

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS DIAZOTRÓFICAS
EM GENÓTIPOS DE SORGO SACARINO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Alex Caitan Skolaude

Santa Maria, RS, Brasil

2014

INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS DIAZOTRÓFICAS EM GENÓTIPOS DE SORGO SACARINO

Alex Caitan Skolaude

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração em Biodinâmica e Manejo do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Ciência do Solo

Orientador: Prof. Sandro José Giacomini

Santa Maria, RS, Brasil

2014

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Skolaude, Alex Caitan
Inoculação de bactérias diazotróficas em genótipos de sorgo sacarino / Alex Caitan Skolaude.-2014.
50 f.; 30cm

Orientador: Sandro José Giacomini
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, RS, 2014

1. Fixação biológica de N 2. Variáveis biométricas 3. Herbaspirillum rubrisubalbicans 4. Azospirillum brasilense I. Giacomini, Sandro José II. Título.

© 2014

Todos os direitos autorais reservados a Alex Caitan Skolaude. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: alexskolaude@gmail.com

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado**

**INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS DIAZOTRÓFICAS EM
GENÓTIPOS DE SORGO SACARINO**

elaborada por
Alex Caitan Skolaude

Como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Ciência do Solo

COMISSÃO EXAMINADORA:

Sandro José Giacomini, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Paulo Ademar Avelar Ferreira, Dr. (UFSM)

Verônica Massena Reis, Dra. (EMBRAPA)

Santa Maria, 28 de julho de 2014.

**Dedico este trabalho aos meus queridos pais
Sérgio Cláudio Skolaude e Anívea Skolaude.**

AGRADECIMENTOS

A Deus, que sempre iluminou meus caminhos;

Ao meu pai Sérgio, minha mãe Anívea, minha irmã Solange e minha avó Silda pelo amor, carinho e o apoio incondicional.

À Universidade Federal de Santa Maria pela oportunidade de realizar este curso.

Ao professor Sandro J. Giacomini pela amizade, apoio, confiança e orientação na execução deste trabalho.

Aos professores do PPGCS pelos ensinamentos durante a realização deste curso.

À CAPES pela bolsa de estudo concedida.

À Xavéle Braatz Petermann pelo apoio, carinho, amor, paciência, incentivo e compreensão durante esta etapa. Também por ter com quem contar nos momentos difíceis e alegres, tornando tudo mais fácil.

Aos bolsistas e ex-bolsistas de iniciação científica do LABCEN: Raquel, Willian, Adriane, Aílson, Bruno, Cledir, Frederico, Heitor, Ismael, José, Maurício, Roberta e Alessandra que se empenharam para a realização deste trabalho e também pela amizade e momentos de descontração.

Aos colegas e ex-colegas de laboratório e Pós-Graduandos, Eduardo, Ezequiel, Redin, Majid, Vagner, Stefen, Rosângela, Alessandra, Doneda, Douglas, Guilherme, Getúlio, Maiara, Ricardo, Daniela, Pedro, Rogério, Paola, Rodrigo, Lineu e Cantú.

Aos funcionários do Departamento de Solo, Rose, Eunice, Héverton, Finamor, Paulinho, Michel, Pozzobon, pela amizade e pela ajuda.

À banca examinadora deste trabalho, composta pela Doutor Paulo Ademar Avelar Ferreira e pela Doutora Verônica Massena Reis, pelas considerações e contribuições.

As demais pessoas que, mesmo não citadas, contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

Muitíssimo obrigado!

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil.

INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS DIAZOTRÓFICAS EM GENÓTIPOS DE SORGO SACARINO

AUTOR: ALEX CAITAN SKOLAUDE

ORIENTADOR: SANDRO JOSÉ GIACOMINI

Data e local da defesa: Santa Maria, 28 de julho de 2014.

O sorgo sacarino (*Sorghum bicolor*) apresenta elevado potencial para ser utilizado como matéria prima na geração de etanol. Estudos recentes apontam que o sorgo pode ser colonizado por bactérias diazotróficas que podem fornecer parte do N necessário da cultura através da fixação biológica de N (FBN). O presente estudo teve por objetivo avaliar a eficiência da inoculação de bactérias diazotróficas em genótipos de sorgo sacarino sobre o crescimento, a produção de biomassa, produtividade de colmos e acúmulo de N. Foram realizados dois estudos. O primeiro foi realizado em casa de vegetação com o cultivo de quinze genótipos de sorgo sacarino sob quatro fontes de N: Testemunha, *Herbaspirillum rubrisubalbicans*, *Azospirillum brasilense* e 60 kg ha⁻¹ N. O segundo estudo, foi conduzido a campo por dois anos consecutivos, e avaliados quatro genótipos de sorgo sob cinco fontes de N: Testemunha; *A. brasilense*; 40 kg de N ha⁻¹ (40 N) + *A. brasilense*; 40 N; 80 kg de N ha⁻¹ (80 N). Foram avaliadas em ambos os estudos, variáveis biométricas de crescimento, matéria seca, biomassa e N total acumulado, além de produtividade de colmos e de caldo no estudo de campo. Nos dois estudos não houve interação entre genótipos e fontes de N. No estudo I, os melhores resultados foram obtidos com a inoculação de *Azospirillum brasilense* o qual promoveu um incremento em MSR, altura, diâmetro de colmos e acúmulo de N de 30%, 9%, 10% e 8%, respectivamente, em relação à testemunha. No estudo II, o genótipo BRS 511 teve alta produção de colmos e de caldo, além de minimizar o risco de acamamento, por possuir baixa estatura de planta e o maior diâmetro médio de colmos. A inoculação não aumentou as variáveis analisadas, exceto a produção de caldo. O uso isolado do inoculante resultou em produção de caldo semelhante aquela obtida no tratamento 40N. Combinando o uso do inoculante com N (40N) houve um incremento de 6% na produção de caldo em relação ao tratamento 40N e atingiu 93% da produção obtida no tratamento 80N. Os resultados desse estudo apontam para um efeito positivo da inoculação de *Azospirillum brasilense* sobre a produção de caldo em sorgo sacarino.

Palavras-chave: Fixação biológica de N. variáveis biométricas. *Herbaspirillum rubrisubalbicans*. *Azospirillum brasilense*.

ABSTRACT

Master Dissertation
Soil Science Post-Graduation Program
Federal University of Santa Maria.

DIAZOTROPHIC BACTERIA INOCULATION IN SWEET SORGHUM GENOTYPES

AUTHOR: ALEX CAITAN SKOLAUDE

ADVISER: SANDRO JOSÉ GIACOMINI

Date and Place of Defense; Santa Maria, July 28, 2014.

The sweet sorghum (*Sorghum bicolor*) presents high potential to be utilized as a raw material for the generation of ethanol. Recent studies indicated that sorghum can be colonized by diazotrophic bacteria that may provide part of the necessary crop N through biological N fixation (BNF). Therefore, the present study was aimed to evaluate the efficiency of inoculation with diazotrophic bacteria in sweet sorghum genotypes for growth, biomass production, stalk yield and N accumulation. Two studies were conducted. The first study was conducted in a greenhouse where fifteen sorghum genotypes were grown under four N sources i.e, control (without any N source), *Herbaspirillum rubrisubalbicans*, *Azospirillum brasilense* and 60 kg N ha⁻¹. The second study was conducted in the field for two consecutive years with four sorghum genotypes under five sources of N: control (without any N source); *A. brasilense*; 40 kg N ha⁻¹ (40 N) + *A. brasilense*; 40 kg N ha⁻¹ and 80 kg N ha⁻¹ (80 N). In both studies, biometric variables of growth, dry matter, biomass and total N accumulation were evaluated besides sugarcane stalk and grain head yield in the field study. In both studies there was no interaction between genotypes and N sources. In the first study, the best results were obtained with the inoculation of *Azospirillum brasilense* which promoted an increase in dry matter (MSR), plant height, stalk diameter and N accumulation of 30%, 9 %, 10% and 8%, respectively, compared to control. In the second study, the genotype BRS 511 had high stalk production and grain head and low plant height and higher average stalk diameter which minimized the risk of lodging , Inoculation of plants did not increase the variables analyzed, except the production of grain head. The isolated use of inoculant resulted in production of similar grain head that was obtained with 40N treatment. Combined use of inoculant with N (40N) resulted in an increase of 6% in grain head production compared to treatment 40N and reached to 93% obtained with 80N treatment. The results of this study indicated a positive effect of inoculation with *Azospirillum brasilense* on the production of grain head in sweet sorghum.

Keywords: Biological N fixation. Biometric variables. *Herbaspirillum rubrisubalbicans*. *Azospirillum brasilense*.

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO II

- Figura 1. Dados meteorológicos dos dois anos agrícolas, no período de janeiro a maio de 2013 (A) e de novembro de 2013 a março de 2014 (B), na região de Santa Maria - RS (INMET, 2014) 31
- Figura 2. Produção de caldo das plantas de sorgo sacarino. 40

LISTA DE TABELAS

ARTIGO I

- Tabela 1. Grau de significância da análise de variância para as variáveis matéria seca parte aérea (MSPA), matéria seca raízes (MSR), altura, diâmetro de colmos e N total acumulado nas plantas de sorgo sacarino ($P < 0,05$)..... 19
- Tabela 2. Produção de matéria seca de parte aérea (MSPA), matéria seca de raízes (MSR), altura, diâmetro de colmos e N total acumulado das plantas de sorgo sacarino com inoculação de bactérias diazotróficas e aplicação de nitrogênio 19
- Tabela 3. Produção de matéria seca de parte aérea (MSPA), matéria seca de raízes (MSR), altura de plantas, diâmetro de colmos e N total acumulado dos 15 genótipos de sorgo sacarino..... 22

ARTIGO II

- Tabela 1. Grau de significância da análise de variância para as variáveis massa verde (MV), massa seca (MS), produção de colmos desfolhados (PCD), caldo, altura, diâmetro de colmos e N total (N) acumulado nas plantas de sorgo sacarino ($P < 0,05$)..... 32
- Tabela 2. Nitrogênio total acumulado na parte aérea das plantas de sorgo sacarino com inoculação de bactérias diazotróficas e aplicação de nitrogênio 33
- Tabela 3. Nitrogênio total acumulado na parte aérea das plantas dos 4 genótipos de sorgo sacarino 35
- Tabela 4. Produção de massa verde (MV), massa seca (MS), produção de colmos desfolhados (PCD), altura de plantas e diâmetro médio de colmos das plantas de sorgo sacarino com inoculação de bactérias diazotróficas e aplicação de nitrogênio..... 36
- Tabela 5. Produção de massa verde (MV), massa seca (MS), produção de colmos desfolhados (PCD), altura de plantas e diâmetro médio de colmos de quatro genótipos de sorgo sacarino..... 37
- Tabela 6. Produção de massa verde (MV), massa seca (MS), produção de colmos desfolhados (PCD), altura de plantas e diâmetro médio de colmos de sorgo sacarino em dois anos de cultivo 38

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL.....	12
2 ARTIGO I: CRESCIMENTO E ACÚMULO DE NITROGÊNIO EM GENÓTIPOS DE SORGO SACARINO EM FUNÇÃO DA INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS DIAZOTRÓFICAS.....	15
2.1 Resumo.....	15
2.2 Introdução	16
2.3 Material e métodos.....	17
2.4 Resultados e Discussão	18
2.5 Conclusões	23
2.6 Referências Bibliográficas	24
3 ARTIGO II: CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE GENÓTIPOS DE SORGO SACARINO INOCULADOS COM BACTÉRIAS DIAZOTRÓFICAS.....	27
3.1 Resumo.....	27
3.2 Introdução	28
3.3 Material e métodos.....	29
3.4 Resultados e Discussão	32
3.6 Referências Bibliográficas	41
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48

1 INTRODUÇÃO GERAL

A produção de etanol no Brasil tem como principal matéria-prima a cana-de-açúcar. No entanto, durante o período da entressafra dessa cultura as usinas ficam ociosas e a produção de etanol diminui ocasionando elevação dos preços deste biocombustível. Neste contexto o sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) Moench ssp. *saccharatum*] pode surgir como matéria-prima para estender o período de produção de etanol. Esta cultura também pode ser utilizada na ocupação das áreas de renovação da cana-de-açúcar, podendo ser utilizada como matéria-prima para início ou fim de safra. Outra opção é a utilização do sorgo em áreas recém-implantadas com cana, onde os canaviais ainda não são suficientes para suprir as necessidades da indústria (Canavialis, 2012).

Estrategicamente é muito importante que outras fontes potenciais para geração de biocombustíveis sejam incorporadas, principalmente quando nos referimos ao Rio Grande do Sul, onde 98% do etanol utilizado nos veículos é oriundo de outros estados do Brasil. A cultura do sorgo também apresenta grande importância por favorecer o desenvolvimento da agricultura familiar, que possui grande expressividade na região Sul, pois a agro industrialização do sorgo pode ser realizada em micro e minidestilarias produtoras de etanol ou aguardente, baseados, por exemplo, no cooperativismo ou associativismo de agricultores.

O sorgo sacarino apresenta alta capacidade para se adaptar as mais variadas condições de solo, por possuir tolerância ao déficit de água e ao excesso de umidade no solo (Dajui, 1995; Prasad, et al., 2007). Conforme Emygdio et al. (2012) o sorgo sacarino encontra-se como ótima matéria-prima para a geração de biocombustível, pois apresenta alta produção de biomassa em um espaço de apenas quatro meses de cultivo, além de ser totalmente mecanizável e poder ocupar os mesmos equipamentos utilizados na cultura da cana-de-açúcar.

Uma das principais limitações para alcançar altos rendimentos com a cultura do sorgo está relacionada ao manejo da adubação nitrogenada. O N é o nutriente que mais limita a produção (Roberto et al., 2010), indispensável para a cultura por participar de vários processos responsáveis pela manutenção das plantas. É parte constituinte de aminoácidos, coenzimas, enzimas e ácidos nucleicos (Taiz & Zeiger, 2004) e também compõe a molécula de clorofila (Andrade et al., 2003). A dependência da adubação nitrogenada, somada a utilização de forma irracional, como altas doses de N têm refletido além dos elevados custos de produção, em efeitos danosos sobre o ambiente. A volatilização de amônia e a desnitrificação de parte do N aplicado com a ureia contribuem para a poluição da atmosfera,

além disso, a possível lixiviação de NO_3^- causa poluição do lençol freático (Kennedy et al., 2004). Nesse aspecto o manejo adequado do N deve visar não somente a diminuição dos custos econômicos, mas também buscar a diminuição da contaminação ambiental (Guimarães, 2006).

O uso dos recursos biológicos do solo e do potencial genético das plantas pode ser uma excelente estratégia para reduzir o uso do N na cultura do sorgo. Dentre os diversos organismos existentes no ambiente, os microrganismos capazes de fixar N estão presentes em diferentes ecossistemas, e no solo ocorrem de forma livre ou em associação com as plantas (Alves, 2007). A fixação biológica de N (FBN) é considerada o segundo processo biológico mais importante do planeta, apenas atrás da fotossíntese, juntamente com a decomposição orgânica. Este processo contribui anualmente com 175 milhões de toneladas de N fixado (Moreira & Siqueira, 2002).

As bactérias diazotróficas além de promover a FBN (Huerdo et al., 2008), podem favorecer o crescimento das plantas pela produção de hormônios (Peng et al., 2002) e de outras moléculas (Perring et al., 2007), na solubilização de fosfato (Marra et al., 2012) e na promoção de antagonismo a espécies patogênicas (Baldani & Baldani, 2005; Moreira et al., 2010; Hungria, 2011). Assim, os benefícios das bactérias podem ser diretos ou indiretos (Sabino, 2007).

Para que a FBN ocorra de maneira eficiente é necessário que microrganismos, plantas e ambiente estejam perfeitamente relacionados. Dobbelaere et al. (2003) e Raimam et al., (2007) demonstraram que a especificidade entre a planta e a estirpe utilizada podem explicar a resposta variável advinda da inoculação. Grayston et al. (1998) verificaram que genótipos de trigo, azevém e trevo em dois solos distintos, variaram o tamanho e a composição da comunidade microbiana na rizosfera das plantas, devido principalmente a qualidade da rizodeposição. Isso demonstra o forte efeito que o genótipo da planta exerce sobre a seleção dos microrganismos na rizosfera.

A presença de nitrogênio mineral no ambiente é mais um fator que precisa ser levado em consideração por influenciar diretamente sobre a interação entre planta e bactéria, pois o complexo nitrogenase pode ser inibido por formas como nitrato e amônia. Em razão disso, Dobbelaere et al. (2003) consideram que em sistemas onde se desenvolve uma agricultura intensiva é possível que a inoculação de bactérias diazotróficas não apresentem respostas satisfatórias, devido aos altos níveis de N adicionados ao solo.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi o de avaliar o efeito da inoculação de bactérias diazotróficas sobre o crescimento, o acúmulo de N e a produtividade de sorgo sacarino.

2 ARTIGO I: CRESCIMENTO E ACÚMULO DE NITROGÊNIO EM GENÓTIPOS DE SORGO SACARINO EM FUNÇÃO DA INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS DIAZOTRÓFICAS

2.1 Resumo

O objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência da inoculação de bactérias diazotróficas sobre o crescimento, acúmulo de N e produção de biomassa de 15 genótipos de sorgo sacarino. O experimento foi conduzido em casa de vegetação da UFSM em vasos de 3 L por 45 dias. O solo utilizado foi um Argissolo Vermelho Distrófico arênico coletado na camada de 0-20 cm, previamente seco ao ar e peneirado em 4 mm. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, em esquema fatorial 15 x 4 com três repetições. Os tratamentos foram compostos de 15 genótipos de sorgo sacarino, e quatro fontes de N: T1 - Testemunha; T2 - *Herbaspirillum rubrisubalbicans*; T3 - *Azospirillum brasilense*; T4 - 60 kg ha⁻¹ N. Os parâmetros avaliados foram: avaliada matéria seca da parte aérea e de raízes (MSR), diâmetro de colmos, altura de plantas e N total. Não houve interação entre genótipos e fontes de N. Independente do genótipo avaliado, a inoculação com *Azospirillum brasilense* promoveu um incremento em MSR, altura e diâmetro de colmos de 30%, 9% e 10%, respectivamente, em relação à testemunha. As estirpes *Azospirillum brasilense* e *Herbaspirillum rubrisubalbicans* promoveram um aumento de 8% no acúmulo de N em relação às plantas do tratamento testemunha. A inoculação apresentou efeito positivo para MSR, altura de plantas, diâmetro de colmos e N total, entretanto não substituiu a aplicação de 60 kg de N.

Palavras-chave: *Azospirillum brasilense*, *Herbaspirillum rubrisubalbicans*, Altura de plantas, Produção de biomassa.

2.2 Introdução

No Brasil, a produção de etanol tem como principal matéria-prima a cana-de-açúcar. No entanto, o seu cultivo em diversas regiões do Brasil e, especialmente no Rio Grande do Sul é limitado pelas condições edafoclimáticas locais, que não satisfazem as exigências da cultura. Neste contexto, o sorgo sacarino (*Sorghum Bicolor*) tem atraído grande interesse na produção de bioenergia por ser uma cultura rústica, de ciclo curto e de ampla adaptabilidade às diversas condições climáticas, tolerância a estresse hídrico, baixa fertilidade e a acidez do solo (Rohowsky et al., 2012). Esta cultura também surge como importante alternativa para a geração de biomassa para a produção de etanol na entressafra da cana-de-açúcar (Zegada-Lizarazu & Monti, 2012; Han et al., 2012; Ratnavathi et al., 2011).

O sorgo sacarino apresenta características semelhantes à cana-de-açúcar, contendo colmos suculentos com elevados teores de açúcares fermentescíveis no caldo (Anandan et al. 2012). Além disso, a produção de etanol a partir do sorgo sacarino pode ser realizada nas mesmas instalações utilizadas pela cana-de-açúcar. No Brasil, A produtividade média de biomassa verde de cana-de-açúcar é de 76 Mg ha⁻¹ (Conab, 2011), diminuindo gradativamente a partir do primeiro corte. Embora a produtividade média de massa verde do sorgo sacarino seja menor que a cana-de-açúcar (50 Mg ha⁻¹), a habilidade desta cultura desenvolver-se em um menor ciclo permite o seu cultivo em mais de uma safra por ano, podendo-se concluir que esta cultura apresenta elevado potencial para produção de etanol (Parrella et al., 2010).

De maneira geral, o N é o elemento mais requerido pela cultura do sorgo sacarino, no entanto este fato representa, além do alto custo de produção, um aumento nos danos ao ambiente, pela poluição dos mananciais e o uso de recursos energéticos não renováveis, com fortes implicações à sustentabilidade do agroecossistema, o que não ocorre quando priorizamos o uso de biofertilizantes (Saikia & Jain, 2007). A fixação biológica de nitrogênio (FBN), realizada por um grupo de bactérias diazotróficas, entra neste contexto como uma alternativa limpa e gratuita de suprir as demandas de N da cultura. Atualmente se tem conhecimento da grande diversidade de espécies de bactérias que são capazes de se associar com várias espécies de gramíneas, entre elas as estirpes dos gêneros *Azospirillum* e *Herbaspirillum* (Bhattacharjee et al., 2008). Culturas como milho, cana-de-açúcar, sorgo e outras gramíneas são beneficiadas com a inoculação de bactérias diazotróficas, podendo fornecer de 30 a 50% das necessidades de N (Matiru & Dakora, 2004).

No entanto, a eficácia do processo biológico da FBN depende da perfeita interação entre microrganismos, plantas e ambiente. Nesse sentido, é necessário que os microrganismos

envolvidos sejam os mais específicos e eficientes, que as plantas sejam geneticamente favoráveis a esta interação e que o ambiente também forneça condições favoráveis para a otimização da FBN.

No melhoramento genético de espécies vegetais, deixa-se de considerar as interações entre plantas e microrganismos promotores de crescimento, excluindo possíveis materiais potencialmente capazes de realizar a FBN, priorizando apenas características como produtividade, eficiência no uso de fertilizantes e a resistência a pragas e doenças (Montañez et al., 2009). Com isso, para que possamos favorecer o processo de FBN, devemos considerar os diferentes genótipos cultivados, visto as relações que abrangem essa complexa interação existente entre planta e bactéria.

Assim, o presente trabalho teve por objetivo avaliar em casa de vegetação a eficiência da inoculação de bactérias diazotróficas em 15 genótipos de sorgo sacarino sobre o crescimento, acúmulo de N e produção de biomassa das plantas.

2.3 Material e métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Santa Maria - RS. O solo utilizado foi um Argissolo Vermelho Distrófico arênico (Hapludalf) (Embrapa, 2006), coletado na camada de 0 - 20 cm. Após a coleta o solo foi seco ao ar em temperatura ambiente e, posteriormente, passado em peneira de 4 mm de abertura de malha. O solo apresentava as seguintes características químicas: matéria orgânica = 1,5%; P (Mehlich) = 23,8 mg dm⁻³; K = 60 mg dm⁻³; Ca = 1,5 cmol_c dm⁻³; Mg = 0,8 cmol_c dm⁻³; pH em H₂O = 5,0; CTC = 7,9 cmol_c dm⁻³. A correção da fertilidade do solo foi realizada de acordo com o recomendado pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS) – RS/SC (2004). Como fonte de P e K foi utilizado superfosfato triplo e cloreto de potássio, respectivamente, os quais foram aplicados em doses equivalentes de 115 kg ha⁻¹ de P e 28 kg ha⁻¹ de K.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com três repetições em esquema fatorial 15 x 4: quinze genótipos de sorgo sacarino e quatro fontes de N (dois inoculantes com estirpes de diazotróficas, um controle sem N e sem inoculação e um somente com N). Os genótipos de sorgo utilizados foram cedidos pela Embrapa, a saber: BRS 506, BRS 511, CMSXS 630, CMSXS 639, CMSXS 644, CMSXS 647 e CMSXS 648, pela Fepagro (FEP 11, FEP 18, FEP 19, FEP 23 e FEP 38) e obtidos comercialmente da Ceres Sementes® (EJ 7281, EJ 7282 e CB 7520); e os inoculantes com as estirpes *Herbaspirillum*

rubrisubalbicans (Hr) e *Azospirillum brasilense* (Abv 5 + Abv 6). O inoculante formado pela estirpe *Herbaspirillum rubrisubalbicans* (Hr) foi fornecido pela Embrapa Agrobiologia. Já o inoculante composto pela estirpe *Azospirillum brasilense* (Masterfix[®]L gramíneas) foi adquirido da empresa Stoller[®]. No tratamento com aplicação de N utilizou-se sulfato de amônio [(NH₄)₂SO₄] em quantidade equivalente a dose de 60 kg ha⁻¹. O N foi aplicado na forma de solução na área próxima as plantas em duas doses parceladas, aos 10 e 20 dias após a emergência (DAE).

A inoculação das duas estirpes nas sementes dos 15 genótipos testados foi realizada à sombra e o inoculante distribuído de maneira uniforme sobre as sementes. O inoculante líquido com Ab e o turfoso com Hr foram utilizados nas doses de 20 mL e 10 g por kilograma de sementes, respectivamente. Logo após a inoculação foi realizada a semeadura das sementes em vasos plásticos contendo 3 L de solo. Posteriormente, sete dias após a emergência das plantas foi realizado um desbaste e deixado somente duas plantas por vaso. Durante o período experimental, a umidade do solo nos vasos foi mantida a 80% da capacidade de campo mediante pesagem diária dos vasos plásticos.

Aos 45 dias após a semeadura foram realizadas as avaliações de diâmetro de colmos, altura de plantas, massa seca de parte aérea (MSPA), massa seca de raízes (MSR) e acúmulo de N na parte aérea. O diâmetro médio dos colmos, ao nível do solo, foi medido com auxílio de um paquímetro e a estatura média de plantas (do nível do solo a última aurícula visível) com auxílio de uma trena métrica. Em seguida, a parte aérea das plantas foi cortada e as raízes das plantas foram retiradas do solo com água corrente sob peneira. A parte aérea e as raízes das plantas foram secas em estufa de ventilação forçada à 65°C para a determinação da MSPA e de MSR. As plantas foram pré-moídas em moinho tipo Willey (peneiras de 2 mm) e, em seguida levadas para moinho de rolagem até a pulverização. A análise do teor de N total na MSPA foi realizada em analisador elementar (FlashEA[®] 1112, Thermo Fisher).

Os resultados obtidos foram submetidos à análise da variância e as médias dos tratamentos foram comparadas entre si através do teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade utilizando-se o programa estatístico SISVAR 5.0 (Ferreira, 2003).

2.4 Resultados e Discussão

Não houve interação entre genótipos de sorgo sacarino e fontes de nitrogênio para as variáveis MSPA, MSR, altura de plantas, diâmetro de colmos e acúmulo de N (Tabela 1). Houve apenas efeito isolado dos fatores sobre essas variáveis.

Tabela 1: Grau de significância da análise de variância para as variáveis matéria seca parte aérea (MSPA), matéria seca raízes (MSR), altura, diâmetro de colmos e N total acumulado nas plantas de sorgo sacarino ($P < 0,05$).

	MSPA	MSR	Altura	Diâmetro	Nitrogênio
Genótipos	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Tratamentos	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Genótipo x Tratamentos	0,9323	0,8329	0,9987	0,2401	0,6341

Analisando apenas os tratamentos com o uso da inoculação observa-se que as estirpes de bactérias diazotróficas utilizadas não promoveram aumento no acúmulo de MSPA nos genótipos de sorgo sacarino (Tabela 2). Segundo Quadros (2009), inúmeros fatores estão relacionados com o processo de interação entre planta e bactéria como o estado nutricional da planta e da bactéria, a estirpe, genótipo da planta e competição com outros microrganismos do solo. Estes fatores podem ter sido responsáveis por não haver resposta significativa para a produção de MSPA, nos tratamentos com inoculantes.

Tabela 2. Produção de matéria seca de parte aérea (MSPA), matéria seca de raízes (MSR), altura, diâmetro de colmos e N total acumulado das plantas de sorgo sacarino com inoculação de bactérias diazotróficas e aplicação de nitrogênio aos 45 dias após o plantio.

Tratamentos	MSPA	MSR	Altura	Diâmetro	N total
	----- g planta ⁻¹ -----		cm	mm	mg planta ⁻¹
Testemunha	3,44 b ⁽¹⁾	2,0 d	25,9 c	6,8 c	30,7 c
Hr ⁽²⁾	3,46 b	2,3 c	26,9 c	7,5 b	32,4 b
Ab	3,51 b	2,6 b	28,3 b	7,5 b	33,9 b
60 N	4,45 a	3,2 a	30,2 a	8,5 a	52,3 a
CV %	8,9	17,7	9,5	7,6	10,5

⁽¹⁾ Médias na coluna seguidas com a mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade. ⁽²⁾Hr - *Herbaspirillum rubrisubalbicans*; Ab - *Azospirillum brasilense*. Média de três repetições.

Verifica-se efeito da inoculação sobre as demais variáveis avaliadas (MSR, altura, diâmetro de colmos e acúmulo de N). Com relação a MSR, o uso das estirpes Ab e Hr resultaram em aumento em relação a testemunha em 30% e 15%, respectivamente. Steenhoudt & Vandereyden (2000) em um estudo utilizando a mesma bactéria, *Azospirillum*, observaram que as raízes sofrem alterações morfológicas, aumentando os pelos radiculares e as raízes laterais, devido a produção de auxinas. Esse acréscimo dos pelos radiculares e raízes secundárias podem ter aumentado a MSR de sorgo sacarino.

Apenas a estirpe Ab promoveu incremento na altura das plantas em relação ao tratamento testemunha (Tabela 2). Esse aumento resultou em plantas com estatura 9% superior aquela observada na testemunha. Esse resultado está em consonância com os encontrados por Pedrinho (2009) e Braccini et al. (2012), onde a inoculação de *A. brasilense* promoveu maior altura de plantas de milho. Já para o diâmetro de colmos foi observado efeito semelhante das estirpes *Azospirillum brasilense* e *Herbaspirillum rubrisubalbicans*, em que o diâmetro das plantas inoculadas superou em 10% daquele das plantas do tratamento testemunha. Verona et al. (2010) ao avaliarem o diâmetro de colmos na cultura do milho, verificaram que a inoculação proporcionou aumentos consideráveis para esta variável.

Além de promover a FBN, as bactérias endofíticas, como por exemplo, a *Azospirillum brasilense*, também podem estimular as plantas pela produção de fitohormônios, indução de resistência a doenças, solubilização de fósforo e zinco, resistência a estresses, entre outros (Arencibia et al., 2006; Saravanan et al., 2008). Idris et al. (2009) com o objetivo de verificar a eficiência de vários isolados rizobacterianos de sorgo em condições de casa de vegetação, observaram que a bactéria *Serrantia marcescens* estirpe KBS6-H apresentou os melhores resultados no crescimento das plantas de sorgo. Os mesmos autores atribuíram tais resultados ao efeito positivo sobre a produção de fitohormônios, produção de sideróforos e solubilização de fosfato.

O acúmulo de N nas plantas de sorgo sacarino inoculadas com as estirpes Ab e Hr aumentou em 8% em relação às plantas do tratamento testemunha (Tabela 2). Embora tenha promovido incremento no acúmulo de N o efeito da inoculação foi significativamente inferior ao observado no tratamento com o uso de uma dose de N equivalente a 60 kg ha⁻¹. Observa-se que a adubação nitrogenada provocou um aumento no acúmulo de N 8,8 vezes maior do que aquele obtido com a inoculação. A adubação nitrogenada (60 kg ha⁻¹ N) também mostrou resposta significativa para as demais variáveis analisadas, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. Tais resultados devem-se a adequada nutrição nitrogenada das plantas que receberam N. Adequados teores de N, principalmente nas folhas, podem proporcionar alta

síntese de carboidratos pelo processo de fotossíntese, o que pode favorecer o desenvolvimento do sistema radicular e melhorar a exploração dos nutrientes do solo (Santos & Pereira, 1994).

Os genótipos de sorgo sacarino apresentaram comportamentos distintos quanto às variáveis MSPA, MSR, altura de planta e diâmetro de colmos e acúmulo de N (Tabela 3). A maior produção de MSPA foi observada nos genótipos BRS 511 e CMSXS 647 (4,2 g planta⁻¹). Já a maior produção de MSR foi observada nos híbridos EJ7282 e CB7520 (3,1 g planta⁻¹), os quais diferiram estatisticamente dos demais genótipos estudados. As maiores produções de biomassa e MS de determinadas cultivares de sorgo sacarino podem estar correlacionadas com a característica fenotípica de altura de planta (Tomich et al., 2004). De acordo com Leite, (2007), as características de produção de MS no sorgo estão positivamente correlacionadas com a variável altura das plantas. Observa-se que o BRS 511 e o CMSXS 647 estão entre os genótipos com maior altura, resultado que pode justificar as maiores produções de MSPA encontradas nesses genótipos. Neumann et al. (2002) também verificaram que maiores alturas de plantas contribuíram para a maior produção de MS nas plantas de sorgo forrageiro.

Tabela 3. Produção de matéria seca de parte aérea (MSPA), matéria seca de raízes (MSR), altura de plantas, diâmetro de colmos e N total acumulado dos 15 genótipos de sorgo sacarino.

Genótipo	MSPA	MSR	Altura	Diâmetro	N total
	----- g planta ⁻¹ -----		cm	mm	mg planta ⁻¹
BRS 506	3,7 c ⁽¹⁾	2,2 b	27,8 c	7,5 b	34,0 b
BRS 511	4,2 a	2,1 b	29,9 a	7,8 b	40,4 a
CMSXS 630	3,5 c	2,4 b	27,5 c	8,4 a	37,8 a
CMSXS 639	3,9 b	2,5 b	28,7 b	7,6 b	38,2 a
CMSXS 644	3,8 b	2,6 b	28,4 b	7,8 b	35,4 b
CMSXS 647	4,2 a	2,4 b	31,4 a	7,2 c	38,5 a
CMSXS 648	3,8 b	2,5 b	27,3 c	8,0 a	37,6 a
FEP 11	3,6 c	2,6 b	25,4 c	7,8 b	39,0 a
FEP 18	3,8 b	2,6 b	29,0 b	7,7 b	39,8 a
FEP 19	3,6 c	2,3 b	29,0 b	7,6 b	39,2 a
FEP 23	3,7 c	2,4 b	30,5 a	7,2 c	38,8 a
FEP 38	3,3 c	2,6 b	26,2 c	8,0 a	39,0 a
EJ 7281	3,5 c	2,5 b	26,1 c	6,6 d	31,8 b
EJ 7282	3,6 c	3,1 a	27,3 c	6,9 d	32,9 b
CB 7520	3,6 c	3,1 a	23,0 d	7,6 b	37,6 a
CV %	8,9	17,7	9,5	7,6	10,5

⁽¹⁾Médias na coluna seguidas com a mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade.

Com relação ao diâmetro médio dos colmos, verificou-se que as cultivares CMSXS 630 (8,4 mm), CMSXS 648 (8,0 mm) e FEP 38 (8,0 mm) obtiveram os maiores diâmetros. Menores valores foram observados para os híbridos EJ 7281 e EJ 7282, com 6,6 mm e 6,9 mm, respectivamente. O acúmulo médio de N nos genótipos com os maiores valores para essa variável foi de 38,7 mg planta⁻¹ (Tabela 3). Entre os genótipos avaliados se destaca o BRS 511, o qual apresentou o maior valor de N acumulado. Observa-se que esse mesmo

genótipo apresentou os maiores valores para as variáveis MSPA e altura de plantas indicando o mesmo como sendo um material de elevado potencial produtivo.

De acordo com Reis et al. (2000), existe um consenso de que a seleção de genótipos de plantas exibe-se, juntamente com a escolha de estirpes eficientes, como principal fator para a FBN. Ainda, é importante salientar, para que haja sucesso com a inoculação de bactérias diazotróficas, tanto a planta como a bactéria devem se encontrar nutricionalmente supridas. Para que a FBN ocorra é necessário energia na forma de ATP, sendo que a amônia é energeticamente mais favorável que o N atmosférico. A FBN é bastante complexa, ocorrendo somente quando a concentração de N no solo for insuficiente e em níveis reduzidos de O₂, podendo em situações contrárias ocasionar a inativação da enzima nitrogenase. Portanto, a FBN não é realizada de forma constante pela bactéria fixadora e ocorre exclusivamente quando as condições de planta e bactéria são supridas (Hoffmann, 2007). Além disso, segundo Döbereiner & Pedrosa (1987) a efetiva colonização da planta pelas bactérias inoculadas pode sofrer influência também da competitividade entre as bactérias com outras estirpes ou elementos da microbiota do solo. Por conseguinte, não se pode desconsiderar a possível presença de estirpes nativas no local do experimento, pois essas bactérias podem mascarar os efeitos da inoculação pela competição com as estirpes inoculadas, principalmente no tratamento testemunha.

Os resultados obtidos no presente estudo apontam um efeito positivo da inoculação sobre as plantas de sorgo sacarino, em especial quando utilizada a estirpe de *Azospirillum brasilense*. Tal prática pode promover aumentos na altura das plantas e diâmetro de colmo, além da maior produção de MSR e acúmulo de N, podendo promover maior eficiência na absorção de nutrientes e água do solo (Gadagi et al., 2004) com reflexos positivos sobre a produção de biomassa pelo sorgo sacarino.

2.5 Conclusões

A inoculação de sorgo sacarino com *Azospirillum brasilense* e *Herbaspirillum rubrisubalbicans* aumenta a produção de matéria seca de raízes, altura de plantas, diâmetro de colmos e acúmulo de nitrogênio na parte aérea das plantas, em relação a testemunha. No entanto, seu efeito é significativamente inferior ao observado com a adubação nitrogenada.

2.6 Referências Bibliográficas

- ANANDAN, S.; ZOLTAN, H.; KHAN, A.; RAVI, D.; BLUMMEL, M. Feeding value of sweet sorghum bagasse and leaf residues after juice extraction for bio-ethanol production fed to sheep as complete rations in diverse physical forms. **Animal feed science and technology**, v.175, p.131-136, 2012.
- ARENCIBIA, A.D.; ESTEVEZ Y.; VINAGRE, E.; BERNAL, A.; PEREZ, J.; CARMONA, E.; HEMERLY, A.S.; SANTANA, I. Induced-resistance in sugarcane against pathogenic bacteria *Xanthomonas albilineans* mediated by an endophytic interaction. **Sugar Tech**, v.8, n.4, p.272-280, 2006.
- BHATTACHARJEE, R. B.; SINGH, A.; MUKHOPADHYAY, S. N. Use of nitrogen-fixing bacteria as biofertiliser for non-legumes: prospects and challenges. **Applied Microbiology Biotechnology**, Berlin, v.80, p.199-209, 2008.
- BRACCINI, L.A.; DAN, L.G.M.; PICCININ, G.G.; ALBRECHT, L.P.; BARBOSA, M.C.; ORTIZ, A.H.T. Seed inoculation with *Azospirillum brasilense*, associate with the use of bioregulators in maize. **Revista Caatinga**, v.25, n.2, p.58-64, mar.-jun., 2012.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/ SC. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10.ed. Porto Alegre, SBCS - Núcleo Regional Sul/UFRGS, 400 p., 2004.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, décimo primeiro levantamento, agosto de 2011**. Brasília: Conab, 2011. Disponível em: < <http://www.conab.gov.br/>> Acesso em: 01 jul. 2014.
- DÖBEREINER, J.; PEDROSA, F. O. Nitrogen-fixing bacteria in non-leguminous crop plants. **Science Tech Publishers**, 155 p., 1987.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 306p., 2006.
- FERREIRA, D. F. **Programa de análises estatísticas (statistical analysis sotware) e planejamento de experimentos – SISVAR 5.0** (Build 67). Lavras: DEX/UFLA, 2003.
- GADAGI, R.S.; KRISHNARAJ, P.U.; KULKARNI, J.H.; AS, T. The effect of combined *Azospirillum* inoculation and nitrogen fertilizer on plant growth promotion and yield response of the blanket flower *Gaillardia pulchella*. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.100, p.323-332, 2004.
- HAN, K. J.; PITMAN, W. D.; ALISON, M. W.; HARRELL, D. L.; VIATOR, H. P.; McCORMICK, M. E.; GRAVOIS, K. A.; KIM, M.; DAY, D. F. Agronomic considerations for sweet sorghum biofuel production in the South-Central USA. **Bioenergy Research**, v.5, n.3, p.748-758, 2012.

HOFFMANN, L. V. Biologia molecular da fixação biológica do nitrogênio. In: SILVEIRA, A. P. D.; FREITAS, S. S. **Microbiota do solo e qualidade ambiental**. Campinas. Instituto Agronômico, p.153-164, 2007.

IDRIS, A.; LABUSCHAGNE, N.; KORSTEN, L. Efficacy of rhizobacteria for growth promotion in sorghum under greenhouse conditions and selected modes of action studies. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v.147, p.17-30, 2009.

LEITE, A. R. P. **Atributos agronômicos do sorgo forrageiro em Latossolo da Amazônia em função da adubação fosfatada, nitrogenada e calagem**. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2007.

MATIRU, V. N.; DAKORA, F. D. Potential use of rhizobial bacteria as promoters of plant growth for increased yield in landraces of African cereal crops. **African Journal of Biotechnology**, vol.3(1), p.1-7, 2004.

MONTAÑEZ, A.; ABREU, C.; GILL, P. R.; HARDARSON, G.; SICARDI, M. Biological nitrogen fixation in maize (*Zea mays* L.) by ¹⁵N isotope-dilution and identification of associated culturable diazotrophs. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.45, p.253-263, 2009.

NEUMANN, M.; RESTLE, J.; ALVES FILHO, D. C.; BRONDANI, I. L.; PELLEGRINI, L. G.; FREITAS, A. K. Avaliação do valor nutritivo da planta e da silagem de diferentes híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor*, L. Moench). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.1, p.293-301, 2002.

PARRELA, R. A. da C.; MENEGUCI, J. L. P.; RIBEIRO, A.; SILVA, A. R.; PARRELA, N. N. L. D.; RODRIGUES, J. A. dos S.; TARDIN, F. D.; ROBERT E. SCHAFFERT, R. E. Desempenho de Cultivares de Sorgo Sacarino em Diferentes Ambientes Visando a Produção de etanol. In: **Anais Congresso Nacional de milho e sorgo**. CD-ROM. Goiânia, 2010.

PEDRINHO, E.A.N. **Isolamento e caracterização de bactérias promotoras de crescimento em milho (*Zea mays* L.)**. 2009. 87p. Tese (Doutorado em Microbiologia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Jaboticabal, SP, 2009.

QUADROS, P. D. **Inoculação de *Azospirillum* spp. em sementes de genótipos de milho cultivados no Rio Grande do Sul**. 2009. 74 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

RATNAVATHI, C. V.; CHAKRAVARTHY, S. K.; KOMALA, V. V.; CHAVAN, U. D.; PATIL, J. V. Sweet sorghum as feedstock for biofuel production: a review. **Sugar Tech**, v.13, n.4, p.399-407, 2011.

REIS, V. M.; BALDANI, J. I.; BALDANI, V. L.; DOBEREINER, J. Biological dinitrogen fixation in gramineae and palm trees. **Critical Reviews in Plant Science**, Philadelphia, v.19, n.3, p.227-247, 2000.

ROHOWSKY, B.; HÄBLER, T.; GLADIS, A.; REMMELE, E.; SCHIEDER, D.; FAULSTICH, M. Feasibility of simultaneous saccharification and juice co-fermentation on

hydrothermal pretreated sweet sorghum bagasse for ethanol production. **Applied Energy**, v.2, p.1-9, 2012.

SAIKIA, S. P.; JAIN, V. Biological nitrogen fixation with non- legumes: An achievable target or a dogma?. **Current Science**, Bangalore, v.92, n.3, p.317-322, 2007.

SANTOS, H. P.; PEREIRA, L. R. Efeito de sistemas de sucessão de cultura de inverno sobre algumas características agronômicas de milho em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p.1691-1694, 1994.

SARAVANAN, V. S.; MADHAIYAN, M.; OSBORNE J.; THANGARAJU M.; SA, T.M. Ecological Occurrence of *Gluconacetobacter diazotrophicus* and Nitrogen-fixing *Acetobacteraceae* Members: Their Possible Role in Plant Growth Promotion. **Microbiology Ecology**, v.55, p.130-140, 2008.

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

TOMICH, T. R.; RODRIGUES, J. A. S.; TOMICH, R. G. P.; GONÇALVES, L. C.; BORGES, I. **Potencial forrageiro de híbridos de sorgo com capim sudão**. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, v.56, n.2, p.258-263, 2004.

VERONA, D.A.; DUARTE JUNIOR, J.B.; ROSSOL, C.D.; ZOZ, T.; COSTA, A.C.T. Tratamento de Sementes de Milho com Zeavit®, Stimulate® e Inoculação com *Azospirillum* sp. **In.:** Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 18., 2010. Goiânia: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2010.

ZEGADA-LIZARAZU, W.; MONTI, A. Are we ready to cultivate sweet sorghum as a bioenergy feedstock? A review on field management practices. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v.40, p.1-12, 2012.

3 ARTIGO II: CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE GENÓTIPOS DE SORGO SACARINO INOCULADOS COM BACTÉRIAS DIAZOTRÓFICAS

3.1 Resumo

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da inoculação com *Azospirillum brasilense* em genótipos de sorgo sacarino, sobre o crescimento, acúmulo de N e produção de biomassa. O experimento foi conduzido em condições de campo nos anos agrícolas de 2012-13 e 2013-14 em um Argissolo Vermelho Distrófico arênico. O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos foram compostos de quatro genótipos de sorgo sacarino, sob cinco condições: T1 - Testemunha; T2 - inoculado; T3 - 40 N + inoculado; T4 - 40 N; T5 - 80 N. Para a inoculação foi usado o inoculante a base de *Azospirillum brasilense*. No estágio de grão pastoso-farináceo foi realizada a colheita e avaliado: produção de massa verde, massa seca, colmos, altura de plantas, diâmetro de colmos, produção de caldo extraído por prensagem e o acúmulo de N. A inoculação apresentou efeito apenas na produção de caldo. O uso combinado de inoculante + 40N ocasionou um incremento de 6% na produção de caldo em relação ao tratamento 40N. Os genótipos FEP 38, BRS 511 e o BRS 506 apresentaram as maiores produções de colmos desfolhados 54,4 Mg ha⁻¹, 53,8 Mg ha⁻¹ e 53,7 Mg ha⁻¹, respectivamente. A inoculação de sorgo sacarino com *Azospirillum brasilense* foi suficiente para aumentar a produção de caldo ao nível daquela obtida com o uso de 50% da dose de N recomendada. O uso combinado de *Azospirillum brasilense* e adubação nitrogenada apresentou efeito significativo em relação à utilização deste insumo de maneira isolada na variável produção de caldo de sorgo sacarino.

Palavras-chave: *Azospirillum brasilense*, Fixação biológica de nitrogênio, Acúmulo de N, Produção de caldo.

3.2 Introdução

O sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) Moench ssp. *saccharatum*] é uma gramínea anual, que pertence ao grupo de plantas com metabolismo C4 e possui grande adaptação e tolerância a condições adversas (Rohowsky et al., 2012; Landau & Sans, 2008). Esta cultura não apresenta produção expressiva no Brasil, mas ultimamente, se destaca como interessante alternativa para a produção de etanol. Nos próximos anos, esta cultura poderá atingir 1,5 milhão de hectares plantados e gerar um volume de etanol na entressafra de 4,5 bilhões de litros (Embrapa, 2012). Da mesma forma que a cana-de-açúcar o sorgo sacarino apresenta grande potencial energético como fonte renovável de energia (Whitfield et al., 2012). O sorgo sacarino é considerado muito importante alternativa para o sistema de produção de energia, pois apresenta alta produção de biomassa, açúcares fermentescíveis e baixos requerimentos de fertilizantes e água (Murray et al., 2009; Fernández, 2004; Siri-Prieto et al., 2006).

O requerimento nutricional do sorgo sacarino varia diretamente com o potencial de produção. Estudos para recomendação de adubação nitrogenada nesta cultura são poucos, e as indicações são baseadas na cultura do milho (CQFS, 2004). Para as culturas do sorgo e do milho o nitrogênio (N) apresenta-se como o nutriente mais limitante (Civardi et al., 2011). A ureia é o fertilizante nitrogenado mais utilizado, entretanto além do alto custo de produção, representa potencial aumento nos danos ao ambiente, pela poluição da água e pelo uso de recursos energéticos não renováveis (Tasca et al., 2011). Conforme Meira et al. (2009), a ureia possui maior índice de perdas de N por volatilização, e por apresentar alta solubilidade também pode resultar em perdas por lixiviação. A adição de adubos nitrogenados também pode aumentar potencialmente as emissões de N₂O (Chu et al., 2004; Cardenas et al., 2010), que é um gás que possui alto potencial de aquecimento global (IPCC, 2007).

Dessa forma se torna imprescindível buscar alternativas para reduzir a aplicação destes insumos na cultura. Neste contexto, o uso de microrganismos fixadores de N pode ser uma importante alternativa, pois possuem a capacidade de fixar o N atmosférico (FBN) e disponibilizar esse N para as plantas (James, 2000). Esse fato pode trazer aumento da produtividade e a redução no consumo de fertilizantes nitrogenados. Além disso, as bactérias diazotróficas podem estimular o desenvolvimento da planta pela produção de substâncias promotoras de crescimento, que favorecem o sistema radicular e proporciona maior absorção de água e nutrientes (Correa et al., 2008), e conseqüentemente aumentando o vigor e produção da planta (Bashan et al., 2004; Hungria, 2011).

Para que o potencial de FBN seja eficiente, é necessário que microrganismos, plantas e ambiente estejam perfeitamente relacionados. Em um trabalho realizado com sorgo, Bergamaschi et al. (2007) verificaram que a distribuição de bactérias diazotróficas está intimamente relacionada com o genótipo utilizado. Estudos demonstram que baixos índices nas respostas de plantas inoculadas são consequência da especificidade entre a planta e o inóculo da bactéria (Dobbelaere et al., 2003; Raimam et al., 2007). Além disso, existem diferenças entre cultivares tradicionais e melhoradas, o que pode resultar em distintos níveis de associação com as bactérias fixadoras de N (Hardoim et al. 2011). Para a FBN o genótipo da planta exerce, juntamente com a seleção de estirpes, como principal fator para uma eficiente inoculação (Reis et al., 2000). O principal gênero de bactérias que comumente se associa a gramíneas é o *Azospirillum*, o qual forma associações superficiais com o sistema radicular (Baldani & Baldani, 2005).

Assim, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a eficiência da inoculação de bactérias diazotróficas em quatro genótipos de sorgo sacarino sobre o crescimento, acúmulo de N e produção de biomassa em condições de campo.

3.3 Material e métodos

O trabalho foi conduzido nos anos agrícolas de 2012/13 e 2013/14 na área experimental do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria, localizada na região central (29°42'59.69"S, 53°42'10.74", a cerca de 80 m de altitude) do Rio Grande do Sul. O clima do local é subtropical úmido (tipo Cfa2, de acordo com Köppen). O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho Distrófico arênico (Embrapa, 2006). A área é manejada no sistema plantio direto e nos últimos dois anos antes da instalação do experimento foi cultivada com a sucessão soja (*Glycine max*) / azevém (*Lolium multiflorum*). Em 07 de agosto de 2012 foi realizada a coleta de solo na camada 0-0,1 m, que apresentou as seguintes características: 14% de argila; 1,3% de matéria orgânica; 13,5 mg dm⁻³ de P; 34,5 mg dm⁻³ de K; 1,6 cmol_c dm⁻³ de Ca; 0,7 cmol_c dm⁻³ de Mg; pH H₂O de 5,4; CTC a pH₇ de 5,3 cmol_c dm⁻³. Em 03 de setembro de 2012, quatro meses antes da implantação do experimento, a área recebeu 1,4 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico aplicados na superfície do solo.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições em esquema fatorial 4 x 5: quatro genótipos de sorgo sacarino e cinco fontes de N (inoculante com estirpe diazotrófica, inoculante + 50% da dose de N, 50% da dose de N e 100% da dose

de N e controle sem N e sem inoculação). Os genótipos de sorgo utilizados foram o BRS 506 e BRS 511, ambos híbridos simples e o FEP 18 e FEP 38, ambos com polinização aberta e todos com ciclo médio de 120 dias; e o inoculante com a estirpe *Azospirillum brasilense* (Ab5 + Abv6) (Masterfix[®]L gramíneas) adquirido da empresa Stoller[®]. Os genótipos e o inoculante utilizados nesse estudo foram selecionados em um estudo realizado em casa de vegetação que avaliou 15 genótipos de sorgo e dois inoculantes.

Nos dois anos agrícolas a semeadura do sorgo foi realizada sobre resíduos culturais de azevém em 04 de janeiro de 2013 e 15 de novembro de 2013 no sistema de semeadura direta. No primeiro ano agrícola, em função do baixo índice de germinação das plantas devido ao selamento superficial do solo ocasionado pela ocorrência de intensa precipitação um dia após a semeadura foi realizada a ressemeadura do sorgo em 11 de janeiro de 2013. Para a semeadura foram abertos os sulcos com auxílio de uma semeadora e a distribuição das sementes realizada manualmente. O espaçamento entre linhas foi de 0,45 m, perfazendo após o desbaste uma população final de aproximadamente 120.000 plantas ha⁻¹ (seis plantas por metro linear). Nos dois anos agrícolas, no momento da abertura dos sulcos com auxílio da semeadora aplicou-se em todas as parcelas 400 kg ha⁻¹ de fertilizante NPK na formulação 00-20-20. A dose de adubação de correção de P e K foi definida com base na análise química do solo e na recomendação pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS) - RS/SC (2004). Nos tratamentos com inoculação, anteriormente a semeadura, as sementes dos genótipos de sorgo receberam o inoculante. A inoculação foi feita à sombra e o inoculante distribuído de maneira uniforme sobre as sementes na dose de 100 mL ha⁻¹. A adubação nitrogenada nos tratamentos que receberam N foi dividida em duas aplicações. A primeira de 15 kg ha⁻¹ foi realizada no momento da semeadura e a fonte de N utilizada foi o sulfato de amônio [(NH₄)₂SO₄]. O restante do N foi aplicado em cobertura aos 35 dias após a emergência (DAE), sendo aplicados 25 e 65 kg de N ha⁻¹, respectivamente, nos tratamentos com 50% e 100% da dose de N recomendada. Na adubação de cobertura a fonte de N utilizada foi a ureia (45% de N), aplicada ao lado das plantas na linha de semeadura.

O controle das plantas daninhas foi realizado por meio de capina manual realizada aos 30 DAE. Nos dois anos, sempre que necessário, foram realizadas irrigações por aspersão durante o ciclo do sorgo. As irrigações foram computadas como precipitação do dia e são apresentadas juntamente com as temperaturas médias e precipitações na Figura 1. Em decorrência do ataque de *Spodoptera frugiperda* (lagarta do cartucho) e *Rhopalosiphum maidis* (pulgão do milho), foram realizadas respectivamente duas aplicações de Methomex 215 SL na dose de 600 ml p.c. ha⁻¹ aos 20 e 40 DAE.

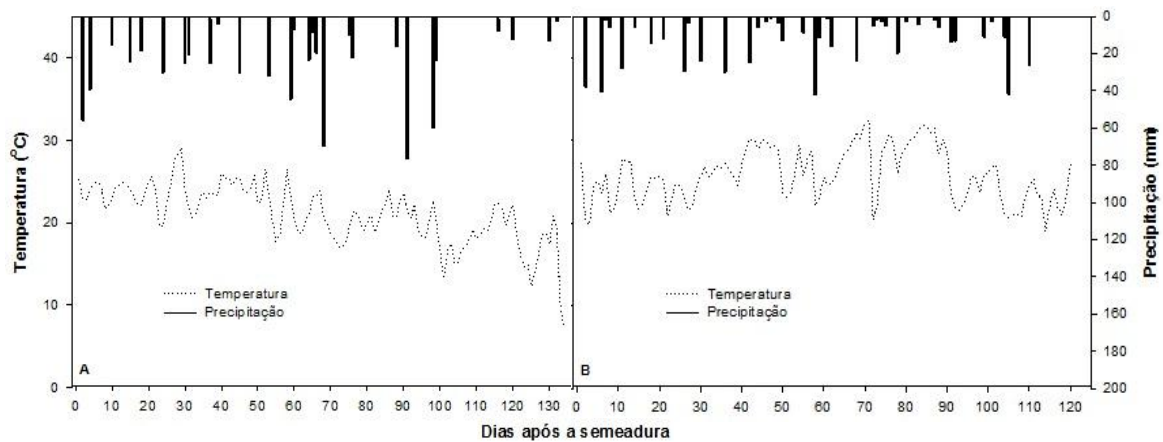


Figura 1. Temperaturas médias diárias e precipitação diária ocorrida nos dois anos agrícolas, no período de janeiro a maio de 2013 (A) e de novembro de 2013 a março de 2014 (B). Os dados foram obtidos em estação meteorológica automática do Instituto Nacional de Meteorologia instalada na UFSM em Santa Maria - RS (INMET, 2014).

As avaliações na cultura do sorgo foram realizadas em 17 de maio de 2013 e 15 de março de 2014, respectivamente, no primeiro e segundo ano agrícola, quando os grãos das panículas atingiram o estágio de grão pastoso-farináceo, o que ocorreu em ambos os anos aos 130 dias após a semeadura. Em dez plantas coletadas aleatoriamente dentro da área útil de cada parcela foi realizada a avaliação do diâmetro médio na base de colmos com auxílio de um paquímetro e altura de plantas com auxílio de trena medindo-se da planta da base até o ápice da panícula. Em seguida as dez plantas, foram separadas em colmos, folhas e panículas. Os colmos foram pesados para determinação da produção de colmos desfolhados (PCD). Logo após os diferentes componentes das plantas foram passados em triturador de forragem e subamostrados e levadas para estufa de secagem a 65°C até atingirem peso constante para determinação do conteúdo de matéria seca (MS). As amostras secas foram pré-moídas em moinho tipo Willey (peneira de 1 mm) e, em seguida processadas em moinho de rolagem até a pulverização (Smith & Um, 1990). Em cada componente da planta foi realizada a análise do teor de N-total em analisador elementar (modelo FlashEA 1112, Thermo Finnigan, Milan, Itália). A MS produzida e o N acumulado pelo sorgo representam a soma de todos os componentes. A determinação de N total foi realizada somente no primeiro ano de cultivo. Para a avaliação da biomassa verde (MV) foram coletadas as plantas de três metros lineares nas três linhas centrais de cada parcela, totalizando nove metros lineares por parcela. O caldo dos colmos foi extraído de cinco plantas colhidas aleatoriamente na área útil da parcela. A

extração do caldo foi realizada pela passagem dos colmos em uma moenda e o rendimento de caldo calculado em $L Mg^{-1}$ de colmos.

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos foram comparadas entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro com o auxílio do programa SISVAR 5.0 (Ferreira, 2003). Para as variáveis, testou-se a interação entre os fatores genótipos, fontes de N e anos agrícolas.

3.4 Resultados e Discussão

A análise de variância dos dados de crescimento analisadas (biomassa verde, matéria seca, produção de colmos, produção de caldo, altura de plantas e diâmetro de colmos) indicou ausência de interação significativa entre os fatores genótipos x fontes de N x anos de cultivo. Entretanto, houve interação significativa entre genótipos e anos e também entre fonte de N e anos (Tabela 1). Observa-se que para as variáveis de biomassa verde, produção de colmos desfolhados, altura de plantas e N total os fatores de variação, genótipos e fontes de N, mostraram-se significativos, no entanto não apresentaram interação entre si, indicando que a resposta às fontes de N é pouco dependente do genótipo.

Tabela 1: Grau de significância da análise de variância para as variáveis biomassa verde (MV), massa seca (MS), produção de colmos desfolhados (PCD), caldo, altura, diâmetro de colmos e N total (N) acumulado nas plantas de sorgo sacarino ($P < 0,05$).

	MV	MS	PCD	Caldo	Altura	Diâmetro	N
Genótipos	0,0002	0,0004	0,0024	0,6527	0,0000	0,0175	0,5700
Tratamentos	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0389	0,3969	0,0000
Anos	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0009	-----
G x T	0,2269	0,0351	0,9373	0,9340	0,9121	0,9856	0,7757
G x A	0,0000	0,0091	0,0019	0,2857	0,0000	0,2768	-----
T x A	0,0333	0,0145	0,6698	0,8107	0,7831	0,1303	-----
G x T x A	0,5745	0,2972	0,8530	0,8128	0,5895	0,9991	-----

A inoculação isolada ou combinada com 50% da dose de N utilizada no presente estudo não afetou o acúmulo de N pelas plantas de sorgo sacarino (Tabela 2). Barros Neto (2008) e Barraco et al., (2009) em estudo com milho, também não verificaram efeito da

utilização de *Azospirillum* com diferentes níveis de N sobre a produção de grãos. Em contrapartida, Sala et al. (2008) verificaram que o uso combinado de *A. brasilense* + 60 kg ha⁻¹ de N em trigo, promoveu maior acúmulo de N na parte aérea. Döbereiner & Pedrosa (1987) afirmam que a possível presença de estirpes nativas no local do experimento pode mascarar os efeitos da inoculação pela competição com as estirpes inoculadas, principalmente no tratamento testemunha. Pelo fato da bactéria Ab estar distribuída em diversos ambientes, não se pode desconsiderar a possível presença destas bactérias no local do presente estudo. No entanto, o fato da adubação nitrogenada ter provocado significativo aumento no acúmulo de N indica que, mesmo que tenha ocorrido contribuição da FBN para o acúmulo de N para os genótipos testados, a mesma não conseguiu atender a demanda da planta. Observa-se na Tabela 5 que as doses de N de 40 e 80 kg ha⁻¹ provocaram aumento de 11 e 33% na quantidade de N na parte aérea do sorgo sacarino. Ao analisar de maneira isolada a quantidade de N em cada componente das plantas de sorgo, observa-se comportamento semelhante à encontrada para o N total acumulado na parte aérea.

Segundo Santos & Pereira (1994), plantas que apresentam elevado teor de N, principalmente nas folhas, proporcionam alta síntese de carboidratos pelo processo de fotossíntese, e este fato reflete na melhor exploração dos nutrientes no solo devido ao favorecimento do desenvolvimento do sistema radicular das plantas.

Tabela 2. Nitrogênio total acumulado na parte aérea das plantas de sorgo sacarino com inoculação de bactérias diazotróficas e aplicação de nitrogênio.

Tratamentos	Colmo	Folha		Grão	Total
		----- N (kg ha ⁻¹) -----			
Testemunha	35,0 c ⁽¹⁾	46,8 b	45,9 c	127,7 c	
Inoculante	33,7 c	46,8 b	47,2 c	126,3 c	
Inoculante + 40 N	41,2 b	54,0 b	53,3 b	148,5 b	
40 N	39,5 b	52,5 b	51,9 b	143,9 b	
80 N	51,3 a	79,0 a	61,2 a	191,5 a	
CV %	16,9	22,8	12,4	11,8	

⁽¹⁾ Médias seguidas com a mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade.

É importante salientar que o aumento do desenvolvimento radicular e por consequência melhor acesso à água e nutrientes no solo também são efeitos positivos da utilização de bactérias diazotróficas (Hungria et al., 2010), principalmente pela produção do

ácido Indol Acético (AIA) (Bhattacharyya & Jha, 2012). Com isso plantas inoculadas podem apresentar um melhor desenvolvimento em condições de stress hídrico do que plantas não inoculadas (Yuwono et al., 2005). Pelo fato de no presente estudo ter sido utilizado irrigação, o que mantém condições próximas ao ideal em relação a disponibilidade de água deve ter limitado a expressão de um possível melhor desenvolvimento radicular das plantas inoculadas. Caso tivéssemos uma condição de déficit hídrico, o melhor desenvolvimento do sistema radicular das plantas inoculadas poderia auxiliar no acúmulo de nutrientes nos tecidos, e dessa forma promover uma melhor resposta.

Os genótipos de sorgo sacarino estudados apresentaram respostas diferenciadas quanto ao acúmulo de N total nas folhas e nos grãos das plantas (Tabela 3). Para o N total acumulado na planta os teores variaram de 144,8 kg ha⁻¹ no BRS 511 à 152,1 kg ha⁻¹ no FEP 38, mas sem diferença estatística. De maneira geral, entre os materiais avaliados não houve tendência de resposta dos genótipos em função da instituição de origem, exceto na variável N acumulado nos grãos, onde foi verificado o menor acúmulo de N nos materiais da Embrapa. Conforme Fernandes et al. (1991), a variabilidade na absorção de N pode ser atribuída as diferenças genéticas dos materiais.

O acúmulo de N nos colmos não apresentou diferença entre os quatro genótipos utilizados neste estudo, entretanto nas folhas dos materiais BRS 511, BRS 506 e FEP 38 foram observados os maiores valores de N acumulado. Segundo Vitti & Mazza (2002); Demattê (2005); Vasconcelos & Garcia (2005), as características morfológicas e fisiológicas do sistema radicular, aeração do solo, disponibilidade de água e de nutrientes e as condições de temperatura são fatores que influenciam no acúmulo de nutrientes, principalmente do N.

Tabela 3. Nitrogênio total acumulado na parte aérea das plantas dos quatro genótipos de sorgo sacarino colhidos aos 120 dias após o plantio.

Genótipos	Colmo	Folha	N (kg ha ⁻¹)	
			Grão	Total
BRS 511	40,2 a ⁽¹⁾	57,4 a	47,2 c	144,8 a
BRS 506	41,1 a	60,4 a	44,5 c	146,0 a
FEP 18	38,0 a	49,1 b	60,2 a	147,4 a
FEP 38	41,2 a	55,4 a	55,7 b	152,1 a
CV %	16,9	22,8	12,4	11,8

⁽¹⁾ Médias seguidas com a mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade.

A produção de biomassa, matéria seca e produção de colmos aumentaram apenas com o uso da adubação nitrogenada (Tabela 4). A produção de biomassa verde teve efeito significativo da adubação nitrogenada, comportamento este que está em acordo com o observado na massa seca e produção de colmos desfolhados. A adubação de 80 kg ha⁻¹ de N resultou para MV, MS e PCD em um incremento de 15, 5,5 e 12 Mg ha⁻¹, respectivamente, em relação a testemunha. De acordo com Quadros (2009); Ramos et al., (2010) diversos fatores podem estar relacionados com o processo de interação entre planta e bactéria como, por exemplo, o estado nutricional da planta e da bactéria, o tipo de estirpe, genótipo da planta e competição com outros microrganismos do solo, número ideal de células viáveis por sementes e o potencial fisiológico da semente. Assim, o motivo pelo qual não houve resposta significativa para a produção de MV, MS e PCD nos tratamentos com inoculante, pode estar relacionado a um dos fatores citados acima. Fernandes (2013) encontrou valores de produção massa fresca de colmos de sorgo sacarino de 43,1 a 48,9 Mg ha⁻¹ ao avaliar diferentes espaçamentos entrelinhas, e adubados com 120 kg ha⁻¹ de N. Estes valores foram bastante inferiores ao encontrado neste estudo, e com uma dose de N de 40 kg ha⁻¹ menor.

Tabela 4: Produção de biomassa verde (MV), massa seca (MS), produção de colmos desfolhados (PCD), altura de plantas, diâmetro médio de colmos das plantas de sorgo sacarino.

Tratamentos	MV	MS	PCD	Altura	Diâmetro
	----- Mg ha ⁻¹ -----			cm	mm
Testemunha	60,1 c ⁽¹⁾	17,7 c	47,9 c	305,8 b	17,2 a
Inoculante	60,8 c	18,0 c	48,4 c	315,5 a	17,4 a
Inoculante + 40 N	68,6 b	20,9 b	55,2 b	315,2 a	16,8 a
40 N	67,7 b	20,3 b	53,7 b	315,7 a	16,9 a
80 N	75,1 a	23,2 a	59,9 a	314,0 a	17,2 a
CV %	8,3	9,6	10,1	4,7	7,8

⁽¹⁾ Médias seguidas com a mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade.

De acordo com Emygdio et al. (2011a) a produção de MV está diretamente relacionada com altura de plantas e diâmetro do colmo, entretanto não se verificou tal relação no presente estudo. Os tratamentos testados não afetaram as médias de altura de plantas e diâmetro de colmos de sorgo, exceto o tratamento testemunha, que na variável altura de plantas apresentou o menor valor (306 cm), diferindo dos demais tratamentos. Lima et al. (2011) também não encontraram diferenças significativas para altura da planta. Os resultados estão de acordo com os encontrados por Bolonhezi et al. (2011), os quais verificaram alturas de plantas de sorgo sacarino que variaram de 250 cm à 320 cm.

Os genótipos de sorgo sacarino diferiram quanto as variáveis analisadas de MV, MS, PCD, altura de plantas e diâmetro médio de colmos, o que mostra a existência de variabilidade genética entre eles (Tabela 5). No rendimento de biomassa pelos cultivares de sorgo sacarino, pode-se ressaltar que a maior produção foi observada no cultivar FEP 38 (70 Mg ha⁻¹), sendo superior aos demais materiais. Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Bolonhezi et al. (2011), porém são superiores aos encontrados por Parrella et al. (2010) ao avaliar 25 cultivares de sorgo sacarino em diferentes regiões do Brasil, em que obtiveram médias de biomassa verde de 46,4 Mg ha⁻¹. Com isso, pode-se considerar que as cultivares de sorgo sacarino avaliadas neste trabalho, apresentam elevado desempenho na produção de biomassa verde, o que permite a exploração desta cultura tanto para a produção de energia limpa quanto para o seu uso na alimentação animal.

Tabela 5: Produção de biomassa verde (MV), massa seca (MS), produção de colmos desfolhados (PCD), altura de plantas e diâmetro médio de colmos de quatro genótipos de sorgo sacarino.

Genótipos	MV	MS	PCD	Altura	Diâmetro
	----- Mg ha ⁻¹ -----			cm	mm
BRS 511	66,9 b ⁽¹⁾	19,8 b	53,8 a	300,5 c	17,6 a
BRS 506	65,6 b	19,1 b	53,7 a	296,3 c	17,1 b
FEP 18	64,0 b	20,5 a	50,2 b	331,5 a	16,6 b
FEP 38	69,4 a	20,8 a	54,4 a	324,7 b	17,1 b
CV %	8,3	9,6	10,1	4,7	7,8

⁽¹⁾ Médias seguidas com a mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade.

Ao analisar a PCD podemos destacar os genótipos FEP 38, BRS 511 e o BRS 506, com uma produção de 54,4 Mg ha⁻¹, 53,8 Mg ha⁻¹ e 53,7 Mg ha⁻¹, respectivamente, os quais superaram o genótipo FEP 18 com produção de colmos de 50,2 Mg ha⁻¹. Estes resultados estão em acordo com Emygdio et al. (2011b), que obtiveram produção de colmos da cultivar de sorgo sacarino BRS 506 que variaram de 48 Mg ha⁻¹ a 70 Mg ha⁻¹, conforme o espaçamento utilizado. Apesar da altura de plantas e diâmetro de colmos serem considerados componentes de rendimento, nesse estudo, foi verificado que essas variáveis não interferiram na PCD dos três genótipos que obtiveram os maiores valores para essa variável. Assim, poderíamos recomendar o genótipo BRS 511, pois o mesmo teve alta PCD, além de minimizar o risco de acamamento, por possuir menor estatura de planta e maior diâmetro médio de colmos.

O genótipo FEP 18 apresentou o maior crescimento com 331,5 cm de altura diferindo estatisticamente dos demais genótipos avaliados. A maior altura de plantas pode afetar o manejo da cultura, principalmente no momento da colheita, pela maior possibilidade de acamamento. A menor altura foi registrada no BRS 506 (296,3 cm), que não diferiu do BRS 511 (300,5 cm). Com este resultado, podemos inferir que houve uma maior resposta para esta variável dos materiais pertencentes à Fepagro, sobressaindo-se sobre os genótipos da Embrapa. Parrella et al. (2010), observaram médias de altura de plantas para 5 regiões do Brasil de 278,6 cm, valores inferiores ao do presente estudo. Conforme Leite (2007), a variável altura de plantas no sorgo sacarino é um fator de crescimento muito importante por estar relacionado diretamente a produção de MS.

O maior valor de diâmetro de colmos (17,6 mm) foi observado no genótipo BRS 511. Estes resultados foram superiores aos encontrados por Souza et al. (2014), que ao analisar o diâmetro de colmos de quatro genótipos de sorgo sacarino, encontraram valores que variaram de 10,6 mm a 15,2 mm.

Ao analisar o fator ano de cultivo, observou-se que houve efeito significativo para todas as variáveis estudadas (Tabela 6). Zhao et al. (2009) ao avaliarem a produção de MS e o teor de açúcar nos colmos de sorgo sacarino, também encontraram efeito do ano de plantio. Como as cultivares de sorgo sacarino respondem de maneira variável ao fotoperíodo e à temperatura, as alterações climáticas durante os ciclos de cultivo afetam diretamente o desenvolvimento e a produtividade da cultura. Silva et al. (2005), testaram 10 cultivares de sorgo semeadas sob condições de fotoperíodo e diferentes temperaturas e concluíram que o estágio da germinação à diferenciação floral é influenciado pelo fotoperíodo e temperatura, enquanto o estágio entre a diferenciação floral à floração e o estágio da floração à fase de grão farináceo são afetados exclusivamente pela temperatura.

Tabela 6: Produção de massa verde (MV), massa seca (MS), produção de colmos desfolhados (PCD), altura de plantas e diâmetro médio de colmos de sorgo sacarino em dois anos de cultivo.

Anos	MV	MS	PCD	Altura	Diâmetro
	----- Mg ha ⁻¹ -----			cm	mm
2012/13	74,2 a ⁽¹⁾	19,2 b	57,8 a	327,4 a	16,7 b
2013/14	58,7 b	20,8 a	48,1 b	299,1 b	17,4 a
CV %	8,3	9,6	10,1	4,7	7,8

⁽¹⁾ Médias seguidas com a mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade.

Para a variável produção de massa verde, verifica-se maior produção no primeiro ano de experimento do que no segundo ano, com uma diferença de produção de 15,5 Mg ha⁻¹ (21 %). O resultado encontrado no primeiro ano, foi superior 19% em relação às metas de rendimento mínimo propostas pelo programa de melhoramento de sorgo sacarino da Embrapa, que é de 60 Mg ha⁻¹ (Schaffert et al., 2011). Conforme May et al. (2012), a produção de MV pelas cultivares de sorgo sacarino está relacionada, principalmente, com a altura de plantas, que é uma característica influenciada pelas condições ambientais e pelas práticas de manejo. Embora tenha havido uma redução significativa na produção de massa

verde, entre o primeiro e o segundo ano de semeadura, é importante destacar que não foi verificada uma redução correspondente quanto à produção de MS. Ainda, foi verificado uma produção superior de MS de sorgo no segundo ano ($20,8 \text{ Mg ha}^{-1}$), com relação ao primeiro ano de cultivo ($19,2 \text{ Mg ha}^{-1}$). Embora o segundo ano tenha produzido menor quantidade de MV, a resposta positiva para a MS, possivelmente está relacionada ao alto índice da doença de final de ciclo denominada Helminthosporiose (*Exserohilum turcicum*), o que deve ter promovido a secagem foliar e a diminuição do volume de caldo nos colmos. A PCD apresentou comportamento semelhante à biomassa verde. No primeiro cultivo o rendimento foi 17% superior ao segundo. Conforme Basílio et al. (2012) a produção de colmos das cultivares é um dos fatores mais importantes quando se pretende utilizar o sorgo para produção de etanol.

Nas variáveis de crescimento, observa-se no fator altura de plantas que o ano um teve maior desenvolvimento das plantas (327,4 cm), valor este estatisticamente superior ao segundo ano em que a média de altura das plantas não alcançou 300,0 cm. No diâmetro médio de colmos ocorreu efeito contrário, pois foi encontrado no segundo ano de cultivo diâmetros de colmos maiores que no primeiro, 17,4 mm e 16,7 mm, respectivamente. Esse comportamento pode ser atribuído ao menor estande de plantas observado na semeadura de segundo ano, levando as plantas, possivelmente, a uma compensação, aumentando o diâmetro do colmo, proporcionalmente a uma menor altura de plantas. O diâmetro de colmo está diretamente relacionado com o acamamento e quebramento de plantas (May et al., 2012), assim diâmetros de colmos maiores podem diminuir a incidência desses problemas. Han et al. (2012), encontraram como resultado no crescimento de sorgo, a densidade de plantas interagindo com diferentes variáveis ambientais. Albuquerque et al. (2010) ao avaliar diferentes espaçamentos e populações de plantas ha^{-1} , observaram que o aumento da população aumentou a produtividade de biomassa verde, porém, sem elevações na massa de colmo por hectare, devido à redução do diâmetro de colmos.

Em relação à produção de caldo, verificou-se uma resposta aos tratamentos diferente do que ocorreu com as outras variáveis analisadas, em que para esta variável observa-se um efeito positivo da inoculação (Figura 2). O tratamento inoculado pode ter sido favorecido pela ação da bactéria, pois neste houve um acréscimo de 6,5% na produção de caldo em relação a testemunha e não diferiu do tratamento 40N. Destaca-se também importante resultado obtido no tratamento com inoculante + 40N em que se observa um incremento de 6% na produção de caldo em relação ao tratamento onde foi utilizado somente a adubação nitrogenada na mesma dose. Os resultados experimentais com a inoculação de *A. brasilense* são bastante divergentes,

mas grande parte dos trabalhos apresenta efeito negativo sobre as bactérias quando em elevados níveis de N, pois se sabe que a nitrogenase é inibida na presença de formas combinadas de N (Dobbelaere et al., 2003; Kirchof et al., 1997), ao contrário do que ocorreu neste estudo. Hungria (2011) também encontrou efeito positivo para o uso de *A. brasilense* associado à aplicação de N em milho, ao verificar maiores rendimentos de grãos. Para Reis Jr. et al. (2008) pode haver interações entre o N e as bactérias diazotróficas, influenciando na assimilação e utilização desse nutriente. O tratamento em que se usou a dose cheia de N (80 kg ha⁻¹) foi o que apresentou o maior rendimento de caldo (463 L Mg⁻¹ colmos), valor este superior aos demais tratamentos avaliados.

As médias de produção de caldo variaram de 409,3 L Mg⁻¹ de colmos para o genótipo BRS 506, a 420,4 L Mg⁻¹ de colmos para o BRS 511, não diferindo estatisticamente. A produção de caldo foi afetada pelo ano de semeadura, onde o primeiro cultivo de sorgo sacarino foi o que obteve maior rendimento, produzindo 484,2 L Mg⁻¹ de colmos. Este resultado foi muito superior ao segundo ano, onde a produção teve um decréscimo de aproximadamente 30%. Este decréscimo na produção de caldo no segundo ano de estudo pode estar relacionado à maior conversão dos compostos, principalmente açúcares em forma de amido nos grãos e em material fibroso, sob a forma de celulose (Tsuchihashi & Goto, 2004).

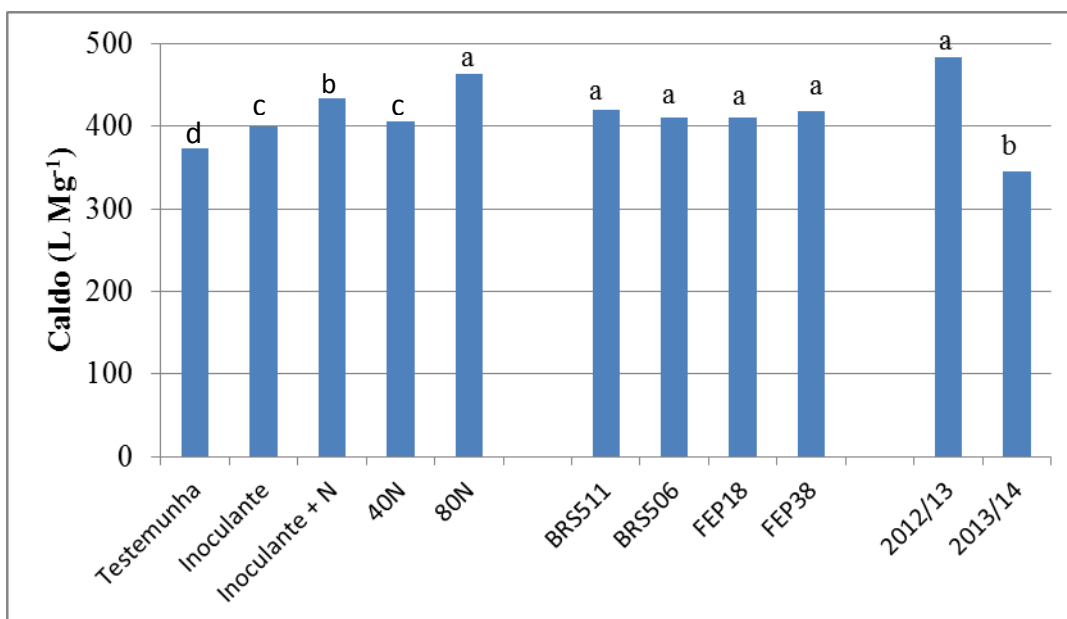


Figura 2: Produção de caldo das plantas de sorgo sacarino.

3.5 Conclusões

- 1) A inoculação de sorgo sacarino com *Azospirillum brasilense* promove efeito sobre a produção de caldo nos colmos semelhante a aplicação 50% da dose de N recomendada para as condições do presente estudo.
- 2) O uso combinado de *Azospirillum brasilense* e adubação nitrogenada promoveu produção de caldo superior àquela obtida com a utilização destes insumos de maneira isolada.
- 3) O genótipo BRS 511 destacou-se pela alta produção de colmos e de caldo, além do menor potencial de acamamento, por possuir baixa estatura de planta e maior diâmetro médio de colmos.

3.6 Referências Bibliográficas

ALBUQUERQUE, C.J.B.; PARRELLA, R.A.C.; TARDIN, F.D.; BRANT, R.S.; SIMÕES, D.A.; FONSECA JÚNIOR, W.B.; OLIVEIRA R.M.; JESUS, K.M. **Potencial forrageiro de cultivares de sorgo sacarino em diferentes arranjos de plantas e localidades de Minas Gerais**. Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 28; Simpósio Brasileiro sobre Lagarta do Cartucho, Goiânia: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, p.2219-2224, 2010.

BALDANI, J.I.; BALDANI, V.L.D. History on the biological nitrogen fixation research in graminaceous plants: special emphasis on the Brazilian experience. **Anais**. Academia Brasileira de Ciência. Rio de Janeiro, v.77, n.3, 2005. p.549-579

BARRACO, M.; ÁLVAREZ, C.; SCIANCA, C. **Estratégias de fertilización de maíz**. General Villegas: INTA, 2009. 7p. (INTA. Jornada Agrofuturo, 2009).

BARROS NETO, C.R. de. **Efeito do nitrogênio e da inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense* no rendimento de grãos de milho**. 2008. 29p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG, 2008.

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, p.521-577, 2004.

BASÍLIO, E.; KANESIRO, L.A.; COSTA, R.S.S. **Avaliação das cultivares de sorgo sacarino, como matéria-prima auxiliar para a agroindústria**. In: VI Workshop de Agroenergia. Ribeirão Preto, jun. 2012.

BERGAMASCHI, C.; ROESCH, L.F.W.; DE QUADROS, P.D.; CAMARGO, F.A.O. Ocorrência de bactérias diazotróficas associadas a cultivares de sorgo forrageiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.3, p.727-733, 2007.

BHATTACHARYYA, P.N.; JHA, D.K. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v.28, n.4, p.1327-1350, 2012.

BOLONHEZI, D.; FERREIRA NETO, L.A.; CASALETI, R.V.; GENTILIN JUNIOR, O.; PEIXOTO, W.M.; NAKAZONE, M.V. Biomassa de três híbridos de sorgo sacarino em cultivo de verão. **Anais. Congresso Brasileiro de Biometeorologia**, Piracicaba, Esalq-USP, 2011.

CARDENAS, L.M.; THORMAN, R.; ASHLEE, N.; BUTLER, M.; CHADWICK, D.; CHAMBERS, B.; CUTTLE, S.; DONOVAN, N.; KINGSTON, H.; DHANOA, M.S.; SCHOLEFIELD, D. Quantifying annual N₂O emission fluxes from grazed grassland under a range of inorganic fertiliser nitrogen inputs. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v.136, p.218-226, 2010.

CHU, H.; HOSEN, Y.; YAGI, K. Nitrogen oxide emissions and soil microbial properties as affected by N-fertilizer management in a Japanese Andisol. **Soil Science Plant Nutrition**, v.50, p.287-29, 2004.

CIVARDI, E.A.; SILVEIRA NETO, A.N.; RAGAGNIN, V.A.; GODOY, E.G.; BROD, E. Uréia de liberação lenta aplicada superficialmente e uréia comum incorporada ao solo no rendimento do milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.41, n.1, p.52-59, 2011.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/ SC. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10.ed. Porto Alegre, SBSC - Núcleo Regional Sul/UFRGS, 2004. 400p.

CORREA, O.S.; ROMERO, A.M.; SORIA, M.A.; ESTRADA, M. de. Azospirillum brasilense-plant genotype interactions modify tomato response to bacterial diseases, and root and foliar microbial communities. In: CASSÁN, F.D.; GARCIA DE SALAMONE, I. (Ed.) **Azospirillum sp.: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina**. Argentina: Asociación Argentina de Microbiología, 2008. p.87-95

DEMATTE, J.L.I. **Recuperação e manutenção da fertilidade dos solos**. Informações Agronômicas, n.111, set., 2005. 24p. (Encarte Técnico).

DOBBELAERE, S.; VANDRLEYDEN, J.; OCON, Y. Plant growth-promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v.22, p.107-149, 2003.

DÖBEREINER, J.; PEDROSA, F.O. Nitrogen-fixing bacteria in non-leguminous crop plants. **Science Tech Publishers**, 155p., 1987.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006, 306p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA BRASILEIRA. **Projeções para o sorgo sacarino**. Disponível em: <<http://revistagloborural.globo.com/Revista/Common/0,,EMI310067-18531,00GOVERNO+VAI+LIBERAR+R+MILHO ES+PARA+CULTIVO+DE+SORGO+SACARINO.html>>. Acesso em: 20 jun. 2014.

EMYGDIO, B.M.; PARRELLA, R.A.; SCHAFFERT, F.D.T.; MENEZES, C.B.; FACCHINELLO, P.H.K.; OLIVEIRA, L.N. de; BARROS, L.M. Desempenho de cultivares de sorgo sacarino visando à produção de etanol em solos hidromórficos. **Revista Agropecuária Gaúcha**, v.17, n1, p.53-59, 2011a.

EMYGDIO B.M.; AFONSO, A.P.S; OLIVEIRA, A.C.B.; PARRELLA, R.; SCHAFFERT, R.E.; MAY, A. **Desempenho de cultivares de sorgo sacarino para a produção de etanol sob diferentes densidades de plantas**. Embrapa Clima Temperado. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 22 p., 2011b.

FERNANDES, P.G. **Avaliação agrônômica de dois cultivares de sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) em Sete Lagoas – MG**. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2013.

FERNANDES, V.L.B.; NUNES, L.A.P.; FILHO, M.M.; SOUSA, V.L.; FERNANDES, M.B. Absorção e utilização de nitrogênio em planta de sorgo cultivado em solução nutritiva. **Ciência Agrônômica**, v.22, n.1/2, p.89-96, 1991.

FERNÁNDEZ, C.G. **Alcohol a partir de sorgo dulce. Sacarificación y fermentación. Comunicaciones científicas y tecnológicas**. Universidad Nacional del Nordeste. Argentina. Resumen E-074. 2004. 3p.

FERREIRA, D. F. **Programa de análises estatísticas (statistical analysis software) e planejamento de experimentos – SISVAR 5.0** (Build 67). Lavras: DEX/UFLA, 2003.

HAN, K.J.; PITMAN, W.D.; ALISON, M.W.; HARRELL, D.L.; VIATOR, H.P.; McCORMICK, M.E.; GRAVOIS, K.A.; KIM, M.; DAY, D.F. Agronomic considerations for sweet sorghum biofuel production in the South-Central USA. **Bioenergy Research**, v.5, n.3, p.748-758, 2012.

HARDOIM, P.R.; ANDREOTE, F.D.; REINHOLD-HUREK, B.; SESSITSCH, A.; VAN OVERBEEK, V.; VAN ELSAS, J.D. Rice root-associated bacteria: insights into community structures across 10 cultivars. **FEMS Microbiology Ecology**, v.77, p.154-164, 2011.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R.J.; SOUZA, E.M.; PEDROSA, F.O. Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. **Plant and Soil**, v.331, n.1-2, p.413-425, 2010.

HUNGRIA, M. **Inoculação com *Azospirillum brasilense*: inovação em rendimento a baixo custo**. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 37p. (Documento, 325).

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2007: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2007.

JAMES, E.K. Nitrogen fixation in endophytic an associative symbiosis. **Field Crops Research**. V.5, p.197-209, 2000.

KIRCHHOF, G.; REIS, V.M.; BALDANI, J.I.; ECKERT, B.; DÖBEREINER, J.; HARTMANN, A. Occurrence, physiological and molecular analysis of endophytic diazotrophic bacteria in gramineous energy plants. **Plant and Soil, Dordrecht**, v.194, p.45-55, 1997.

LANDAU, E.C.; SANS, L.M.A. **Cultivo de sorgo - clima**. Embrapa Milho e Sorgo. Sistemas de Produção, 2 - 4ª edição, 2008. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/35184/1/clima.pdf>> Acesso em: 20 jun. 2014.

LEITE, A.R.P. **Atributos agronômicos do sorgo forrageiro em Latossolo da Amazônia em função da adubação fosfatada, nitrogenada e calagem**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2007.

LIMA, R.C.; KOZUSNY-ANDREANI, D.I.; JUNIOR, R.A.; FONSECA, L. da. Caracterização Fenotípica de Bactérias Diazotróficas Endofíticas Isoladas de Cana-de-açúcar. **Revista Facultad Nacional de Agronomia**, v.64, p.5803-5813, 2011.

MAY, A.; ALBUQUERQUE, C.J.B.; SILVA, A.F. da; PEREIRA FILHO, I.A. Manejo e tratos culturais In: MAY, A.; DURÃES, F.O.M.; PEREIRA FILHO, I.A.; SCHAFFERT, R.E.; PARRELLA, R.A. da C. (Ed.). **Sistema Embrapa de produção agroindustrial de sorgo sacarino para bioetanol: Sistema BRS1G-Tecnologia Qualidade**. Embrapa. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. p.22-31.

MEIRA, F.A.; BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M.; SÁ, M.E.; ANDRADE, J.A.C. Fontes e modos de aplicação do nitrogênio na cultura do milho irrigado. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 30, n. 2, p. 275-284, 2009.

MURRAY, S.C.; ROONEY, W.L.; HAMBIN, M.T.; MITCHELL, S.E.; KRESOVICH, S. Sweet sorghum genetic diversity and association mapping for oBx and height. **The plant genome**. V.2(1), p.48-62, 2009.

PARRELA, R.A. da C.; MENEGUCI, J.L.P.; RIBEIRO, A.; SILVA, A.R.; PARRELA, N.N.L.D.; RODRIGUES, J.A. dos S.; TARDIN, F.D.; ROBERT, E.; SCHAFFERT, R.E. Desempenho de Cultivares de Sorgo Sacarino em Diferentes Ambientes Visando a Produção de etanol. In: **Anais**. Congresso Nacional de milho e sorgo. CD-ROM. Goiânia, 2010.

QUADROS, P.D. **Inoculação de *Azospirillum* spp. em sementes de genótipos de milho cultivados no Rio Grande do Sul**. 74p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

RAIMAM, M.P.; ALBINO, U.; CRUZ, M.F.; LOVATO, G.M.; SPAGO, F.; FERRACIN, T.P.; LIMA, D.S.; GOULART, T.; BERNARDI, C.M.; MIYAUCHI, M.; NOGUEIRA, M.A.; ANDRADE, G. Interaction among free-living N-fixing bacteria isolated from *Drosera villosa* var. *villosa* and AM fungi (*Glomus clarum*) in rice (*Oryza sativa*). **Applied Soil Ecology**, v.35, p.25-34, 2007.

RAMOS, A.S.; SANTOS, T.M.C.; SANTANA, T.M.; GUEDES, E.L.F.; MONTALDO, Y.C. Ação do *Azospirillum lipoferum* no desenvolvimento de plantas de milho. **Revista Verde**, v.5, n.4, p.113-117, 2010.

REIS JUNIOR, F.B.; SILVA, L.G. da; REIS, V.M.; DÖBEREINER, J. Ocorrência de bactérias diazotróficas em diferentes genótipos de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.5, p.985-994, 2000.

REIS JUNIOR, F. B.; MACHADO, C.T.T.; MACHADO, A.T.; SODEK, L. Inoculação de *Azospirillum amazonense* em dois genótipos de milho sob diferentes regimes de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.3, Junho, 2008.

ROHOWSKY, B.; HÄBLER, T.; GLADIS, A.; REMMELE, E.; SCHIEDER, D.; FAULSTICH, M. Feasibility of simultaneous saccharification and juice co-fermentation on hydrothermal pretreated sweet sorghum bagasse for ethanol production. **Applied Energy**, v.2, p.1-9, 2012.

SALA, V.M.R.; CARDOSO, E.J.B.N.; FREITAS, J.G.; SILVEIRA, A.P.D. da. Novas bactérias diazotróficas endofíticas na cultura do trigo em interação com a adubação nitrogenada, no campo. *Biologia do Solo*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.3, mai./jun. 2008.

SANTOS, H.P.; PEREIRA, L.R. Efeito de sistemas de sucessão de cultura de inverno sobre algumas características agrônômicas de milho em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.1691-1694, 1994.

SCHAFFERT, R.E.; PARRELLA, R.A. da C.; MAY, A.; DURÃES, F.O.M. **Metas de rendimento e qualidade de sorgo sacarino**. *Agroenergia em Revista*. – Sorgo sacarino: Tecnologia Agrônômica e Industrial para Alimentos e Energia. Brasília, 3:47, 2011.

SILVA, A.G.; ROCHA, V.S.; HUAMAN, C.A.M.; CECON, P.R.; PORTUGAL, A.F.; TEIXEIRA, I.R. Estádios de crescimento do sorgo forrageiro sob diferentes condições termofotoperiódicas. **Revista Ceres**, Viçosa, v.52, n.304, p.903-920, 2005.

SIRIO-PRIETO, G.; ERNST, O.; MARTÍNEZ-HAEDO, M.Y.; SERGIO, A. **Productividad del sorgo dulce para la producción de etanol según variedad, época de siembra y población en el noreste Uruguayo**. Facultad de Agronomía, Universidad de la República Uruguay. Informe 32-10. 10p., 2006.

SOUZA, L.G.M.; LAZARINI, E.; PIVETTA, R.S.; COLETTI, A.J.; GOES, R.J. Características agrônômicas e tecnológicas de genótipos de sorgo sacarino inoculados com *Azospirillum brasilense* Tarrand. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.10, n.18; 777p., 2014.

TASCA, F.A.; ERNANI, P.R.; ROGERI, D.A.; GATIBONI, L.C; CASSOL, P.C. Volatilização de amônia do solo após a aplicação de uréia convencional ou com inibidor de urease. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.493-502, 2011.

TSUCHIHASHI, N.; GOTO, Y. Cultivation of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L.) Moench and determination of its harvest time to make use as the raw material for fermentation, practiced during rainy season in dry land of Indonésia. **Plant Production Science**, v.7, p.442-448, 2004.

VASCONCELOS, A.C.M.; GARCIA, J.C. **Desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar**. Informações Agronômicas, n.110 - junho, 2005. 5p. (Encarte técnico).

VITTI, G.C.; MAZZA, J.A. **Planejamento, estratégias de manejo e nutrição da cultura de cana-de-açúcar**. Informações Agronômicas, v.97, 2002. p.1-16. (Encarte Técnico).

WHITFIELD, M.B.; CHINN, M.S.; VEAL, M.W. Processing of materials derived from sweet sorghum from biobased products. **Industrial Crops and Products**, v.37, p.362-375, 2012.

YUWONO, T.; HANDAYANI, D.; SOEDARSONO, J. The role of osmotolerant rhizobacteria in rice growth under different drought conditions. **Australian Journal of Agricultural Research**, n.56, p.715-721, 2005.

ZHAO, Y.A.; DOLAT, A.; STEINBERGER, Y.; WANGA, X.; OSMAN, A.; XIE, G.H. Biomass yield and changes in chemical composition of sweet sorghum cultivars grown for biofuel. **Field Crops Research**, v.111, p.55-64, 2009.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste estudo demonstraram a ausência de interação entre genótipos de sorgo sacarino e fontes de N (estirpes diazotróficas, adubação nitrogenada), indicando que a resposta às fontes de N é pouco dependente do genótipo. Em condições de casa de vegetação a inoculação de *Azospirillum brasilense* e *Herbaspirillum rubrisubalbicans* em sorgo sacarino aumenta a produção de matéria seca de raízes, altura de plantas, diâmetro de colmos e acúmulo de N na parte aérea das plantas, entretanto os incrementos nessas variáveis pela inoculação atingiram apenas 11 a 41% do observado com a adubação nitrogenada. Em condições de campo, a inoculação isolada de *Azospirillum brasilense* ou combinada com 50% da dose de N recomendada (40 kg de N ha⁻¹ – 40N) para o sorgo não promoveu aumento em nenhuma variável de crescimento e no acúmulo de N na planta. Embora isso, verificou-se efeito positivo da inoculação sobre a produção de caldo nos colmos do sorgo sacarino. Esse efeito ocorreu tanto com o uso isolado da inoculação como combinada a dose 40N. Com o uso isolado o efeito foi semelhante ao da dose 40N e quando combinada a adubação nitrogenada superou a dose de 40N e atingiu 93% da produção de caldo obtida no tratamento com 80 kg de N ha⁻¹ (100% da dose recomendada). Esse resultado não pode ser explicado pelas variáveis medidas no presente estudo e as causas do mesmo devem ser investigadas em estudos futuros para um melhor entendimento do efeito da inoculação com *Azospirillum brasilense* sobre a produção de caldo em sorgo sacarino.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, G.C. **Efeito da inoculação de bactérias diazotróficas dos gêneros *Herbaspirillum* e *Burkholderia* em genótipos de milho.** 2007. 53f. Dissertação (mestrado, área de Concentração em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2007.

ANDRADE, A.C.; FONSECA, D.M. da; QUEIROZ, D.S.; SALGADO, L.T.; CECON, P.R. Adubação nitrogenada e potássica em capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum. cv. Napier). **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, Especial ed., p.1643-1651, dez. 2003.

BALDANI, J.I.; BALDANI, V.L.D. History on the biological nitrogen fixation research in graminaceous plants: special emphasis on the Brazilian experience. **Anais**. Academia Brasileira de Ciências, v.77, p.549-579, 2005.

CANAVIALIS. **Cultura de sorgo sacarino: uma nova alternativa para otimização da indústria sucroalcooleira.** Disponível em: <http://www.canavialis.com.br/newsletter/CanaVialis_Report_15_Edicao.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2014.

DAJUI, L. **Developing sweet sorghum to meet the challenge of food, energy and environment.** (1995). Disponível em: http://www.ifad.org/events/sorghum/b/LiDajue_developing.pdf. Acesso em 03 jul. 2014.

DOBBELAERE, S.; VANDERLEYDEN, J.; OKON, Y. Plant growth-promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Philadelphia, v.22, n.2, p.107-149, 2003.

EMYGDIO, B.M.; PARRELLA, R.A.; OLIVEIRA, A.C.B. de; FACCHINELLO, P.H.K.; OLIVEIRA, L.N. de; BARROS, L.M.; **Avaliação de cultivares de sorgo sacarino no município de Pelotas, RS na safra 2011/2012.** In: Simpósio Estadual de Agroenergia – IV Reunião Técnica de Agroenergia. RS, Nov. 2012.

GRAYSTON, S.J.; WANG, S.; CAMPBELL, C.D.; EDWARDS, A.C. Selective influence of plant species on microbial diversity in the rizosphere. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.30, n.3, p.369-378, 1998.

GUIMARÃES, S.L. **Aplicação de inoculante turfoso com bactérias diazotróficas e molibdênio em cultivares de arroz adubadas com nitrogênio mineral**. 2006. 86 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia)- Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2006.

HUERGO, L.F.MONTEIRO, R.A.; BONATTO, A.C.; RIGO, L.U.; STEFFENS, M.B.R.; CRUZ, L.M.; CHUBATSU, L.S.; SOUZA, E.M.; PEDROSA, F.O. Regulation of nitrogen fixation in *Azospirillum brasilense*. In: CASSÁN, F.D.; GARCIA DE SALAMONE, I. *Azospirillum sp.: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina*. Asociación Argentina de Microbiología, Argentina, p.17-35, 2008.

HUNGRIA, M. **Inoculação com *Azospirillum brasilense*: inovação em rendimento a baixo custo**. Documentos n. 325, Londrina: Embrapa Soja, 2011.

KENNEDY, I.R.; CHOUDHURY, A.T.M.A.; KECSKÉS, M.L. Non-symbiotic bacterial diazotrophs in crop-farming systems: can their potential for plant growth promotion be better exploited? **Soil biology and Biochemistry**, Oxford, v.36, n.8, p.1229-1245, 2004.

MARRA, L.M.; SOARES, C.R.F.S.; OLIVEIRA, S.M. de; FERREIRA, P.A.A.; SOARES; B.L.; CARVALHO, R. de F.; LIMA, J.M.; MOREIRA, F.M. de S. Biological nitrogen fixation and phosphate solubilization by bacteria isolated from tropical soils. **Plant and Soil**, p. 1-19, 2012.

MOREIRA, F.M.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Editora UFLA, 626p., 2002.

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

PENG, S., BISWAS, J.C., LADHA, J.K. Influence of rhizobial inoculation on photosynthesis and grain yield of rice. **Agronomy Journal**. v.94, p.925-929, 2002.

PERRIG, D.; BOIERO, L.; MASCIARELLI, O.; PENNA, C.; CASSÁN, F.; LUNA, V. Plant growth promoting compounds produced by two agronomically important strains of *Azospirillum brasilense*, and their implications for inoculant formulation. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v.75, p.1143-1150, 2007.

PRASAD, S.; SINGH, A.; JOSHI, H.C. Ethanol as an alternative fuel from agricultural, industrial and urban residues. **Resources Conservation and Recycling**, v.50, p.1-39, 2007.

RAIMAM, M.P.; ALBINO, U.; CRUZ, M.F.; LOVATO, G.M.; SPAGO, F.; FERRACIN, T.P.; LIMA, D.S.; GOULART, T.; BERNARDI, C.M.; MIYAUCHI, M.; NOGUEIRA, M.A.; ANDRADE, G. Interaction among free-living N-fixing bacteria isolated from *Drosera villosa* var. *villosa* and AM fungi (*Glomus clarum*) in rice (*Oryza sativa*). **Applied Soil Ecology**, v.35, p.25-34, 2007.

ROBERTO, V.M.O.; SILVA, C.D.; LOBATO, P.N. Resposta da cultura do milho a aplicação de diferentes doses de inoculante (*Azospirillum brasilense*) via semente. In.: Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 18, 2010. Goiânia. **Resumos...** Goiânia: Anais do Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 2010.

SABINO, D.C.; **Estudos Ecológicos e Moleculares da Interação Planta-bactéria Diazotrófica na cultura do Arroz**. 2007. 71 f. Tese (Doutorado em Agronomia, área de concentração em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2007.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Nutrição Mineral. In: TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3 ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. p.96-101.