arg.	pH	H+Al	CTC	Al	Ca	Mg	P	K	M.O	Sat. Bases
cm	%		cmol/dm ²	-----cmol/dm ³ -----				mg/dm ³		g/ dm ³	----- %-----
0-5	32,0	4,3	2,5	4,22	0,3	1,1	0,4	0,3	70,7	13,0	40,73
5-10	34,0	4,5	2,3	4,09	0,3	1,2	0,4	0,3	61,9	10,0	43,77
10-20	31,0	4,6	2,2	5,44	0,2	2,2	0,7	0,8	121,3	21,0	59,64

Fonte: Laboratório Agropecuário Ltda, 2017.

As doses de N aplicadas em cobertura foram realizadas de acordo com as fontes e doses de N no estágio fenológico V4, realizado em 01/02/2019 20 dias após a semeadura (DAS). A aplicação dos fertilizantes foi realizada de forma manual, após serem abertos sulcos com profundidade de 5 cm, na distância de 10 cm entre vasos (Figura 27A e 27 B).

2.1.4 Inoculação

As sementes de milho, cultivar A1 Bandeirante (Amarelaão), foram inoculadas com a bactéria *Azospirillum brasilense* estirpes Ab-V5 e Ab-V6 na concentração de 2,0 x 10⁸ UFC mL⁻¹ UFC/semente, com a utilização de 100 mL ha⁻¹ de inoculante (AzoTotal® – Total Biotecnologia) para cada 25 kg de sementes com auxílio de um copo graduado. Após a inoculação foi realizado a semeadura de duas sementes por vaso na profundidade de 3 cm. Após sete dias após da semeadura foi realizado o desbaste, mantendo apenas uma planta.

2.1.5 Delineamento experimental e Caracterização dos Tratamentos

O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5 x 3 x 2, com seis repetições. Os fatores estudados foram:

- i) fator A - cinco doses de N aplicado em cobertura (0; 50; 100; 150 e 200 kg ha⁻¹ de N) no estágio fenológico V4, de acordo com Ritchie et al., (1993);
- ii) fator B - três fontes de N, correspondentes a ureia, ureia com inibidor da urease e ureia com inibidor da nitrificação do amônio;
- iii) fator C – com e sem inoculação de sementes com *Azospirillum brasiliense*. A dose de inoculante será 100 mL ha⁻¹ contendo estirpes da bactéria na concentração mínima de 2 x 10⁸ células viáveis mL⁻¹.

2.1.6 Sistema de irrigação Manejo da irrigação

Para determinação da quantidade água no solo pelo método de campo (CP), o PMP (Ponto de Murcha Permanente) foi determinado com base no método fisiológico. Considerou-se, o PMP como o conteúdo de água no solo em que a cultura não conseguia mais absorver água. Para sua determinação levou-se em consideração a metodologia descrita por Kiehl (1979), porém sem a necessidade de utilização de selamento superficial da superfície do solo nem, tampouco, de câmara úmida; também para essa determinação o milho grão foi utilizado como planta teste. Em 10 vasos contendo 15 kg de solo secado em estufa, ou seja, corrigido o peso d'água retida pelo solo secado ao ar, posteriormente o solo foi molhado, estabelecendo-se o estresse hídrico no momento que a água saía nas aberturas abaixo dos sacos plásticos, com a suspensão imediata da irrigação. Foi feito a média e definido 1,7 litros diários de água por vaso de planta. O mesmo seria aplicado via manualmente por recipiente demarcado.

O monitoramento da umidade do solo foi feito por amostragens, isto é, à medida que as plantas apresentavam evoluía nos estádios, as mesmas eram analisadas. Uma amostra do solo era coleada próximo ao centro de cada vaso, para a determinação do teor de umidade.

2.1.7 Controle de Plantas Daninhas e Pragas

O controle das plantas daninhas e pragas foram efetuados via capina manual e coleta mecânica.

2.1.8 Colheita

A colheita do milho foi realizada no dia 24/05/2019, aos 132 DAS após a semeadura, estágio R6, momento em que os grãos são considerados maduros fisiologicamente, e alcançaram seu peso máximo seco.

2.1.9 ANÁLISE ECONÔMICA.

Para a análise econômica, os valores foram convertidos em produção por hectare e projetados os custos de insumos, pessoal, máquinas e equipamentos da região. Foi utilizada a estrutura do custo operacional total de produção usada pelo Instituto de Economia Agrícola (IEA), O custo operacional efetivo (COE) é formado pelo Custo Variável e Custo Fixo. (MATSUNAGA et al., 1976).

Para avaliar a lucratividade, foram determinadas: a receita bruta (RB) em R\$, com a quantidade produzida do produto (em sacas de 60 Kg) pelo preço médio de venda também em R\$; o lucro operacional (LO) é a diferença entre a receita bruta (RB) e o custo operacional efetivo (COE). Já o índice de lucratividade (IL) é entendido como a relação entre o lucro operacional (LO) e a receita bruta em percentagem.

Para a realização da análise econômica foi necessária a tomada de decisão referente à quantidade de sementes, e em reflexo a este parâmetro encontrou-se a dosagem de inoculante, ambos utilizados para o plantio de 1,0 ha. Foi adotado 25 kg de sementes e a dosagem do inoculante (AZOTOTAL®) de 100 ml segundo recomendação do fabricante.

Tornando a discussão mais dinâmica, os valores referentes à produtividade foram transformados em sacas de 60 kg, do modo que o produto é usualmente comercializado na região e os resultados apresentados em forma de tabulação.

Os preços médios foram coletados no CEPEA (Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada) no mês de Janeiro de 2020. Neste trabalho, foram feitas simulações como se cada tratamento dos experimentos representasse lavouras comerciais (CEPEA, 2020).

O valor da saca de milho comercializada na região foi de R\$ 52,20 por unidade produzida. Já em relação às fontes de N, o valor pago pelo agricultor foi de R\$ 3.200,00 para todas as fontes (Ureia, Ureia Revestida e Ureia com inibidor de Urease) por tonelada. Para o inoculante com *Azospirillum brasilense*, o gasto ficou em R\$ 20,00 por dose, sendo que foram utilizadas apenas uma dose.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Tabelas 5 e 6, encontram-se as projeções dos valores referentes às operações mecanizadas e aos insumos utilizados no cultivo. As despesas envolvendo as operações mecanizadas tratorizadas, as operações manuais e o tratamento fitossanitário foram somados dentro de cada item (padronizados), visto que tais valores não influenciam na análise econômica dos tratamentos envolvidos no presente trabalho. Assim, somente os gastos com sementes, adubação de semeadura, adubação nitrogenada em cobertura e inoculante encontram-se com mais detalhes. Somando-se os valores das operações mecanizadas, das manuais e dos insumos utilizados para cada tratamento do experimento, tem-se o custo operacional efetivo (COE). Acrescentando-se ao COE as despesas com encargos financeiros e despesas não contabilizadas, foi obtido o custo operacional total (COT), cujos valores são representados nas Tabelas 7 e 8.

TABELA 6: Custo das operações mecanizadas e dos insumos no milho - Sem Inoculação.

	SEMINOCULAÇÃO														
	UREIA					REVESTIDA					INIBIDOR				
	0	50	100	150	200	0	50	100	150	200	0	50	100	150	200
A - CUSTO VARIÁVEL	1,730.88	2,116.06	2,500.88	2,885.88	3,271.62	1,730.88	2,116.06	2,500.88	2,885.88	3,271.62	1,730.88	2,116.06	2,500.88	2,885.88	3,271.62
I - DESPESAS DE CUSTEIO DA LAVOURA	1,092.56	1,477.74	1,862.56	2,247.56	2,633.30	1,092.56	1,477.74	1,862.56	2,247.56	2,633.30	1,092.56	1,477.74	1,862.56	2,247.56	2,633.30
1 – Operação com Máquinas/Implementos	78.09	78.09	78.09	78.09	78.09	78.09	78.09	78.09	78.09	78.09	78.09	78.09	78.09	78.09	78.09
2 – Mão de Obra	85.62	85.62	85.62	85.62	85.62	85.62	85.62	85.62	85.62	85.62	85.62	85.62	85.62	85.62	85.62
3 – Semente de Milho	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00
4 – Semente de Cobertura	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5 – Corretivo de Solo	32.51	32.51	32.51	32.51	32.51	32.51	32.51	32.51	32.51	32.51	32.51	32.51	32.51	32.51	32.51
6 – Macronutriente (plantio e cobertura)															
Plantio	509.60														
Cobertura	385.18	385.18	770.00	1,155.00	1,540.74	385.18	385.18	770.00	1,155.00	1,540.74	385.18	385.18	770.00	1,155.00	1,540.74
7 – Micronutriente	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8 – Fungicida	37.06	37.06	37.06	37.06	37.06	37.06	37.06	37.06	37.06	37.06	37.06	37.06	37.06	37.06	37.06
9 – Herbicida	69.25	69.25	69.25	69.25	69.25	69.25	69.25	69.25	69.25	69.25	69.25	69.25	69.25	69.25	69.25
10 – Inseticida	140.43	140.43	140.43	140.43	140.43	140.43	140.43	140.43	140.43	140.43	140.43	140.43	140.43	140.43	140.43
11 – Adjuvante/Outros	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
II - OUTROS CUSTOS VARIÁVEIS	552.12														
1 – Seguro Agrícola	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2 – Transporte Externo	154.00	154.00	154.00	154.00	154.00	154.00	154.00	154.00	154.00	154.00	154.00	154.00	154.00	154.00	154.00
3 – Armazenagem	17.60	17.60	17.60	17.60	17.60	17.60	17.60	17.60	17.60	17.60	17.60	17.60	17.60	17.60	17.60
4 – Classificação e Beneficiamento	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00
5 – Impostos e Taxas	98.33	98.33	98.33	98.33	98.33	98.33	98.33	98.33	98.33	98.33	98.33	98.33	98.33	98.33	98.33
6 – Manutenção Máquinas/Implementos	84.99	84.99	84.99	84.99	84.99	84.99	84.99	84.99	84.99	84.99	84.99	84.99	84.99	84.99	84.99
7 – Despesas Administrativas	109.20	109.20	109.20	109.20	109.20	109.20	109.20	109.20	109.20	109.20	109.20	109.20	109.20	109.20	109.20
III - DESPESAS FINANCEIRAS	86.20														
1 - Juros	86.20	86.20	86.20	86.20	86.20	86.20	86.20	86.20	86.20	86.20	86.20	86.20	86.20	86.20	86.20
B - CUSTO FIXO	353.39														
IV – DEPRECIACÕES e EXAUSTÃO	135.30														
1 – Depreciação Benfeitorias	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75
2 – Depreciação Máquinas/Implementos	132.55	132.55	132.55	132.55	132.55	132.55	132.55	132.55	132.55	132.55	132.55	132.55	132.55	132.55	132.55
V - OUTROS CUSTOS FIXOS	218.09														
1 – Encargos	8.13	8.13	8.13	8.13	8.13	8.13	8.13	8.13	8.13	8.13	8.13	8.13	8.13	8.13	8.13
2 – Seguro do Capital Fixo	8.36	8.36	8.36	8.36	8.36	8.36	8.36	8.36	8.36	8.36	8.36	8.36	8.36	8.36	8.36
3 – Manutenção Benfeitorias	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69
4 – Arrendamento	200.91	200.91	200.91	200.91	200.91	200.91	200.91	200.91	200.91	200.91	200.91	200.91	200.91	200.91	200.91
C - CUSTO OPERACIONAL (A + B)	2,084.27	2,469.45	2,854.27	3,239.27	3,625.01	2,084.27	2,469.45	2,854.27	3,239.27	3,625.01	2,084.27	2,469.45	2,854.27	3,239.27	3,625.01
VI - RENDA DE FATORES	131.05														
1 - Remuneração Esperada sobre Capital	80.82	80.82	80.82	80.82	80.82	80.82	80.82	80.82	80.82	80.82	80.82	80.82	80.82	80.82	80.82
2 - Terra	50.23	50.23	50.23	50.23	50.23	50.23	50.23	50.23	50.23	50.23	50.23	50.23	50.23	50.23	50.23
D - CUSTO TOTAL (C + VI)	2,215.32	2,600.50	2,985.32	3,370.32	3,756.06	2,215.32	2,600.50	2,985.32	3,370.32	3,756.06	2,215.32	2,600.50	2,985.32	3,370.32	3,756.06

Fonte: O Autor

TABELA 7: Custo das operações mecanizadas e dos insumos no milho - Com Inoculação.

	COMINOCULAÇÃO														
	UREIA					REVESTIDA					INIBIDOR				
	0	50	100	150	200	0	50	100	150	200	0	50	100	150	200
A - CUSTO VARIÁVEL	1,750.88	2,136.06	2,520.88	2,905.88	3,291.62	1,750.88	2,136.06	2,520.88	2,905.88	3,291.62	1,750.88	2,136.06	2,520.88	2,905.88	3,291.62
I - DESPESAS DE CUSTEIO DA LAVOURA	1,112.56	1,497.74	1,882.56	2,267.56	2,653.30	1,112.56	1,497.74	1,882.56	2,267.56	2,653.30	1,112.56	1,497.74	1,882.56	2,267.56	2,653.30
1 – Operação com Máquinas/Implementos	78.09	78.09	78.09	78.09	78.09	78.09	78.09	78.09	78.09	78.09	78.09	78.09	78.09	78.09	78.09
2 – Mão de Obra	85.62	85.62	85.62	85.62	85.62	85.62	85.62	85.62	85.62	85.62	85.62	85.62	85.62	85.62	85.62
3 – Semente de Milho	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00
4 – Inoculação	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
5 – Corretivo de Solo	32.51	32.51	32.51	32.51	32.51	32.51	32.51	32.51	32.51	32.51	32.51	32.51	32.51	32.51	32.51
6 – Macronutriente (plantio e cobertura)															
Plantio	509.60	509.60	509.60	509.60	509.60	509.60	509.60	509.60	509.60	509.60	509.60	509.60	509.60	509.60	509.60
Cobertura		385.18	770.00	1,155.00	1,540.74		385.18	770.00	1,155.00	1,540.74		385.18	770.00	1,155.00	1,540.74
7 – Micronutriente	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8 – Fungicida	37.06	37.06	37.06	37.06	37.06	37.06	37.06	37.06	37.06	37.06	37.06	37.06	37.06	37.06	37.06
9 – Herbicida	69.25	69.25	69.25	69.25	69.25	69.25	69.25	69.25	69.25	69.25	69.25	69.25	69.25	69.25	69.25
10 – Inseticida	140.43	140.43	140.43	140.43	140.43	140.43	140.43	140.43	140.43	140.43	140.43	140.43	140.43	140.43	140.43
11 – Adjuvante/Outros	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
II - OUTROS CUSTOS VARIÁVEIS	552.12														
1 – Seguro Agrícola	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2 – Transporte Externo	154.00	154.00	154.00	154.00	154.00	154.00	154.00	154.00	154.00	154.00	154.00	154.00	154.00	154.00	154.00
3 – Armazenagem	17.60	17.60	17.60	17.60	17.60	17.60	17.60	17.60	17.60	17.60	17.60	17.60	17.60	17.60	17.60
4 – Classificação e Beneficiamento	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00
5 – Impostos e Taxas	98.33	98.33	98.33	98.33	98.33	98.33	98.33	98.33	98.33	98.33	98.33	98.33	98.33	98.33	98.33
6 – Manutenção Máquinas/Implementos	84.99	84.99	84.99	84.99	84.99	84.99	84.99	84.99	84.99	84.99	84.99	84.99	84.99	84.99	84.99
7 – Despesas Administrativas	109.20	109.20	109.20	109.20	109.20	109.20	109.20	109.20	109.20	109.20	109.20	109.20	109.20	109.20	109.20
III - DESPESAS FINANCEIRAS	86.20														
1 - Juros	86.20	86.20	86.20	86.20	86.20	86.20	86.20	86.20	86.20	86.20	86.20	86.20	86.20	86.20	86.20
B - CUSTO FIXO	353.39														
IV – DEPRECIACÕES e EXAUSTÃO	135.30														
1 – Depreciação Benfeitorias	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75
2 – Depreciação Máquinas/Implementos	132.55	132.55	132.55	132.55	132.55	132.55	132.55	132.55	132.55	132.55	132.55	132.55	132.55	132.55	132.55
V - OUTROS CUSTOS FIXOS	218.09														
1 – Encargos	8.13	8.13	8.13	8.13	8.13	8.13	8.13	8.13	8.13	8.13	8.13	8.13	8.13	8.13	8.13
2 – Seguro do Capital Fixo	8.36	8.36	8.36	8.36	8.36	8.36	8.36	8.36	8.36	8.36	8.36	8.36	8.36	8.36	8.36
3 – Manutenção Benfeitorias	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69
4 – Arrendamento	200.91	200.91	200.91	200.91	200.91	200.91	200.91	200.91	200.91	200.91	200.91	200.91	200.91	200.91	200.91
C - CUSTO OPERACIONAL (A + B)	2,104.27	2,489.45	2,874.27	3,259.27	3,645.01	2,104.27	2,489.45	2,874.27	3,259.27	3,645.01	2,104.27	2,489.45	2,874.27	3,259.27	3,645.01
VI - RENDA DE FATORES	131.05														
1 - Remuneração Esperada sobre Capital	80.82	80.82	80.82	80.82	80.82	80.82	80.82	80.82	80.82	80.82	80.82	80.82	80.82	80.82	80.82
2 - Terra	50.23	50.23	50.23	50.23	50.23	50.23	50.23	50.23	50.23	50.23	50.23	50.23	50.23	50.23	50.23
D - CUSTO TOTAL (C + VI)	2,235.32	2,620.50	3,005.32	3,390.32	3,776.06	2,235.32	2,620.50	3,005.32	3,390.32	3,776.06	2,235.32	2,620.50	3,005.32	3,390.32	3,776.06

Fonte: O Autor

Na tabela 7 encontram-se os dados de produtividade convertidos em sacas por hectare e a receita bruta obtida em cada tratamento.

Observa-se um acréscimo de 83 sacas ha^{-1} no tratamento com adubação de 150 kg ha^{-1} na fonte de ureia com inibidor de uréase somada à inoculação, se comparado ao tratamento que recebeu a mesma dosagem e fonte com ausência da inoculação.

Para Silva et al. (2007), o produtor brasileiro de milho, tem obtido lucros baixos nos últimos anos em decorrência dos aumentos consideráveis nos custos de produção da cultura. Sobretudo, em função dos preços comerciais do milho não serem cotados em dólar como no caso da soja, e dos insumos utilizados em grandes demandas no seu cultivo, como a uréia.

O COT oscilou de R\$ 2.215,32 a 3.756,06, comparando o efeito do manejo do solo, do espaçamento entrelinhas e do manejo do nitrogênio, na mesma região, observaram COTs semelhantes aos observados neste trabalho, considerando os valores dos insumos de 2018/2019, indicando que houve poucas variações no COT nesse período.

Em relação à adubação nitrogenada via cobertura, as despesas com as fontes de N, em média, ocuparam 14% COT para aplicações de 50 kg ha^{-1} a 41% dos COT quando a aplicação aumenta para 200 kg ha^{-1} .

De modo geral nos tratamentos com a presença da inoculação acarretou em um aumento de na produtividade e na renda bruta.

TABELA 8: COT, Produtividade (Prod.) e Receita bruta (RB) para o milho.

<i>Sem Azospirillum</i>									
Doses de N (kg ha ⁻¹)	Uréia			Revestida			Inibidos		
	COT (R\$)	Ureia Prod. (Sacas ha ⁻¹)	RB (R\$)	COT (R\$)	Ureia Prod. (Sacas ha ⁻¹)	RB (R\$)	COT (R\$)	Ureia Prod. (Sacas ha ⁻¹)	RB (R\$)
0	2.215,32	84.93	4.433,31	2.215,32	87.93	4.590,10	2.215,32	89.72	4.683,32
50	2.600,50	82.36	4.299,42	2.600,50	61.74	3.222,61	2.600,50	106.25	5.546,16
100	2.985,32	96.17	5.020,29	2.985,32	116.44	6.078,29	2.985,32	131.27	6.852,27
150	3.370,32	106.83	5.576,57	3.370,32	145.52	7.595,94	3.370,32	137.34	7.169,30
200	3.756,06	137.09	7.156,28	3.756,06	146.68	7.656,63	3.756,06	146.76	7.661,00
Média	2.291,44	101.48	5.297,17	2.291,44	111.66	5.828,72	2.291,44	122.27	6.382,41
<i>Com Azospirillum</i>									
Doses de N (kg ha ⁻¹)	Uréia			Revestida			Inibidos		
	COT (R\$)	Ureia Prod. (Sacas ha ⁻¹)	RB (R\$)	COT (R\$)	Ureia Prod. (Sacas ha ⁻¹)	RB (R\$)	COT (R\$)	Ureia Prod. (Sacas ha ⁻¹)	RB (R\$)
0	2.235,32	99.97	5.218,39	2.235,32	94.69	4.942,72	2.235,32	95.98	5.010,41
50	2.620,50	114.94	5.999,74	2.620,50	151.03	7.883,68	2.620,50	158.54	8.275,66
100	3.005,32	140.79	7.349,45	3.005,32	154.35	8.057,08	3.005,32	147.26	7.687,07
150	3.390,32	150.83	7.873,25	3.390,32	149.58	7.807,92	3.390,32	220.46	11.508,12
200	3.776,06	138.44	7.226,58	3.776,06	154.83	8.082,08	3.776,06	182.47	9.525,15
Média	3.005,50	128.99	6.733,48	3.005,50	140.89	7.354,69	3.005,50	160.94	8.401,28

Fonte: O Autor

Analisando economicamente os efeitos de fontes e doses de N, foi observado que a dose 150 kg ha⁻¹, independente da fonte proporcionou R\$ 1.155,56 a mais no COT (Tabela 7) em relação a aplicação de 50 kg ha⁻¹.

Para a produtividade de grãos (Tabela 7) partiu de 85 sacas ha⁻¹ para o tratamento sem N em cobertura na fonte de ureia comum, na ausência de *Azospirillum* (tratamento controle), atingindo patamares de 137 sacas ha⁻¹, obtidos com a dose de 150 kg de N ha⁻¹ em cobertura utilizando a ureia com inibidor de urease também sem *Azospirillum*. Em contrapartida, produtividade de 220 sacas ha⁻¹ foi verificada no tratamento N em cobertura, na mesma fonte, na presença da inoculação com *Azospirillum brasilense*. É importante ressaltar que, de modo geral, para os tratamentos inoculados com *Azospirillum brasilense*, houve tendência de queda na produtividade na medida em que as doses de N atingiam a dose de 200 kg ha⁻¹.

Sala et al. (2007) associam o aumento na produtividade de grãos à inoculação com *Azospirillum brasilense*, porém não há comprovação da possibilidade de redução da dose de N em cobertura por outros relatos disponíveis na literatura (HUNGRIA et al., 2010; BRACCINI et al., 2012; DARTORA et al., 2013; MÜLLER et al., 2016). Santos et al. (2010) e Francisco et al. (2011), identificaram resultados positivos à aplicação de N na cultura do milho. Ainda segundo Coelho et al. (1995), para atingir uma produtividade de 61 sacas ha⁻¹ são extraídos 77 kg de N ha⁻¹ e aproximadamente 100 kg de N ha⁻¹, para uma média de 97 sacas ha⁻¹.

Observou-se, aumento no COT com o incremento nas doses, assim como elevação na receita bruta acompanhando os acréscimos obtidos em produtividade.

Já quando houve inoculação com *Azospirillum*, o acréscimo no COT foi de R\$ 20,00 em média, totalizando 1% a mais em relação aos tratamentos sem inoculação.

Kaneko et al. (2015) relata o elevado custo de adubação por cobertura com leia e o paralelo em relação ao valor comercial da inoculação que é baixo. Ainda segundo Pedroso (2011), os custos com adubação nitrogenada representam cerca de 29,83% do custo total da produção da cultura. Apesar do alto custo, o tratamento inoculado com dosagem de 150 kg ha⁻¹ em cobertura, obteve uma renda bruta superior aos demais, em consequência do maior número de sacas produzidas. Para Troeh et al. (2007), grandes rendimentos produtivos demandam de uma maior utilização de fertilizantes, o que se aplica nos tratamentos avaliados e justifica a afirmativa anterior.

Tivemos acréscimos de produtividade na ordem de 83 sacas por hectare para o tratamento com adubação nitrogenada em cobertura, na fonte de ureia com inibidor de uréase na dose de 150 kg ha⁻¹ (Tabela 7), quando comparada a mesma dose e fonte, porém sem a inoculação, tendo a diferença na receita bruta em R\$ 4.332,60.

De maneira geral, em média, a inoculação com *Azospirillum* elevou a receita bruta quando em comparação as fontes de ureia, convencional, revestida e com inibidos sem a inoculação em R\$ 1.436,31, R\$ 1.525,31, R\$ 2.018,87 respectivamente (Tabela 7).

No milho na fonte inibidor de uréase, a inoculação com *Azospirillum* foi capaz de proporcionar em média R\$ 5.526,83 ha⁻¹ de lucro operacional (Tabela 8), totalizando 62,5% a mais em lucratividade quando comparado a mesma fonte, porém sem inoculação.

Na Tabela 8, observa-se que, em média, a ureia com inibidor de uréase mostrou-se economicamente superior à ureia convencional e a revestida, elevando o lucro operacional quando comparado com a fonte de N anterior para o milho.

TABELA 9: Lucro operacional (L.O) e índice de lucratividade (I.L) para o milho

Sem <i>Azospirillum</i>						
Doses de N (kg ha ⁻¹)	Uréia		Revestida		Inibidos	
	L.O	I.L (%)	L.O	I.L (%)	L.O	I.L (%)
0	2.349,04	52	2.505,83	54	2.599,05	55
50	1.829,97	42	753,16	23	3.076,71	55
100	2.166,02	43	3.224,02	53	3.998,00	58
150	2.337,30	41	4.356,67	57	3.30,03	54
200	3.531,27	49	4.031,62	53	4.035,99	52

Com <i>Azospirillum</i>						
Doses de N (kg ha ⁻¹)	Uréia		Revestida		Inibidos	
	L.O	I.L (%)	L.O	I.L (%)	L.O	I.L (%)
0	3.114,12	59	2.838,45	57	2.906,14	58
50	3.510,29	58	5.394,23	68	5.786,21	70
100	4.475,18	60	5.182,81	64	4.812,80	62
150	4.613,98	58	4.278,65	54	8.248,85	72
200	3.581,57	49	4.437,07	54	5.880,14	62

Fonte: O Autor

No caso do milho as doses de N (Tabela 4), os melhores rendimentos econômicos foram obtidos de forma geral com adubação nitrogenada em cobertura utilizando a fonte ureia com inibidor de urease, sendo que o lucro foi crescente até a dose de 150 kg ha⁻¹ de N em cobertura, havendo, para essa dose, lucro operacional de R\$ 8.248,85, com participação de 71% no total da receita bruta obtida.

Kappes et al (2013) relataram resultados positivos com o uso de *Azospirillum* trabalhando com doses de N e inoculação com *A. brasilense* em milho, tendo como resultado um aumento de 9,4% no rendimento de grãos. Resultados semelhantes foram obtidos por Novalkowski et al. (2011), onde o milho produz foram maiores com a inoculação de *A. brasilense* quando comparada ao controle, mesmo com o aumento do N aplicado. Hungria et al. (2010) também obtiveram aumentos na produção de milho e, o aumento da produtividade foi da ordem de 24 a 30%, correspondendo a 662 a 823 kg ha⁻¹.

Os resultados obtidos demonstram benefícios no rendimento de grãos de milho, elucidando a necessidade de novas pesquisas relacionadas à efeitos benéficos da inoculação com *A. brasilense* associados à adubação nitrogenada e chamando a atenção para possibilidade de amplo uso dessa tecnologia em campo devido ao baixo custo econômico, não tóxico e com alto potencial de resposta da cultura do milho, mesmo com a aplicação de doses de N consideradas altas. Por esta razão, essa técnica é provavelmente cada vez mais adotada pelos agricultores rurais.

4 CONCLUSÃO

A inoculação com *Azospirillum brasilense* propicia um crescimento no milho tornando mais rentável, independentemente da fonte e dose de N dose.

Uréia com inibidor de urease na dose de N de 150 kg ha⁻¹, associada à inoculação com *Azospirillum brasilense* proporciona O maior retorno econômico, pois sua produção de grãos é superiores aos demais tratamentos.

5 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, V. M. C.; VASCONCELLOS, C. A.; FREIRE, F. M.; PITTA, G. V. E.; FRANÇA, G. E.; RODRIGUES FILHO, A.; ARAÚJO, J. M.; VIEIRA, J. R.; LOUREIRO, J. E. Milho. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ VENEGAS, V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5a aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999.**

BRACCINI, A.L.E.; DAN, L.G.M.; PICCININ, G.G.; ALBRECHT, L.P.; BARBOSA M.C.; ORTIZ, A.H.T. Seed inoculation with *Azospirillum brasilense*, associated with the use of bioregulators in maize. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 2, p. 58-64, 2012.

CANTARELLA, H. **Nutrientes na fitomassa de capim-marandu em função de fontes e doses de nitrogênio.** *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 30, n. 3, p. 562-568, 2007.

CEPEA, **INDICADOR DO MILHO ESALQ/BM&FBOVESPA.** Piracicaba, 2020. Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/consultas-ao-banco-de-dados-do-site.aspx>>. Acesso em: 10 Janeiro 2019.

CONAB, Companhia Nacional De Abastecimento, **Série Históricas**, Acompanhamento de safra brasileira: grãos. Décimo primeiro levantamento, agosto de 2019. Brasília-DF, 107 p., 2019.

CRAVO, M.S.; VIÉGAS, I.J.M.; BRASIL, E.C. **Recomendação de adubação e calagem para o Estado do Pará.** Belém: Embrapa, p. 262, 2010.

COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E. **Seja o doutor do seu milho:** nutrição e adubação. 2.ed. Piracicaba: Potafos, p. 9, 1995.

DARTORA, J.; GUIMARÃES, V.F.; MARINI, D.; SANDER, G. Adubação nitrogenada associada à inoculação com *Azospirillum brasilense* e *Herbaspirillum seropedicae* na cultura do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.10, p. 1023-1029, 2013.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistemas de Produção Embrapa, 2017. Disponível em https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo? p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdepro; Acesso em: **20 Dezembro 2019**.

FERREIRA DA COSTA, R.; SOUZA, P. F.; SILVA JÚNIOR, J.A.; COSTA, A.C.L.; RODRIGUES, H.J.B. **Como os sistemas oceano-atmosfera influenciam na redução das chuvas em Parauapebas, Pará**. XX Congresso Brasileiro de Meteorologia, 27 a 30 nov., Maceió, AL. p. 827-833, XX CBMET, Anais. 2018.

FRANCISCO, E.A.B.; KAPPES, C.; ZANCANARO, L.; FUJIMOTO, G.R. **Manejo da adubação nitrogenada no milho safrinha em sucessão à soja e milheto**. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE MILHO SAFRINHA. Lucas do Rio Verde. v. 11 p. 341-351, 2011.

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.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M.A.; ARAUJO, R.S. Inoculation of *Brachiaria* spp with the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum brasilense*: an environment-friendly component in the reclamation of degraded pastures in the tropics. **Agriculture Ecosystems Environment**, Amsterdam, v. 221, p. 125–131, 2016.

KAPPES, C., ARF, O., ARF, M. V., FERREIRA, J. P., DAL BEM, E. A., PORTUGAL, J. R., & VILELA, R. G. Inoculação de sementes com bactéria diazotrófica e aplicação de nitrogênio em cobertura e foliar em milho. **Ciências Agrárias**, V. 34, p. 527-538, 2013.

KANEKO, F. H.; SABUNDJIAN, M. T.; ARF, O.; FERREIRA, J. P.; GITTI, D. C.; NASCIMENTO, V.; LEAL, A. J. F. Análise econômica do milho em função da inoculação com *Azospirillum*, fontes e doses de N em cerrado de baixa altitude. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 14, n.1, p. 23-37, 2015.

KIEHL, E. S. **Manual de edafologia: relações solo planta**. São Paulo, SP: Ceres, 262 p, 1979.

LEAL. . Custo de Produção e Lucratividade da Cultura de Milho Sequeiro: um estudo de caso no município de Sud Mennucci. In.: **Congresso Nacional De Milho E Sorgo, 29. Anais**. Águas de Lindóia, p. 3041-3406, 2013.

MARTIN, NB, SERRA, R, OLIVEIRA, MDM, ÂNGELO & JA, OKAWA, H. Sistema "CUSTAGRI": **Sistema integrado de custo agropecuário**. Informações Econômicas, v. 28, p. 4-7, 1997.

MATSUNAGA, M.; BEMELMANS, P. F.; TOLEDO, P.N. E.; DULLEY, R. D.; OKAWA, H.; PEDROSO, I. A. **Metodologia de custo de produção utilizada pelo IEA**. Agricultura em São Paulo, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 123- 139, 1976.

MÜLLER, T.M.; SANDINI, I.E.; RODRIGUES, J.D.; NOVAKOWISKI, J.H.; BASI, S.; KAMINSKI, T.H.; Combination of inoculation methods of *Azospirillum brasilense* with broadc asting of nitrogen fertilizer increases corn yield. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 46, n. 2, 2016.

NOVAKOWISKI, J. H., SANDINI, I. E., FALBO, M. K., MORAES, A., NOVAKOWISKI, J. H., & CHENG, N. C. Efeito residual da adubação nitrogenada e inoculação de *Azospirillum brasilense* na cultura do milho. **Ciências Agrárias**, v. 32, p.1687-1698, 2011

PEDROSO, R.S. **Custo de produção do milho safrinha**. Maracaju: Fundação Mato Grosso.2011.

RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J. & BENSON. G.O. **How a corn plant develops**. Ames, Iowa State University of Science and Technology, Cooperative Extension Service, p. 21 (Special Report, 48), 1993.

SALA, V.M.R.; CARDOSO, E.J.B.N.; FREITAS, J.G.; SILVEIRA, A.P.D. Resposta de genótipos de trigo à inoculação de bactérias diazotróficas em condições de campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 6, p. 833-842, 2007.

SANTOS, P.A.; SILVA, A.F.; CARVALHO, M.A.C.; CAIONE, G. Adubos verdes e adubação nitrogenada em cobertura no cultivo do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 9, n. 2, p. 123-134, 2010.

SILVA, A. A.; SILVA, T. S.; VASCONCELOS, A. C. P.; LANA, R. M. Q. Aplicação de diferentes fontes de ureia de liberação gradual na cultura do milho. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 1, p. 104-111, 2012.

SILVA, E.C.; MURAOKA, T.; MONTEIRO, R.O.C.; BUZETTI, S. Análise econômica da adubação nitrogenada no milho sob plantio direto em sucessão a plantas de cobertura em Latossolo Vermelho. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 29, n. 4, p. 445-452, 2007.

SOUZA, A. E.; REIS, J. G. M.; RAYMUNDO, J. C.; PINTO, R. S. Estudo da produção do milho no Brasil: regiões produtoras, exportação e perspectivas. **South American Development Society Journal**, São Paulo, v. 04, n. 11, p. 182-194, 2018.

TOTAL BIOTECNOLOGIA. **Azototal**. (a) Disponível em: Acesso em: 16 Agostos 2019.

TROEH, FREDERICK R.; THOMPSON, LOUIS M. **Solos e fertilidade do solo**. São Paulo: Andrei, p. 286, 2007.

USDA - **United States Department of Agriculture**. Disponível em: www.usdabrazil.org.br
Acesso em 5 de Setembro de 2019.

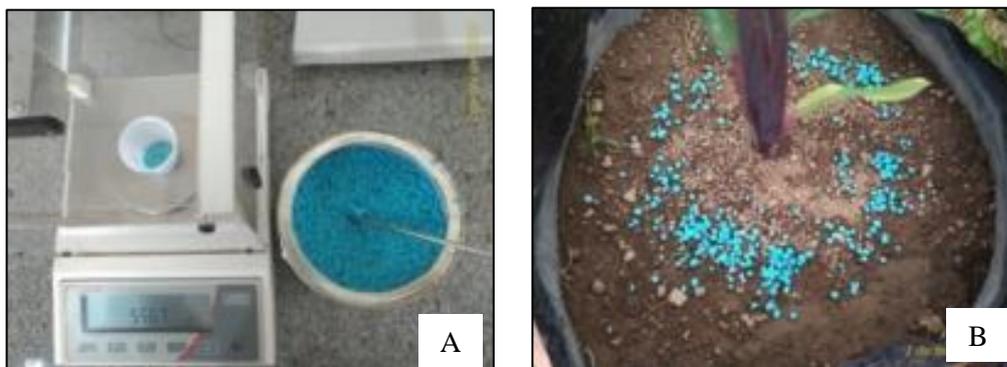
6 APÊNDICE - FIGURAS

FIGURA 27 – Pesagem (A) e aplicação de adubo NPK (B). Campos UFRA Parauapebas, 2019.



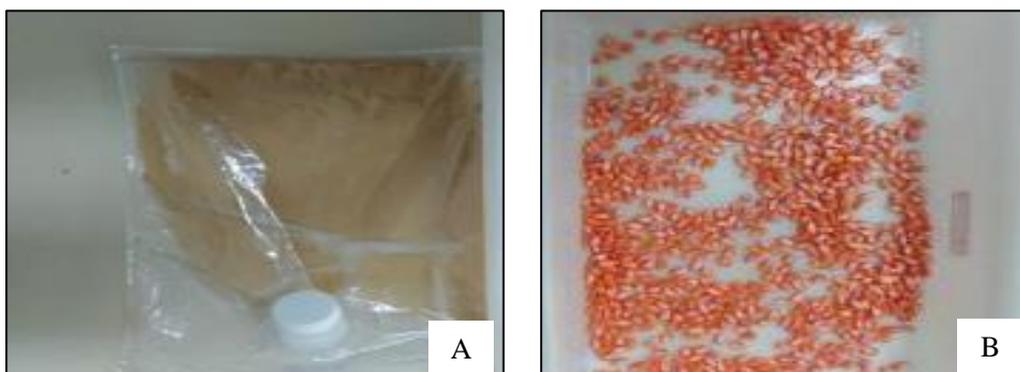
Fonte: O Autor

FIGURA 28 – Pesagem (A) e aplicação de adubo em cobertura (B). Campos UFRA Parauapebas, 2019.



Fonte: O Autor

FIGURA 29 - *Azospirillum brasiliense* na forma líquida (A), *Azospirillum brasiliense* inoculado nas sementes de milho (B). Campos UFRA Parauapebas, 2019.



Fonte: O Autor

FIGURA 30 - Plantio das Sementes. Campos UFRA Parauapebas, 2019.



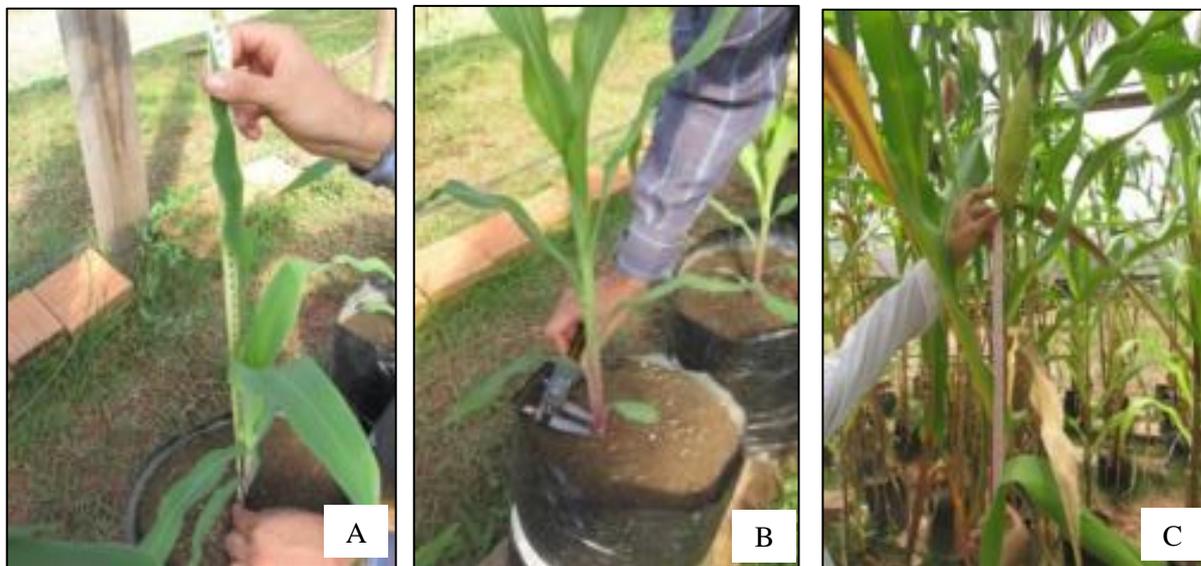
Fonte: O Autor

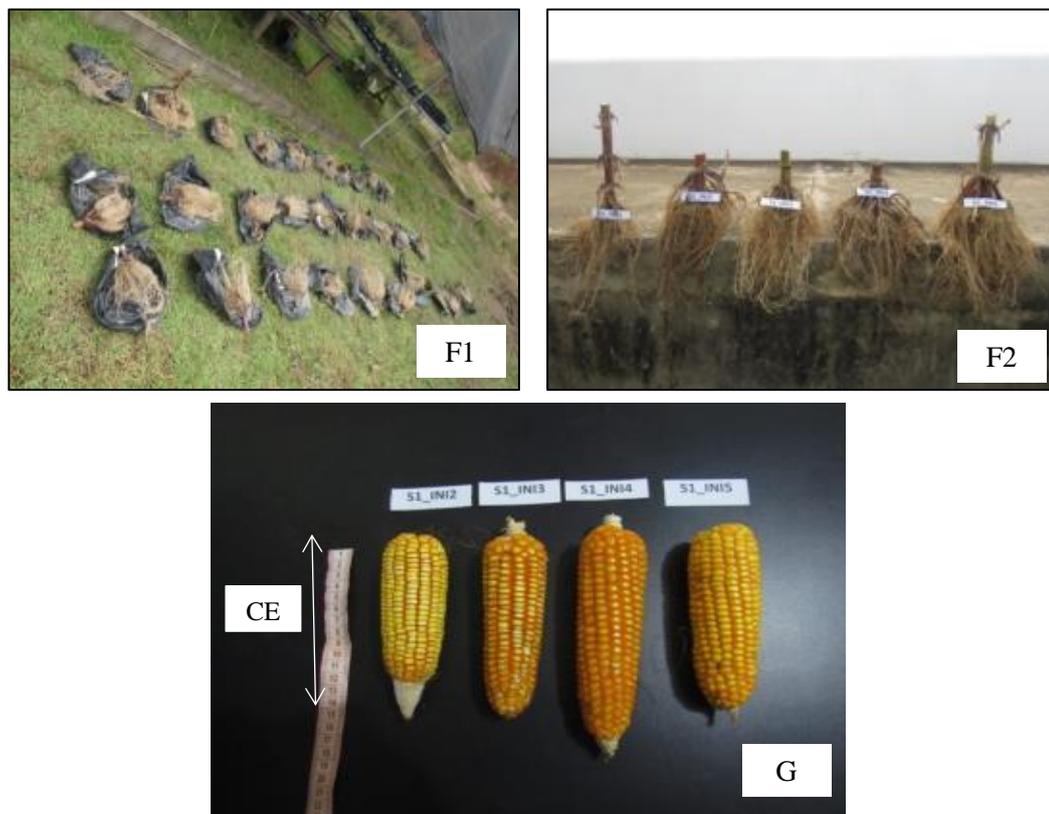
FIGURA 31 – Plantas desbastadas (A) e uma planta por vaso (B). Campos UFRA Parauapebas, 2019.



Fonte: O Autor

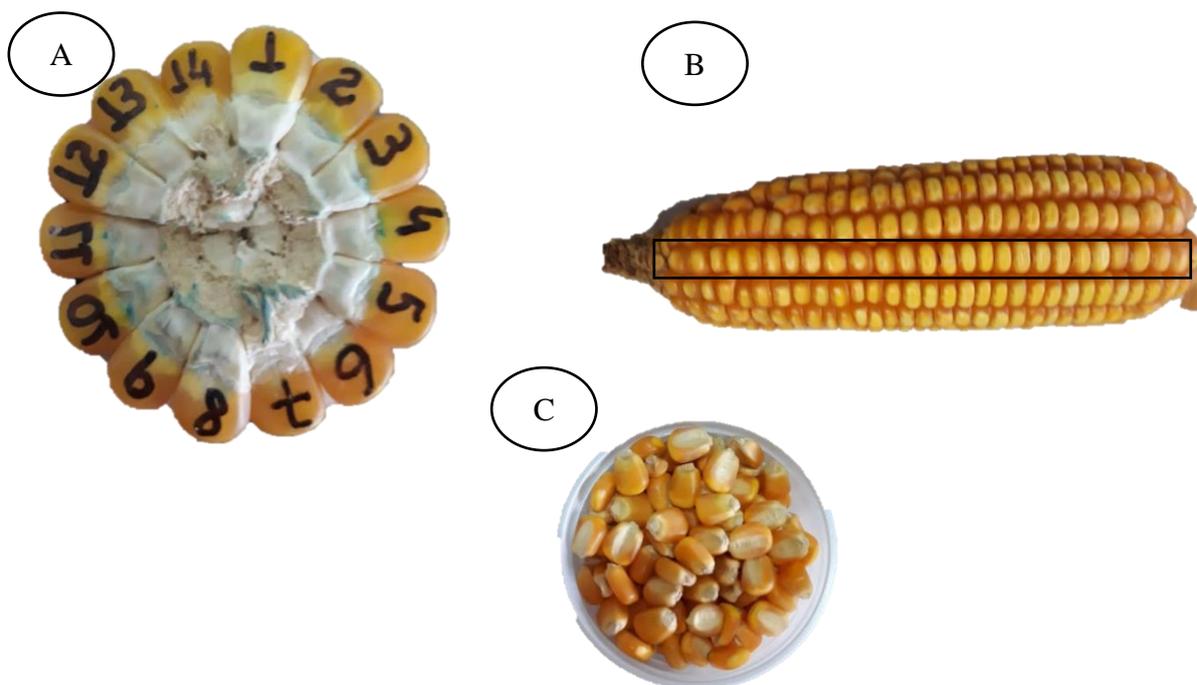
FIGURA 32 – Avaliação das plantas no campo: Altura da planta (A); Diâmetro do Colmo (B); Altura de Inserção da Espiga viável (C); IAF (D1 e D2); - Mensuração de unidade experimental utilizando o clorofilômetro (E1 e E2); Raízes secas ao ar (F1 e F2) e Comprimento da espiga utilizando trena (G). Campos UFRA Parauapebas, 2019.





Fonte: O Autor

FIGURA 33– Avaliação dos componentes de produção do milho: Número de Fileira de Grãos por Espiga (NGE) (A); Número de grão por fileira (NGF) (B) e Massa de Mil Grãos (C). Campos UFRA Parauapebas, 2019.



Fonte: O Autor