



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

MARILANIA DA SILVA SANTOS

**BACTÉRIAS DIAZOTRÓFICAS EM FABÁCEAS DA CAATINGA COM
POTENCIAL PARA INOCULAÇÃO EM SORGO CULTIVADO SOB
DÉFICIT HÍDRICO**

AREIA

2021

MARILANIA DA SILVA SANTOS

**BACTÉRIAS DIAZOTRÓFICAS EM FABÁCEAS DA CAATINGA COM
POTENCIAL PARA INOCULAÇÃO EM SORGO CULTIVADO SOB
DÉFICIT HÍDRICO**

Tese apresentada ao Programa de Doutorado Integrado em Zootecnia da Universidade Federal da Paraíba, Universidade Federal do Ceará como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Zootecnia.

Área de Concentração: Forragicultura

Comitê de Orientação:

Prof. Dr. Alberício Pereira de Andrade (UAG/UFRPE) - Orientador

Prof. Dr. Adailson Pereira de Souza (CCA/UFPB) - Coorientador

Prof. Dr. Divan Soares da Silva (CCA/UFPB) - Coorientador

AREIA

2021

**Catálogo na publicação Seção de
Catálogo e Classificação**

S237b Santos, Marilania da Silva.

Bactérias diazotróficas em fabáceas da Caatinga com potencial para inoculação em sorgo cultivado sob déficit hídrico / Marilania da Silva Santos. - Areia:UFPB/CCA, 2021.

73 f. : il.

Orientação: Alberício Pereira de Andrade.

Coorientação: Adailson Pereira de Souza, Divan Soares da Silva.

Tese (Doutorado)- UFPB/CCA.

1. Zootecnia. 2. Rizóbios nativos. 3. Plantas forrageiras. 4. Nitrogênio. 5. Estresse hídrico. I. Andrade, Alberício Pereira de. II. Souza, Adailson Pereira de. III. Silva, Divan Soares da. IV. Título.

UFPB/CCA-AREIA

CDU 636(043.2)



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

PARECER DE DEFESA DO TRABALHO DE TESE

**TÍTULO: “BACTÉRIAS DIAZOTRÓFICAS EM FABÁCEAS DA CAATINGA COM
POTENCIAL PARA INOCULAÇÃO EM SORGO CULTIVADO SOB DÉFICIT
HÍDRICO”**

AUTORA: MARILANIA DA SILVA SANTOS

ORIENTADOR: Prof. Dr. Albericio Pereira de Andrade

J U L G A M E N T O

CONCEITO: APROVADO

EXAMINADORES:

Prof. Dr. Albericio Pereira de Andrade

Albericio Pereira de Andrade
Presidente

Universidade Federal da Paraíba/UFPB

Aline Mendes Ribeiro Rufino
Profa. Dra. Aline Mendes Ribeiro Rufino

Examinadora

Universidade Federal da Paraíba/UFPB

Riselane de Lucena Alcântara Bruno
Profa. Dra. Riselane de Lucena Alcântara Bruno

Examinadora

Universidade Federal da Paraíba/UFPB

Pedro Dantas Fernandes
Prof. Dr. Pedro Dantas Fernandes

Examinador

Universidade Federal de Campina Grande /UFCG

Jacob Silva Souto
Prof. Dr. Jacob Silva Souto

Examinador

Universidade Federal de Campina Grande/UFCG

Areia, 25 de fevereiro de 2021

*A Deus, por me amar incondicionalmente e me dar forças para continuar a caminhada.
Aos meus amados Pais, Marilene Carmelita da Silva Santos e Francisco de Assis dos Santos
por me ensinarem que a maior herança que os pais podem deixar é a “Educação”.
Às minhas queridas irmãs Marquiela Marquênia da Silva Santos, Marquiline da Silva
Santos e Marília da Silva Santos.
A toda minha família.*

Dedico este trabalho, com todo meu amor, respeito e gratidão!

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, por estar presente em minha vida.

A toda a minha família, em especial, meu pai Francisco de Assis e minha mãe Marilene Carmelita, às minhas irmãs Marília, Marquilene e Marquiela, juntamente com meus sobrinhos Miguel, Lucas e Maria Sophia. Amo vocês.

Ao meu namorado Rkcio Andrade, pelo companheirismo, paciência, ajuda e carinho. Te adoro.

Agradeço à Universidade Federal da Paraíba, em especial aos que fazem o Centro de Ciências Agrárias - Areia, pela oportunidade de realização deste trabalho.

Ao Programa de po-s-graduação em Zootecnia, professores colaboradores e todos que fazem parte da sua administração.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pelo fomento da bolsa de estudos e manutenção financeira do experimento.

Ao meu orientador, Professor Dr. Albericio Pereira de Andrade, agradeço pela orientação, ensinamentos, paciência, dedicação e confiança durante os anos de mestrado e doutorado.

Ao Dr. Fernando Araújo pela grande contribuição dada ao trabalho, tendo sido bastante criterioso e cuidadoso na correção de parte do trabalho e por ter se mostrado prontamente disponível sempre que o consultei para tirar dúvidas.

Ao professor Dr. Adailson Pereira de Souza pelos ensinamentos prestados e uso do laboratório de microbiologia do solo, juntamente com sua aluna de doutorado Idaline Pessoa e os técnicos do laboratório Dr. Flávio e Helton, sem eles não seria possível a realização dos experimentos.

Ao professor Dr. Ivandro França por toda paciência, dedicação, humildade e por todas as contribuições dadas ao trabalho.

À professora Dra. Riselane Lucena de Alcântara Bruno, por ter cedido a casa de vegetação, para que pudéssemos realizar os experimentos e pelas contribuições durante a defesa de qualificação, bem como os técnicos do laboratório de sementes Sr. Rui e Sr. Zé.

À professora Dra. Aline Mendes Ribeiro Rufino, pelos ensinamentos, contribuições durante a defesa de qualificação e disponibilização dos orientados (João Paulo, Izabelly, Jaqueline, Gabriela e Aderson) para ajudar nas avaliações dos experimentos na casa de vegetação.

Ao professor Dr. Ariosvaldo Nunes de Medeiros por ter cedido o laboratório de r animal, para que pudéssemos realizar as análises. Agradeço também aos técnicos laboratório Dr. Juraci e Jota Sales.

Aos professores Dra. Ana Dolores, Dr. Divan Soares e Mailson pelos ensinamentos prestados.

À parte da minha banca examinadora, composta pelos professores, Pedro Dantas e Jacob Souto. Agradeço, imensamente, pelas contribuições dadas ao trabalho.

A todos os colegas que fizeram e fazem parte do grupo Lavoura Xerófila da UFPB. São eles, Ribamar, Janieire, Adeilson, Suelane, Italvan, Géssica e Danilo. Em especial a Mucio pessoa simples de tamanha inteligência e conhecimento, muito obrigada por todos os ensinamentos e ajuda.

Aos companheiros de Pós-Graduação: Thamires, Claudiana, João Pedro, Natalia, Andrezza, Welligton, Felipe, Tarsys, Cintia e Aliton. Em especial aos meus companheiros de estudo, verdadeiros amigos a quem tenho grande apreço, Elizabete, Kleitiane, Jessyca e Alex.

Enfim, a todas as pessoas que, traído por minha memória, foram esquecidas e que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho. Minha eterna gratidão.

Muito obrigada!

*“É graça divina começar bem, graça maior persistir na caminhada certa.
Mas “graças das graças é não desistir nunca.”*

(Dr. Helder Câmara)

BACTÉRIAS DIAZOTRÓFICAS EM FABÁCEAS DA CAATINGA COM POTENCIAL PARA INOCULAÇÃO EM SORGO CULTIVADO SOB DÉFICIT HÍDRICO

RESUMO GERAL:

Os rizóbios fazem fixação biológica de nitrogênio (FBN) em simbiose com plantas leguminosas. *Mimosa tenuiflora*, *Mimosa caesalpiniiifolia* e *Desmanthus pernambucanus* são algumas das fabáceas nativas do Semiárido que fixam N e ainda possuem características de adaptabilidade e resistência à variabilidade das condições edafoclimáticas dessa região. Em gramíneas essas bactérias são relevantes no estado de vida livre, utilizando o suprimento de carboidratos do ambiente para fixar nitrogênio (N). Estudos vêm demonstrando que a inoculação de rizóbios podem promover o crescimento vegetal de gramíneas. Gramíneas cultivadas no Semiárido, como o sorgo podem não apresentar uma boa produção, por isso é primordial encontrar formas para mitigar esse efeito da seca e baixa quantidade de N em forma orgânica nos solos. Este estudo envolveu dois experimentos. No primeiro objetivou-se avaliar o crescimento e as características morfológicas do sorgo forrageiro inoculados com rizóbios nativos da Caatinga sob condições hídricas contrastante. Para isso foi adotado o delineamento inteiramente ao acaso com arranjo fatorial 6 x 3. A inoculação foi feita com 5 isolados (MTBV77, MTP78, DPP1, MTBV12 e MCLR34) de rizóbios de espécies forrageiras (*Mimosa tenuiflora*, *Desmanthus pernambucanus* e *Mimosa caesalpiniiifolia*) e solo da região Semiárida, e mais um controle submetido a três condições hídricas, com 4 repetições. As características de crescimento, morfológicas e estruturais do sorgo foram submetidas à análise da variância e regressão pelo programa estatístico ASSISTAT e componentes principais pelo programa R. Houve interação entre os fatores avaliados para a maioria das variáveis, exceto para o número de folhas vivas e as características de crescimento. As variáveis avaliadas do sorgo apresentaram valores superiores quando submetido a inoculações com isolados em comparação com o controle exceto para matéria seca da raiz e nitrogênio total. O efeito positivo dessas características aumentou linearmente de acordo com o avançar da condição hídrica normal. Os isolados nativos das espécies forrageiras promovem o crescimento e alteram as características morfológicas do sorgo em condições hídricas contrastantes, os isolados MTBV77, MTP78, DPP1 e principalmente o MTBV12 demonstram potencial para produção de inoculantes biológicos promissores. No segundo experimento, objetivou-se avaliar a promoção de crescimento e as características morfológicas do sorgo inoculado com rizóbios nativos associados com doses de N. O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso com arranjo fatorial duplo 6 x 4, sendo 5 isolados de rizóbios de espécies forrageiras nativas, mais um tratamento controle submetidos a doses de N (0, 40, 70 e 100kg de N/ha⁻¹). Foram avaliadas características morfológicas, estruturais e promoção de crescimento. Os valores das variáveis do sorgo inoculado com os isolados de rizóbios nativos, apresentam crescimento linear com as doses de N. Dentre os inoculantes avaliados alguns apresentaram maior NT (MTBV12, DPP1 e MTP78), maiores MSPA (MTP78, MTBV12 e MTBV77) e MSR (MCLR34). Indicando a promoção de crescimento desses rizóbios. A adubação nitrogenada não pode ser dispensada totalmente, porém esses inoculantes podem permitir uma economia na utilização dos fertilizantes nitrogenados, reduzindo os custos de produção e contribuindo para um manejo sustentável.

Palavras-chave: Rizóbios nativos. Plantas forrageiras. Nitrogênio. Disponibilidade hídrica.

DIAZOTROPHIC BACTERIA IN FABACEANS OF CAATINGA WITH POTENTIAL FOR INOCULATION IN SORGHUM CULTIVATED UNDER HYDRIC DÉFICIT

GENERAL ABSTRACT:

Rhizobia make biological nitrogen fixation (BNF) in symbiosis with leguminous plants. *Mimosa tenuiflora*, *Mimosa caesalpiniiifolia* and *Desmanthus pernambucanus* are some of the native fabáceas of the Semi-arid region that fix N and still have characteristics of adaptability and resistance to the variability of the edaphoclimatic conditions of that region. In grasses these bacteria are relevant in the free life state, using the supply of carbohydrates from the environment to fix nitrogen (N). Studies have shown that the inoculation of rhizobia can promote the growth of grasses, due to the fact that these bacteria produce plant hormones, control phytopathogenic agents, among others. Grasses grown in the semiarid, such as sorghum, may not produce good production, so it is essential to find ways to mitigate this effect of drought and low amount of N in organic form in the soil. This study involved two experiments. The first aimed to evaluate the growth and morphogenic characteristics of forage sorghum inoculated with rhizobia native to the Caatinga under contrasting water conditions. For this purpose, a completely randomized design with a 6 x 3 factorial arrangement was adopted. The inoculation was performed with 5 isolates (MTBV77, MTP78, DPP1, MTBV12 and MCLR34) from rhizobia of forage species (*Mimosa tenuiflora*, *Desmanthus pernambucanus* and *Mimosa caesalpiniiifolia*) and soil of the Semi-arid region, and another control subjected to three water conditions, with 4 repetitions. The growth, morphogenic and structural characteristics of sorghum were subjected to analysis of variance and regression by the statistical program ASSISTAT and main components by the program R. There was an interaction between the factors evaluated for most of the variables, except for the number of live leaves and the leaves. growth characteristics. The evaluated variables of sorghum showed higher values when subjected to inoculations with isolates compared to the control except for root dry matter and total nitrogen. The positive effect of these characteristics increased linearly according to the progress of the normal water condition. The native isolates of the forage species promote growth and alter the morphogenic characteristics of sorghum under contrasting water conditions, the isolates MTBV77, MTP78, DPP1 and mainly MTBV12 demonstrate potential for the production of promising biological inoculants. In the second experiment, the objective was to evaluate the growth promotion and morphogenic characteristics of sorghum inoculated with native rhizobia associated with doses of N. The experimental design was completely randomized with a 6 x 4 double factorial arrangement, 5 of which were isolated from rhizobia species. native forages, plus a control treatment subjected to doses of N (0, 40, 70 and 100kg of N / ha-1). Morphogenic and structural characteristics and growth promotion were evaluated. The values of the sorghum variables inoculated with the native rhizobia isolates, show linear growth with the doses of N. Among the inoculants evaluated, some presented higher NT (MTBV12, DPP1 and MTP78), higher MSPA (MTP78, MTBV12 and MTBV77) and MSR (MCLR34). Indicating the promotion of growth of these rhizobia. Nitrogen fertilization cannot be dispensed with entirely, but these inoculants can allow savings in the use of nitrogen fertilizers, reducing production costs and contributing to sustainable management.

Keywords: Native rhizobia. Forage plants. Nitrogen. Water availability.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1.1 Formas de RPCV's e seus mecanismos de ação no que se refere ao estímulo do crescimento vegetal.....	19
--	----

CAPÍTULO II

Tabela 2.1. Nome, hospedeiro de origem e local de coleta dos isolados	38
Tabela 2.2. Características fenotípicas dos isolados.....	39
Tabela 2.3. Atributos químicos do solo utilizado no ensaio.....	39
Tabela 2.4. Resumo da Anova para as variáveis estruturais e morfogênicas e de promoção do crescimento de plantas de sorgo forrageiro em função da interação entre os fatores isolados de rizóbios nativos x condição hídrica do solo.....	41
Tabela 2.5. Taxa de aparecimento foliar, filocrono, número de folhas vivas e duração de vida foliar de plantas de sorgo forrageiro em função da interação entre a inoculação com isolados de rizóbios x condição hídrica do solo.....	42
Tabela 2.6. Taxa de alongamento foliar, taxa de alongamento de colmo, comprimento final das folhas, comprimento final da planta e taxa de senescência foliar de plantas de sorgo forrageiro em função da interação entre a inoculação com isolados de rizóbios x condição hídrica do solo.....	43
Tabela 2.7. Massa seca da parte aérea, massa seca do sistema radicular e nitrogênio total da parte aérea de plantas de sorgo forrageiro em função da interação entre a inoculação com isolados de rizóbios x condição hídrica do solo.....	45

CAPÍTULO III

Tabela 3.1. Hospedeiro de origem e local de coleta dos isolados.....	56
Tabela 3.2. Atributos químicos do solo utilizado no ensaio.....	57
Tabela 3.3. Resumo da Anova para as variáveis estruturais, morfológicas e de crescimento de plantas de sorgo forrageiro em função da interação entre os fatores isolados de rizóbios nativos (I) x doses de N (N).....	59
Tabela 3.4 - Taxa de aparecimento foliar, Filocrono, Número de folhas vivas e Duração de vida das folhas de plantas de sorgo forrageiro em função da interação entre os fatores isolados de rizóbios nativos x doses de N.....	60

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

- Figura 1.1. Esquema de resposta das plantas submetidas a condições de estresse abiótico. Fonte: Fritsche-Neto et al., (2011).....22
- Figura 1.2. Mecanismo de tolerância a seca pelas RPCV's. Fonte: Adaptado de Vurukonda et al., (2016).....23
- Figura 1.3. Diagrama da relação entre as principais características morfogênicas e estruturais das forrageiras e os componentes estruturais do pasto, na fase vegetativa. Fonte: Chapman & Lemaire, 1993, adaptado por Sbrissia & Da Silva, 2008.....25

CAPÍTULO II

- Figura 2.1. Figura 2.1. Análise de componentes principais baseado nas características estruturais, morfogênicas e de promoção de crescimento do sorgo forrageiro inoculadas com diferentes isolados de rizóbios. Legenda: TApF - Taxa de aparecimento foliar; Fi - Filocrono; NFV - Número de folhas vivas por perfilho; DVF - Duração de vida folha, TALF - Taxa de alongamento foliar, TALC - Taxa de alongamento do colmo; CFF - Comprimento final da folha; TSeF - Taxa de senescência foliar; CFP - Comprimento final da planta; MSPA – Matéria seca da parte aérea; MSR – Matéria seca radicular e NT – Nitrogênio total.....46

CAPÍTULO III

- Figura 3.1. Taxa de alongamento do colmo (TALC - cm planta dia⁻¹) de plantas de sorgo cv. BRS Ponta negra inoculadas com isolados de rizóbios (MTBV12, DPP1, MTP78, MCLR34, MTBV77 e o tratamento controle sem inoculante = S/I) submetidas a níveis de adubação nitrogenada (0, 40, 70 e 100kg de N ha⁻¹, respectivamente: 0; 0,176; 0308 e 0,440g de N por vaso). Barras verticais representam o erro padrão da média.....62
- Figura 3.2. Comprimento final das folhas (CFF - cm) de plantas de sorgo cv. BRS Ponta negra inoculadas com isolados de rizóbios (MTBV12, DPP1, MTP78, MCLR34, MTBV77 e o tratamento controle sem inoculante = S/I) submetidas a diferentes níveis de adubação nitrogenada (0, 40, 70 e 100kg de N ha⁻¹, respectivamente: 0; 0,176; 0308 e 0,440g de N por vaso). Barras verticais representam o erro padrão da média.....63
- Figura 3.3. Taxa de senescência foliar (TSeF- cm planta dia⁻¹) de plantas de sorgo cv. BRS Ponta negra inoculadas com isolados de rizóbios (MTBV12, DPP1, MTP78, MCLR34, MTBV77 e o tratamento controle sem inoculante = S/I) submetidas a níveis de adubação nitrogenada (0, 40, 70 e 100kg de N ha⁻¹, respectivamente: 0; 0,176; 0308 e 0,440g de N por vaso). Barras verticais representam o erro padrão da média.....64

Figura 3.4. Comprimento final da planta (CFP - cm) de plantas de sorgo cv. BRS Ponta negra inoculadas com isolados de rizóbios (MTBV12, DPP1, MTP78, MCLR34, MTBV77 e o tratamento controle sem inoculante = S/I) submetidas a níveis de adubação nitrogenada (0, 40, 70 e 100kg de N ha⁻¹, respectivamente: 0; 0,176; 0308 e 0,440g de N por vaso). Barras verticais representam o erro padrão da média.....65

Figura 3.5. Massa seca parte aérea (MSPA - g) de plantas de sorgo cv. BRS Ponta negra inoculadas com isolados de rizóbios (MTBV12, DPP1, MTP78, MCLR34, MTBV77 e o tratamento controle sem inoculante = S/I) submetidas a níveis de adubação nitrogenada (0, 40, 70 e 100kg de N ha⁻¹, respectivamente: 0; 0,176; 0308 e 0,440g de N por vaso). Barras verticais representam o erro padrão da média..... 66

Figura 3.6. Massa seca do sistema radicular (MSR - g) de plantas de sorgo cv. BRS Ponta negra inoculadas com isolados de rizóbios (MTBV12, DPP1, MTP78, MCLR34, MTBV77 e o tratamento controle sem inoculante = S/I) submetidas a níveis de adubação nitrogenada (0, 40, 70 e 100kg de N ha⁻¹, respectivamente: 0; 0,176; 0308 e 0,440g de N por vaso). Barras verticais representam o erro padrão da média.....67

Figura 3.7. Nitrogênio total da parte aérea (NT - mg) de plantas de sorgo cv. BRS Ponta negra inoculadas com isolados de rizóbios (MTBV12, DPP1, MTP78, MCLR34, MTBV77 e o tratamento controle sem inoculante = S/I) submetidas a níveis de adubação nitrogenada (0, 40, 70 e 100kg de N ha⁻¹, respectivamente: 0; 0,176; 0308 e 0,440g de N por vaso). Barras verticais representam o erro padrão da média.....68

SUMÁRIO

	Página
CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	14
CAPÍTULO I.....	16
Referencial Teórico.....	16
1.1. Bioma Caatinga.....	17
1.2. Pastagens naturais e forrageiras cultivadas no Semiárido.....	17
1.2.1. Sorghum bicolor.....	18
1.2.2. Fabáceas da Caatinga.....	18
1.3. Rizobactérias promotoras de crescimento vegetal (RPCV).....	19
1.4. Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN).....	20
1.5. Produção de Fitormônios por RCPV's.....	21
1.6. O papel dos microrganismos na tolerância vegetal ao estresse hídrico.....	22
1.7. Características estruturais, morfogênicas e promoção de crescimento de plantas forrageiras.....	24
Bibliografia.....	27
CAPÍTULO II.....	34
PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO E CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS E MORFOGÊNICAS DE SORGO FORRAGEIRO INOCULADOS COM RIZOBACTÉRIAS NATIVAS SOB ESTRESSE HÍDRICO.....	34
Resumo.....	35
Abstract.....	36
2.1. Introdução.....	37
2.2. Material e Métodos.....	38
2.2.1. Local de pesquisa.....	38
2.2.2. Desenho experimental.....	38
2.2.3. Obtenção dos isolados de rizóbio.....	38
2.2.4. Instalação do experimento.....	39
2.2.4.1. Caracterização e preparo do solo.....	39
2.2.4.2. Variedade de sorgo.....	40
2.2.4.3. Inoculação dos isolados.....	40
2.2.4.4. Condições hídricas do solo durante o cultivo.....	40
2.2.5. Determinações e testes.....	40

2.2.6. Análise dos dados.....	41
2.3. Resultados e Discussão.....	41
2.5. Conclusão.....	47
Bibliografia.....	48
CAPÍTULO III.....	52
PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO E CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS E MORFOGÊNICAS DE SORGO FORRAGEIRO INOCULADOS COM RIZOBACTÉRIAS NATIVAS SOB NÍVEIS DE ADUBAÇÃO NITROGENADA.....	52
Resumo.....	53
Abstract.....	54
3.1. Introdução.....	55
3.2. Material e Métodos.....	56
3.2.1. Local de pesquisa.....	56
3.2.2. Desenho experimental.....	56
3.2.3. Obtenção dos isolados de rizóbio.....	56
3.2.4. Instalação do experimento.....	57
3.2.4.1. Caracterização e preparo do solo.....	57
3.2.4.2. Variedade do sorgo.....	57
3.2.4.3. Inoculação dos isolados.....	58
3.2.4.4. Aplicação de N.....	58
3.2.5. Determinações e testes.....	58
3.3. Resultados e discussão.....	59
3.4. Conclusão.....	68
Bibliografia.....	69

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

As características climáticas da região Semiárida do Brasil, principalmente a irregularidade da precipitação pluvial e alta temperatura, influenciam negativamente a disponibilidade de forragem para a pecuária local, uma atividade economicamente relevante para essa região (COUTINHO et al., 2015). Nesse sentido, aumentar a qualidade de forragem nessa região é imperativo para o fortalecimento dessa atividade.

O cultivo de forrageiras adaptadas ao clima semiárido como o sorgo forrageiro tem sido uma das alternativas para elevar a quantidade de forragem no Semiárido do país. Essa forrageira têm um grande potencial produtivo, tendo em vista suas características multifacetadas permitindo seu cultivo a diferentes regiões do país. Todavia as variedades apresentam respostas contrastantes ao estresse hídrico.

Diferentemente das forrageiras exóticas cultivadas, as plantas nativas da Caatinga são naturalmente adaptadas às condições edafoclimáticas locais. Algumas dessas plantas associam-se a microrganismos que lhes confere proteção contra a dessecação, promoção de crescimento, dentre outros benefícios (KAVAMURA, 2012).

Microrganismos simbiossiontes como as bactérias diazotróficas, por exemplo, são capazes de reduzir o nitrogênio atmosférico (N_2) para amônia (NH_3), suprindo, ao menos em parte a demanda de N pela planta (MOREIRA et al., 2010; BOUFFAUD et al., 2016), um nutriente essencial para a promoção do crescimento vegetal. O uso de microrganismos na agricultura, se mostra como uma opção para o manejo sustentável, pois o suprimento de N diminui a dependência e os impactos negativos causados pelos fertilizantes químicos.

As bactérias diazotróficas popularmente conhecidas como rizóbios, são as mais importantes para a agricultura moderna. Elas estão, geralmente, associadas à plantas leguminosas, mas também podem colonizar endofiticamente caules e folhas de plantas não leguminosas (BISWAS et al 2000; SINGH et al. 2006; OZÓRIO FILHO et al., 2014), podendo estimular o crescimento da planta, melhorar o aproveitamento dos nutrientes do solo (OZORIO et al 2016), produzir fitôrmonios, principalmente o AIA (ácido indolacético), controlar agentes fitopatogênicos e por meio da resistência sistêmica adquirida e induzida (TIEN et al., 1979; VESSEY, 2003; CHANDLER et al., 2008; CORDEIRO, 2017).

Nesse sentido, objetivou-se com este trabalho avaliar o crescimento e as características morfogênicas de plantas de sorgo forrageiro inoculadas com rizóbios oriundos da rizosfera de leguminosas nativas da Caatinga sob condições hídricas contrastante (Capítulo II), bem como avaliação da promoção de crescimento e características morfogênicas do sorgo inoculado com

rizóbios isolados de fabaceas da Caatinga e fertilizados com diferentes doses de N (Capítulo III).

CAPÍTULO I

Referencial Teórico

1.1. Bioma Caatinga

O bioma Caatinga é considerado o ecossistema de maior influência na região Nordeste do Brasil. Ocupa uma área de 1.037.517,80 km² que corresponde a, aproximadamente, 13% do território brasileiro e 70% da Região Nordeste, incluindo além de estados nordestinos (Paraíba, Rio Grande do Norte, Piauí, Pernambuco, Ceará, Sergipe, Alagoas e Bahia), também o norte do Estado de Minas Gerais (ALVES, 2007; SILVA et al., 2017).

O clima predominante conforme a classificação de Köppen, é do tipo BSw'h' tropical seco com a evaporação excedendo a precipitação, marcado também pela ocorrência de chuvas sazonais com precipitação pluvial escassa e mal distribuída (ANDRADE et al., 2010). A temperatura média anual varia de 24 a 28 °C, precipitação pluvial média de 250 a 1000 mm e evapotranspiração potencial de 2.700 mm/ano, caracterizando um déficit hídrico elevado (CASSUCE, 2012). Os solos são, em geral, pouco intemperizados, em função da escassez de chuvas. Em média, são quimicamente adequados, mas possuem restrições físicas, por serem, em sua maioria, rasos e pedregosos (ARAÚJO FILHO, 2013).

A vegetação da Caatinga é constituída por uma mistura de espécies herbáceas, arbustivas e arbóreas que, de acordo com Cassuce (2012), possui grande potencial de produção de forragem, sendo na maioria das vezes, a principal fonte para alimentação animal na região.

1.2. Pastagens naturais e forrageiras cultivadas no Semiárido

A agricultura tradicional na região Semiárida está sujeita às mudanças climáticas, apresentando problemas de rendimentos e de mercado (ALVES et al., 2009). Assim, a pecuária tornou-se a principal atividade agropecuária na Caatinga, tendo como base de sustentação a vegetação nativa (MOREIRA et al., 2007). Os recursos forrageiros da Caatinga incluem uma grande diversidade de plantas (SANTOS et al., 2010; NUNES et al., 2015; SILVA, 2017), mas a sazonalidade climática limita o potencial produtivo e nutricional da vegetação e isso interfere na produção animal (SILVA, 2017).

Como nem sempre as condições fisiológicas naturais do ambiente são respeitadas, as atividades antrópicas costumam impactar negativamente os ecossistemas de pastagem natural da Caatinga. Desta forma é preciso priorizar a utilização de um manejo sustentável, além de torna-se relevante enriquecer a pastagem com forrageiras adaptadas a ambientes que possuem necessidade hídricas contrastantes utilizadas para produção de alimentos para animais, tais como o sorgo, que apresenta alto potencial de rendimento em condições edafoclimáticas limitadas (IIJIMA et al., 2016; SILVA, 2017).

1.2.1. *Sorghum bicolor*

O sorgo é uma planta do tipo C4, ereta, constituída a partir de um tronco principal com desenvolvimento dependente do genótipo e das condições de cultivo, como temperatura e fontes de nutrientes (CIAMPITTI e PRASAD, 2016; SILVA, 2017). De acordo com sua aptidão, as cultivares de sorgo podem ser classificadas em granífera, forrageira e de duplo propósito, cuja diferenciação se dá através de características como mudança no ciclo, capacidade de produção de MS, grãos e também pelo seu porte. O sorgo forrageiro, caracteriza-se pelo porte alto, alta produtividade de matéria verde, menor proporção de panículas, em torno de 10% de grãos (MATEUS et al., 2011; PARENTE et al., 2014).

Dentre as variedades do sorgo, a BRS *Ponta Negra* apresenta autopolinização, sendo de ciclo médio, com maior precocidade para consumo animal, cerca de 90 dias, enquanto outras cultivares atingem o ponto ideal aos 100 dias. Tal característica credencia o Ponta Negra como cultivar viável para regiões com restrições hídricas (SANTOS et al., 2007).

Apesar do alto potencial produtivo, e da grande disponibilidade de cultivares adaptadas às diferentes regiões, muitas vezes, a baixa disponibilidade de nutrientes orgânicos no solo limita a produtividade do sorgo (PARENTE et al., 2014).

1.2.2. *Fabaceas da Caatinga*

A Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) é a principal forma de entrada de nitrogênio (N) nos ecossistemas naturais (FREITAS et al., 2015) e em sistemas agrícolas de subsistência. Em regiões áridas e Semiáridas, leguminosas fixadoras, frequentemente, obtêm mais que a metade de seu N por meio da FBN, porém a quantidade fixada varia muito, dependendo da especificidade da simbiose e das características ambientais (STAHL et al., 2002; RADDAD et al., 2005; ANDREWS et al., 2011; FREITAS et al., 2015).

A Caatinga é rica em plantas leguminosas, possuindo cerca de 605 espécies (BFG, 2015). Dentre elas, associam-se a rizóbios: *Mimosa tenuiflora*, *Mimosa caesalpiniiifolia* e *Desmanthus pernambucanus* (FREITAS et al., 2014; LIMA et al., 2015; DIAS et al., 2019). Essas plantas são adaptadas às condições de alta temperatura e distribuição irregular de chuvas, e são capazes de crescer e, potencialmente, fixarem nitrogênio, com vantagens sobre outras espécies que não se adaptam ao clima da região, tornando-se relevantes os estudos dos rizóbios associados a aquelas espécies (MEDEIROS et al., 2009; DIAS, 2018).

1.3. Rizobactérias promotoras de crescimento vegetal (RPCV)

O aprimoramento de tecnologias para produção agrícola no Semiárido brasileiro precisa ter como base estratégias que visem à redução dos efeitos da baixa disponibilidade hídrica nos sistemas produtivos, sendo ao uso de inoculantes bacterianos promotores de crescimento vegetal de plantas forrageiras uma alternativa promissora.

Sustentar a alta produção é relevante para a agropecuária moderna, porém é interessante que essas atividades alterem o mínimo possível os ecossistemas naturais. O uso de rizobactérias promotoras do crescimento vegetal (RPCV) é uma maneira de diminuir o impacto ambiental negativo da utilização de fertilizantes químicos. As RPCV's são bactérias do solo que colonizam a rizosfera das plantas, crescendo dentro ou ao redor dos tecidos vegetais estimulando o crescimento da planta por vários mecanismos (KLOEPPER e SCHROTH, 1978; PÉREZ-MONTAÑO et al., 2014).

Estirpes de RPCV's têm sido indicadas como biofertilizantes por sua capacidade de promover o crescimento vegetal (SOUSSE et al., 2015). Com base em seu mecanismo de ação, as RPCV's podem ser usadas em inóculos de três formas gerais: biofertilizante, fitoestimulador e biopesticida ou biocontrole (Tabela 1.1).

Tabela 1.1. Formas de RPCV's e seus mecanismos de ação no que se refere ao estímulo do crescimento vegetal

Formas RPCV	Definição	Mecanismos de ação	Referências
Biofertilizantes	Substância contendo microrganismos vivos que quando aplicado na semente, superfície do solo ou planta, coloniza a rizosfera e promove o crescimento das plantas, através do aumento de nutrientes para a planta hospedeira	Fixação biológica de nitrogênio	Vessey (2003)
		Utilização de fosforo insolúvel	Somers et al (2004)
Fitoestimulador	Microrganismos com capacidade de produzir fitormônios tais como: ácido indolacético, ácido giberélico, citoquininas e etileno	Produção de fitormônios	Lugtenberg et al. (2002)
			Somers et al (2004)
Biocontrole	Microrganismos que promovem o crescimento das plantas controlando agentes fitopatogênicos	Produção de antibióticos e sideróforos	Vessey (2003)
		Resistência sistêmica adquirida e induzida	Chandler et al. (2008)

Fonte: Bhattacharyya e Jha (2012)

1.4. Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN)

O Nitrogênio é o nutriente mais requerido quando se trata do crescimento e produção vegetal. O nitrogênio atmosférico (N_2), entretanto, não pode ser aproveitado pelos vegetais, sendo necessário a sua conversão em amônia. Essa conversão se dá mais eficientemente através da fixação biológica do nitrogênio (FBN) realizada por grupos específicos de bactérias que possuem a enzima nitrogenase (BISWAS e GRESSHOFF, 2014; BRAGA, 2016).

Os microrganismos que interagem simbioticamente com hospedeiros específicos, formando estruturas especializadas para fixar o nitrogênio, recebem o nome de microrganismos diazotróficos simbióticos. Estão agrupados em dois grupos principais de bactérias, os rizóbios Alfa-proteobactérias que se associam, essencialmente, com plantas da família Fabaceae (popularmente denominadas de leguminosas) e as Frankia Actinobactérias que se associam a uma gama mais ampla de plantas (FRANCHE et al., 2009; DIAS, 2018).

A FBN é muito associada a bactérias do gênero *Rhizobium* que fazem simbiose com plantas leguminosas, todavia o termo “rizóbio” é usado para uma gama de outros gêneros que fixam N atmosférico. A FBN não ocorre, exclusivamente em plantas leguminosas, pois existem plantas de outras famílias que formam associações assimbióticas, com bactérias de vida livre, tais como: *Azospirillum*, *Azobacter*, *Gluconoacetobacter*, entre outras. A fixação biológica de nitrogênio é um tanto complexa, sendo necessários vários genes nif (nifH, nifD, nifY, nifB, nifQ, nifE, nifN, nifX, nifS, nifV, nifW, nifZ) na genética dos microrganismos para a síntese da nitrogenase (FRANCHE et al., 2009).

Quando se estuda o processo de FBN em plantas não leguminosas é importante considerar a influência exercida pelo genótipo da planta no processo de interação com os potenciais fixadores de N_2 , além dos fatores abióticos do meio e da competitividade com os demais microrganismos locais e o desempenho dos diferentes genótipos do hospedeiro (BERGAMASCHI et al., 2007; DOBEREINER, 1997; REIS JUNIOR et al., 2000; OLIVEIRA, 2012; SILVA, 2017).

Embora a associação entre rizóbios e plantas leguminosas seja mais comum, existem evidências de poderem colonizar, também, caules e folhas de plantas não leguminosas (YANNI e DAZZO, 2010; OSORIO FILHO et al., 2014; HAHN et al., 2014; OSÓRIO FILHO et al., 2016). Os rizóbios que vivem no interior da planta hospedeira, são capazes de solubilizar fosfato de cálcio, óxidos de zinco, sintetizar fitormônios e sideróforos, realizar controle biológico (ação antagônica a determinados fungos e bactérias patogênicas) e induzir resistência sistêmica ao hospedeiro (HALLMANN et al., 1997, BABALOLA, 2010; HAYAT et al., 2010, SOKOLOVA et al., 2011; CORDEIRO, 2017).

1.5. Produção de Fitormônios por RCPV's

A produção de fitormônios por RCPV's pode estimular o crescimento do sistema radicular e, conseqüentemente melhorar a capacidade do uso de nutrientes e água das plantas hospedeiras, tornando-se indispensável e um grande avanço para uma agricultura sustentável.

Dentre os hormônios vegetais as auxinas são os responsáveis pelo estímulo do crescimento vegetal, sendo o ácido indol-3-acético (AIA) a principal delas. Cerca de 80% dos microrganismos isolados da rizosfera de culturas agrícolas possuem a capacidade de sintetizar e liberar auxinas como metabólitos secundários (AHEMAD e KIBRET, 2014). Várias vias de biossíntese do AIA também são utilizadas por bactérias, podendo uma única estirpe bacteriana apresentar mais de uma via. O nível de expressão de AIA depende da via de biossíntese, localização dos genes envolvidos, as sequências reguladoras de DNA cromossômico ou plasmídico e a presença de enzimas que podem converter AIA livre ativo numa forma conjugada inativa (PATTEN e GLICK, 1996; SILVA, 2017).

As bactérias benéficas, predominantemente, sintetizam AIA através da via do ácido indol-3- pirúvico, uma via alternativa dependente em L-triptofano (SPAEPEN et al., 2007). Ao avaliar rizóbios isolados de leguminosas forrageiras nativas do Semiárido brasileiro, Dias (2018) observou que, em sua presença foram produzidas diferentes quantidades de Compostos Indólicos (CIs), sendo maior nas amostras onde houve acréscimo de L-triptofano. Estudando a produção de CIs, e o efeito da inoculação de rizóbios em gramíneas forrageiras, Machado et al. (2013), relataram que os rizóbios foram capazes de produzir CIs num ambiente com pequena e grande concentração de L-triptofano e, conseqüentemente, os rizóbios avaliados promoveram o crescimento de vegetal.

1.6. O papel dos microrganismos na tolerância vegetal ao estresse hídrico

O estresse é uma força ou condição adversa que inibe o funcionamento de um sistema biológico (JONES e JONES, 1989; KAVAMURA, 2012). Há estresses causados por fatores bióticos como patógenos, insetos, roedores e abióticos, como frio, calor, salinidade, seca, excesso de água, radiação, poluentes, vento e perda de nutrientes do solo (MAHAJAN e TUTEJA, 2005; KAVAMURA, 2012).

Os estresses abióticos podem acarretar em efeitos nas plantas a partir de alterações da expressão gênica e do metabolismo celular (FRITSCH NETO et al., 2011). A severidade, duração e o tempo de exposição com que um fator é imposto, influenciam a resposta das plantas ao estresse hídrico, mas também podem influenciar os tecidos afetados, a fase de desenvolvimento e o genótipo vegetal (Figura 1.1).

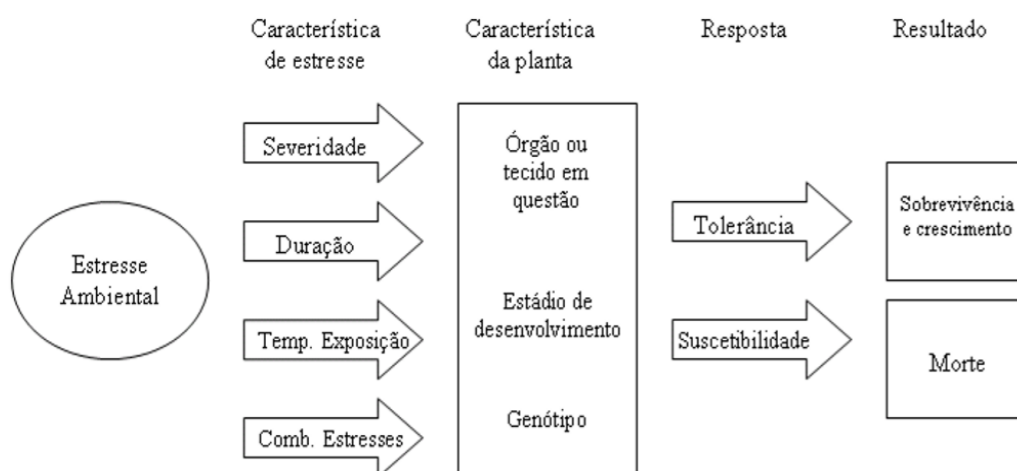


Figura 1.1. Esquema de resposta das plantas submetidas a condições de estresse abiótico
Fonte: Fritsche-Neto et al. (2011).

A resposta ao estresse pode gerar uma série de consequências que irão afetar o crescimento e desenvolvimento das plantas. Dependendo do nível de tolerância e susceptibilidade ao estresse, a planta pode apenas sobreviver, mesmo com seu desenvolvimento prejudicado, ou morrer.

A proteção de plantas contra os fatores de estresse ambiental pode ser adquirida de duas formas: inoculando-se microrganismos capazes de promover crescimento em condições de estresse, ou então, pela inserção de genes de resistência ao estresse em plantas via engenharia genética (KAVAMURA, 2012).

O isolamento de uma linhagem de *Bacillus* sp em cactáceas nativas da Caatinga que foi capaz de mitigar os efeitos da seca impostos à plantas de milho, com significativa melhora no crescimento (KAVAMURA et al., 2013). Os mesmos autores apontam que as bactérias isoladas de ambientes secos são mais tolerantes ao estresse por seca, sendo capazes de aumentar o teor de água na planta sob estresse hídrico, promovendo também seu crescimento devido a mecanismos de ação encontrados nos isolados.

O papel dos microrganismos no crescimento da planta, o manejo de nutrientes e a atividade de biocontrole é muito bem estabelecida. Esses microrganismos benéficos colonizam a rizosfera e conferem tolerância à seca através da produção de exopolissacarídeos (EPS), fitormônios, 1-aminociclopropano-1-carboxilato deaminase, compostos voláteis, induzindo o acúmulo de osmólitos, antioxidantes, aumento ou diminuição na regulação de genes responsivos ao estresse e alteração na morfologia radicular na aquisição da tolerância à seca (VURUKONDA et al., 2016) (Figura 1.2).

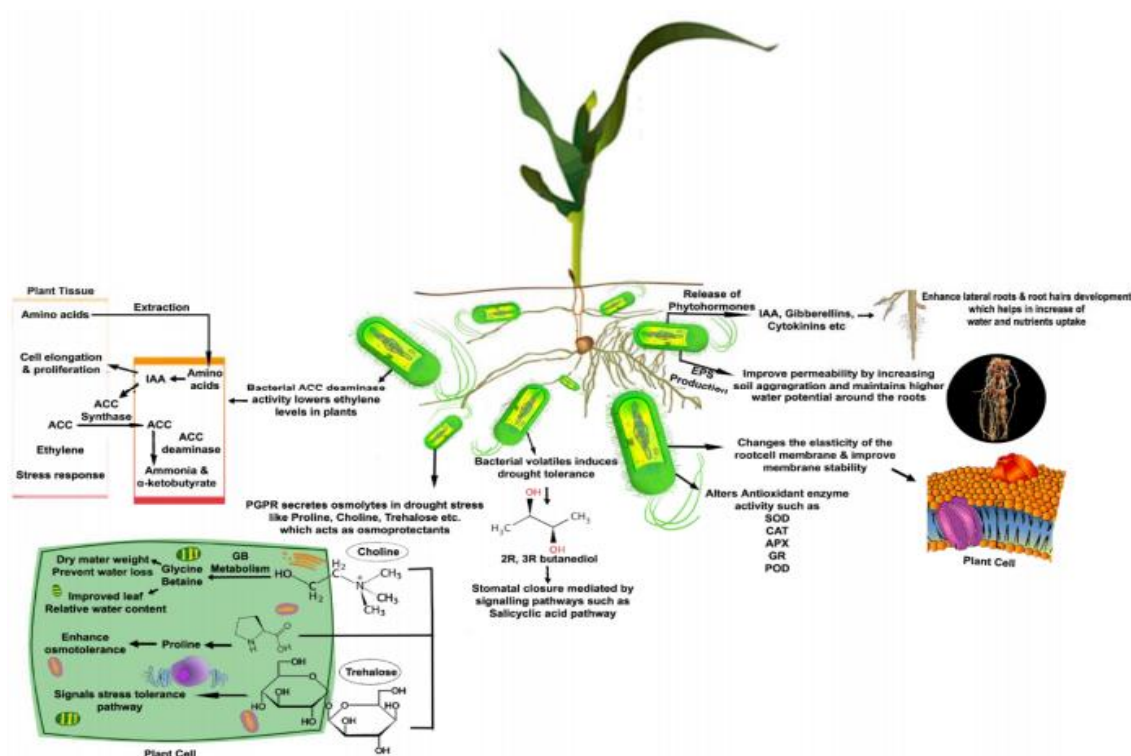


Figura 1.2. Mecanismos de tolerância a seca pelas RPCV's. Fonte: Adaptado de Vurukonda et al., (2016).

A produção de 1-aminociclopropano-1-carboxilato deaminase, pelas RPCV's em condições de estresse hídrico, funciona da seguinte forma: essa enzima, catalisa a degradação do ácido 1aminociclopropano-1- carboxílico (ACC), o precursor do hormônio vegetal etileno, em α -cetobutirato e amônia, diminuindo os níveis de etileno produzidos pelas plantas submetidas a estresse e, consequentemente, os danos à planta (ALI et al., 2014).

Ao isolarem bactérias da rizosfera de milho em meio de cultivo contendo ACC, como única fonte de nitrogênio, Shaharoon et al. (2006), observaram uma correlação positiva entre a produção de ACC deaminase e o alongamento radicular quando realizaram testes de promoção de crescimento em milho sob condições axênicas. Com isso, concluíram que a seleção de bactérias com base na presença da enzima ACC deaminase é uma ferramenta eficiente na escolha de RPCPs, podendo ser utilizada como biofertilizante para auxiliar no crescimento vegetal.

Apesar de constituído majoritariamente por carboidratos, os Exopolissacarídeos (EPS) são formados por diferentes biomoléculas, como proteínas, ácidos nucleicos, fosfolipídeos e vários compostos orgânicos de distintos grupos funcionais, além de constituintes inorgânicos (SINGH et al., 2011; GOMES et al., 2016). Os EPS formados em torno das raízes, aderindo às

superfícies externas que contêm umidade suficiente, funcionando como uma rede de material fibrilar que conecta permanentemente a bactéria à superfície radicular (NASEEM et al., 2018), por isso em caso de estresse hídrico a produção desses EPS é utilizada como recursos contra a dessecação da célula bacteriana.

1.7. Características estruturais, morfogênicas e promoção de crescimento de plantas forrageiras

A caracterização de variáveis relacionadas ao crescimento é fundamental para se entender o desenvolvimento de uma planta, em determinadas circunstâncias, pois, apesar de as características morfogênicas (alongamento de colmo e folhas, aparecimento de folhas e duração de vida da folha) serem determinadas geneticamente, e elas são altamente influenciadas por variáveis ambientais, como temperatura e disponibilidade hídrica e de nutrientes (FISCHER e SILVA 2001; COUTINHO et al., 2015), como podemos observar no diagrama contido na Figura 1.3.

A combinação dessas variáveis morfogênicas determina as seguintes características estruturais: relação lâmina/colmo, tamanho da folha, densidade populacional de perfilho e número de folhas vivas por perfilho. As folhas vão receber influência da qualidade da luz e do índice de área foliar (IAF), refletindo-se no manejo. Além disso, as características estruturais e morfogênicas também estão relacionadas com as avaliações de promoção de crescimento vegetal. A caracterização de plantas forrageiras, através de avaliações morfogênicas é relevante para elaboração de estratégias e tomada de decisões para melhor explorar o seu potencial produtivo (MARTINI et al., 2019).

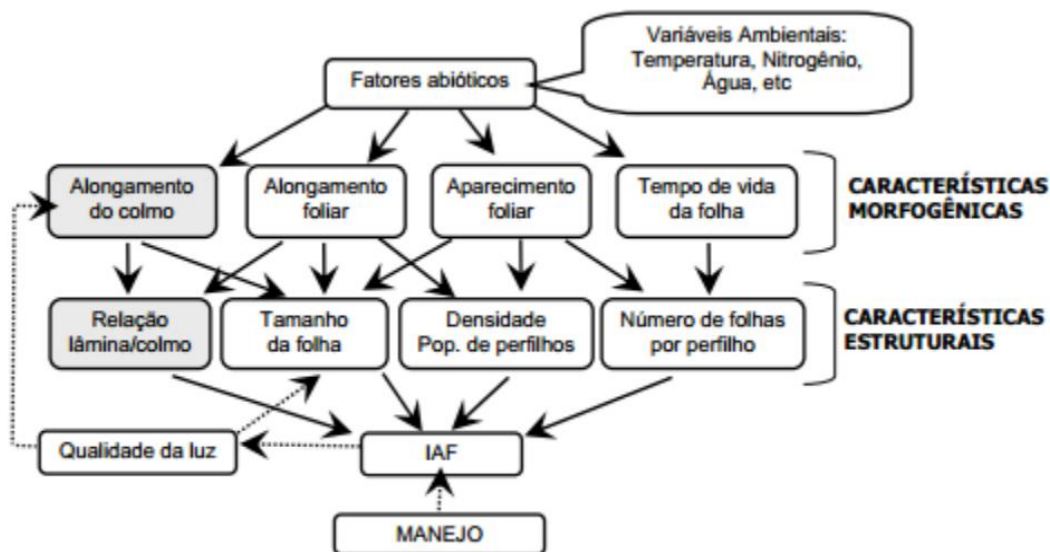


Figura 1.3. Diagrama da relação entre as principais características morfogênicas e estruturais das forrageiras e os componentes estruturais do pasto, na fase vegetativa. Fonte: Chapman e Lemaire, 1993, adaptado por Sbrissia e Da Silva, 2008.

A promoção de crescimento pelas RPCV's se dá por várias características destas e sua interação com as plantas, tais como, fixação biológica de N, produção de fitômonios, maior competição por nutrientes, produção de sideróforos como antagonismo contra fitopatógenos e, aumento da disponibilidade de minerais como fósforo, dentre outros, sendo avaliada nas pesquisas por meio de características de produção de matéria seca (MS) e da quantificação do nitrogênio da parte aérea e do sistema radicular da planta.

Em algumas pesquisas foi avaliada a promoção de crescimento vegetal associada as RPCV's, com abordagem de conteúdos relevantes. Como exemplo, Kavamura et al. (2013) investigaram rizobactérias de cactos do Semiárido brasileiro e, encontraram bactérias cultivadas em meio com reduzida disponibilidade hídrica, com a possibilidade de serem consideradas xerotolerantes. Em híbridos de milho enquanto Hahn et al. (2013) avaliaram inoculação de rizóbios isolados de nódulos de leguminosas como promotores de crescimento. Osório Filho et al. (2016), ao estudarem a indução de crescimento de arroz, inoculado com rizóbios associados a níveis de adubação nitrogenada, observaram aumento da produção de matéria seca, com a elevação das doses aplicadas de N, e constataram que os rizóbios testados estimularam o crescimento das plantas, com a possibilidade de diminuir as doses de N aplicadas na cultura.

Desta forma, a exploração de sistemas pastoris de forma sustentável, com menor uso de insumos minerais sem prejuízos aos rendimentos, pode ser obtida com o uso de rizóbios fixadores de nitrogênio, cuja ação pode ser complementada por mecanismos diretos de

promoção de crescimento de gramíneas cultivadas (MACHADO et al., 2017). Esses autores verificaram que assim como na interação entre rizóbios e leguminosas, a interação entre rizóbios e plantas de sorgo depende da afinidade entre as bactérias e a planta.

Para compreender os benefícios que às RPCV's proporcionam à culturas, mais esforços no desenvolvimento de inoculantes devem ser feitos, para se avaliar novas estirpes e tipos de formulações de inoculantes. Ao se persistir no benefício ambiental das RPCV's e na melhor eficiência dos inoculantes biológicos, as doses de fertilizantes químicos podem ser reduzidas desde que se garanta a produtividade desejada de forragem. Além disso, a utilização de inoculação biológica é uma prática promissora e com potencial para o desenvolvimento do manejo sustentável, nos casos de ecossistemas semiáridos, é importante priorizar um bom planejamento das atividades práticas da produção, pensando sempre em atender as necessidades do presente sem afetar os benefícios das gerações futuras.

BIBLIOGRAFIA

ANDREWS, M., JAMES, E.K., SPRENT, J.I., BODDEY, R.M., GROSS, E., REIS JR, F B. Nitrogen fixation in legumes and actinorhizal plants in natural ecosystems: values obtained using ^{15}N natural abundance. **Plant Ecology and Diversity**, v.4, n. 2, p.131-140, 2011.

AHEMAD, M.; KIBRET, M. Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: Current perspective. **Journal of King Saud University – Science**. v.26, n.1, p.1-20, 2014.

ALI, S. Z.; SANDHYA, V.; RAO, L. V. Isolation and characterization of droughttolerant ACC deaminase and exopolysaccharide-producing fluorescent *Pseudomonas* sp. **Ann Microbiol**. v.64, n.2, p.493-502, 2014.

ALVES, J. J. A. Geoecologia da caatinga no semi-árido do nordeste brasileiro. **Climatologia e Estudos da Paisagem**, v. 2, n. 1, p. 58-71, 2007.

ALVES, J. J. A.; ARAÚJO, M. A.; NASCIMENTO S. S. Degradação da caatinga: uma investigação ecogeográfica. **Revista caatinga**, v. 22, n. 3, p 126-135, 2009.

ANDRADE, A. P.; COSTA, R. G.; SANTOS, E. M. Produção animal no semiárido: o desafio de disponibilizar forragem, em quantidade e com qualidade, na estação seca. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v. 4, n. 4, p. 01-14, 2010.

BABALOLA, O. O. Beneficial bacteria of agricultural importance. **Biotechnology letters**, v. 32, n. 11, p. 1559-1570, 2010.

BERGAMASCHI, C.; ROESCH, L. F. W.; QUADROS, P. D.; CAMARGO, F. A. O. Ocorrência de bactérias diazotróficas associadas a cultivares de sorgo forrageiro. **Ciência Rural**, v 37, p. 727-733, 2007.

BISWAS, J.C.; LADHA, J.K.; DAZZO, F.B.; YANNI, Y.G.; ROLFE, B.G. Rhizobial inoculation influences seedling vigor and yield of rice. **Agronomy Journal**, V. 92, p. 880-886, 2000.

BISWAS, B.; GRESSHOFF, P.M. The role of symbiotic nitrogen fixation in sustainable production of biofuels. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 15, n.5, p. 7380-7397, 2014.

BRAGA, A. P. A. **Rizobactérias nativas da Caatinga com potencial para redução dos efeitos da seca em soja (*Glycine max* L.)**. 2016. 87f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2016.

BRASILIAN FLORA GROUP. Growing knowledge: an overview of Seed Plant diversity in Brazil. **Rodriguésia**, v. 66, n.4, p. 1085-1113, 2015.

BHATTACHARYYA, P. N.; JHA, D. K. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. **World Journal Microbiol Biotechnol**, v.28, p.1327–1350, 2012.

CASSUCE, M. R. **Fitossociologia e composição bromatológica de espécies herbáceas e subarbuscivas em áreas de caatinga sob pastejo**. 2012. 88f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias, Areia-PB, 2012.

CIAMPITTI, I. A.; PRASAD, P. V. V. Historical Synthesis-Analysis of Changes in Grain Nitrogen Dynamics in Sorghum. **Frontiers in Plant Science**, v 7, p. 1-11, 2016.

CHANDLER, D.; DAVIDSON, G.; GRANT, W. P.; GREAVES, J.; TATCHELL, G. M. Microbial biopesticides for integrated crop management: an assessment of environmental and regulatory sustainability. **Trends Food Sci Tech**, v. 19, n.5, p. 275-283, 2008.

CORDEIRO, J. E. B. **Desempenho agrônômico do milho em resposta em resposta a inoculação com bactérias promotoras de crescimento de plantas**. 2017. 87f. Dissertação (Mestrado em manejo e conservação de ecossistemas naturais e agrários). Universidade Federal de Viçosa - Campus Florestal, 2017.

COSTA, A. R. F. C.; COSTA, J. P. N.; MEDEIROS, J. F.; SILVA, M. V. T.; LINO, V. A. S. Desempenho de variedades de sorgo dupla aptidão submetidas a diferentes lâminas de irrigação com água salina. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.18, n.3, p. 417-428, 2019.

COUTINHO, M. J. F.; CARNEIRO, M. S. S.; EDVAN, R. L.; SANTIAGO, F. E. M.; ALBUQUERQUE, D. R. Características morfogênicas, estruturais e produtivas de capim-buffel sob diferentes turnos de rega. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 2, p. 216-224, 2015.

DIAS, S. M. **Rizóbios isolados de fabáceas forrageiras do semiárido: biodiversidade e eficiência simbiótica**. 2018. 83f. Tese (Doutorado em Zootecnia). Universidade Federal da Paraíba - Centro de ciências Agrárias, Areia – Pb, 2018.

DIAS, S. M.; ANDRADE, A. P.; SOUZA, A. P.; MAGALHÃES, A. L. R.; BRUNO, R. L. A.; VALENÇA, R. L. Morphophysiology of rhizobia isolated from native forage of fabaceae of the caatinga. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 4, p. 904 - 914, 2019.

DOBEREINER, Joana. A importância da fixação biológica de nitrogênio para a agricultura sustentável. **Revista Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento**, v.1, p.1-2, 1997.

FISCHER, A.; SILVA, S. C. O ecossistema de pastagens e a produção animal. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., 2001, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ESALQ, 2001. p. 733-754.

FRANCHE, C.; LINDSTRÖM K.; ELMERICH, C. Nitrogen-fixing bacteria associated with leguminous and non-leguminous plants. **Plant Soil**, v.321, p.35-59, 2009.

FREITAS, A. D. S.; SAMPAIO, E. V. S. B.; SANTOS, C. E. R. S.; SILVA, A. F.; SOUZA, R. J. C. Fixação biológica de nitrogênio no Semiárido Brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.8, p.585-597, 2015.

FREITAS, A. D. S. VIEIRA, BORGES, W. L.; ANDRADE, M. M. M.; SAMPAIO, V. S. B.; SANTOS, C. E. R. S.; PASSOS, S. R.; XAVIER, G. R.; MULATO, B. M.; LYRA, M. C. C. P.

Characteristics of nodule bacteria from Mimosa spp grown in soils of the Brazilian semiarid region. **African Journal of Microbiology Research**, V.8, N.8, P.788-796, 2014.

FRITSCHÉ-NETO, R.; VALE, J.C.; CAVATTE, P.C. Melhoramento para tolerância a estresses ou para eficiência no uso de recursos In: FRITSCHÉ-NETO, R.; BORÉM, A. **Melhoramento de plantas para condições de estresses abióticos**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2011. p. 30-38.

GOMES, R. P.; SOARES, R. S.; OLIVEIRA, B. F. R.; VIEIRA, T. M.; VIEIRA, J. D. G. Produção de exopolissacarídeos a partir de bastonetes grampositivos isolados de contaminantes de cultura de tecido vegetal. **Enciclopédia Biosfera**, v.13 n.24; p.1316-1328, 2016.

RADDAD, A.Y., SALIH, A.A., EL FADL, M., KAARAKKA, V., LUUKKANEN, O. Symbiotic nitrogen fixation in eight Acacia senegal provenances in dryland clays of the Blue Nile Sudan estimated by the ^{15}N natural abundance method. **Plant and Soil**, v. 275, p. 261-269, 2005.

HAHN, L.; SÁ, E. L. S.; MACHADO, R.G.; SILVA, W. R.; OLDRA, S.; DAMASCENO, R. G.; SCHONHOFEN, A. Growth promotion in maize with diazotrophic bacteria in succession with ryegrass and white clover. **American and Eurasian Journal of Agriculture & Environmental Science**, v.14. n.1, p.11-16, 2014.

HAHN, L.; SÁ, E. L. S.; SILVA, W. R.; MACHADO, R. G.; DAMASCENO, R. G. Promoção de crescimento de híbridos de milho inoculados com rizóbios e bactérias diazotróficas associativas. **Pesquisa agropecuária gaúcha**, v.19, n.1/2, p.33-40, 2013.

HAYAT, R.; ALI, S.; AMARA, U.; KHALID, R.; AHMED, I. Soil beneficial bacteria and their role in plant growth promotion: a review. **Annals of Microbiology**, v. 60, n. 4, p. 579-598, 2010.

HALLMANN, J.; QUADT-HALLMANN, A.; MAHAFFEE, W. F.; KLOPPER, J. W. Bacterial endophytes in agricultural crops. **Canadian Journal of Microbiology**, n. 43, n. 10, p. 895-914, 1997.

IJIMA, M.; AWALA, S. K.; WATANABE, Y.; KAWATO, Y.; FUJIOKA, Y.; YAMANE, K.; WADA, K. C. Mixed cropping has the potential to enhance flood tolerance of droughtadapted grain crops. **Journal of Plant Physiology**, v. 192, p.21-25, 2016.

JONES, H.G.; JONES, M.B. Introduction: some terminology and common mechanisms. In: JONES, H.G.; FLOWERS, T.J.; JONES, M.B. (Ed.). **Plants under stress**. Cambridge: Cambridge University Press, 1989. p. 1-10.

KAVAMURA, V. N. **Bactérias associadas às cactáceas da caatinga: promoção de crescimento de plantas sob estresse hídrico**. 2012. 244f. Doutorado (Microbiologia Agrícola). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

KAVAMURA, V.N.; SANTOS, S.N.; SILVA, J.L.; PARMA, M.M.; AVILA, L.A. Screening of Brazilian cacti rhizobacteria for plant growth promotion under drought. **Microbiological Research**, v. 168, n.4, p. 183-191, 2013.

KLOEPPER, J. W.; SCHROTH, M. N. Plant growth-promoting rhizobacteria on radishes. In: Proceedings of the IVth International Conference on Plant Pathogenic Station de Pathologie Vegetale et Phyto-Bacteriologie. **Bacteria**, v.2, p.879-82, 1978.

LIMA, K. D. R.; CHAER, G. M.; ROW, J. R. C.; MENDONÇA, V.; RESENDE, A. S. Seleção de espécies arbóreas para revegetação de áreas degradadas por mineração de piçarra na caatinga. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 1, p. 203 – 213, 2015.

LEMAIRE, G.; CHAPMAN, D. F. Tissue flows in grazed plant communities. In: HODGSON, J.; ILLIUS, A. W. (Eds.). **The ecology and management of grazing systems**. Wallingford, UK: CAB International, 1996. p. 3-36.

LINS, T. O. J. A.; CECATO, U.; PINHEIRO, A. A.; IWAMOTO, B. S.; KRUTZMANN, A.; BELONI, T.; SILVA, R. R. Características morfogênicas do capim-Tanzânia consorciado com Estilosantes Campo Grande ou adubado com nitrogênio sob pastejo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 4, p. 2739-2752, 2015.

LUGTENBERG, B. J.; CHIN-A-WOENG, T. F.; BLOEMBERG, G. V. Microbe– plant interactions: principles and mechanisms. **Antonie Leeuwenhoek**, v. 81, n.4, p. 373-383, 2002.

MACHADO, R. G.; SÁ, E. L. S.; BRUXEL, M.; GIONGO, A.; SANTOS, N. S.; NUNES, A. S. Indoleacetic Acid Producing Rhizobia Promote Growth of Tanzania grass (*Panicum maximum*) and Pensacola grass (*Paspalum sauriae*). **International Journal Of Agriculture & Biology**, v.15, n.5, p. 827-834, 2013.

MACHADO, R.G.; DE SÁ, E.L.S.; HAHN, L.; OLDRA, S.; SILVA, W.R. Rizóbios promotores de crescimento de sorgo (*Sorghum bicolor*). In: 62ª Reunião técnica anual da pesquisa do milho 45ª reunião técnica anual da pesquisa do sorgo, 2017, Rio Grande do Sul. **Anais...** Rio Grande do Sul: 2017, p.1-5.

MAHAJAN, S.; TUTEJA, N. Cold, salinity and drought stresses: na overview. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 444, p. 139-158, 2005.

MARTINI, A.P.M.; BRONDANI, I.L.; SILVA, V.S.; FILHO, D.C.A.; MARTINI, P.M.; ARGENTA, F.M. Características morfogênicas e estruturais do sorgo forrageiro submetido a lotação contínua com novilhos de corte suplementados. **Ciência animal brasileira**, v.20, p.1-11, 2019.

MATEUS, G.P.; CRUSCIOL, C.A.C.; BORGHI, E.; PARIZ, C.M.; COSTA, C.; SILVEIRA, J.P.S. Adubação nitrogenada de sorgo granífero consorciado com capim em sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n. 10, p.1161-1169, 2011.

MOREIRA, F.M.S.; SILVA, K.; NOBREGA, R.S. A.; CARVALHO, F. Bactérias diazotróficas associativas: diversidade, ecologia e potencial de aplicações. **Comunicata Scientiae**, v.1, n. 2, p. 74-99, 2010.

MOREIRA, J. et al. Consumo e desempenho de vacas guzerá e girolando na caatinga do sertão pernambucano. **Revista Caatinga**, v. 20, n. 3, p. 13-21, 2007.

NASEEM, H.; AHSAN, M.; SHAHID, M. A.; KHAN, S. N. Exopolissacarídeos que produzem rizobactérias e seu papel no crescimento das plantas e na tolerância à seca. **Journal of basic microbiology**, v.58, n. 12, p.1009-1022, 2018.

NUNES, A. T.; LUCENA, R.F.P.; SANTOS, M. V. F.; ALBUQUERQUE, U. P. Local knowledge about fodder plants in the semi-arid region of Northeastern Brazil. **Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine**, v. 11, p.1-12, 2015.

OLIVEIRA, C. A. **Estimativas de fixação biológica de nitrogênio em cana-de açúcar por $\delta^{15}\text{N}$** . 80f. 2012. Dissertação (Agricultura tropical e subtropical). Instituto Agrônomo, Campinas-SP, 2012.

OSORIO FILHO, B.D.; GANO, K.A.; BINZ, A.; LIMA, R.F.; AGUILAR, L. M.; RAMIREZ, A.; MELLADO, J. C.; SÁ, E. L. S.; GIONGO, A. Rhizobia enhance growth in rice plants under flooding conditions. **American and Eurasian Journal of Agriculture & Environmental Science**, v.14. n.8, p.707-718, 2014.

OSORIO FILHO, B. D.; BINZ, A., LIMA, R. F., GIONGO, A., SÁ, E. L. S. Promoção de crescimento de arroz por rizóbios em diferentes níveis de adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, v.46, n.3, p. 478-485, 2016.

SANTOS, M. V. F.; LIRA, M. A.; DUBEUX JUNIOR, J. C. B.; GUIM, A.; MELLO, A. C. L.; CUNHA, M. V. Potential of Caatinga forage plants in ruminant feeding. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, p. 204-215, 2010.

SANTOS, F.G. dos; RODRIGUES, J.A.S.; SCHAFFERT, R. E.; LIMA, J.M.P. De; PITTA, G.V.E.; CASELA, C.R.; FERREIRA, A.F. BRS Ponta Negra Variedade de Sorgo Forrageiro. **Comunicado Técnico** 145. Sete Lagoas, MG, Setembro, 2007.

SBRISSIA, A. F; SILVA, S.C. Compensação tamanho/densidade populacional de perfilhos em pastos de capim-marandu. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n.1, p.35-47, 2008.

SILVA, J. F. **Caracterização polifásica de bactérias promotoras de crescimento vegetal associadas ao sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] e ao milheto [*Penisetum glaucum* (L.) R.brown] cultivados no sertão de Pernambuco**. 2017. 97F. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais do Semiárido). Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina - PE. 2017.

SILVA, W. T. M.; LEONARDO, F. A. P.; SOUTO, J. S.; SOUTO, P. C.; LUCENA, J. D. S.; NETO, P. H. M. Deposição de serapilheira em áreas de Caatinga no Núcleo de Desertificação do Seridó. **ACSA**, Patos-PB, v.12, n.4, p.383-390, 2017.

SINGH, R.K.; MISHRA, R.P.N.; JAISWAL, H.K.; KUMAR, V.; PANDEY, S.P.; RAO, S.B.; ANNAPURNA, K. Isolation and identification of natural endophytic rhizobia from rice (*Oryza sativa* L.) through rDNA PCR-RFLP and sequence analysis. **Current Microbiology**, v. 52, p.117-122, 2006.

SINGH, R. P.; SHUKLA, M. K.; MISHRA, A.; KUMARI, P.; REDDY, C. R. K.; JHA, B. Isolation and characterization of exopolysaccharides from seaweed associated bacteria *Bacillus licheniformis*. **Carbohydrate polymers**, v. 84, n. 3, p. 1019-1026, 2011.

SHAHAROONA, B.; ARSHAD, M.; ZAHIR, Z.A. Effect of plant growth promoting rhizobacteria containing ACC-deaminase on maize (*Zea mays* L.) growth under axenic conditions and on nodulation in mung bean (*Vigna radiata* L.). **Letters in Applied Microbiology**, v. 42, p. 155-159, 2006.

SOUSSI, A.; FERJANI, R.; MARASCO, R.; GUESMI, A.; CHERIF, H.; ROLLI, E.; MAPELLI, F.; OUZARI, H. I.; DAFFONCHIO, D.; CHERIF, A. Plant-associated microbiomes in arid lands: diversity, ecology and biotechnological potential. **Plant Soil**, v. 405, n. 1-2, p.1-14, 2015.

SOKOLOVA, M. G.; AKIMOVA, G. P.; VAISHLYA, O. B. Effect of phytohormones synthesized by rhizosphere bacteria on plants. **Applied Biochemistry and Microbiology**, v. 47, n. 3, p. 274-278, 2011.

SOMERS, E.; VANDERLEYDEN, J.; SRINIVASAN, M. Rhizosphere bacterial signaling: a love parade beneath our feet. **Crit Rev Microbiol**, v.30, n. 4, p. 205-240, 2004.

SPAEPEN, S.; VANDERLEYDEN, J.; REMANS, R. Indole-3-acetic acid in microbial and microorganism-plant signaling. **FEMS Microbiology Reviews**, v. 31, p. 425-448, 2007.

PARENTE, H.N.; JUNIOR, O.R.S.; BANDEIRA, J.R.; PARENTE, M.O.M.; RODRIGUES, R.C.; ROCHA, K.S.; GOMES, R.M.S. Produtividade do sorgo forrageiro em função de quantidades crescentes de adubação fosfatada e nitrogenada. **Revista trópica: Ciências Agrárias e Biológicas**, v.08, n.01, p.01-10, 2014.

PATTEN, C.L.; GLICK, B.R. Bacterial biosynthesis of indole-3-acetic acid. **Canadian Journal Microbiology**, v.42, p.207-220, 1996.

PÉREZ-MONTAÑO, F.; ALÍAS-VILLEGAS, C.; BELLOGÍN, R.A.; CERRO, P.; ESPUNY, M.R.; JIMÉNEZ-GUERRERO, I.; LÓPEZ-BAENA, F.J.; OLLERO, F.J.; CUBO B. T. Plant growth promotion in cereal and leguminous agricultural important plants: From microorganism capacities to crop production. **Microbiological Research**, v.169, p.325–336, 2014.

REIS JUNIOR, FB.; SILVA, M.F.; TEIXEIRA, K.R.S.; URQUIAGA, S.; REIS, V.M. Identificação de *Azospirillum amazonense* associadas à *Brachiaria* spp., em diferentes épocas e condições de cultivo e produção de fitohormônio pela bactéria. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v 28, p.103-113, 2000.

STAHL, L., NYBERG, G., HÖGBERG, P., BURESH, R.J. Effects of planted tree fallows on soil nitrogen dynamics, above-ground and root biomass, N₂-fixation and subsequent maize crop productivity in Kenya. **Plant and Soil**, v. 243, p.103-117, 2002.

YANNI, Y.G.; DAZZO, F.B. Enhancement of rice production using endophytic strains of *Rhizobium leguminosarum* bv. *trifolii* in extensive field inoculation trials within the Egypt Nile Delta. **Plant and Soil**, v.336, p.129-142, 2010.

VESSEY, J. K. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. **Plant and Soil**, v. 255, n.2, p.571-586, 2003.

VURUKONDA, S. S. K. P.; VARDHARAJULA, S.; SHRIVASTAVA, M.; SKZ, A. Enhancement of drought stress tolerance in crops by plant growthpromoting rhizobacteria. **Microbiological research**, v.184, p.13–24, 2016.

CAPÍTULO II

Promoção de Crescimento e características estruturais e morfogênicas de sorgo forrageiro inoculados com rizobactérias nativas sob estresse hídrico

PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO E CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS E MORFOGÊNICAS DE SORGO FORRAGEIRO INOCULADOS COM RIZOBACTÉRIAS NATIVOS SOB ESTRESSE HÍDRICO

RESUMO:

A criação de ruminantes é uma das atividades econômicas mais importantes para a região semiárida do Nordeste do Brasil, mas a baixa produtividade das forrageiras cultivadas em sistema de sequeiro têm limitado a produtividade dos rebanhos. Nesse contexto, a adoção de tecnologias sustentáveis como o uso de bactérias promotoras do crescimento de plantas pode representar uma alternativa para melhorar a produção de forragem cultivada em sistema de sequeiro nessa região. Neste sentido, avaliou-se o crescimento e as características morfogênicas em plantas de sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* L.) inoculadas com rizobactérias nativas e cultivadas sob condições hídricas contrastantes. O experimento foi conduzido em vasos na casa de vegetação num delineamento inteiramente ao acaso com arranjo fatorial duplo 6 x 3. A inoculação foi realizada com os 5 isolados (MTBV12, MTBV77, MTP78, MCLR34 e DPP1) de rizóbios de espécies forrageiras nativas *Mimosa tenuiflora*, *Desmanthus pernambucanus* e *Mimosa caesalpiniiifolia* (MT, DP e MC), mais um tratamento controle, associados a níveis de condição hídrica normal, estresse hídrico moderado e estresse hídrico severo (80%, 40% e 20% de água disponível no solo), com 4 repetições, com total de 96 unidades amostrais. Foram avaliadas as características morfogênicas, estruturais e de promoção de crescimento do sorgo forrageiro. Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo programa estatístico ASSISTAT e análise de componentes principais (PCA) com o auxílio do software estatístico R. Os resultados indicam que as rizobactérias afetaram positivamente a produção de biomassa forrageira do sorgo (massa seca da parte aérea), inclusive sob estresse hídrico. Elas também beneficiaram as taxas de alongamento de folha e do colmo, bem como o comprimento final da planta mesmo em estresse severo. As rizobactérias associadas a *D. pernambucanus* (DPP1) e *M. tenuiflora* (MTBV77, MTP78 e MTBV12) têm potencial para atenuação dos efeitos do estresse hídrico e promoção do crescimento de sorgo forrageiro para cultivo em sistema de sequeiro na região semiárida do Nordeste do Brasil.

Palavras-chave: Forragem cultivada. Gramínea. Estresse hídrico. Bactérias diazotróficas.

GROWTH PROMOTION AND STRUCTURAL AND MORPHOGENIC CHARACTERISTICS OF FORAGE SORGHUM INOCULATED WITH NATIVE RHIZOBACTERIA UNDER WATER STRESS

ABSTRACT:

The creation of ruminants is one of the most important economic activities for the semi-arid region of Northeast Brazil, but the low productivity of forages cultivated in rainfed systems has limited the productivity of herds. In this context, the adoption of sustainable technologies such as the use of bacteria that promote plant growth may represent an alternative to improve the production of forage grown in rainfed systems in this region. In this sense, it was evaluated the growth and morphogenic characteristics of forage sorghum plants (*Sorghum bicolor* L.) inoculated with native rhizobacteria and grown under contrasting water conditions. The experiment was conducted in pots in the greenhouse in a completely randomized design with a 6 x 3 double factorial arrangement. The inoculation was performed with the 5 isolates (MTBV12, MTBV77, MTP78, MCLR34 and DPP1) from rhizobia of native forage species *Mimosa tenuiflora*, *Desmanthus pernambucanus* and *Mimosa caesalpinifolia* (MT, DP and MC), plus a control treatment, associated with normal water condition levels, moderate water stress and severe water stress (80%, 40% and 20% of water available in the soil), with 4 repetitions, with a total of 96 sample units. The morphogenic, structural and growth promotion characteristics of forage sorghum were evaluated. The results were subjected to analysis of variance by the statistical program ASSISTAT and principal component analysis (PCA) with the aid of the statistical software R. The results indicate that rhizobacteria positively affected the production of sorghum forage biomass (dry mass of the aerial part), even under water stress. They also benefited from leaf and stem elongation rates, as well as the final plant length even under severe stress. The rhizobacteria associated with *D. pernambucanus* (DPP1) and *M. tenuiflora* (MTBV77, MTP78 and MTBV12) have the potential to mitigate the effects of water stress and promote the growth of forage sorghum for rainfed cultivation in the semiarid region of Northeast Brazil .

Keywords: Cultivated forage. Grass. Water stress. Diazotrophic bacteria.

2.1. Introdução

A região Nordeste do Brasil abriga o maior e o mais isolado núcleo de Floresta Tropical Sazonalmente Seca da América do Sul, denominada “Caatinga”, que ocupa aproximadamente 11% do território nacional (SILVA et al., 2017; LIMA et al., 2018).

Cerca de 605 espécies de leguminosas (Fabaceae) crescem naturalmente na “Caatinga” (BFG 2015). As espécies desta família de plantas podem estabelecer simbiose com bactérias diazotróficas que as ajudam a prosperar nesse ambiente. As bactérias diazotróficas, coletivamente chamadas de rizóbios ou rizobactérias, colonizam as raízes das plantas leguminosas formando nódulos onde transformam o nitrogênio (N) atmosférico (N₂) em (NH₃), disponibilizando-o para as plantas em troca de carboidratos (DIAS et al., 2019).

Mimosa tenuiflora, Mimosa caesalpinhiifolia e Desmanthus pernambucanus são espécies de leguminosas arbóreas nativas da “Caatinga” que formam associações simbióticas com rizobactérias (FREITAS et al., 2014; LIMA et al., 2015; DIAS et al., 2019). Essas rizobactérias, por sua vez, possuem potencial para uso na agricultura de sequeiro como forma de suprir total ou parcialmente as necessidades de N de culturas alimentícias e forrageiras.

Embora a fixação biológica de N por rizobactérias ocorra especificamente com plantas leguminosas (LINDSTROM e MOUSAVI, 2019), vários estudos têm demonstrado que elas também podem promover o crescimento de plantas não leguminosas (YANNI e DAZZO, 2010; OSÓRIO FILHO et al., 2014; HAHN et al., 2014; OSÓRIO FILHO et al., 2016). Isso por que, os rizóbios no estado de vida livre fixam N usando o suprimento de carboidratos do ambiente que se torna disponível para plantas não leguminosas, caracterizando assim um sistema associativo não simbiótico (DELWICHE e WIJLER, 1956; BARBER e LYNCH 1977; MAHMUD et al., 2020). Além disso, também produzem exopolissacarídeos que podem ajudar na tolerância das plantas à seca, assim como fitormônios promotores de crescimento (ácido indolacético - AIA), compostos voláteis, alteração na morfologia radicular entre outros (VURUKONDA et al., 2016).

Nesse contexto, plantas forrageiras não leguminosas como o sorgo (*Sorghum bicolor* L.), podem ser beneficiadas por rizobactérias, sobretudo em regiões semiáridas onde nem sempre as condições hídricas e a fertilidade do solo são satisfatórias para suprir as necessidades dessa cultura (ASSEFA et al., 2010; ANDRADE JUNIOR et al., 2020). De fato, o uso de rizobactérias promotoras de crescimento em gramíneas cultivadas tem sido considerada uma alternativa promissora para exploração sustentável de forragem, por diminuir a dependência de fertilizantes sintéticos (MACHADO et al., 2018; DUARTE et al., 2020).

Tendo em vista a necessidade de melhorar a produção de forragem cultivada no Semiárido brasileiro, objetivou-se com este estudo avaliar o crescimento e as características morfogênicas de plantas de sorgo forrageiro (*S. bicolor* L.) inoculadas com rizobactérias associadas à leguminosas arbóreas nativas da “Caatinga” sob condições de estresse hídrico.

2.2. Material e métodos

2.2.1. Local de Pesquisa

O experimento foi conduzido em ambiente protegido (estufa com teto semicircular coberto com filme de polietileno e laterais revestidas com tela antiafídica) no Departamento de Fitotecnia e Ciências Ambientais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba (CCA/UFPB) localizado na cidade de Areia, estado da Paraíba, Brasil.

2.2.2. Desenho experimental

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com arranjo fatorial duplo (6x3). O primeiro fator correspondeu a inoculação com cinco isolados de rizóbio e um tratamento controle (plantas não inoculadas), e o segundo fator por três condições hídricas do solo (80%, 40% e 20% de água disponível no solo).

2.2.3. Obtenção dos isolados de rizóbio

Os isolados utilizados foram obtidos da rizosfera das leguminosas arbóreas *Mimosa tenuiflora*, *Mimosa caesalpiniiifolia* e *Desmanthus pernambucanus*. Por meio da técnica de PCR, verificou-se que alguns dos isolados possuíam os genes *nifH* (DPP1, MCLR34 e MTP78) e *nifH+nodC* (MTBV12 e MTBV77) confirmando sua identidade como rizobactérias (DIAS, 2018) (Tabela 2.1).

Tabela 2.1. Nome, hospedeiro de origem e local de coleta dos isolados

Isolado	Hospedeiro de origem	Local de coleta
MTBV12	<i>Mimosa tenuiflora</i>	Boa Vista - Paraíba, Brasil
MTBV77	<i>Mimosa tenuiflora</i>	Boa Vista - Paraíba, Brasil
MTP78	<i>Mimosa tenuiflora</i>	Pocinhos - Paraíba, Brasil
MCLR34	<i>Mimosa caesalpiniiifolia</i>	Lagoa de Roça - Paraíba Brasil
DPP1	<i>Desmanthus pernambucanus</i>	Pocinhos - Paraíba, Brasil

A caracterização fenotípica básica dos isolados (Tabela 2.2) revelou que todos os isolados produziram AIA (279,1 a 309,1 $\mu\text{g mL}^{-1}$ na presença de L- triptofano) e exopolissacarídeos. Apenas MTBV12, DPP1 e MCLR34 foram capazes de solubilizar fosfato de cálcio, enquanto MCLR34, MTBV77 e DPP1 apresentaram sensibilidade à salinidade (DIAS, 2018).

Tabela 2.2. Características fenotípicas dos isolados

Isolado	Produção de AIA ($\mu\text{g mL}^{-1}$)	Produção de exopolissacarídeos	Solubilização de fosfato de cálcio	Tolerância à salinidade
MTBV12	309,1	Pouca	Sim	Tolerante
MTBV77	308,5	Média	Não	Tolerante
MTP78	307,3	Ótima	Não	Sensível
MCLR34	279,1	Média	Sim	Tolerante
DPP1	289,3	Média	Sim	Sensível

2.2.4. Instalação do experimento

2.2.4.1. Caracterização e preparo do solo

O solo utilizado no ensaio foi coletado da camada de 0-20 cm, apresentava textura franco-arenosa e os seguintes atributos químicos (Tabela 2.3):

Tabela 2.3. Atributos químicos do solo utilizado no ensaio.

Atributos químicos	Valor
Acidez do solo	
pH (H ₂ O)	6,1
Al ⁺³	0,10 cmol/dm ³
H ⁺ + AL ⁺³	2,76 cmol/dm ³
Cátions trocáveis	
Ca ⁺²	1,72 cmol/dm ³
Mg ⁺²	0,98 cmol/dm ³
K ⁺	0,16 cmol/dm ³
Na ⁺	0,00039 mg/dm ³
Macronutrientes aniônicos	
P	35,87 mg/dm ³
Fertilidade	
SB	2,86 cmol/dm ³
CTC	5,72 cmol/dm ³
Propriedades	
Matéria orgânica	17,44 g kg ⁻¹

O solo foi seco, peneirado (6,0 mm) e colocado em vasos plásticos com capacidade para 5,0 kg.

2.2.4.2. Variedade de sorgo

Utilizou-se o cultivar de sorgo forrageiro BRS Ponta negra, lançada em 2007 pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), para cultivo nos biomas brasileiros Cerrado, Mata Atlântica e Caatinga. A mesma apresenta tolerância à seca e alta produção de biomassa com baixo custo. Possui altura média de 2,00 - 2,20 m, floração entre 60-70 dias após a semeadura, panícula semiaberta e sementes taníferas de cor marrom clara (EMBRAPA, 2020).

2.2.4.3. Inoculação dos isolados

Os isolados foram cultivados em meio líquido Dyg's (caldo de cultivo) por 48 h até o final da fase exponencial do crescimento (em torno de 109 células por mL). A inoculação foi realizada logo após a semeadura aplicando-se 2,0 mL de caldo de cultivo por semente. A condição hídrica do solo foi mantida em 100% até o 10 ° dia após a emergência (DAE), quando se realizou um desbaste das plântulas excedentes, deixando-se apenas uma delas por vaso. Uma reinoculação foi realizada aos 24 DAE, utilizando-se 2,0 mL de caldo de cultivo por plântula.

2.2.4.4. Condições hídricas do solo durante o cultivo

Do 11 ao 70 ° DAE os níveis de disponibilidade hídrica do solo foram ajustados para 80% (condição normal) 40% (estresse hídrico moderado) e 20% (estresse hídrico severo) de água disponível no solo, baseando-se nos cálculos de água disponível no solo a partir de análises de conteúdo de água do solo, nível de umidade equivalente ao da capacidade de campo e ponto de murcha permanente (SOUZA et al., 2002).

2.2.5. Determinações e testes

As avaliações foram realizadas semanalmente durante 53 dias, mensurando-se o: comprimento da planta, comprimento das lâminas foliares (expandidas, em expansão e em senescência), comprimento do pseudocolmo/colmo (altura do solo até a lígula da última folha expandida) e número de folhas. Com esses dados foram calculados: taxa de aparecimento foliar (folhas planta dia⁻¹), filocrono (dias folha planta⁻¹), taxa de alongamento foliar (cm planta dia⁻¹), taxa de alongamento de colmos (cm planta dia⁻¹), número de folhas vivas por planta (número de folhas planta⁻¹), duração da vida foliar (dias) e a taxa de senescência foliar (cm planta dia⁻¹).

Aos 70 dias DAE foi determinada a massa seca das raízes e da parte aérea das plantas por meio de secagem a 65 °C em estufa de circulação forçada de ar até atingirem peso constante. O teor de N da massa seca foi determinado por meio do método da combustão seca usando um

analisador elementar TruSpec LecoSorb CN (Leco, EUA). O teor de N na parte aérea foi calculado multiplicando-se a quantidade de N da massa seca (%) pelo peso da massa seca da parte aérea (g) x 10 (fator de correção).

2.2.6. Análise dos dados

Os dados atenderam aos pressupostos para análise paramétrica, então foram submetidos à análise da variância (ANOVA) (Tabela 4), cujas análises foram realizadas utilizando-se o software estatístico ASSISTAT versão 7.7 beta (SILVA e AZEREDO, 2016). A abordagem estatística multivariada usando análise de componentes principais (PCA) foi realizada para fins exploratórios e executada utilizando-se o software estatístico R versão 3.4.1 (R CORE TEAM, 2019).

2.3. Resultados e Discussão

Houve interação entre os fatores (isolados de rizóbio x condição hídrica) para a maioria das características avaliadas, exceto para NFV por planta, MSPA, MSR e NT (Tabela 2.4).

Tabela 2.4. Resumo da Anova para as variáveis estruturais e morfogênicas e de promoção do crescimento de plantas de sorgo forrageiro em função da interação entre os fatores isolados de rizóbios nativos x condição hídrica do solo.

Característica	Fonte de variação			Resíduo	CV (%)
	Inoculante (I)	Condição hídrica (CH)	I x CH		
	Quadrado Médio.....				
TApF	0,0007**	0,0064**	0,0002**	0,00009	4,42
Filocrono	0,2879**	2,6275**	0,1291**	0,01223	3,90
NFV	0,9138**	0,3888 ^{ns}	0,3055 ^{ns}	0,22680	9,66
DVF	4,1330**	28,324**	2,7097**	0,44500	2,47
TAIF	0,0488**	0,7122**	0,0270**	0,00228	6,32
TAIC	0,0213**	0,5136**	0,0059**	0,00026	4,40
CFP	154,79**	2095,8**	59,821**	7,72708	4,12
TSeF	0,0308**	0,3982**	0,0110**	0,00052	4,04
MSPA	11,507**	121,14**	1,8563 ^{ns}	2,36857	19,5
MSR	3,4210 ^{ns}	15,236**	1,3599 ^{ns}	1,86611	31,1
NT	351,54 ^{ns}	4845,7**	55,349 ^{ns}	162,330	22,3
Grau de liberdade	5	2	10	54	

*Significativo pelo teste F a 5%; ** Significativo pelo teste F a 1%; I = Inoculantes; CH: Condição hídrica; CV: coeficiente de variação; GL: Grau de liberdade; TApF: Taxa de aparecimento foliar; NFV: Número de folhas vivas por perfilho; DVF: Duração de vida folha; TAIF: Taxa de alongamento foliar; TAIC: Taxa de alongamento do colmo; TSeF: Taxa de senescência foliar; e CFP: Comprimento final da planta; MSPA: Massa seca da parte aérea; MSR: Massa seca radicular e NT: Nitrogênio total.

As plantas cultivadas sob condição hídrica normal apresentaram maior taxa de aparecimento foliar (TApF) quando inoculadas com MTBV12 e MTBV77 (Tabela 2.5). Esses isolados juntamente com DPP1 e MTP78, também proporcionaram maior TApF em estresse hídrico moderado, mas em estresse hídrico severo foi a inoculação com DPP1 que proporcionou TApF mais elevada do que os demais isolados. Além disso, as plantas inoculadas com MTBV12, DPP1 e MTP78 apresentaram TApF superior ao das plantas não inoculadas em condições de estresse hídrico moderado e severo.

Na condição hídrica normal, a inoculação com MTBV12 reduziu o filocrono (FI) das plantas em comparação com os demais isolados. Esse isolado juntamente com DPP1 e MTBV77 também gerou plantas com menor FI em estresse hídrico moderado, mas em estresse hídrico severo foram as plantas inoculadas com DPP1 quem apresentaram menor FI (Tabela 2.5).

O aumento na TApF das plantas de sorgo forrageiro promovida pela inoculação com MTBV12, DPP1, MTP78 e MTBV77 está relacionado com a redução do intervalo entre o aparecimento de duas folhas consecutivas (Fi), pois essas características são inversamente proporcionais, Machado et al. (2018) relataram quando inocularam rizobactérias em capim sudão (*Shorghum sudanense* L. cv BRS. Estribo) o que resultou em maior produção de forragem.

Tabela 2.5. Taxa de aparecimento foliar, filocrono, número de folhas vivas e duração de vida foliar de plantas de sorgo forrageiro em função da interação entre a inoculação com isolados de rizóbios x condição hídrica do solo.

Condição hídrica	Isolados de rizóbios					Controle	Média
	MTBV12	DPP1	MTP78	MCLR34	MTBV77		
	Taxa de aparecimento foliar (folhas dia-1 planta-1).....						
Normal (80%)	0,25aA	0,22aB	0,23aB	0,22aB	0,24aA	0,22aB	0,22
Estresse moderado (40%)	0,20bA	0,21aA	0,20bA	0,19bB	0,21bA	0,19bB	0,20
Estresse severo (20%)	0,20bB	0,21aA	0,20bB	0,19bC	0,19cC	0,18bC	0,19
Média	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,19	
	Filocrono (dias folha ⁻¹).....						
Normal (80%)	4,16 bB	4,59aA	4,52bA	4,71bA	4,45cA	4,57bA	4,50
Estresse moderado (40%)	4,96aB	4,72aB	5,12aA	5,18aA	4,86bB	5,18aA	5,00
Estresse severo (20%)	5,06aB	4,72aC	5,06aB	5,18aB	5,30aA	5,44aA	5,12
Média	4,72	4,67	4,90	5,02	4,87	5,06	
	Número de folhas vivas (planta ⁻¹).....						
Normal (80%)	5,50	4,75	5,25	4,75	5,50	4,50	5,04
Estresse moderado (40%)	5,00	4,25	5,00	5,00	5,00	4,50	4,79
Estresse severo (20%)	5,50	5,00	4,75	5,00	4,75	4,75	4,95
Média	5,33 ^a	4,66B	5,00A	4,91A	5,08A	4,58B	
	Duração de vida das folhas (dias)						
Normal (80%)	26,22bA	26,09aA	24,72bB	25,98bA	26,42bA	25,66cA	25,85
Estresse moderado (40%)	26,64bB	26,71aB	26,24aB	28,24aA	27,31bB	26,98bB	27,02
Estresse severo (20%)	28,29aB	27,32aC	27,15aC	26,5bC	29,65aA	29,2aA	28,02
Média	27,05	26,7	26,04	26,91	27,79	27,28	

Médias seguidas por letras minúsculas na coluna e maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A inoculação com MTBV12, MTBV77, MTP78 e MCLR34 produziu plantas com maior número de folhas vivas (NFV) em comparação com as não inoculadas e aquelas inoculadas com DPP1 (Tabela 2.5). A inoculação com MTBV12, DPP1, MCLR34 e MTBV77 em condição hídrica normal proporcionou maior duração da vida foliar (DVF), mas em condições de estresse hídrico moderado e severo os maiores valores de DVF foram verificados nas plantas inoculadas com MTBV77 e MCLR34 (Tabela 2.5). O NFV apesar de ser uma característica definida geneticamente, sua expressão pode ser alterada por deficiências nutricionais e hídricas (HODGSON, 1990; SILVA et al., 2012). Por outro lado, os maiores valores de TAlF nas plantas inoculadas indicam que houve maior renovação dos tecidos foliares, por isso as folhas dessas plantas permaneceram vivas (DVF) por menos tempo.

A taxa de alongamento foliar (TAlF) das plantas inoculadas com DPP1, MTP78, MCLR34 e MTBV77 foi superior ao das plantas não inoculadas em todas as condições hídricas, mas aquelas inoculadas com MTBV12 apresentaram a mesma TAlF que as não inoculadas sob estresse hídrico moderado (Tabela 2.6).

Tabela 2.6. Taxa de alongamento foliar, taxa de alongamento de colmo, comprimento final das folhas, comprimento final da planta e taxa de senescência foliar de plantas de sorgo forrageiro em função da interação entre a inoculação com isolados de rizóbios x condição hídrica do solo.

Condição hídrica	Isolados de rizóbio					Controle	Média
	MTBV12	DPP1	MTP78	MCLR34	MTBV77		
	Taxa de alongamento foliar (cm dia ⁻¹ perfilho ⁻¹).....						
Normal (80%)	1,09aA	0,89aB	0,89aB	0,85aB	1,08aA	0,79aC	0,93
Estresse moderado (40%)	0,63bC	0,76bB	0,83bA	0,73bB	0,84bA	0,62bC	0,73
Estresse severo (20%)	0,60bA	0,63cA	0,61cA	0,63cA	0,57cA	0,50cB	0,59
Média	0,77	0,76	0,77	0,74	0,83	0,64	
	Taxa de alongamento de colmo (cm planta dia ⁻¹).....						
Normal (80%)	0,54aC	0,54aC	0,49aD	0,57aB	0,6aA	0,41aE	0,52
Estresse moderado (40%)	0,31bC	0,42bA	0,35bB	0,32bC	0,32bC	0,26bD	0,33
Estresse severo (20%)	0,22cC	0,26cA	0,27cA	0,24cB	0,23cB	0,18cD	0,23
Média	0,35	0,40	0,36	0,38	0,38	0,28	
	Comprimento final da planta (cm planta ⁻¹).....						
Normal (80%)	84,82aA	77,80aB	73,15aC	83,97aA	79,40aA	67,85aD	77,83
Estresse moderado (40%)	63,77bB	69,40bA	66,72bA	62,35bB	69,97bA	58,82bC	65,17
Estresse severo (20%)	61,80bA	62,17cA	61,45cA	59,00bB	58,2cB	54,95bB	59,59
Média	70,13	69,79	67,1	68,44	69,19	60,54	
	Taxa de senescência foliar (cm planta dia ⁻¹).....						
Normal (80%)	0,68aA	0,72aA	0,69aA	0,65aB	0,69aA	0,69aA	0,69
Estresse moderado (40%)	0,51bC	0,64bA	0,66aA	0,53bC	0,60bB	0,46bD	0,56
Estresse severo (20%)	0,49bA	0,50cA	0,49bA	0,42cB	0,36cC	0,31cD	0,43
Média	0,56	0,62	0,61	0,53	0,55	0,49	

Médias seguidas por letras minúsculas na coluna e maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A diminuição da TAlF promovida pela restrição hídrica verificada neste estudo decorre provavelmente da: diminuição do alongamento dos tecidos vegetais devido ao estresse hídrico como reportado por Ferraz et al., (2012) e Kirchner et al., (2017). Por outro lado, a elevada TAlF nas plantas inoculadas, mesmo sob restrição hídrica, indica que as rizobactérias também foram capazes de atenuar os efeitos do estresse hídrico sobre essa característica. De fato, essas rizobactérias produzem exopolissacarídeos (Tabela 2.2) que apesar de serem produzidos por esses microorganismos visando aumentar a tolerância dos mesmos à seca, também pode ajudar indiretamente a proteger as plantas do estresse hídrico (PUTRIE et al., 2013).

Neste trabalho, os baixos valores de TAlC nas plantas cultivadas em estresse hídrico resultaram em diminuição da massa seca da parte aérea das plantas que, por sua vez, diminui o rendimento de massa seca de forragem (Tabela 2.6). Porém os maiores valores de TAlC nas plantas inoculadas em relação as plantas não inoculadas chamam atenção para a função das rizobactérias como promotoras de crescimento e atenuadoras do estresse hídrico em sorgo forrageiro.

As plantas inoculadas com MTBV12, MTBV77 e MCLR34 em condição hídrica normal apresentaram comprimento final (CFP) superior ao das plantas não inoculadas e inoculadas com DPP1 e MTP78. Em contraste, a inoculação com DPP1, MTP78 e MTBV77 proporcionou maior CFP em estresse hídrico moderado e MTBV12, DPP1 e MTP78 em estresse hídrico severo. Embora os efeitos da inoculação com os isolados de rizóbio sobre o CFP tenha sido diferente nas três condições hídricas, todos eles proporcionaram maior CFP em relação as plantas não inoculadas (Tabela 2.6). O aumento do CFP de sorgo forrageiro induzido pelas rizobactérias também foi verificado por Machado et al., (2016) em sorgo (*Sorghum moench* cv. BRS810) e outras gramíneas forrageiras como capim sudão (*Shorghum sudanense* L. cv BRS. Estribo) e milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Brown cv. BRS1503) inoculadas com rizobactérias.

A menor taxa de senescência foliar (TSeF) em condição hídrica normal foi verificada nas plantas inoculadas com MCLR34, mas em estresse hídrico moderado e severo todas as plantas inoculadas apresentaram maior TSeF do que as plantas não inoculadas (Tabela 2.6). Neste estudo, as rizobactérias aceleraram a TSeF das plantas de sorgo forrageiro, semelhantemente ao efeito promovido pela adubação nitrogenada em plantas forrageiras, mas isso geralmente reduz a qualidade da forragem produzida, pois as porções verdes da planta são as mais nutritivas para a dieta animal (COSTA et al. 2013; COUTINHO et al., 2015; RODRIGUES et al., 2019). Todavia, esse inconveniente pode ser facilmente contornado pelo aproveitamento da forragem antes que ocorra a senescência.

Embora a restrição hídrica tenha reduzido a massa seca da parte aérea (MSPA) das plantas, a inoculação com os isolados aumentou a MSPA das plantas em comparação com as plantas não inoculadas nas três condições hídricas (Tabela 2.7). Em síntese, sugere-se que as alterações estruturais, morfogênicas e na MSPA das plantas de sorgo forrageiro inoculadas possam ser atribuídas ao estímulo promovido pelo AIA produzido pelas rizobactérias utilizadas (Tabela 2), pois essa é uma auxina que promove crescimento vegetal (SPAEPEN et al., 2007; OSÓRIO FILHO et al., 2014). Isso foi claramente demonstrado ao se comparar as características estruturais e morfogênicas e a MSPA das plantas de sorgo inoculadas com as não inoculadas, sendo este fato também comprovado por Kavamura et al. (2013) ao inocular rizobactérias isoladas de cactáceas nativas do Semiárido brasileiro em plantas do milho (*Zea mays* L.).

Tabela 2.7. Massa seca da parte aérea, massa seca do sistema radicular e nitrogênio total da parte aérea de plantas de sorgo forrageiro em função da interação entre a inoculação com isolados de rizóbios x condição hídrica do solo.

Condição hídrica	Isolados de rizóbio					Controle	Média
	MTBV12	DPP1	MTP78	MCLR34	MTBV77		
	Matéria seca da parte aérea (g planta ⁻¹).....						
Normal (80%)	10,44	10,56	10,64	11,50	11,39	7,60	10,36 a
Estresse moderado (40%)	7,51	8,38	7,44	6,11	8,05	5,71	7,20 b
Estresse severo (20%)	5,96	7,07	6,10	5,87	6,46	4,66	6,02 c
Média	7,97 A	8,67 A	8,06 A	7,84 A	8,63 A	5,99 B	
	Matéria seca radicular (g planta ⁻¹).....						
Normal (80%)	5,49	5,44	5,01	5,09	4,68	4,79	5,08 a
Estresse moderado (40%)	5,53	4,47	5,78	3,63	4,11	3,86	4,56 a
Estresse severo (20%)	4,01	4,73	3,17	2,93	3,72	2,56	3,52 b
Média	5,01	4,88	4,65	3,88	4,17	3,73	
	Nitrogênio total (mg planta ⁻¹).....						
Normal (80%)	47,94	41,75	42,78	36,77	40,78	35,73	40,96 b
Estresse moderado (40%)	64,22	65,08	66,69	56,34	66,79	55,21	62,39 a
Estresse severo (20%)	75,15	62,71	69,67	62,83	79,16	57,49	67,84 a
Média	62,44	56,52	59,71	51,98	62,24	49,47	

Médias seguidas por letras minúsculas na coluna e maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A massa seca radicular (MSR) e o teor de nitrogênio total da parte aérea (NT) das plantas inoculadas com os isolados de rizóbio não diferiram das plantas não inoculadas. Em contraste, a restrição hídrica reduziu a MSR mas aumentou o teor de NT das plantas (Tabela 2.7).

A semelhança no teor de NT das plantas inoculadas e não inoculadas sugere que as rizobactérias não fixaram N. De fato, a fixação biológica de N dessas bactérias ocorre apenas em associação simbiótica com plantas leguminosas (LINDSTROM e MOUSAVI, 2019). Todavia, como podem fixar N usando o suprimento de carboidratos do ambiente no estado de

vida livre (BARBER e LYNCH, 1977; DELWICHE e WIJLER, 1956; MAHMUD et al., 2020) esperava-se que houvesse incremento de N no sistema. Em contraste, os benefícios dessa associação foram comprovados por Osório Filho et al., (2016) ao verificarem que a inoculação do arroz com rizobactérias estimulou o seu crescimento e aumentou o suprimento de N do sistema, possibilitando diminuir as doses desse nutriente aplicadas.

O maior teor de NT nas plantas de sorgo forrageiro em condições de estresse hídrico verificadas pode ser considerado uma resposta clara a esse tipo de estresse como demonstrado por Haberle et al., (2008) e Jahanzad et al., (2013). Esse aumento de N nos tecidos pode ter sido em decorrência da síntese e acúmulo de proteínas Late Embryogenesis Abundant (LEA) como verificado por Coelho et al., (2010) e Verdoy et al., (2014).

A análise exploratória dos dados usando ACP revelou que os tratamentos formaram quatro grupos de similaridade. Num deles se encontra o controle (sem inoculação) claramente afastado dos tratamentos que receberam inoculação com os isolados de rizóbio. Observa-se também que os valores mais elevados relacionados a maioria das características morfogênicas e de crescimento estão voltados para a direita em CP1. Os isolados MTBV12 e MTBV77 tenderam a apresentar valores de TAIF, TApF, NFV, CFP, MSPA e NT superiores em relação aos demais, enquanto os isolados MTP78 e DPP1 tenderam a apresentar maior MSR (Figura 2.1).

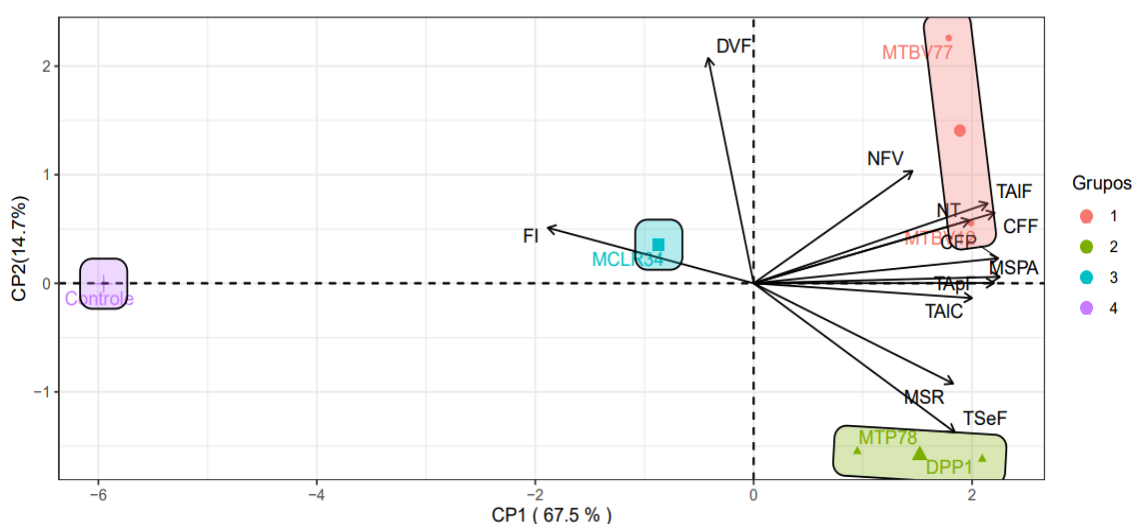


Figura 2.1. Análise de componentes principais baseado nas características estruturais, morfogênicas e de promoção de crescimento do sorgo forrageiro inoculadas com diferentes isolados de rizóbios. Legenda: TApF - Taxa de aparecimento foliar; Fi -Filocrono; NFV - Número de folhas vivas por perfilho; DVF - Duração de vida folha, TAIF - Taxa de alongamento foliar, TAIC - Taxa de alongamento do colmo; CFF - Comprimento final da folha; TSeF - Taxa de senescência foliar; CFP - Comprimento final da planta; MSPA – Matéria seca da parte aérea; MSR – Matéria seca radicular e NT – Nitrogênio total.

A associação dos isolados MTBV77, MTP78, DPP1 e principalmente o MTBV12, com as características mais relevantes para fins forrageiros sugere que essas rizobactérias possuem potencial para melhorar a produção de sorgo forrageiro cultivado em sistema de sequeiro no Semiárido brasileiro, pois além da promoção de crescimento e atenuação dos efeitos do estresse hídrico, os mesmos tolerantes à salinidade (MTBV12 e MTBV77), são capazes de solubilizar fosfato de cálcio (MTBV12 e DPP1) e produzem exopolissacarídeos (Tabela 2.2), o que lhes conferem uma vantagem adaptativa em relação a rizóbios não nativos comumente comercializados no mercado.

2.4. Conclusão

As rizobactérias associadas a leguminosas arbóreas nativas do Semiárido brasileiro alteram a morfogênese e promovem o crescimento das plantas de sorgo forrageiro inclusive em condições de estresse hídrico, resultando em um incremento positivo na produção de biomassa forrageira. As rizobactérias associadas a *Desmanthus pernambucanus* (DPP1) e *Mimosa tenuiflora* (MTBV77, MTP78 e MTBV12) têm potencial para atenuação dos efeitos do estresse hídrico e para promoção do crescimento na cultura do sorgo forrageiro explorada em sistema de sequeiro, na região semiárida do Nordeste do Brasil.

BIBLIOGRAFIA

- ABREU, D.; FLORES, I.; ABREU, F.; MADEIRA, M. V. Absorção de nitrogênio em relação à disponibilidade de água no trigo. **Plant and Soil**, v.154, p. 89-96, 2004.
- ANDRADE JUNIOR, I. O.; SANTOS, S. R.; KONDO, M. K.; OLIVEIRA, P. M.; JUNIOR, V. R. R. Response of forage sorghum to water availability in a typic quartzipsamment. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 4, p. 1015 - 1026, 2019.
- ASSEFA, Y.; STAGGENBORG, S. A.; PRASAD, P. V. V. Grain sorghum water requirement and responses to drought stress: A review. **Crop management**, v. 9, n. 1, p. 1-10, 2010.
- BARBER, D.; LYNCH, J.J. Microbial growth in the rhizosphere. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 9, n.5, p.305-308, 1977.
- BFG. BRASILIAN FLORA GROUP. Growing knowledge: an overview of Seed Plant diversity in Brazil. **Rodriguésia**, v. 66, n.4, p. 1085-1113, 2015.
- COELHO, D. L. M.; AGOSTINI, E. A. T.; GUABERTO, L. M.; MACHADO NETO, N. B.; CUSTODIO, C. C. Estresse hídrico com diferentes osmóticos em sementes de feijão e expressão diferencial de proteínas durante a germinação. **Maringá**, v. 32, n.3, p. 491-499, 2010.
- COUTINHO, M. J. F.; CARNEIRO, M. S. S.; EDVAN, R. L.; SANTIAGO, F. E. M.; ALBUQUERQUE, D. R. Características morfogênicas, estruturais e produtivas de capim-buffel sob diferentes turnos de rega. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 2, p. 216-224, 2015.
- COSTA, N. L.; MORAES, A.; CARVALHO, P. C. F.; MONTEIRO, A. L. G.; OLIVEIRA, R. A. Características morfogênicas e estruturais de *Trachypogon plumosus* de acordo com a fertilidade do solo e o nível de desfolha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.48, n.3, p.320-328, 2013.
- DELWICHE, C.; WIJLER, J.J. Non-symbiotic nitrogen fixation in soil. **Plant Soil**. v. 7, p. 113-129, 1956.
- DIAS, S. M. **Rizóbios isolados de fabáceas forrageiras do semiárido: biodiversidade e eficiência simbiótica**. 2018. 83f. Tese (Doutorado em Zootecnia). Universidade Federal da Paraíba - Centro de ciências Agrárias, Areia – Pb, 2018.
- DIAS, S. M.; ANDRADE, A. P.; SOUZA, A. P.; MAGALHÃES, A. L. R.; BRUNO, R. L. A.; VALENÇA, R. L. Morphophysiology of rhizobia isolated from native forage of fabaceae of the caatinga. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 4, p. 904 - 914, 2019.
- Sorgo BRS Ponta negra. **EMBRAPA**, 2020. Acesso em: <https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/524/sorgo---brs-ponta-negra>. Disponível em: 16 de novembro de 2020.
- FERRAZ, R. D. S.; MELO, A. S.; SUASSUNA, J. F.; BRITO, M. E. B.; FERNANDES, P. D.; NUNES JÚNIOR, E.S. Trocas gasosas e eficiência fotossintética em ecótipos de feijoeiro cultivados no semiárido. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.42, n. 2, p.181-188, 2012.

FREITAS, A. D. S. VIEIRA, BORGES, W. L.; ANDRADE, M. M. M.; SAMPAIO, V. S. B.; SANTOS, C. E. R. S.; PASSOS, S. R.; XAVIER, G. R.; MULATO, B. M.; LYRA, M. C. C. P. Characteristics of nodule bacteria from *Mimosa* spp grown in soils of the Brazilian semiarid region. **African Journal of Microbiology Research**, v.8, n.8, P.788-796, 2014.

HABERLE, J.; SVOBODA, P.; RAIMANOVA, I. O efeito do suprimento de água pós-antese na concentração de nitrogênio dos grãos e na produção de nitrogênio dos grãos de trigo de inverno. **Plant Solo and Environment**, v. 54, p. 304-312, 2008.

HAHN, L.; SÁ, E. L. S.; MACHADO, R.G.; SILVA, W. R.; OLDRA, S.; DAMASCENO, R. G.; SCHONHOFEN, A. Growth promotion in maize with diazotrophic bacteria in succession with ryegrass and white clover. **American and Eurasian Journal of Agriculture & Environmental Science**, v.14. n.1, p.11-16, 2014.

HODGSON, J. Grazing management: Science into practice. New York: John Wiley & Sons, 1990. 203p. (Longman Handbooks in Agriculture).

JAHANZAD, E.; JORAT, M.; MOGHADAM, H.; SADEGHPOUR, A.; CHAICHI, M. R.; DASHTAKI, M. Response of new and a commonly grown forage sorghum cultivar to limited irrigation and planting density. **Agricultural Water Mannagement**, v. 117, n. 31, p. 62-69, 2013.

KAVAMURA, V.N.; SANTOS, S.N.; SILVA, J.L.; PARMA, M.M.; AVILA, L.A. Screening of Brazilian cacti rhizobacteria for plant growth promotion under drought. **Microbiological Research**, v. 168, n.4, p. 183-191, 2013.

KIRCHNER, J. H.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; MEZZOMO, W.; TORRES, R. R.; GIRARDI, L. B.; PIMENTA, B. D.; ROSSO, B. R. B.; PEREIRA, A. C.; LOREGIAN, M. V. Variation of leaf area index of the forage sorghum under different irrigation depths in dynamic of cuts. **African Journal of Agricultural Research**, v. 12, n. 2, p. 111–124, 2017.

LIMA, K. D. R.; CHAER, G. M.; ROW, J. R. C.; MENDONÇA, V.; RESENDE, A. S. Seleção de espécies arbóreas para revegetação de áreas degradadas por mineração de piçarra na caatinga. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 1, p. 203 – 213, 2015.

LIMA, N. E.; CARVALHO, A. A.; LIMA RIBEIRO, M. S.; MANFRIN, M. H. Characterization and biogeographic history of neotropical dry ecosystems. **Rodriguésia**, v. 69, n. 4, p. 2209-2222, 2018.

LINDSTROM, K.; MOUSAV, S. A. Effectiveness of nitrogen fixation in rhizobia. **Microbial Biotechnology**, v. 13, n. 5, p. 1314–1335, 2019.

MACHADO, R.G.; DE SÁ, E.L.S.; HAHN, L.; SANT'ANA, W. L. P. Inoculation of plant growth promoting rhizobia in Sudan grass (*Sorghum χ sudanense* (Piper) Stapf cv. Sudanense) and millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R.Br. cv. BRS1501) Rafael Goulart. **Acta Agronomica**, v.67 n.1, p. 133-139, 2018.

MACHADO, R.G.; DE SÁ, E.L.S.; HAHN, L.; OLDRA, S.; MANGRICH, D. P.; JOÃO, F.; OSÓRIO, F.; DIAS, B.; DOBLER, S. M. R.; DA SILVA, W. R. Rhizobia symbionts of legume

forages native to south Brazil as promoters of cultivated grass growing. **International Journal of Agriculture and Biology**, v.18, n.5, p.1011-1016, 2016.

MAHMUD, K.; MAKAJU, S.; IBRAHIM, R.; MISSAOUI, A. Current Progress in Nitrogen Fixing Plants and Microbiome Research. **Plants**, v. 9, n.1, p.1-17, 2020.

OSÓRIO FILHO, B. D.; BINZ, A., LIMA, R. F., GIONGO, A., SÁ, E. L. S. Promoção de crescimento de arroz por rizóbios em diferentes níveis de adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.46, n.3, p. 478-485, 2016.

OSÓRIO FILHO, B.D.; GANO, K.A.; BINZ, A.; LIMA, R.F.; AGUILAR, L. M.; RAMIREZ, A.; MELLADO, J. C.; SÁ, E. L. S.; GIONGO, A. Rhizobia enhance growth in rice plants under flooding conditions. **American and Eurasian Journal of Agriculture & Environmental Science**, v.14. n.8, p.707-718, 2014.

PUTRIE, R. F. W.; WAHYUDI, A. T.; NAWANGSIH, A. A.; HUSEN, E. Screening of rhizobacteria for plant growth promotion and their tolerance to drought stress. **Microbiology**, v.7, n.3, p. 94-104, 2013.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2019. **Disponível em:** <https://www.r-project.org/>. **Acessado em:** 21 de julho de 2019.

RODRIGUES, L. F.; SANTOS, A. C.; JUNIOR, O. S.; SANTOS, J. G. D.; FARIA A. F. Morphogenic and structural characteristics of Marandu grass cultivated under grazing management and nitrogen fertilization. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 5, p. 2331-2340, 2019.

SILVA, F. A.; AZEVEDO, C. A. V. Assistat Software Versão 7.7 e seu uso na análise de dados experimentais. **African jornal of agricultural**, v.11, n.39, p.3733-3740, 2016.

SILVA, J. M. C.; BARBOSA, L. C. F.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. (2017) The Caatinga: Understanding the Challenges. In: Silva JMC, Leal IR, Tabarelli M. (eds) Caatinga. Springer, Cham.

SILVA, WL.; BASSO, F.C.; RUGGIERI, A.C.; VIEIRA, B.R.; ALVES, P.L.C.A.; RODRIGUES, J.A.S. Características morfogênicas e estruturais de híbridos de sorgo submetidos a adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v.7, n.4, p.691-696, 2012.

SOUZA, C. C.; OLIVEIRA, F. A.; SILVA, I. F.; AMORIM NETO, M. S. Avaliação de métodos de determinação de água disponível em solo cultivado com algodão. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.37, n.3, p.337-341, 2002.

SPAEPEN, S.; VANDERLEYDEN, J.; REMANS, R. Indole-3-acetic acid in microbial and microorganismplant signaling. **Federation of European Microbiological**, v.31, p.425-448, 2007.

YANNI, Y.G.; DAZZO, F.B. Enhancement of rice production using endophytic strains of *Rhizobium leguminosarum* bv. trifolii in extensive field inoculation trials within the Egypt Nile Delta. **Plant and Soil**, v.336. p.129-142, 2010.

VERDOY, D.; LUCAS, M. M.; MANRIQUE, E.; COVARRUBIAS, A. A.; DE FELIPE, M. R.; PUEYO, J. J. Differential organ-specific response to salt stress and water deficit in nodulated bean (*Phaseolus vulgaris*). **Plant Cell and Environment**, v.27, n. 6, p. 757-767, 2004.

VURUKONDA, S. S. K. P.; VARDHARAJULA, S.; SHRIVASTAVA, M.; SKZ, A. Enhancement of drought stress tolerance in crops by plant growthpromoting rhizobacteria. **Microbiological Research**, v.184, p.13–24, 2016.

CAPÍTULO III

**Promoção de Crescimento e características estruturais e morfogênicas de sorgo
forrageiro inoculados com rizobactérias nativas sob níveis de adubação nitrogenada**

PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO E CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS E MORFOGÊNICAS DE SORGO FORRAGEIRO INOCULADOS COM RIZOBACTÉRIAS NATIVAS SOB NÍVEIS DE ADUBAÇÃO NITROGENADA

RESUMO:

A prospecção de rizóbios nativos adaptados e resistentes as condições edafoclimáticas do Semiárido pode beneficiar a produção de forragem cultivada nessa região. Desta forma, avaliou-se a promoção de crescimento e as características morfogênicas do sorgo em função da inoculação com rizóbios nativos de fabaceas da Caatinga associados com doses de N. O experimento foi conduzido em vasos na casa de vegetação no delineamento inteiramente ao acaso com arranjo fatorial duplo 6 x 4. A inoculação foi realizada com os 5 isolados (MTBV12, MTBV77, MTP78, MCLR34 e DPP1) de rizóbios de espécies forrageiras nativas *Mimosa tenuiflora*, *Desmanthus pernambucanus* e *Mimosa caesalpiniiifolia* (MT, DP e MC), mais um tratamento controle sem inoculação, associados a níveis de adubação nitrogenada (0, 40, 70 e 100kg de N/ha⁻¹), com 4 repetições, com total de 96 unidades amostrais. As características morfogênicas e estruturais avaliadas foram: taxa de aparecimento foliar (TApF), filocrono (FI), taxa de alongamento foliar (TAIF), taxa de alongamento do colmo (TAIC), duração de vida da folha (DVF), número de folhas vivas (NFV), taxa de senescência foliar (TseF), comprimento final da folha (CFF), comprimento final da planta (CFP). Também foram avaliadas a massa seca da parte aérea (MSPA), matéria seca da raiz (MSR) e quantificação do nitrogênio total (NT). Os resultados foram submetidos à análise de variância e regressão pelo programa R. Houve interação entre os fatores de isolados de rizóbios nativos e doses de N (I x N), para as variáveis: MSPA, MSR, NT, TAIF, TSeF, TAIC, CFF e CFP. Ao contrário, essas outras variáveis não apresentaram interação: TApF, filocrono, NFV e DVF do Sorgo cv. *BRS Ponta negra*. Dentre os inoculantes avaliados alguns apresentaram maior NT (MTBV12, DPP1 e MTP78), maiores MSPA (MTP78, MTBV12 e MTBV77) e MSR (MCLR34), indicando a promoção de crescimento desses rizóbios. A maioria dessas variáveis apresentaram crescimento linear à medida que se aumentaram as doses de N. A adubação nitrogenada não pode ser dispensada totalmente, porém os inoculantes podem permitir uma economia na utilização dos fertilizantes nitrogenados, reduzindo os custos de produção e contribuindo para um manejo sustentável.

Palavras-chave: Caatinga. Bactérias nativas. Gramíneas. Nitrogênio.

GROWTH PROMOTION AND STRUCTURAL AND MORPHOGENIC CHARACTERISTICS OF FORAGE SORGHUM INOCULATED WITH NATIVE RHIZOBACTERIA UNDER LEVELS OF NITROGEN FERTILIZATION

ABSTRACT:

The prospecting of native rhizobia adapted and resistant to the edaphoclimatic conditions of the Semi-Arid region can benefit the production of forage grown in this region. In this way, the growth promotion and the morphogenic characteristics of sorghum were evaluated as a function of inoculation with native rhizobia of fabaceas from the Caatinga associated with doses of N. The experiment was conducted in pots in the greenhouse in a completely randomized design with an arrangement 6 x 4 double factorial. Inoculation was performed with the 5 isolates (MTBV12, MTBV77, MTP78, MCLR34 and DPP1) from rhizobia of native forage species *Mimosa tenuiflora*, *Desmanthus pernambucanus* and *Mimosa caesalpiniiifolia* (MT, DP and MC), plus one treatment control without inoculation, associated with nitrogen fertilization levels (0, 40, 70 and 100kg of N / ha-1), with 4 replications, with a total of 96 sample units. The morphogenic and structural characteristics evaluated were: leaf appearance rate (TApF), phyllochron (FI), leaf elongation rate (TAIF), stem elongation rate (TAIC), leaf life span (DVF), number of leaves (NFV), leaf senescence rate (TSeF), final leaf length (CFF), final plant length (CFP). Shoot dry mass (MSPA), root dry matter (MSR) and quantification of total nitrogen (NT) were also evaluated. The results were subjected to analysis of variance and regression by the program R. There was interaction between the factors of native rhizobia isolates and doses of N (I x N), for the variables: MSPA, MSR, NT, TAIF, TSeF, TAIC, CFF and CFP. On the contrary, these other variables showed no interaction: TApF, phyllochron, NFV and DVF of Sorgo cv. BRS *Ponta negra*. Among the inoculants evaluated, some showed higher NT (MTBV12, DPP1 and MTP78), higher MSPA (MTP78, MTBV12 and MTBV77) and MSR (MCLR34), indicating the promotion of growth of these rhizobia. Most of these variables showed linear growth as the doses of N. increased. Nitrogen fertilization cannot be totally dispensed, however inoculants can allow savings in the use of nitrogen fertilizers, reducing production costs and contributing to sustainable management. .

Keywords: Caatinga. Native bacteria. Grasses. Nitrogen.

3.1. Introdução

A utilização de inoculantes bacterianos capazes de promover o crescimento vegetal e fixar nitrogênio (N) é uma opção promissora para uma agricultura mais sustentável, pois aumentam a produtividade e diminuem a dependência por fertilizantes industrializados. Os rizóbios nativos de regiões Semiáridas, além de possuírem características de promoção de crescimento, são resistentes a estresses abióticos e bióticos, sendo a sua prospecção imperativa para o desenvolvimento de novos inoculantes biológicos que podem ser a “chave” para melhorar a oferta de forragem para os ruminantes (DIAS, 2018).

O N é um macronutriente essencial para as plantas, estando diretamente associado à produção vegetal. Porém, quando aplicado ao solo está sujeito a perdas e contaminações, as quais variam com a atividade microbiana, o clima, as propriedades químicas e físicas do solo e com o estágio fenológico da planta (OSÓRIO FILHO et al., 2016). A inoculação biológica visa melhorar o aproveitamento dos nutrientes beneficiando o solo e, ainda, é economicamente viável para os produtores.

Quando se fala em suprimento de N às culturas, bactérias como rizóbios são bastante importantes, pois têm a capacidade de fixar o N atmosférico, em simbiose com plantas leguminosas. Em gramíneas ocorre de forma diferente, pois os rizóbios não formam estruturas nodulares nas raízes, mas podem estimular seu crescimento (YANNI & DAZZO, 2010; OSÓRIO FILHO et al., 2014; HAHN et al., 2014; OSÓRIO FILHO et al., 2016) e proteção com capacidade de solubilizar fosfato de cálcio, óxidos de zinco, sintetizar fitohormônios e sideróforos, realizar controle biológico (ação antagônica a determinados fungos e bactérias patogênicas) e induzir resistência sistêmica na planta hospedeira (HALLMANN et al., 1997, BABALOLA, 2010; HAYAT et al., 2010, SOKOLOVA et al., 2011; CORDEIRO, 2017).

Partindo do pressuposto que os rizóbios são benéficos para plantas não leguminosas, justifica-se estudar seus efeitos em gramíneas forrageiras cultivadas, a exemplo do sorgo (*Sorghum bicolor* L.). Essa cultura apresenta boa produção de matéria seca mesmo sob estresse ambiental, e considerável valor nutritivo, além da utilização de seus grãos, na alimentação humana e na bioenergia (CIAMPITTI e PRASAD, 2016; SILVA, 2017). A caracterização dessa espécie forrageira, através de avaliações morfogênicas, se faz necessária para elaboração de estratégias e tomada de decisões visando melhor explorar o seu potencial produtivo (MARTINI, et al., 2019).

Dessa forma estudos relacionados à promoção de crescimento do sorgo pela inoculação das bactérias, são de extrema importância por visarem a utilização de um manejo sustentável dos recursos naturais e preservação da diversidade dos agroecossistemas da região Semiárida.

Por isso objetivou-se avaliar a promoção de crescimento e características morfogênicas do sorgo inoculado com rizóbios isolados de fabáceas da Caatinga e fertilizados com doses de N.

3.2. Material e métodos

3.2.1. Local de Pesquisa

O experimento foi conduzido em ambiente protegido (estufa com teto semicircular coberto com filme de polietileno e laterais com tela antiafídica) nas dependências do Laboratório de Análises de Sementes do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Areia, estado da Paraíba, Brasil.

3.2.2. Desenho experimental

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com arranjo fatorial duplo 6 x 4. O primeiro fator correspondeu a inoculação com cinco isolados de rizóbio e um tratamento controle (sem inoculação), e, o segundo fator por quatro níveis de adubação nitrogenada (0; 0,176; 0,308 e 0,440g de N por vaso que equivaleram a: 0, 40, 70 e 100 kg de N ha⁻¹).

3.2.3. Obtenção dos isolados de rizóbio

Os isolados selecionados produziram alto teor de AIA (309,1 - 279,1 µg mL⁻¹) in vitro em um estudo realizado por Dias (2018) (Tabela 3.1).

Tabela 3.1. Hospedeiro de origem e local de coleta dos isolados

Isolado	Hospedeiro de origem	Local de coleta
MTBV12	<i>Mimosa tenuiflora</i>	Boa Vista - Paraíba, Brasil
MTBV77	<i>Mimosa tenuiflora</i>	Boa Vista - Paraíba, Brasil
MTP78	<i>Mimosa tenuiflora</i>	Pocinhos - Paraíba, Brasil
MCLR34	<i>Mimosa caesalpiniiifolia</i>	Lagoa de Roça - Paraíba Brasil
DPP1	<i>Desmanthus pernambucanus</i>	Pocinhos - Paraíba, Brasil

3.2.4. Instalação do experimento

3.2.4.1. Caracterização e preparo do solo

O solo utilizado no ensaio foi coletado da camada de 0-20 cm no município de Areia, estado da Paraíba, Brasil, com textura franco-arenosa e os atributos químicos listados na Tabela 3.2:

Tabela 3.2. Atributos químicos do solo utilizado no ensaio.

Atributos químicos	Valor
Acidez do solo	
pH (H ₂ O)	6,1
Al ⁺³	0,10 cmol _c /dm ³
H ⁺ + AL ⁺³	2,76 cmol _c /dm ³
Cátions trocáveis	
Ca ⁺²	1,72 cmol _c /dm ³
Mg ⁺²	0,98 cmol _c /dm ³
K ⁺	0,16 cmol _c /dm ³
Na ⁺	0,00039 mg/dm ³
Macronutrientes aniônicos	
P	35,87 mg/dm ³
Fertilidade	
SB	2,86 cmol _c /dm ³
CTC	5,72 cmol _c /dm ³
Propriedades	
Matéria orgânica	17,44 g kg ⁻¹

O solo foi seco, peneirado (6,0 mm) e colocado em vasos plásticos com capacidade para 5,0 kg. O conteúdo de água do solo foi mantido próximo da capacidade de campo durante todo o ensaio

3.2.4.2. Variedade de sorgo

Utilizou-se a cultivar de sorgo forrageiro BRS Ponta Negra, lançada pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) em 2007, para ser utilizada nos biomas brasileiros Cerrado, Mata atlântica e Caatinga. Apresenta tolerância à seca e alta produção de biomassa com baixo custo. Possui altura média de 2,00 - 2,20 m, floração entre 60-70 dias após a semeadura, panícula semiaberta e sementes taníferas de cor marrom claro (EMBRAPA, 2020).

3.2.4.3. Inoculação dos isolados

Os isolados foram cultivados em meio líquido Dyg's (caldo de cultivo) por 48 h até o final da fase exponencial do crescimento (em torno de 109 células por mL). A inoculação foi realizada logo após a semeadura (quatro sementes por vaso) aplicando-se 2,0 mL de caldo de cultivo por semente. A condição hídrica do solo foi mantida em 100% de água disponível no solo, até o 10 ° dia após a emergência (DAE), quando se realizou desbaste das plântulas excedentes, deixando-se apenas uma por vaso. Uma reinoculação foi realizada aos 24 DAE das plantas (2,0 mL de caldo de cultivo por semente).

3.2.4.4. Aplicação de N

Os tratamentos com adubação nitrogenada de 0, 40, 70 e 100kg de N ha⁻¹ receberam, respectivamente, 0,0; 0,176; 0,308 e 0,440g de N/vaso na forma de ureia, sendo metade da dose aplicada aos 4 DAE e restante aos 24 DAE.

3.2.5. Determinações e testes

As avaliações foram realizadas semanalmente durante 42 dias, sendo mensurados: comprimento da planta, comprimento das lâminas foliares expandidas, em expansão e em senescência (porção verde do limbo), comprimento do pseudocolmo/colmo (altura do solo até a lígula da última folha expandida), e número defolhas. Esses dados foram utilizados para se estimar a taxa de aparecimento de folhas (TApF, folhas perfilho⁻¹ dia), o filocromo (dias folha⁻¹ perfilho), a taxa de alongamento de colmos (TAIC, cm perfilho⁻¹ dia), o comprimento final de folha (CFF, cm perfilho⁻¹), o número de folhas vivas por perfilho (NFV, nº de folhas perfilho⁻¹), a duração de vidas das folhas (DFV, dias) e a taxa de senescência de folhas (TSeF, cm perfilho⁻¹ dia).

Aos 60 dias de cultivo das plantas, foram determinadas a massa seca das raízes e da parte aérea secas por meio do método da estufa (secagem a 65 °C em estufa de circulação forçada de ar até atingirem peso constante). A massa seca foi moída em moinho tipo Wiley e o teor de N determinado por meio do método da combustão seca usando um analisador elementar TruSpec LecoSorb CN (Leco, EUA). O nitrogênio acumulado na parte aérea foi calculado por meio da multiplicação do teor de nitrogênio (em %) pela massa da parte aérea (em g) x 10 (fator de correção).

Os dados atenderam aos pressupostos para análise paramétrica e foram submetidos à análise da variância (ANOVA) (Tabela 3.3). Quando houve interação entre os tratamentos, foram realizadas análises de regressão para o fator dose de N para cada isolado. Quando não

houve interação, as médias de cada isolado, nas quatro doses de N testadas, foram submetidas ao teste de Tukey ($p < 0,05$). As análises foram realizadas pelo programa estatístico R (R CORE TEAM, 2018).

3.3. Resultados e Discussão

Houve interação entre os fatores (isolados de rizóbios nativos e doses de N) para as características TAIC, CFF, TSeF, CFP, MSPA, MSR e NT enquanto TApF, Filocrono, NFV e DVF apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos apenas para cada fator isolado (Tabela 3.3).

Tabela 3.3. Resumo da Anova para as variáveis estruturais, morfológicas e de crescimento de plantas de sorgo forrageiro em função da interação entre os fatores isolados de rizóbios nativos (I) x doses de N (N).

Quadrados Médios	Fontes de variação			RESÍDUO	CV(%)
	Inoculantes	Nitrogênio	I X N		
	Quadrados Médios.....				
TApF	0,00089**	0,03004**	0,00025 ^{ns}	0,00025	4,0
Filocrono	0,0646*	2,5850**	0,02690 ^{ns}	0,0211	4,3
NFV	0,9167**	4,7778**	0,3278 ^{ns}	0,1944	7,0
DVF	2,6813**	5,6981**	0,1012 ^{ns}	0,3945	2,6
TAIC	0,1932**	1,7053**	0,0706**	0,0361	4,4
CFF	30,950**	759,62**	7,8500**	2,4800	3,2
TSeF	0,0064**	0,2917**	0,0042**	0,0015	5,6
CFP	799,70**	9622,6**	204,0**	8,1000	2,3
MSPA	58,620**	1499,5**	13,23**	1,6300	6,8
MSR	36,523**	109,45**	3,549**	0,6210	10,3
NT	187,29**	639,34**	8,30**	0,7600	1,6
Grau de liberdade	3	5	15	72	

*Significativo pelo teste F a 5%; ** Significativo pelo teste F a 1%; ns= não significativo. I = inoculantes (DPP1, MTBV77, MTP78, MTBV12 e MCLR34 e o tratamento controle (Sem inoculante)); N = níveis de adubação nitrogenada (0, 40, 70 e 100kg de N ha⁻¹, respectivamente: 0; 0,176; 0308 e 0,440g de N por vaso). TApF: Taxa de aparecimento foliar, TAIC: Taxa de alongamento do colmo, CFF: Comprimento final da folha, NFV: Número de folhas vivas por perfilho, DVF: Duração de vida folha, TSeF: Taxa de senescência foliar e CFP: Comprimento final da planta. MSPA: Matéria seca da parte aérea, MSR: Matéria seca do sistema radicular, NT: Nitrogênio total da parte aérea, CV = coeficiente de variação; GL = Grau de liberdade.

A taxa de aparecimento foliar (TApF) respondeu positivamente à elevação das doses de N, sendo o melhor desempenho verificado na dose de N mais elevada (100kg de N ha⁻¹) (Tabela 3.4). A TApF é influenciada por fatores ambientais, dentre eles os nutrientes e principalmente o nitrogênio (POMPEU et al., 2009; RODRIGUES et al., 2018).

Os tratamentos com isolados de rizóbios apresentaram valores de TApF superiores ao tratamento controle sem inoculação (Tabela 3.4). É importante ressaltar que uma maior TApF

favorece a um aumento na emissão de novas folhas e, conseqüentemente numa área foliar mais abrangente, o que pode permitir cortes mais frequentes da planta. Ao avaliar rizóbios isolados de Fabáceas da Caatinga Dias et al., (2019) ressaltam serem resistentes em situações de estresse ambiental, características favoráveis para obtenção de inoculantes biológicos promissores.

Tabela 3.4 - Taxa de aparecimento foliar, Filocrono, Número de folhas vivas e Duração de vida das folhas de plantas de sorgo forrageiro em função da interação entre os fatores isolados de rizóbios nativos x doses de N.

Adubação nitrogenada	Tratamentos						Média
	DPP1	MTBV77	MTP78	MTBV12	MCLR34	S/I	
.....Taxa de aparecimento foliar (folhas dia ⁻¹ planta ⁻¹).....							
100kg de N ha ⁻¹	0,379	0,393	0,379	0,386	0,379	0,364	0,388a
70kg de N ha ⁻¹	0,371	0,357	0,364	0,343	0,357	0,343	0,365b
40kg de N ha ⁻¹	0,350	0,350	0,364	0,357	0,350	0,336	0,360b
0kg de N ha ⁻¹	0,307	0,293	0,293	0,307	0,300	0,278	0,305c
Média	0,352A	0,348 ^a	0,350A	0,348A	0,346AB	0,331B	
.....Filocrono (dias folha ⁻¹).....							
100kg de N ha ⁻¹	2,64	2,55	2,64	2,60	2,64	2,75	2,64c
70kg de N ha ⁻¹	2,69	2,80	2,76	2,92	2,80	2,80	2,80b
40kg de N ha ⁻¹	2,86	2,86	2,75	2,80	2,86	2,99	2,85b
0kg de N ha ⁻¹	3,26	3,42	3,44	3,26	3,34	3,64	3,39a
Média	2,86B	2,91AB	2,90AB	2,89B	2,91AB	3,05A	
.....Número de folhas vivas (planta ⁻¹).....							
100kg de N ha ⁻¹	6,25	6,25	5,75	6,00	6,25	5,25	5,96a
70kg de N ha ⁻¹	5,75	5,75	6,00	5,00	5,50	5,25	5,54b
40kg de N ha ⁻¹	5,75	5,25	5,75	5,50	5,50	5,00	5,46b
0kg de N ha ⁻¹	5,00	5,00	4,50	5,25	5,00	5,00	4,88c
Média	5,69A	5,56A	5,50A	5,44AB	5,56A	5,00B	
.....Duração de vida das folhas (dias)							
100kg de N ha ⁻¹	21,0	20,5	20,5	20,5	20,7	19,4	20,4c
70kg de N ha ⁻¹	21,3	21,1	21,1	21,1	21,5	20,3	21,1b
40kg de N ha ⁻¹	21,3	21,3	21,2	21,3	21,6	20,7	21,2ab
0kg de N ha ⁻¹	21,9	21,9	21,5	21,8	21,8	20,9	21.6a
Média	21.4A	21.2A	21.1A	21.2A	21.4A	20.3B	

Médias seguidas por letras minúsculas na coluna e maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. 0, 40, 70 e 100kg de N ha⁻¹, respectivamente: 0; 0,176; 0308 e 0,440g de N/vaso.

O Filocrono (FI) foi inversamente proporcional à TApF, sendo observado menores valores nos tratamentos com inoculantes (DPP1 e MTBV12; valores de: 2,86 e 2,89 dias folha⁻¹, respectivamente) em comparação com o tratamento controle (S/I; 0,305 dias folha⁻¹) (Tabela 3.3). As doses maiores de N também favoreceram a uma diminuição nos valores de FI. Esses resultados demonstram que a adubação nitrogenada e a inoculação com isolados de rizóbios reduzem o FI, pois aceleram a emissão de novas folhas.

Quando submetidas a doses crescentes de adubação nitrogenada (0, 75, 150 e 225 mg dm⁻³ de N), espécies de *Brachiaria brizantha* e *B. decumbens* avaliadas por Silva et al., (2009) também reduziram os valores de FI, sempre que se aumentaram a adubação nitrogenada. Este fato tem relevância, pois as folhas constituem a parte da planta com maior valor nutritivo para os animais, sendo que, em cortes sucessivos, a adubação nitrogenada com 100 kg de N/ha (0,440g de N por vaso) e os inoculantes DPP1 e MTBV12 contribuirá, sem dúvida, para o menor tempo de recuperação das plantas. As plantas atingem o número máximo de folhas vivas por perfilho mais precocemente já que o intervalo entre o aparecimento de folhas sucessivas será menor (SILVA et al., 2012).

O Número de folhas vivas (NFV) apresentou crescimento linear com a elevação das doses de N e também respondeu positivamente à inoculação com os isolados de rizobium que apresentaram valores superiores ao tratamento controle (Tabela 3.4), acompanhando os resultados da TApF que também foi maior. O NFV é relativamente constante para cada espécie e ocorre, em determinado momento para cada folha que senesce, surgimento de uma nova folha, isto se dá devido ao mecanismo decorrente do tempo limitado de vida da folha, que é determinado por características genéticas e influenciado por condições climáticas e de manejo (HODGSON, 1990; SILVA et al., 2012).

A duração de vida das folhas (DVF) decresceu com a elevação das doses de N e respondeu positivamente à inoculação com os isolados de rizóbios que apresentaram valores superiores ao tratamento controle (Tabela 3.4). Esses resultados da DVF são relevantes, pois a DVF apresenta um papel fundamental no manejo de pastagens, uma vez que é indicador da intensidade e frequência de pastejos para que se tenham índices de áreas foliares próximos aos das máximas taxas de crescimento (RODRIGUES et al., 2018).

A taxa de alongamento do colmo (TAIC) do sorgo inoculado com os isolados de rizóbios apresentou crescimento linear (Figura 3.1) à medida que se aumentaram as doses de N. Ao avaliar rizóbios promotores de crescimento inoculados no sorgo (*Sorghum bicolor*), Machado et al., (2017) verificaram que assim como na interação entre rizóbios e leguminosas, a interação entre rizóbios e plantas de sorgo depende da afinidade entre bactérias e planta, podendo incrementar o rendimento da cultura.

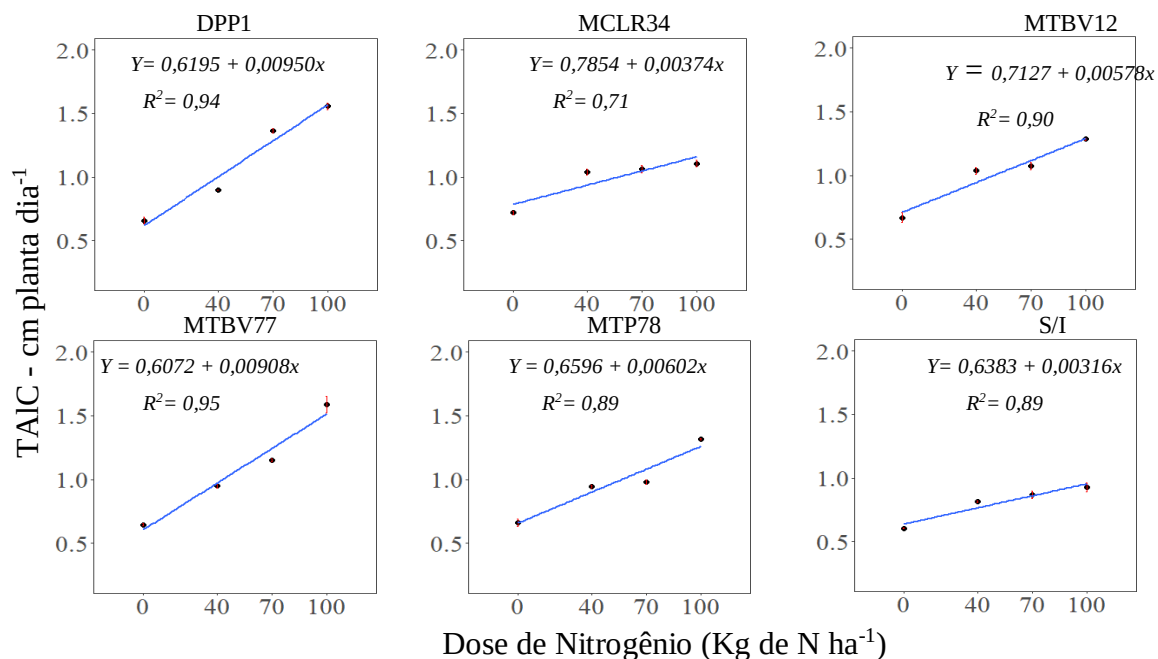


Figura 3.1. Taxa de alongamento do colmo (TAIC - cm planta dia⁻¹) de plantas de sorgo cv. *BRS Ponta negra* inoculadas com isolados de rizóbios (MTBV12, DPP1, MTP78, MCLR34, MTBV77 e o tratamento controle sem inoculante = S/I) submetidas a níveis de adubação nitrogenada (0, 40, 70 e 100kg de N ha⁻¹, respectivamente: 0; 0,176; 0,308 e 0,440g de N por vaso). Barras verticais representam o erro padrão da média.

Esses resultados do TAIC, evidenciam o aumento da produção e consequentemente um ciclo mais rápido da planta, que vai ser viável ou não, dependendo do manejo empregado para a produção de forragem destinada aos animais. O nitrogênio é um dos nutrientes mais importantes para a produção das gramíneas forrageiras (FRANÇA et al., 2007; CASTAGNARA et al., 2011). Por isso, há um maior crescimento da planta se comparado a uma outra que não recebe adubação nitrogenada. Neste trabalho a inoculação com rizóbios demonstrou acelerar ainda mais essa característica na planta.

O comprimento final da folha (CFF) do sorgo inoculado com os isolados de rizóbios apresentou crescimento linear (Figura 3.2) à medida que se aumentaram as doses de N. Esses resultados do CFF se devem provavelmente a condições favoráveis ao crescimento, mediadas pelo nitrogênio ao estimular a emissão de novas células, possibilitando aumento na TAIF, o que pode constituir uma estratégia da planta para mudanças no tamanho da lâmina foliar (MAGALHÃES et al., 2013).

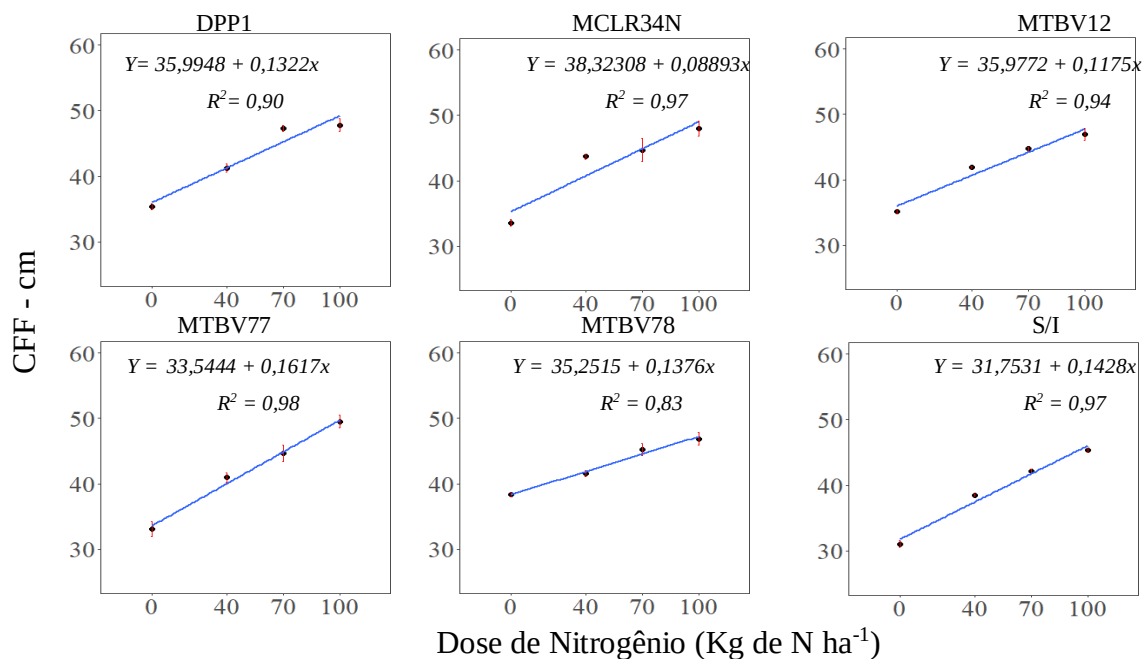


Figura 3.2. Comprimento final das folhas (CFF - cm) de plantas de sorgo cv. *BRS Ponta negra* inoculadas com isolados de rizóbios (MTBV12, DPP1, MTP78, MCLR34, MTBV77 e o tratamento controle sem inoculante = S/I) submetidas a diferentes níveis de adubação nitrogenada (0, 40, 70 e 100kg de N ha⁻¹, respectivamente: 0; 0,176; 0,308 e 0,440g de N por vaso). Barras verticais representam o erro padrão da média.

É importante ressaltar que os incrementos promovidos pelos rizóbios no CFF podem sugerir diminuição do uso de adubos químicos, resultado muito relevante, pois a folha é a parte da planta com melhor valor nutritivo para a alimentação animal. A exploração de sistemas pastoris de forma mais sustentável, com menor uso de insumos minerais sem prejuízos aos rendimentos, pode ser obtida com o uso de rizóbios fixadores de nitrogênio, cuja ação pode ser complementada por mecanismos diretos de promoção de crescimento de gramíneas cultivadas (MACHADO et al., 2017)

O sorgo inoculado com os isolados de rizóbios MTBV77, DPP1, MCLR34, MTP78, MTBV12 e S/I com dose 100 kg de N ha⁻¹, apresentaram os maiores valores de taxa de senescência foliar (TSeF) 0,80; 0,73; 0,70; 0,72; 0,70 e 0,69 cm perfilho dia⁻¹, respectivamente (Figura 3.3). Em híbridos de sorgo, submetidos a doses de adubação nitrogenada, Silva et al., (2012) constataram não haver influência significativa da TSeF, com valores médios de 1,72 e 1,90 cm perfilho dia⁻¹ para os híbridos BRS 801 e 0734006, respectivamente, e 1,81 e 1,82 cm perfilho dia⁻¹ para as doses de 50 e 100 kg de N ha⁻¹, respectivamente.

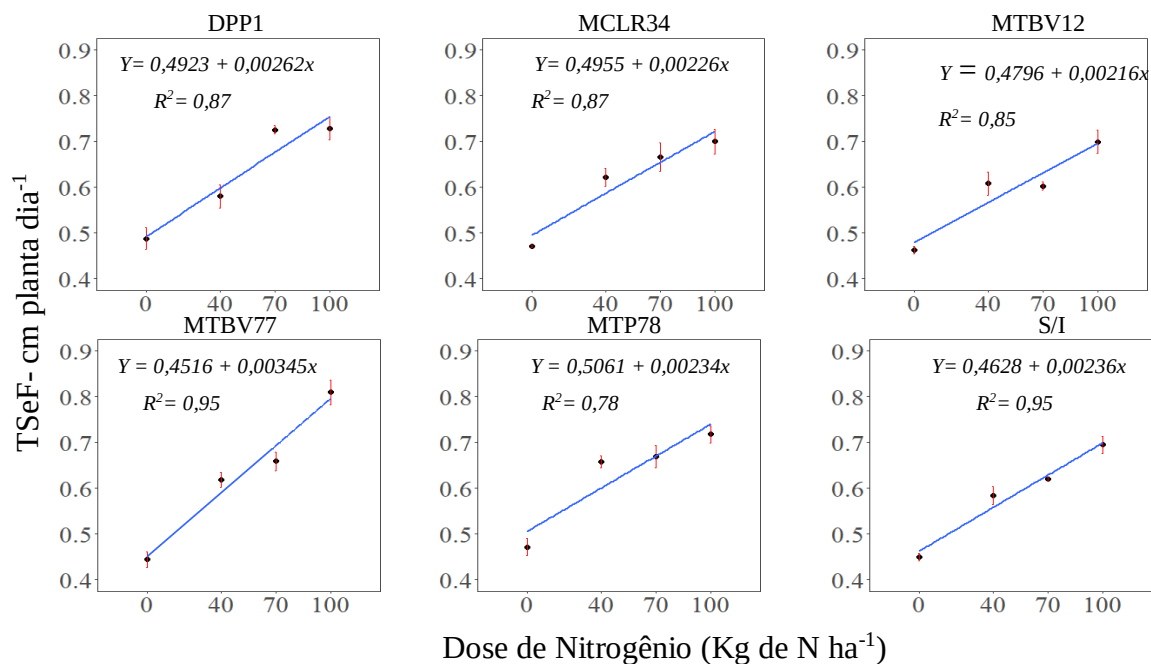


Figura 3.3. Taxa de senescência foliar (TSeF- cm planta dia⁻¹) de plantas de sorgo cv. BRS Ponta negra inoculadas com isolados de rizóbios (MTBV12, DPP1, MTP78, MCLR34, MTBV77 e o tratamento controle sem inoculante = S/I) submetidas a níveis de adubação nitrogenada (0, 40, 70 e 100kg de N ha⁻¹, respectivamente: 0; 0,176; 0,308 e 0,440g de N por vaso). Barras verticais representam o erro padrão da média.

No presente trabalho, os valores de TSeF são bem menores que os observados por Silva et al. (2012), porque no trabalho citado as avaliações foram realizadas até 90 dias de idade, diferente deste experimento, realizado em casa de vegetação e as plantas foram avaliadas apenas até 60 dias de idade. A TSeF é uma característica importante na composição final da forragem, pois é desejável que a massa de forragem de um pasto seja composta principalmente por tecidos vivos que serão convertidos em produção animal e, portanto, quanto menor a TSeF numa planta forrageira, melhor será seu valor nutritivo. (GALZERANO et al., 2013).

O comprimento final da planta (CFP) ou altura, assim como as características TALC, CFF e TSeF apresentaram resposta linear positiva à inoculação com rizóbios associados aos diferentes níveis de adubação nitrogenada (Figura 3.4). Esses resultados favorecem o uso associado do inoculante com rizóbios e a adubação nitrogenada, havendo plantas maiores quando há a utilização conjunta desses fertilizantes biológicos e químicos. A altura da planta é um parâmetro de grande importância morfofisiológica, pois reflete de modo prático o crescimento e a diferenciação do vegetal, favorecendo todo o processo relacionado no sistema solo-planta (PARENTE et al., 2014).

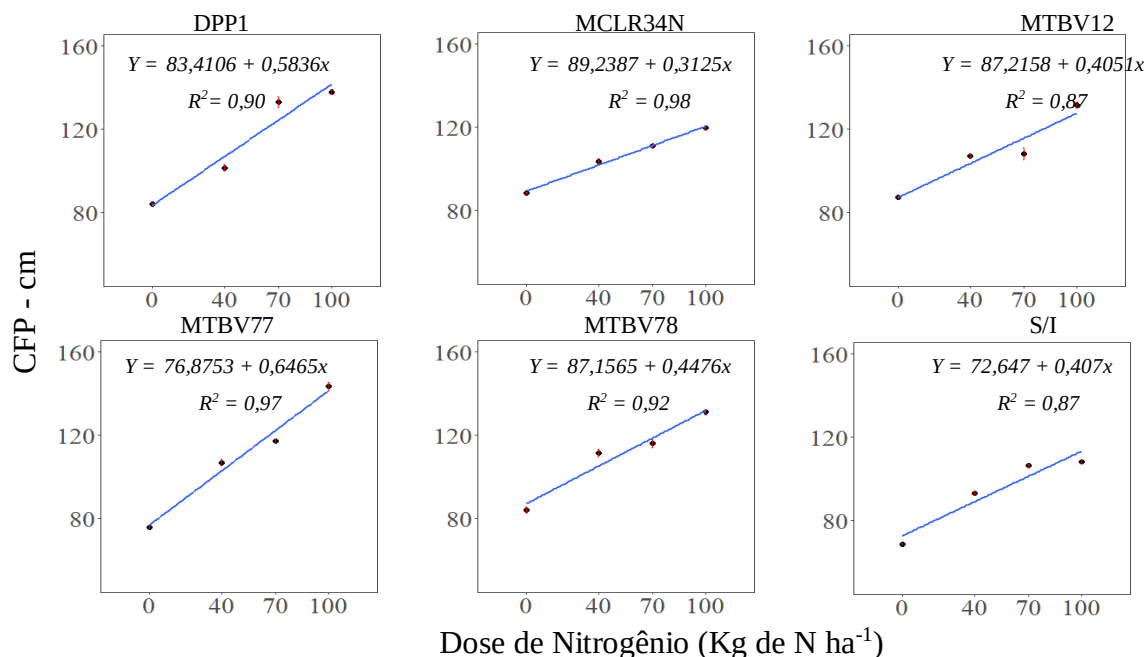


Figura 3.4. Comprimento final da planta (CFP - cm) de plantas de sorgo cv. *BRS Ponta negra* inoculadas com isolados de rizóbios (MTBV12, DPP1, MTP78, MCLR34, MTBV77 e o tratamento controle sem inoculante = S/I) submetidas a níveis de adubação nitrogenada (0, 40, 70 e 100kg de N ha⁻¹, respectivamente: 0; 0,176; 0,308 e 0,440g de N por vaso). Barras verticais representam o erro padrão da média.

Ao utilizar a adubação nitrogenada nas pastagens, deve-se atentar para os seus efeitos nos parâmetros morfofisiológicos da espécie forrageira e para os cuidados com o manejo do pastejo, a fim de priorizar a produção e evitar a senescência do material verde (SUPLICK et al., 2002). Como foi visto neste trabalho, para algumas características estruturais e morfológicas a inoculação com rizóbios associada à adubação nitrogenada no sorgo, favoreceu o aumento de sua produção e também do material em processo de senescência e morto. Por isso, é importante aliar a qualidade à quantidade da produção da massa de forragem, ajustando o manejo da oferta de forragem às necessidades do animal.

A inoculação com os isolados de rizóbios e os níveis de adubação nitrogenada influenciaram significativamente a produção de massa seca da parte aérea (MSPA) (Figura 3.5), OSÓRIO FILHO et al. (2016) ao avaliarem o crescimento do arroz por ação de rizóbios, associados a níveis de adubação nitrogenada, observaram aumento na produção de MSPA da cultivar IRGA 424, de acordo com o aumento da dose de nitrogênio aplicada e, assim, os autores concluíram que os rizóbios testados estimulam o crescimento das plantas de arroz, possibilitando diminuir as doses de nitrogênio aplicadas na cultura.

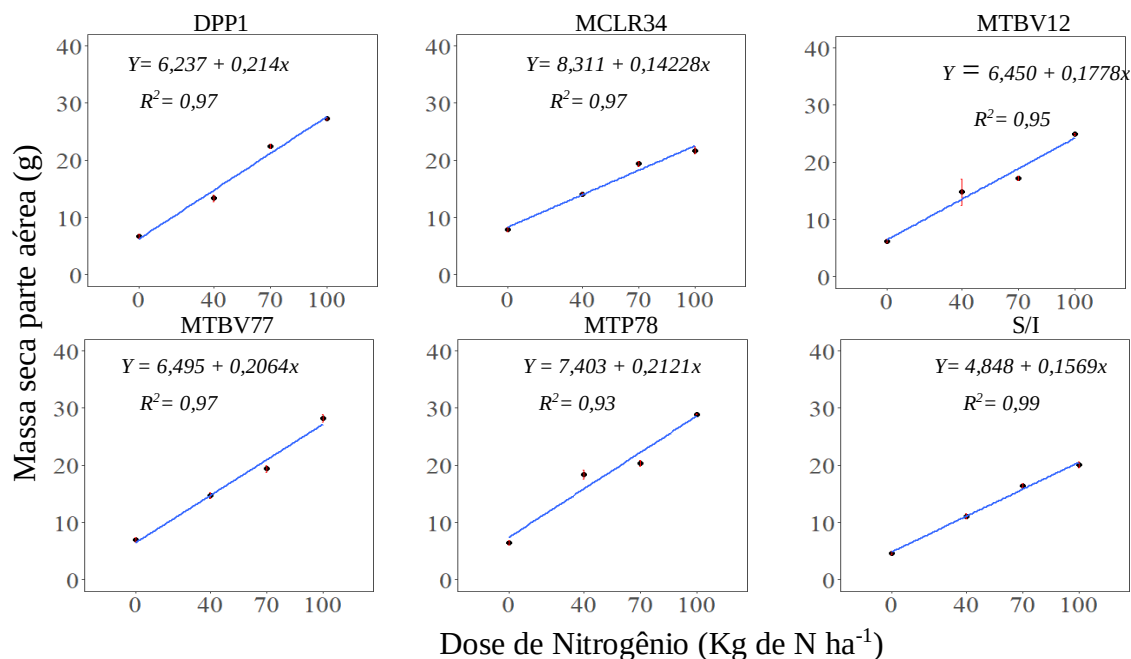


Figura 3.6. Massa seca parte aérea (MSPA - g) de plantas de sorgo cv. *BRS Ponta negra* inoculadas com isolados de rizóbios (MTBV12, DPP1, MTP78, MCLR34, MTBV77 e o tratamento controle sem inoculante = S/I) submetidas a níveis de adubação nitrogenada (0, 40, 70 e 100kg de N ha⁻¹, respectivamente: 0; 0,176; 0,308 e 0,440g de N por vaso). Barras verticais representam o erro padrão da média.

Os efeitos positivos das bactérias promotoras do crescimento de plantas devem-se à associação de vários fatores, como a síntese de hormônios vegetais que estimulam o crescimento de raízes e a absorção de água e nutrientes, o que conduz ao aumento da tolerância a estresses diversos, resultando em plantas mais vigorosas e produtivas (BASHAN, HOLGUIN E DE-BASHAN, 2004; HUNGRIA et al., 2010; SILVA E PIRES, 2017). Como se pode observar, a massa seca da raiz (MSR) inoculada com rizóbios aumentou linearmente em associação com os diferentes níveis de adubação nitrogenada (Figura 3.6).

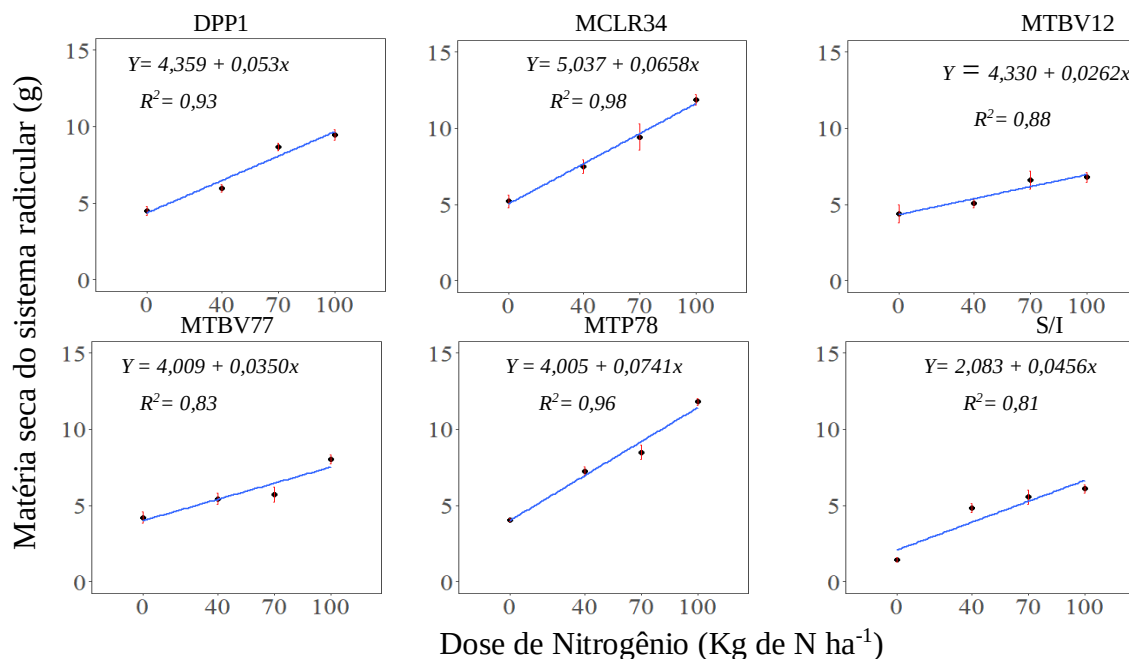


Figura 3.5. Matéria seca do sistema radicular (MSR - g) de plantas de sorgo cv. BRS Ponta negra inoculadas com isolados de rizóbios (MTBV12, DPP1, MTP78, MCLR34, MTBV77 e o tratamento controle sem inoculante = S/I) submetidas a níveis de adubação nitrogenada (0, 40, 70 e 100kg de N ha⁻¹, respectivamente: 0; 0,176; 0,308 e 0,440g de N por vaso). Barras verticais representam o erro padrão da média.

A inoculação com os isolados de rizóbios e os níveis de adubação nitrogenada influenciaram, significativamente, o nitrogênio total da parte aérea (NT) (Figura 3.7). É importante ressaltar a provável economia que os isolados de rizóbios podem proporcionar, pois os resultados demonstraram que a inoculação com essas bactérias melhorou o aproveitamento do N do solo, tendo maior quantidade absorvida e acumulada desse nutriente na parte aérea da cultivar de sorgo estudado. Com o elevado preço dos fertilizantes nitrogenados, essa economia significaria redução nos custos da lavoura e aumento na renda agrícola, bem como, maior absorção de N pelas plantas inoculadas, o que diminui as perdas com a utilização de adubação nitrogenada (OSÓRIO FILHO et al., 2016).

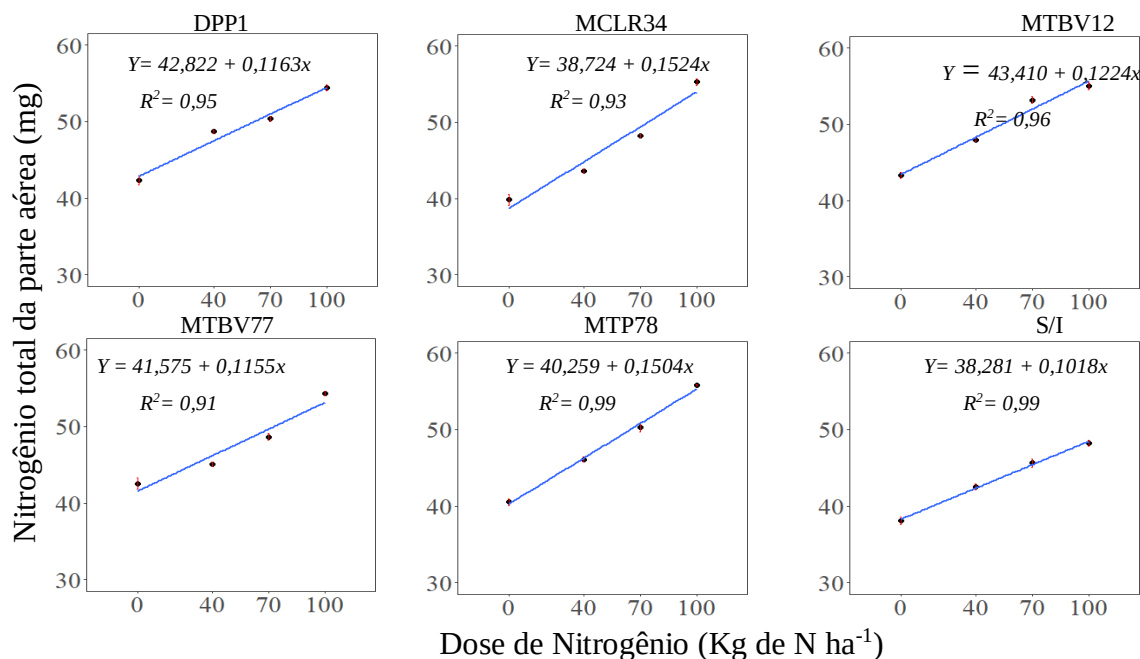


Figura 3.7. Nitrogênio total da parte aérea (NT - mg) de plantas de sorgo cv. *BRS Ponta negra* inoculadas com isolados de rizóbios (MTBV12, DPP1, MTP78, MCLR34, MTBV77 e o tratamento controle sem inoculante = S/I) submetidas a níveis de adubação nitrogenada (0, 40, 70 e 100kg de N ha⁻¹, respectivamente: 0; 0,176; 0,308 e 0,440g de N por vaso). Barras verticais representam o erro padrão da média.

Os isolados de rizóbios MTBV12, DPP1, MTP78, MCLR34 e MTBV77, são capazes de sintetizar AIA em concentrações consideráveis para promover o crescimento vegetal, além de sobreviver em solos salinos e produzirem exopolissacarídeos e solubilizarem fosfato de cálcio (dados não mostrados), por isso também podem atenuar nos efeitos do estresse hídrico, o que lhes conferem uma vantagem em relação a rizóbios não nativos comumente comercializados no mercado. A inoculação biológica é uma tecnologia barata e ambientalmente correta, resultando numa produção de forragem sustentável e economicamente viável para pequenos e grandes produtores.

3.4. Conclusão

Os rizóbios isolados de fabáceas da Caatinga influenciam o crescimento e as características morfológicas do sorgo fertilizado com doses de N. Os inoculantes melhoram a absorção de N e tem potencial para aumentar a produção e crescimento do sorgo, com uma economia de fertilizantes nitrogenados. A intensidade desse efeito aumenta de acordo com as maiores doses de N aplicadas no sorgo.

BIBLIOGRAFIA

BABALOLA, O. O. Beneficial bacteria of agricultural importance. **Biotechnology letters**, v. 32, n. 11, p. 1559-1570, 2010.

BASHAN, Y.; HOLGUIN, G.; DE-BASHAN, L. E. Azospirillum-plant relations: physiological, molecular, agricultural, and environmental advances (1997-2003). **Canadian Journal of Microbiology**, v. 50, n. 8, p. 521-577, 2004.

CIAMPITTI, I. A.; PRASAD, P. V. V. Historical Synthesis-Analysis of Changes in Grain Nitrogen Dynamics in Sorghum. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p. 1-11, 2016.

CORDEIRO, J. E. B. **Desempenho agronômico do milho em resposta à inoculação com bactérias promotoras de crescimento de plantas**. 2017. 87f. Dissertação (Mestrado em manejo e conservação de ecossistemas naturais e agrários). Universidade Federal de Viçosa - Campus Florestal. 2017.

CASTAGNARA, D.D.; MESQUITA, E.E.; NERES, M.A.; OLIVEIRA, P.S.R.; DEMINICIS, B.B. E BAMBERG, R. Valor nutricional e características estruturais de gramíneas tropicais sob adubação nitrogenada. **Archivos Zootecnia**, v. 60, n. 232, p.931-942, 2011.

DIAS, S. M. **Rizóbios isolados de fabáceas forrageiras do semiárido: biodiversidade e eficiência simbiótica**. 2018. 83f. Tese (Doutorado em Zootecnia). Universidade Federal da Paraíba - Centro de ciências Agrárias, Areia – Pb.

DIAS, S. M.; ANDRADE, A. P.; SOUZA, A. P.; MAGALHÃES, A. L. R.; BRUNO, R. L. A.; VALENÇA, R. L. Morphophysiology of rhizobia isolated from native forage of fabaceae of the caatinga. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 4, p. 904 - 914, 2019.

Sorgo BRS Ponta negra. **EMBRAPA**, 2020. Acesso em: <https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/524/sorgo---brs-ponta-negra>. Disponível em: 16 de novembro de 2020.

FRANÇA, A.; BORJAS, A.; OLIVEIRA, E.; SOARES, T.; MIYAGI, E.; SOUSA, V. Parâmetros nutricionais do capim-tanzânia sob doses crescentes de nitrogênio em diferentes idades de corte. **Ciência Animal Brasileira**, v. 8, n.4, p. 695-703, 2007.

GOMIDE, C.A.M.; GOMIDE, J.A. Morfogênese de cultivares de Panicum maximum Jacq. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, n. 2, p. 341-348, 2000.

GALZERANO, L.; MALHEIROS, E. B.; RAPOSO, E.; MORGADO, E. S.; RUGGIERI. Características morfogênicas e estruturais do capim-xaraés submetido a intensidades de pastejo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 4, p. 1879-1890, 2013.

HAHN, L.; SÁ, E. L. S.; MACHADO, R.G.; SILVA, W. R.; OLDRA, S.; DAMASCENO, R. G.; SCHONHOFEN, A. Growth promotion in maize with diazotrophic bacteria in succession with ryegrass and white clover. **American and Eurasian Journal of Agriculture & Environmental Science**, v.14. n.1, p.11-16, 2014.

HALLMANN, J.; QUADT-HALLMANN, A.; MAHAFFEE, W. F.; KLOEPPER, J. W. Bacterial endophytes in agricultural crops. **Canadian Journal of Microbiology**, n. 43, n. 10, p. 895-914, 1997.

HAYAT, R.; ALI, S.; AMARA, U.; KHALID, R.; AHMED, I. Soil beneficial bacteria and their role in plant growth promotion: a review. **Annals of Microbiology**, v. 60, n. 4, p. 579-598, 2010.

HODGSON, J. Grazing management: Science into practice. New York: John Wiley & Sons, 1990. 203p. (Longman Handbooks in Agriculture).

HORST G.L.; NELSON C.J.; ASAY K.H. Relationship of leaf elongation to forage yield of tall fescue genotypes. **Crop Science**, v.18, n.5, p. 715-719, 1978.

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 and Soil**, v. 331, n. 1/2, p. 413- 425, 2010.

MAGALHÃES, J. A.; CARNEIRO, M. S. S.; ANDRADE, A. C.; PEREIRA, E. S.; ANDRADE, A. P.; BAKKE, A. O.; RODRIGUES, B. H. N.; MOCHEL FILHO, W. J. E.; COSTA, N. L. Características morfogênicas e estruturais do capim-andropogon sob irrigação e adubação. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 5, p. 2427-2436, 2013.

MARTINI, A.P.M.; BRONDANI, I.L.; SILVA, V.S.; FILHO, D.C.A.; MARTINI, P.M.; ARGENTA, F.M. Características morfogênicas e estruturais do sorgo forrageiro submetido a lotação contínua com novilhos de corte suplementados. **Ciência animal brasileira, Goiânia**, v.20, p.1-11, 2019.

MACHADO, R. G.; SÁ, E. L. S.; BRUXEL, M.; GIONGO, A.; SANTOS, N. S.; NUNES, A. S. Indoleacetic Acid Producing Rhizobia Promote Growth of Tanzania grass (*Panicum maximum*) and Pensacola grass (*Paspalum sauriae*). **International Journal Of Agriculture & Biology**. v.15, n.5, 2013.

MACHADO, R.G.; DE SÁ, E.L.S.; HAHN, L.; OLDRA, S.; SILVA, W.R. Rizóbios promotores de crescimento de sorgo (*Sorghum bicolor*). In: 62ª Reunião técnica anual da pesquisa do milho 45ª reunião técnica anual da pesquisa do sorgo, 2017, Rio Grande do Sul. **Anais...** Rio Grande do Sul: 2017, p.1-5.

OSORIO FILHO, B. D.; BINZ, A., LIMA, R. F., GIONGO, A., SÁ, E. L. S. Promoção de crescimento de arroz por rizóbios em diferentes níveis de adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, v.46, n.3, p. 478-485, mar, 2016.

OSORIO FILHO, B.D.; GANO, K.A.; BINZ, A.; LIMA, R.F.; AGUILAR, L. M.; RAMIREZ, A.; MELLADO, J. C.; SÁ, E. L. S.; GIONGO, A. Rhizobia enhance growth in rice plants under flooding conditions. **American and Eurasian Journal of Agriculture & Environmental Science**, v.14. n.8, p.707-718, 2014.

PARENTE, H.N.; JUNIOR, O.R.S.; BANDEIRA, J.R.; PARENTE, M.O.M.; RODRIGUES, R.C.; ROCHA, K.S.; GOMES, R.M.S. Produtividade do sorgo forrageiro em função de

quantidades crescentes de adubação fosfatada e nitrogenada. **Revista trópica: Ciências Agrárias e Biológicas**, v.08, n.01, p.01-10, 2014.

POMPEU, R.C.F.F.; CÂNDIDO, M.J.D.; NEIVA, J.N.M.; ROGERIO, M. C. P.; BENEVIDES, Y.; OLIVEIRA, B. C. M. Fluxo de biomassa em capim tanzânia sob lotação rotativa com quatro níveis de suplementação concentrada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p.809-817, 2009.

R Core Team (2018). **A language and enviroment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

RODRIGUES, L.S.; ALVES FILHO, D.C.; BRONDANI, V.S.; SILVA, I.L.; PAULA, P.C.; ADAMS, S.M.; MARTINI, P.M.; MARTINI, A.P.M. Variáveis morfogênicas e estruturais de sorgo forrageiro implantado com diferentes arranjos populacionais sob pastoreio contínuo. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.70, n.1, p.287-296, 2018.

SILVA, J. F. **Caracterização polifásica de bactérias promotoras de crescimento vegetal associadas ao sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] e ao milheto [*Penisetum glaucum* (L.) R.brown] cultivados no sertão de Pernambuco**. 2017. 97f. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais do Semiárido). Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Petrolina, Petrolina-PE.

SILVA, C. C. F.; BONOMO, P.; PIRES, A. J. V.; MARANHÃO, C. M. A.; PATÊS, N. M. S.; SANTOS, L. C. Características morfogênicas e estruturais de duas espécies de braquiária adubadas com diferentes doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.4, p.657-661, 2009.

SILVA, S. R.; PIRES, J. L. F. Resposta do trigo BRS Guamirim à aplicação de Azospirillum, nitrogênio e substâncias promotoras do crescimento. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 4, p. 631-638, 2017.

SILVA, W. L.; BASSO, F.C.; RUGGIERI, A.C.; VIEIRA, B.R.; ALVES, P.L.C.A.; RODRIGUES, J.A.S. Características morfogênicas e estruturais de híbridos de sorgo submetidos a adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v.7, n.4, p.691-696, 2012.

SUPLICK, M. R.; READ, J. C.; MATUSON, M. A.; JOHNSON, J. P. Switchgrass leaf appearance and lamina extension rates in response to fertilizer nitrogen. **Journal of Plant Nutrition**, v. 25, n. 10, p. 2115-2127, 2002.

SOKOLOVA, M. G.; AKIMOVA, G. P.; VAISHLYA, O. B. Effect of phytohormones synthesized by rhizosphere bacteria on plants. **Applied Biochemistry and Microbiology**, v. 47, n. 3, p. 274-278, 2011.

SPAEPEN, S.; VANDERLEYDEN, J.; REMANS, R. Indole-3-acetic acid in microbial and microorganismplant signaling. **Federation of European Microbiological**, v.31, p.425-448, 2007.

YANNI, Y.G.; DAZZO, F.B. Enhancement of rice production using endophytic strains of *Rhizobium leguminosarum* bv. *trifolii* in extensive field inoculation trials within the Egypt Nile Delta. **Plant and Soil**, v.336. p.129-142, 2010.