

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA - INPA PROGRAMA DE  
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA NO TRÓPICO ÚMIDO – PPG-ATU**

**INOCULAÇÃO E COINOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS PROMOTORAS  
DE CRESCIMENTO EM PLANTAS EM *Urochloa brizantha*.**

**SARA RODRIGUES BATISTA**

Manaus, Amazonas

Maio, 2023

**SARA RODRIGUES BATISTA**

**INOCULAÇÃO E COINOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS PROMOTORAS DE  
CRESCIMENTO EM PLANTAS EM *Urochloa brizantha*.**

**ORIENTADOR: DR. ALEKSANDER WESTPHAL MUNIZ**

Dissertação apresentada ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, como requisito parcial para obtenção do título de mestre no Programa de Pós-Graduação em Agricultura no Trópico Úmido.

Manaus, Amazonas

Maio, 2023

## Folha de Aprovação

Banca Julgadora, abaixo assinada, **aprova** a Dissertação de Mestrado:

**Título:** Inoculação e coinoculação de bactérias promotoras de crescimento em plantas em *Urochloa brizantha*

**Autora:** Sara Rodrigues Batista

**Banca Julgadora:**



---

**Dr. Luiz Antonio de Oliveira (Inpa)**  
(Membro titular)



---

**Dr. Cláudia Majolo (Embrapa)**  
(Membro titular)




---

**Dra. Rogério Eiji Hanada (Inpa)**  
(Membro titular)

Manaus (AM), 23 de maio de 2023.

## Catalogação na Publicação (CIP-Brasil)

---

B333I Batista, Sara Rodrigues 

Inoculação e coinoculação de bactérias promotoras de crescimento em plantas em *Urochloa brizantha*. / Sara Rodrigues Batista; orientador Aleksander Westphal Muniz. - Manaus:[s. 1.], 2023.

510 KB

57 p. : il. color.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Agricultura no Trópico Úmido – PPG-ATU) - Coordenação do Programa de Pós-Graduação, INPA, 2023.

1. *Urochloa brizantha*. 2. Bactérias promotoras de crescimento. I. Muniz, Aleksander Westphal. II. Título

CDD 584.9

---

## DEDICATÓRIA

A Ronaty Makuko, meu grande amor.

## AGRADECIMENTOS

Toda minha gratidão a **DEUS**, que em tudo esteve, em tudo é e sempre será minha brisa suave. Ao **Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)** pelo ensino de qualidade, pelo empenho em pesquisa e por conceder a oportunidade não somente de nos tornarmos profissionais de qualidade, mas profissionais humanizados. Agradeço a cada funcionário desta instituição pelo empenho e cuidado com seus discentes.

À **Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM)** por proporcionar meu desenvolvimento enquanto pesquisadora por meio da bolsa concedida, possibilitando assim meu sustento enquanto pós-graduanda. Bem como à **Fundação Agrisus** por ter financiado essa pesquisa.

Ao **Programa de Pós Graduação em Agricultura no Trópico Úmido (PPG-ATU)** pela responsabilidade e comprometimento na transformação de seus discentes em excelentes profissionais.

Ao **Corpo Docente e Técnico do PPG-ATU**, na pessoa do Prof<sup>o</sup> Dr<sup>o</sup> Rogério Hanada, por todo ensinamento, dedicação e comprometimento com a sociedade.

À **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) Amazônia Ocidental**, por possibilitar a realização dessa pesquisa através dos insumos necessários, bem como o campo experimental e, ainda mais importante, o corpo técnico.

Ao meu orientador, **Prof<sup>a</sup> Dr. Aleksander Westphal Muniz** a quem devo esse projeto e muito sou grata pelo acompanhamento e orientação.

À pesquisadora Dr<sup>a</sup> **Claudia Majolo**, por ter se disponibilizado para cooperar com este trabalho e por generosamente “me emprestar” suas maravilhosas bolsistas de Iniciação Científica e apoio técnico.

Agradeço aos servidores da EMBRAPA, **senhor Orbelho, senhor Chiquinho, senhor Pedro**, pelo acompanhamento e todo trabalho realizado no campo. Bem como os servidores que me acompanharam no laboratório, **Michele, senhor Emanuel e senhora Concita**, se não fossem vocês, muito provavelmente eu teria desistido

Às queridas bolsistas de apoio técnico **Natasha Helena e July Abreu**, por terem abraçado essa pesquisa como se fosse delas mesma, por todos os dias que passamos juntas no campo e nos laboratórios, por todas as gargalhadas e por todas as vezes que me consolaram e me encheram de coragem para continuar. Eu nunca vou esquecer vocês.

E também agradeço às meninas da iniciação científica, por toda ajuda concedida nessa pesquisa. Eu posso apostar que pouca gente encontra alguém para segurar uma

sombriinha enquanto conta perfilho de planta sob o sol do norte. Eu encontrei vocês. Muito Obrigada, **Giuliana, Giuliene, Raeslem e Vitória.**

Ao meu amado marido, **Ronaty Makuko**, por ter suportado a distância comigo, por me socorrer quando eu tinha certeza que ele era a única pessoa que poderia me ajudar, por ter feito tudo que podia para aliviar o fardo de me sentir sozinha. Eu não sei como dizer o quanto amo você.

Aos meus pais **José de Ribamar Coelho Batista e Marly Rodrigues Batista** por todas as orações que certamente me alcançaram, meu amor para sempre.

Às minhas irmãs **Euriélia, Euclênia, Railla e Nathiely**, por serem sempre minhas melhores companhias e minhas pessoas preferidas no mundo todo, por me darem forças e sempre atenderem minhas ligações afim de me aliviar o peso da rotina acadêmica.

À turma do condomínio, por darem um pouco de sentido à minha estadia em Manaus. Agradeço aos meus queridos amigos: **Bruna Vieira, Gilcilene Santana, Suene Vanessa, Victor Enzo, Caio Aguiar, Regildo Max, Lindenberg Paulino e Geovani Santana**, por todo incentivo e por vivenciarmos momentos que nunca serão esquecidos.

Ainda gostaria de agradecer de forma geral a todas as pessoas que não foram citadas aqui, mas que de alguma maneira, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste tratavalho.

Minha eterna gratidão!

**EPÍGRAFE**

*[...] somando todas  
as coisas, é claro  
nossa pequena agonia é  
estúpida  
e fútil  
mas sinto que nossos  
sonhos não  
são.*

*Charles Bukowski*



## RESUMO

A adoção de tecnologias sustentáveis, como o uso de bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV), pode representar uma alternativa para o melhor manejo de pastagens, bem como dos solos de pastagens nos trópicos, especialmente tendo em vista que essas bactérias podem promover o crescimento vegetal por meio de diversos mecanismos, direta ou indiretamente, e melhorar a qualidade do solo, reduzindo os custos e os impactos ambientais. O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência da inoculação e coinoculação das bactérias promotoras de crescimento de plantas *Rizhobium anhuiense* (RZ), *Azospirillum brasiliense* (AZ) e *Pseudomonas fluorescens*(PF), associadas à diferentes doses de nitrogênio, fósforo e potássio (NPK) na qualidade do solo e na promoção do crescimento de *Urochloa brizantha* cv. Marandu na Amazônia brasileira. O experimento foi conduzido na estação experimental da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) Amazônia Ocidental, em delineamento experimental de blocos casualizados, com 4 repetições e 24 tratamentos. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias entre os grupos controle e os grupos tratados foram comparadas utilizando o teste de separação de médias de Scott-Knott. A análise da variável  $qCO_2$  foi analisada após o uso da transformação Box-Cox e por fim, as variáveis foram também analisadas utilizando a correlação de Pearson. Os resultados indicaram que a coinoculação com AZ+RZ na dose de 50% promoveu o aumento do número de perfilhos, do acúmulo de nitrogênio e fósforo nas plantas, bem como promoveu o aumento da produtividade da gramínea. Já o acúmulo de potássio foi maior quando utilizada a inoculação de RZ e coinoculação de AZ+RZ, RZ+PF e AZ+RZ+PF na dose de 100% de fertilizante. A respiração do solo foi maior na dose de 100% de adubação com a inoculação de AZ e PF e coinoculação de RZ+PF. Já o  $qCO_2$  aumentou com a inoculação de AZ, PF e a coinoculação de RZ+PF, mas não diferiu do tratamento controle na dose de 100% de fertilizantes.

**Palavras-chave:** degradação de pastagens, braquiária, bactérias promotoras de crescimento em plantas, micro-organismos benéficos.

## ABSTRACT

The adoption of sustainable technologies, such as the use of plant growth-promoting bacteria (PGPB), may represent an alternative for better pasture management, as well as pasture soils in the tropics, especially considering that these bacteria can promote plant growth through various mechanisms, directly or indirectly, and improve soil quality, reducing costs and environmental impacts. The objective of this work was to evaluate the efficiency of inoculation and coinoculation of plant growth-promoting bacteria *Rizhobium anhuiense* (RZ), *Azospirillum brasiliense* (AZ) and *Pseudomonas fluorescens* (PF), transferred to different doses of nitrogen, phosphorus and potassium (NPK) on soil quality and growth promotion of *Urochloa brizantha* cv. Marandu in the Brazilian Amazon. The experiment was carried out at the experimental station of the Brazilian Agricultural Research Corporation (EMBRAPA) Western Amazon, in a randomized block design, with 4 replications and 24 treatments. Data were submitted to analysis of variance and averages between control and treated groups were compared using the Scott-Knott average separation test. The analysis of the qCO<sub>2</sub> variable was analyzed after using the Box-Cox transformation and finally, the variables were also analyzed using Pearson's correlation. The results indicated that coinoculation with AZ+RZ at a dose of 50% promoted an increase in the number of tillers, accumulation of nitrogen and phosphorus in the plants, as well as an increase in the productivity of the grass. On the other hand, potassium accumulation was higher when inoculating RZ and co-inoculating AZ+RZ, RZ+PF and AZ+RZ+PF at a dose of 100% fertilizer. Soil respiration was higher at the dose of 100% fertilization with AZ and PF inoculation and RZ+PF coinoculation. Conversely, the qCO<sub>2</sub> increased with the inoculation of AZ, PF and the coinoculation of RZ+PF, but did not differ from the control treatment at the dose of 100% of fertilizers.

**Keywords:** pasture degradation, brachiaria, plant growth-promoting bacteria, beneficial microorganisms.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>13</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS</b> .....	<b>14</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>17</b>
2.1 <i>Urochloa brizantha</i> .....	17
2.2 DEGRADAÇÃO DE SOLOS EM PASTAGENS .....	19
2.3 BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO (BPCP).....	19
2.4 ESTRATÉGIAS DE PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO VEGETAL UTILIZADO POR BACTÉRIAS .....	20
2.5 INOCULAÇÃO E COINOCULAÇÃO .....	22
2.6 <i>Rhizobium</i> spp. ....	22
2.7 <i>Pseudomonas</i> spp. ....	23
2.8 <i>Azospirillum</i> spp. ....	24
2.9 BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO (BPCP) EM GRAMÍNEAS .....	25
<b>3. OBJETIVO</b> .....	<b>27</b>
3.1 OBJETIVO GERAL.....	27
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	27
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>27</b>
4.1 PREPARO DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	27
4.2 PREPARO DO INOCULANTE.....	28
4.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL .....	28
4.4 AVALIAÇÃO DE ALTURA, NÚMERO DE PERFILHOS, PRODUTIVIDADE, TEORES FOLIARES DE NPK, CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA, RESPIRAÇÃO E QUOCIENTE METABÓLICO DO SOLO .....	29
4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	30
<b>5. RESULTADOS</b> .....	<b>31</b>
<b>6. DISCUSSÃO</b> .....	<b>38</b>
<b>7. CONCLUSÕES</b> .....	<b>41</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>42</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Caracterização química do solo .....	28
<b>Tabela 2</b> – Tratamentos de inoculação e co-inoculação .....	29
<b>Tabela 3</b> – Análise da variância dos resultados .....	31
<b>Tabela 4</b> – Altura de plantas de <i>Urochloa brizantha</i> cv. Marandu .....	31
<b>Tabela 5</b> – Número de perfilhos de plantas de <i>Urochloa brizantha</i> cv. Marandu .....	32
<b>Tabela 6</b> – Produtividade de <i>Urochloa brizantha</i> cv. Marandu .....	33
<b>Tabela 7</b> – Nitrogênio da massa seca da parte aérea .....	33
<b>Tabela 8</b> – Fósforo da massa seca da parte aérea .....	34
<b>Tabela 9</b> – Potássio da massa seca da parte aérea .....	35
<b>Tabela 10</b> – Correlação de Pearson entre as variáveis.....	35
<b>Tabela 11</b> – Carbono da biomassa microbiana do solo .....	36
<b>Tabela 12</b> – Respiração do solo .....	37
<b>Tabela 13</b> – Quociente metabólico do solo.....	37
<b>Tabela 14</b> – Correlação de Pearson .....	38

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AP	Alturas das plantas
AZ	<i>Azospirillum brasiliense</i>
BPCV	Bactérias promotoras de crescimento vegetal
CBM	O carbono da biomassa microbiana
DDP	Densidade populacional de perfilhos
Dygs	Dextrose Yeast Glucose Sucrose
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FBN	Fixação biológica de nitrogênio
K	Potássio
LASP	Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas
N	Nitrogênio
NPK	Nitrogênio, fósforo e potássio
NMSPA	Nitrogênio da massa seca parte área
NUE	Eficiência no uso de nitrogênio
ONU	Organização das Nações Unidas
P	Fósforo
PF	<i>Pseudomonas fluorescens</i>
PMSPA	Fósforo da massa seca parte área
RB	A respiração basal do solo
ISR	Resistência sistêmica induzida
RZ	<i>Rhizobium anhuiense</i>
SI	Sem inoculação
TSB	Caldo Triptona Soja
UA	Unidade animal por hectare
UFC	Unidade formadora de colônia
YMA	Yeast-manitol-levedura
VOCs	Compostos orgânicos voláteis

## 1. INTRODUÇÃO

Existe uma forte e crescente demanda global por uma maior produção de alimentos, tanto quantitativa, quanto qualitativamente. Estima-se que até o ano 2050 a população humana na Terra será de cerca de 9,7 bilhões de habitantes (Organização das Nações Unidas-ONU, 2019) e é necessário que a produção agropecuária seja aprimorada para atender a demanda mundial por alimentos, rações e fibras e para atender as preocupações ambientais que visam a sustentabilidade agrícola (Hungria *et al.*, 2019).

Diante da crescente demanda por alimentos e da comprovada limitação de recursos como água limpa e solo fértil (Reynolds, 2015; Food and Agriculture Organization of the United Nations-FAO, 2019), a baixa produtividade e a degradação de pastagens têm sido uma grande preocupação no setor da pecuária a nível mundial. No Brasil, a preocupação com os limitadores à produção é ainda maior, especialmente por ser o principal exportador e um dos mais importantes produtores de carne bovina do mundo (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA, 2017; United States Department of Agriculture-USDA, 2023).

No Brasil, a pecuária movimentou 913,14 bilhões de reais em 2021 (Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes-ABIEC, 2022). Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020), entre os anos de 1990 e 2020 o rebanho bovino no país aumentou em 50% e está em uma crescente constante, sendo estimado em 2022 em 193,8 milhões de cabeças (USDA, 2023). Atualmente, o setor pecuário ocupa uma área de 163,1 milhões de hectares em todo território nacional (ABIEC, 2022), e tem a pastagem como a mais econômica e usual fonte de nutrientes para o crescimento, saúde e reprodução dos rebanhos bovinos (Macedo e Araújo, 2019).

A exploração desses animais tem dependência fundamental da produção de forragem e do manejo eficiente das pastagens (Macedo e Araújo, 2019), sendo as gramíneas forrageiras tropicais as plantas mais utilizadas na composição de pastagens devido a sua praticidade e a viabilidade econômica. Dentre as cultivares mais utilizadas, *Urochloa brizantha* cv. Marandu (sinonímia -*Brachiaria brizantha*) se destaca por ocupar grandes extensões territoriais (Bezerra *et al.*, 2020). As gramíneas desse gênero vêm sendo utilizadas há décadas na expansão da bovinocultura no Brasil, especialmente por viabilizarem a pecuária em solos ácidos e de baixa fertilidade, criando novos pólos de desenvolvimento agrícola (Costa, 2006).

Entretanto, a rápida expansão da pecuária sem aplicação de medidas conservacionistas, levou a um manejo deficiente que acelerou processos de degradação do solo, bem como das próprias pastagens (Abadias, 2020). Constata-se que mais de 60% das

áreas de pastagens no Brasil está com nível de degradação forte ou moderado (MAPBIOMAS, 2021). Na região Norte do país, nos solos amazônicos, 70% das pastagens apresentam alto grau de degradação, com menos de 0,4 unidade animal por hectare (UA/ha) e as melhores taxas de ocupação não ultrapassam 1,9 UA/ha, o que ocorre em apenas 2% da área (Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos-DIEESE, 2011; Lange *et al.*, 2019).

Muitos solos agrícolas carecem de uma quantidade suficiente de um ou mais nutrientes (Glick, 2012), necessitando de alguma forma de intervenção imediata (Macedo *et al.*, 2013). As características e qualidade do solo têm sido fortemente prejudicada pelas práticas agropecuárias intensivas, surgindo a necessidade de adoção de técnicas de manejo sustentáveis. Para evitar este problema e obter maiores rendimentos de plantas, os agricultores tornam-se cada vez mais dependentes de fontes químicas de nitrogênio e fósforo (Glick, 2012), mas o elevado custo dos fertilizantes incentiva a busca por novas alternativas (Dias *et al.*, 2019).

A utilização de bactérias na promoção do crescimento de plantas, é uma abordagem que surge como alternativa para a sustentabilidade agrícola, pois possui a capacidade de impactar a produtividade, com responsabilidade ambiental, podendo ser definida como uma verdadeira microrrevolução verde (Hungria *et al.*, 2016). Esses microrganismos compreendem um grupo de bactérias benéficas do solo que se associam às plantas, contribuindo para a boa formação geral das culturas, melhorando o desenvolvimento das raízes, absorção de água e nutrientes, bem como a tolerância à estresses bióticos e abióticos (Hungria *et al.*, 2021).

Essa associação, entre plantas e bactérias, apresenta-se positivamente por ser uma forma limpa, barata e ecologicamente sustentável para o aumento da produtividade vegetal (Hahn, 2013), podendo ser uma alternativa vantajosa para a produção animal a pasto, produção de forragem, qualidade ambiental e manejo de solo, especialmente em condições de baixa fertilidade (Hungria *et al.*, 2016; Hungria *et al.*, 2019).

Entre os principais micro-organismos conhecidamente benéficos às plantas, estão os rizóbios que, em simbiose com plantas leguminosas, mostram expressiva capacidade de fixar quantidades elevadas de nitrogênio e, em plantas não-leguminosas, têm se mostrado promissores na promoção do crescimento vegetal (Hahn, 2013). Além dos rizóbios, bactérias dos gêneros *Azospirillum* spp. e *Pseudomonas* spp. também têm apresentado resultado positivo na fixação biológica de nitrogênio e/ou na promoção do crescimento vegetal em diferentes gramíneas (Schultz, 2012).

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 *Urochloa brizantha*

Os capins do gênero *Urochloa*, comumente denominados de braquiárias, são conhecidos no Brasil como forrageiras desde a década de 1950 (Alcantara, 1987). São gramíneas originárias da África Tropical e do Sul (Crispim e Branco, 2002) que por se adaptaram bem às condições edafoclimáticas do Brasil (Vitor *et al.*, 2014) alcançaram grande importância econômica no país nos últimos 30 anos (Valle *et al.*, 2015).

As braquiárias são muito utilizadas em pastagem em toda a América tropical, ocupando o primeiro lugar em utilização no território nacional, com uma estimativa de cerca de 85% das áreas de pastagens cultivadas no Brasil (Cardoso *et al.*, 2015; Monteiro *et al.*, 2016). A grande utilização do gênero *Urochloa* se deve especialmente ao fato de desempenhar papel primordial na produção de carne e leite e por viabilizar a pecuária em solos ácidos e de baixa fertilidade, criando novos polos de desenvolvimento (Costa, 2006).

A taxonomia do gênero é até hoje controversa devido à ampla e contínua variação em características diferenciadoras utilizadas para delimitar espécies e mesmo entre gêneros afins, como *Panicum* spp, por exemplo (Martuscello *et al.*, 2010). No entanto, como características gerais, essas gramíneas apresentam boa cobertura do solo, pouca exigência às condições edafoclimáticas e resistência às cigarrinhas típicas de pastagens; são também consideradas de fácil estabelecimento e têm alta resposta à aplicação de fertilizantes (Brighenti *et al.*, 2012; Cypriano *et al.*, 2012).

As braquiárias são plantas que apresentam porte grande, com plantio de ciclo curto e perene, podendo ser plantadas tanto utilizando da técnica a lanço, quanto em linhas de 50 cm de distância. A rofundidade utilizada deve ser de no máximo de 2 cm. O melhor período para se realizar a semeadura é durante a estação das chuvas. Crescem na forma de touceira e seus colmos apresentam densa pilosidade, palatabilidade e boa digestibilidade (Crispim e Branco, 2002).

O gênero *Urochloa* é representado por várias espécies, sendo as de maior importância a *U. brizantha*, *U. decumbens*, *U. ruziziensis* e *U. humidicola* (Sobrinho *et al.*, 2005). A espécie *U. brizantha* é a que apresenta maior utilização e ampla distribuição como forrageira, um destaque dentro das cultivares é a *U. brizantha* cv. Marandu, que apresenta grande expressividade na área total de pastagens plantadas (Paula *et al.*, 2012).

Segundo Costa *et al.* (2013), o capim-Marandu (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu) é uma gramínea forrageira perene que possui hábito de crescimento cespitoso, formando



touceiras que podem chagar até 1,0 m de diâmetro e perfilhos com altura de até 1,5 m. Essa cultivar possui raízes profundas e rizomas horizontais curtos, duros, curvos e com cobertura de escamas glabras de cor amarela a púrpura (Almeida Filho *et al.*, 2022). O capim-Marandu é uma variedade bastante robusta que apresenta uma produção bem distribuída ao longo do ano, promovendo uma boa cobertura do solo (Machado *et al.*, 2017).

A elevada produção de forragem, resistência, boa capacidade de rebrota, tolerância ao frio e à seca, tornam a gramínea a principal escolha do pecuarista. Para o bom cultivo, é necessário solos bem drenados, de média a alta fertilidade, onde se produzem de 8 a 20 toneladas de matéria seca por hectare/ano. A gramínea é indicada principalmente para bovinos de cria, recria e engorda, mas também é utilizada por caprinos, bubalinos e ovinos com boa aceitação, sendo indicada tanto para o pastoreio extensivo e rotacionado, quanto para a produção de feno e silagem (Crispim e Branco, 2002).

Embora o gênero apresente excelente adaptabilidade nos diferentes solos, com elevada produção de matéria seca, muitas vezes essas gramíneas não têm qualidade nutricional adequada às exigências nutricionais dos animais, sendo necessário a utilização de outras estratégias para aumentar o aporte de nutrientes na dieta de bovinos. A estratégia mais comum utilizada pelos produtores é a suplementação proteica, tanto através do fornecimento de ureia, como de alimentos ricos em proteína, como o farelo de soja. No entanto, o alto custo desses produtos, bem como do frete, especialmente na região norte do país, faz com que essa prática, muitas vezes seja inviável economicamente para o produtor (Macedo, 2006; Machado e Sales, 2020).

Após algumas décadas de uso extensivo de braquiária, seus pontos fracos ficaram mais evidentes e hoje existem alguns gargalos no uso desse gênero (Nogueira, 2019). O manejo inadequado e a falta de adubação corretiva no estabelecimento e da adubação de manutenção para a reposição dos nutrientes no solo, contribuem para a degradação das áreas de pastagens cultivadas, que passam a apresentar menor tolerância ao estresse hídrico, tornando mais evidente os efeitos dos extremos climáticos sobre seu desenvolvimento (Fernandes, 2016).

Considerando-se o grande percentual de degradação das pastagens de *Urochloa spp.*, pode-se inferir que o manejo do pastejo e da pastagem não são adequados ao potencial dessa gramínea (Paula *et al.*, 2012). Além disso, algumas espécies apresentam suscetibilidade a cigarrinha das pastagens, o que é um obstáculo na formação de pastagem a partir dessas espécies (Nogueira, 2019).

## 2.2 DEGRADAÇÃO DE SOLOS EM PASTAGENS

O solo pode ser considerado um dos mais complexos sistemas biológicos do planeta, sendo fundamental para o funcionamento do ecossistema terrestre. Práticas agropecuárias intensivas têm ocasionado alterações nas características e na qualidade do solo, surgindo a necessidade de adoção de técnicas de manejo sustentáveis.

A conversão da vegetação nativa em pastagem em solos de baixa fertilidade, como os tropicais, resulta em perdas de solo, redução nos estoques de carbono e aumento da densidade, causando degradação do solo (Carvalho *et al.*, 2010). Segundo Townsend *et al.* (2001), A queda de vigor e disponibilidade de forragem pode ser resultado do esgotamento de fósforo, nitrogênio e potássio do solo, que foram extraídos pela atividade pecuária ou através da ação do tempo e intempéries climáticas.

Os problemas resultantes do mau manejo dos solos de pastagens não são apenas físicos, os micro-organismos do solo também são afetados pela deficiência do oxigênio, em decorrência da compactação, alterando a decomposição do material orgânico, assim como a absorção de nutrientes pelas raízes (Lange, 2019). O microbioma do solo é responsável por diversos mecanismos que contribuem para a recuperação de áreas degradadas e melhorias nas características físico-químicas do solo (Terra *et al.*, 2019).

A atividade dos micro-organismos é um dos principais indicadores da qualidade do solo, especialmente pelo fato de o fator biológico ser o primeiro atributo a ser afetado por perturbações no solo, tais como os incêndios e queimadas, o pisoteio humano e animal, o manejo inadequado de pastagens e o tráfego excessivo de máquinas (Six *et al.*, 2006).

Por serem bastante variáveis e sensíveis às alterações de uso do solo, a biomassa microbiana e a respiração do solo são um dos melhores indicadores de qualidade do solo. A biomassa representa a fração viva da matéria orgânica, sendo responsável pelos processos bioquímicos e biológicos no solo e atua regulando as transformações e acúmulo de nutrientes e, ainda, é uma fração lábil da matéria orgânica (Balota *et al.*, 2003; Hoffmann *et al.*, 2018). Já a respiração do solo um sensível indicador de composição dos resíduos, do giro metabólico do C orgânico do solo e de alterações no ecossistema (Paul *et al.*, 1999).

## 2.3 BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO (BPCP)

Dentro do grupo de micro-organismos associados às plantas existem espécies com capacidade de promoção de crescimento e sanidade de seus hospedeiros, que são denominados bactérias promotoras de crescimento de plantas (Kloepper e Schroth, 1981). As

BPCP são capazes de se associar as raízes das plantas e estimular o crescimento e rendimento dos cultivos (Chanway *et al.*, 1989).

Kloepper e Schroth (1978), foram os primeiros a definirem as rizobactérias promotoras de crescimento de plantas. Os autores utilizaram o termo para conceituar um grupo de rizobactérias que atuavam no biocontrole, por meio de substâncias com capacidade de inibir patógenos, causando assim uma supressão de doenças, e/ou por meio do aumento da resistência vegetal. No entanto, Bashan e Holguim (1998) propuseram novos termos por acreditarem que o termo rizobactérias promotoras de crescimento em plantas era muito limitado, especialmente por não englobar as bactérias não-rizosféricas. Segundo os autores seriam mais corretos os termos Bactérias biocontroladoras promotoras de crescimento de plantas (Biocontrol-Plant Growth-Promoting Bacteria (biocontrol-PGPB)) e Bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPs). O termo mais utilizado e aceito para a definição dessas bactérias, entretanto, é Bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPs).

#### 2.4 ESTRATÉGIAS DE PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO VEGETAL UTILIZADO POR BACTÉRIAS

As funções de promoção de crescimento exercidas por bactérias são classificadas em três categorias: biofertilizante, fitoestimulante e biocontrole (Bhattacharyya e Jha, 2012). Acredita-se que o BPCPS beneficia o crescimento das plantas através da combinação de um ou mais dos seguintes mecanismos: produção de fitohormônios (Souza *et al.*, 2015), fixação biológica de nitrogênio, síntese de sideróforo (Pandey *et al.*, 2017), controle biológico de pragas e doenças, solubilização de fósforo inorgânico e outros nutrientes e mineralização de fósforo orgânico (Oliveira *et al.*, 2003). Esses mecanismos podem promover o crescimento vegetal atuando simultaneamente ou em cascata (Bashan e De-Bashan, 2010).

A fixação biológica de nitrogênio (FBN) é um processo metabólico de redução do N atmosférico (N<sub>2</sub>) realizado exclusivamente por alguns grupos bactérias e *Archaea* (Aniceto, 2016). O processo consiste na transformação de N<sub>2</sub> em amônia (NH<sub>3</sub>) a partir da quebra da tríplice ligação do N pela enzima nitrogenase. A partir dessa redução, a amônia é rapidamente convertida em amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) e o NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, por sua vez, é disponibilizado ao metabolismo da planta hospedeira, assimilando sob a forma de glutamina (Reis e Teixeira, 2005; Muniz *et al.*, 2012).

Além da FBN, as bactérias diazotróficas são capazes de solubilizar o fósforo (P),

tornando-o disponível para as plantas. Essa é uma importante estratégia de promoção de crescimento, tendo em vista que esse elemento é um nutriente essencial para o metabolismo das plantas e que se apresenta em baixa disponibilidade em muitos solos agrícolas. A maior parte do fósforo presente no solo se encontra em forma mineral que é lentamente disponibilizado para as plantas (Rodríguez *et al.*, 2004).

As bactérias solubilizadoras de fosfato contribuem ativamente no ciclo do fósforo, aumentando assim a biodisponibilidade deste elemento para absorção pelas plantas (Mardad *et al.*, 2013). Estima-se que cerca de 40% das bactérias presentes no solo são capazes de solubilizar fosfato, compreendendo um total 50% de todo fósforo disponível para as plantas (Pedraza, 2009).

Assim como os efeitos biofertilizantes, os fitoestimulantes são considerados mecanismos diretos desencadeados por bactérias na promoção do crescimento de planta, isso por atuarem diretamente no metabolismo da planta, o que resulta em aumento de biomassa e contribui para a sanidade vegetal.

A excreção de hormônios vegetais pelas bactérias, como auxina (ácido indol-acético), ácido giberélico e citocinina, são maneiras em que micro-organismos promotores de crescimento podem promover crescimento de plantas (Okon e Itzigsohn, 1995; Gopalakrishnan *et al.*, 2015). Esses fitohormônios atuam na promoção do crescimento celular e aumento da área radicular (Bhattacharyya e Jha, 2012), o que, conseqüentemente, gera uma maior área de contato com o solo, aumentando a absorção de água e nutrientes, proporcionando maior eficiência no uso desses recursos (Hungria *et al.*, 2010).

Já os efeitos como antagonismo microbiano, que levam ao controle biológico pela supressão do patógeno na planta colonizada por BPCPS, são considerados mecanismos indiretos de promoção de crescimento de plantas por estes microrganismos (Lucy *et al.*, 2004). Essas BPCPS, também chamados de agentes de biocontrole, produzem antibióticos, compostos orgânicos voláteis (VOCs) antimicrobianos e enzimas hidrolíticas e melhoram a resistência das plantas a diversos patógenos (Raza *et al.*, 2016).

Normalmente, um agente de biocontrole deve ter a capacidade de colonizar as raízes das plantas de forma eficiente com diversos modos de ação que podem atingir o patógeno com várias armas, como a produção de uma ampla variedade de antibióticos, enzimas hidrolíticas e VOCs (Francis *et al.*, 2010; Pérez-García *et al.*, 2011).

## 2.5 INOCULAÇÃO E COINOCULAÇÃO

De acordo com Lopes *et al.* (2021), a inoculação é a maneira em que os microrganismos são colocados em contato com a planta hospedeira. Essa alocação de microrganismos pode ser realizada com um único isolado, denominada inoculação, ou com mais de um, denominado coinoculação. Na coinoculação o objetivo é que os micro-organismos interajam entre si de maneira sinérgica, aumentando assim, a eficiência em promover o crescimento vegetal (Lopes *et al.*, 2021).

A maneira como é realizada a inoculação, bem como a coinoculação, influencia se a interação será benéfica. Por esta razão é necessário conhecer as características do inoculante microbiano e da planta hospedeira, para somente depois disso determinar qual o melhor método de inoculação a ser utilizado (Strigul e Kravchenko, 2006; Souza *et al.*, 2015; Lopes *et al.*, 2021). Além do método utilizado, o sucesso da inoculação também depende da densidade do inóculo, da capacidade dos micro-organismos em colonizar a raiz, da multiplicação e distribuição do inóculo na rizosfera, da presença de micro-organismos antagonistas, do estado fisiológico e composição dos exsudatos radiculares da planta, do pH, temperatura e umidade do solo.

A inoculação dos micro-organismos pode ser realizada de diversas maneiras, uma das principais e que vem sendo amplamente utilizada é inoculação via semente. esse método consiste na imersão da semente em uma solução de concentração previamente conhecida (Costa e Melloni, 2019).

A inoculação com *Rhizobium* spp., muito explorada na cultura da soja, consegue suprir a demanda de nitrogênio da cultura no Brasil (Hungria *et al.*, 2005; Aniceto, 2016), onde 90% das áreas cultivadas utilizam inoculantes com rizóbios (Hungria *et al.*, 2005). Atualmente, estudos com FBN vem se expandindo e alcançando outras culturas, como é o caso das gramíneas, que também apresentam associações promissoras com bactérias diazotróficas, como milho (Reis Júnior *et al.*, 1998; Quadros *et al.*, 2014; Oliveira *et al.*, 2018), cana-de-açúcar (Oliveira *et al.*, 2003) arroz (Reis Júnior *et al.*, 1998; De Campos *et al.*, 2003) entre outros. Contudo, a não formação do nódulo faz com que a fixação ocorra com menor intensidade (Glick, 2014), mas ainda apresenta resultados satisfatórios quanto a promoção de crescimento vegetal (Santoyo *et al.*, 2016).

## 2.6 *Rhizobium* spp.

Os *Rhizobium* spp., conhecidos genericamente como rizóbios, compoem um grupo que

pode viver saprofiticamente no solo, competindo com outras bactérias por espaço e nutrientes (Machado *et al.*, 2011), sendo capazes de usar diferentes fontes energéticas para seu metabolismo (Barbosa, 2013). Devido a sua capacidade de exercer efeitos benéfico no crescimento e desenvolvimento das plantas, esses micro-organismos também são classificados como promotores de crescimento vegetal (Santillana *et a.*, 2005).

Em espécies não leguminosas a associação que muitas vezes é endofítica, não apresenta nodulação, nem ocorre fixação de nitrogênio, entretanto, outros mecanismos de promoção de crescimento permitem que a planta seja estimulada por bactérias, os rizóbios são capazes de se desenvolver na rizosfera, penetrando por fissuras radiculares, colonizando o interior da raiz e até mesmo ascender para a parte aérea das plantas, no interior dos tecidos vegetais estas bactérias secretam reguladores de crescimento vegetal, do tipo auxinas, que estimulam o crescimento de raízes, caules e folhas (MUNIZ, 2011).

Os rizóbios são os principais microrganismos fixadores de nitrogênio e são especialmente conhecidos por esta habilidade. A associação de *Rhizobium* spp. com leguminosas, como soja e feijão, é a mais utilizada no Brasil (Moreira e Siqueira, 2006; Aniceto, 2016). Nas últimas décadas, em diferentes partes do mundo, surgiram diversos estudos mostrando que os *Rhizobium* spp. podem se associar com plantas de outras famílias, como as gramíneas e algumas espécies arbóreas.

Além das leguminosas, sabe-se que *Rhizobium* spp. tem influências positivas e podem ser utilizados como promotores de crescimento em interações com plantas da família *Poaceae*, tais como o arroz (Biswas *et al.*, 2000; Bhattacharjee *et al.*, 2012), a cevada (Miransari e Smith, 2009), o milho (Hahn *et al.*, 2014; Silva, 2016; Oliveira *et al.*, 2018), Aveia (Silva, 2016), o capim tanzânia e a pensacola (Machado *et al.*, 2013).

## 2.7 *Pseudomonas* spp.

As *Pseudomonas* spp. são bactérias Gram-negativas, pertencentes à classe Gammaproteobacteria e família Pseudomonadaceae, que inclui aproximadamente 191 espécies diferentes (Kumar *et al.*, 2017). Possuem metabolismo aeróbico e alta mobilidade, se caracterizam, principalmente, pela baixa necessidade nutricional, permitindo que sobrevivam em diversos tipos de ambientes (Ramos-Aires, 2004).

Segundo Coelho *et al.*, (2007), essas bactérias se apresentam em forma de bastonetes e necessitam de oxigênio para sobreviver, além de possuírem em sua extremidade vários flagelos que permitem a sua locomoção no solo. Nas plantas, atuam como inibidores de

patógenos, na solubilização dos fosfatos e na produção de hormônios de crescimento (Coelho *et al.*, 2007).

Entre as bactérias promotoras do crescimento vegetal, o gênero *Pseudomonas* spp. detém grande volume de relatos, por sua distribuição bastante vasta e ocorrência natural em diferentes regiões (Sottero, 2003). O gênero tem se tornado cada vez mais relevante no meio agrícola devido à influência exercida na promoção do crescimento, resistência sistêmica induzida (ISR) em plantas e controle de fitopatógenos (Kankariya *et al.*, 2019). Entre outros metabólitos, produzem fitohormônios e sideróforos que melhoram a aquisição de nutrientes pelas plantas (Wendenbaum *et al.*, 1983; Kumar *et al.*, 2017).

As *Pseudomonas fluorescens* apresentam uma versatilidade do seu metabolismo, e apresentam facilidade do cultivo *in vitro* e manipulação genética (Haas e Keel, 2003). São também classificadas como fixadoras de nitrogênio atmosférico no solo (Haahtela *et al.*, 1983), solubilizadoras de fosfato (Rodriguez, 1999). Além disso, apresentam capacidade para agentes de biocontrole de patógenos de plantas (Silva, 2010).

## 2.8 *Azospirillum* spp.

As bactérias do gênero *Azospirillum* são do tipo gram-negativas, consideradas microrganismos diazotróficos de vida livre, podendo sobreviver sem a presença de um hospedeiro e também se apresentam como endofíticas facultativas (Döbereiner e Pedrosa, 1987; Huergo *et al.*, 2008; Pedreira *et al.*, 2017). É um gênero amplamente encontrado em quase todos os lugares da terra. Possui a capacidade de fixar nitrogênio em gramíneas como milho, trigo e arroz. Apresentam boa adaptação em regiões competitivas da rizosfera, por demandarem baixas quantidades de energia (Pedreira *et al.*, 2017).

*Azospirillum* spp. é o gênero de bactérias mais estudado quanto a promoção do crescimento vegetal. Nas últimas décadas, estudos sugeriram que a interação dessas bactérias com plantas apresentam mais de 20 propostas como mecanismos de ação que de alguma forma traz benefícios aos organismos vegetais (Bashan e De-Bashan, 2010). Membros do gênero *Azospirillum* também são capazes de produzir fitohormônios como auxina, giberilina, citocinina, ácido abscísico, etileno (Mehnaz, 2015; Aniceto, 2016).

Hungria *et al.*, (2010), em experimento realizado com inoculação de espécies selecionadas de *Azospirillum* em milho e trigo, encontraram isolados promissores, nos quais o incremento de produtividade chegou a 26% na cultura do milho e 30% no trigo. Segundo Bulegon *et al.*, (2019), essa bactéria produz e disponibiliza para as plantas reguladores

vegetais, destacando-se a auxina, na forma de ácido índol-acético.

As bactérias do gênero *Azospirillum*, principalmente da espécie *A. Brasilense*, têm sido usadas como inoculantes em estudos em diversas culturas. Lino (2018) obteve resultados positivos à aplicação foliar de *A. brasilense* em cana-de-açúcar, com aumento na produção de colmos e de açúcar em relação à testemunha, indicando ser essa uma alternativa de uso para redução do custo com a adubação nitrogenada. Outras espécies da família *Poaceae* também são beneficiadas quando em associação com bactérias do gênero, a exemplos: *U. decumbens* (Fernandes, 2016), trigo (Mumbach, 2017).

## 2.9 BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO (BPCP) EM GRAMÍNEAS

As bactérias diazotróficas são amplamente distribuídas em solos de pastagem (Reis *et al.*, 2004). O uso de BPCP em poáceas cultivadas em solos brasileiros é fonte de pesquisa desde a década de 1950. No entanto, a primeira associação estudada detalhadamente entre gramíneas forrageiras e bactérias diazotróficas data de 1966 com a grama-batatais (*Paspalum notatum* cultivar Batatais) e *Azotobacter paspali* (Döbereiner, 1966).

Existem vários estudos que comprovam efeitos positivos da associação de gramíneas com BPCP's como aumento de produtividade (Fiori *et al.*, 2010), melhoria na absorção de macro e micronutrientes (Bashan *et al.*, 2004) e incrementos no número de folhas e número de perfilhos (Guimarães *et al.*, 2011).

Estudos realizados em áreas de produção de cana-de-açúcar indicaram que a FBN pode contribuir naturalmente com 50% de todo o N acumulado pelas plantas (Schultz, 2012). Simeões *et al.* (2018), ao estudarem aplicação de inoculantes em diferentes concentrações com cinco estirpes de bactérias diazotróficas, entre elas *Azospirillum amazonense*, em cana-de-açúcar, concluíram que a concentração do inoculante de  $10^6$  de células  $\text{mL}^{-1}$  favorece o maior acúmulo de biomassa fresca e seca do colmo.

A inoculação do capim xaraés (*Urochloa brizantha* cv. Xaraés) com *Azospirillum brasilense* (Dias *et al.*, 2019) aumentou a captação de nitrogênio pela forragem. Outras estirpes de bactérias diazotróficas utilizados no estudo também apresentaram efeitos benéficos na gramínea, se apresentando como possíveis alternativas para diminuição da utilização de fertilizantes nitrogenados em pastagem.

Considerando o uso da BPCP *A. brasilense* em braquiária cultivada em condições de déficit hídrico, foi citado efeitos benéficos sobre a atividade antioxidante (Bulegon *et al.*, 2016) e nas trocas gasosas (Bulegon *et al.*, 2017), na qual a aplicação foliar de *A. brasilense*



minimizou nas plantas os danos causados pelo déficit hídrico, a redução das trocas gasosas e auxiliou na remoção de espécies reativas de oxigênio.

Segundo Reis Junior *et al.* (2008) a interação entre bactérias diazotróficas e gramíneas, contribui com aproximadamente 10% do N assimilado pela planta, cerca de 20 kg de N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> via fixação biológica. Além disso, outros estudos têm comprovando a associação de bactérias diazotróficas com gramíneas forrageiras utilizadas como pastagens, entre essas, plantas do gênero *Urochloa* spp. (Kelemu *et al.*, 2011; Silva *et al.*, 2013) e capim-elefante (*Pennisetum purpureum*) (Videira *et al.*, 2013; Dubeux Júnior *et al.*, 2014) e capim-colonião (*Panicum maximum*) (Huo *et al.*, 2012).

Várias estirpes de bactérias são utilizadas no Brasil na composição de diversos produtos inoculantes que têm recomendações específicas agora também para gramíneas, como arroz, trigo e centeio (Muniz *et al.*, 2012). Em 2018 a EMPRAPA lançou, em parceria com a iniciativa privada, o primeiro inoculante com registro para braquiárias, o Azototal, contendo as estirpes Ab-V5 e Ab-V6 de *Azospirillum brasilense*. E em Julho de 2021, foi lançado o Pastomax (*Azospirillum brasilense* e *Pseudomonas fluorescens*) em parceria com a empresa Biotrop. Segundo a EMBRAPA (2021), o inoculante apresenta potencial para aumentar, em média, em 22% a produção das pastagens com braquiárias, além de aumentar a área de absorção de nutrientes pelas plantas.

Segundo Alves *et al.* (2009) a contribuição de N proveniente da FBN pelas bactérias diazotróficas que se associam as gramíneas pode variar de 10% a 42%. De acordo com Kim *et al.* (2012), a inoculação de *Burkholderia phytofirmans* em *Panicum virgatum* cultivar Alamo tem proporcionado aumento no índice de velocidade de germinação, bem como, no comprimento na parte aérea de 35,6%, aos 30 dias de emergência. Os autores obtiveram como resultados um aumento de 32,8% no comprimento da raiz e um aumento de 83,6% no peso fresco, em comparação com as plantas não inoculadas.

Brennecke *et al.* (2016) ao estudarem *Urochloa decumbens* spp, confirmou que a bactéria *Pseudomonas fluorescens* promoveu o incremento das taxas de alongamento de colmo e do número de folhas por perfilho, aumentando a relação folha/colmo da planta, características desejáveis do ponto de vista nutricional. Duarte (2020) constatou que plantas inoculadas com as bactérias *P. fluorescens* e *P. ananatis* (na dose zero de N) apresentaram maior taxa de alongamento de folhas, propiciando aumentos superiores a 100% em relação às aquelas do tratamento não inoculado.

Ao avaliarem o efeito da bactéria *Azospirillum brasilense* na adubação química e

orgânica em pastagens constituídas de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, Parreira *et al.* (2015), concluíram que a adição da bactéria *A. brasilense* influenciou positivamente a produção de biomassa da pastagem, o que pode reduzir o uso da adubação química.

Guimarães *et al.* (2011) encontraram incrementos de 9% no número de folhas e 12% no número de perfilhos por planta no capim-marandu inoculado com *Azospirillum*. Oliveira *et al.* (2007), verificaram aumento na produção de matéria seca do capim-marandu com a inoculação. Os autores apontaram a inoculação como alternativa sustentável para aumentar a produção forrageira.

Em trabalho realizado com estipes de rizóbios isolados a partir de *Lotus corniculatus*, (Machado, 2013) seis das estipes estudadas (SEMIA816, UFRGS Lc134, Lc323, Lc348, Lc510 e Lc524) promoveram aumento da massa seca em capim Tanzânia (*Panicum maximum*) e quatro (SEMIA816, Lc134, Lc336 e Lc394) no capim Pensacola (*Paspalum sauriae*). Três das estipes (SEMIA816, UFRGS Lc323 e Lc336) promoveram acúmulo considerável de nitrogênio em plantas de capim Tanzânia (Machado, 2013).

### **3. OBJETIVO**

#### **3.1 OBJETIVO GERAL**

Este estudo teve como objetivo avaliar o efeito da inoculação e coinoculação de *Rhizobium anhuiense*, *Azospirillum brasiliense* e *Pseudomonas fluorescens*, associada a diferentes níveis de adubação mineral, na qualidade do solo e na promoção do crescimento de forragem do capim *Urochloa brizantha* cv. Marandu.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Selecionar bactérias com capacidade de promover crescimento em *Urochloa brizantha* cv. Marandu na Amazônia brasileira.
- Selecionar bactérias com capacidade de melhorar a qualidade do solo em sistemas de cultivo de pastagem;

### **4. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **4.1 PREPARO DA ÁREA EXPERIMENTAL**

No mês de dezembro de 2021, a área foi preparada realizando as operações de aração e gradagem em um Latossolo Amarelo no campo experimental da Embrapa Amazônia

Ocidental, localizada na Rodovia AM-010, km 29, estrada Manaus/Itacoatiara, município de Manaus, estado do Amazonas, entre as coordenadas geográficas 2°53'36,11"S, 59°58'18,62"W, altitude 100 m. Em seguida, foram coletadas quatro amostras de solo compostas para determinação de macronutrientes na área experimental (Tabela 1). Posteriormente, foram incorporadas duas toneladas de calcário dolomítico para aumentar a disponibilidade de nutrientes para *Urochloa brizantha* cv. Marandu.

**Tabela 1.** Caracterização química do solo na profundidade de 0-20 cm em Latossolo Amarelo em Manaus em 2021.

<b>Ph</b>	<b>C</b>	<b>M.O.</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Na</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>
<i>H<sub>2</sub>O</i>	<i>g/kg</i>			<i>mg/dm<sup>3</sup></i>			<i>Cmolc/dm<sup>3</sup></i>
5,22	21,07	36,24	3,00	52,00	5,00	1,62	1,24
<b>Al</b>	<b>H+Al</b>	<b>SB</b>	<b>T</b>	<b>T</b>	<b>V</b>	<b>M</b>	
		<i>cmolc/dm<sup>3</sup></i>				<i>%</i>	
0,05	2,01	3,01	3,06	5,03	59,96	1,63	

#### 4.2 PREPARO DO INOCULANTE

O inoculante contendo as estirpes bacterianas foi incubado em meio de cultura líquido específico e incubação por 2 dias em estufa bacteriológica a 28 °C, com agitação a 100rpm. O meio YMA (Yeast-manitol-levedura) foi utilizado para o crescimento de *R. anhuiense* (Vincent, 1975), enquanto o meio Dygs foi utilizado no crescimento de *A. brasiliense* e o meio TSB foi utilizado para *P. fluorescens* (Döbereiner *et al.*, 1999). A concentração dos inoculantes foi ajustada em espectrofotometro a 600nm, a uma densidade optica de 0,6, chegando a uma população aproximada de 10<sup>8</sup> UFC/ml.

#### 4.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O experimento foi instalado utilizando um delineamento em blocos ao acaso em arranjo fatorial com quatro repetições com parcelas utilizado de 9 m<sup>2</sup> (3 x 3 m). O fator 1 consistiu em NPK (0, 50 e 100%) e estirpes bacterianas de *Rhizobium anhuiense* (VP16), *Azospirillum brasiliense* (CNPSO 2083 e CNPSO 2084) e *Pseudomonas fluorescens* (CNPSO 2719 e CNPSO 2799) para inoculação e coinoculação de braquiária (*Urochloa brizantha*) cv Marandu (Tabela 2). As sementes inoculadas foram semeadas a lanço em cada parcela

experimental no ano de 2021. Em seguida, os fertilizantes foram aplicados a lanço e incorporados ao solo junto com as sementes. A aplicação de nitrogênio foi dividida em duas vezes com recomendado por Malavolta *et al.* (1997). A fonte de nitrogênio utilizada foi o sulfato de amônio ( $\text{SH}_3\text{SO}_4$ ), a fonte de fósforo foi Super fósforo simples (SPS) e a fonte de potássio foi o cloreto de potássio (KCL).

**Tabela 2.** Tratamentos de inoculação e coinoculação de braquiária.

DOSES NPK (%)	TRATAMENTOS							
0 (0-0-0 kg.ha <sup>-1</sup> )	SI	AZ	RZ	PF	AZ+RZ	AZ+PF	RZ+PF	AZ+RZ+PF
50 (50-40-40 kg.ha <sup>-1</sup> )	SI	AZ	RZ	PF	AZ+RZ	AZ+PF	RZ+PF	AZ+RZ+PF
100 (100-80-80 kg.ha <sup>-1</sup> )	SI	AZ	RZ	PF	AZ+RZ	AZ+PF	RZ+PF	AZ+RZ+PF

SI= sem inoculante; AZ= inoculante com *Azospirillum brasilense*; RZ= inoculante com *Rhizobium*; PF= inoculante com *Pseudomonas fluorescens*.

#### 4.4 AVALIAÇÃO DE ALTURA, NÚMERO DE PERFILHOS, PRODUTIVIDADE, TEORES FOLIARES DE NPK, CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA, RESPIRAÇÃO E QUOCIENTE METABÓLICO DO SOLO

Foram realizadas avaliação de altura do pasto após 90 dias utilizando uma régua milimetrada, onde foram medidos 5 pontos em uma área amostral de 1m<sup>2</sup>, obtendo a média da altura do pasto, conforme descrito por Costa e Queiroz *et al.* (2017) e a contagem do número de perfilhos por planta, produtividade, teores de N, P e K.

A densidade populacional de plantas e perfilhos foi avaliada pela contagem dos mesmos, numa área de 1 m<sup>2</sup>, previamente demarcada, em cada unidade experimental conforme Cecato *et al.* (2004). Para determinação da produtividade foi coletada uma amostra de massa verde, que foi seca em estufa à temperatura de 65°C por 72 horas. Após este procedimento foi determinado o teor de umidade. Deste modo foi determinado a massa seca da parte aérea produzida (MSPA). A massa seca da parte aérea foi ajustada utilizando o número de plantas por parcela usando regra de três simples (Schmidt *et al.*, 2001; Silva *et al.*, 2014). A avaliação do corte foi realizada 90 dias após a semeadura e implantação da pastagem. Após a secagem, a forragem foi triturada para obtenção dos teores de N, P e K de folhas coletadas, que foram determinados utilizando a metodologia utilizada por Malavolta *et al.* (1997).

O carbono da biomassa microbiana (CBM) foi avaliado utilizando o método de fumigação - extração (Jenkinson e Polson, 1976), que consiste em analisar as amostras em

triplicatas, onde a amostra de cada parcela experimental é subdividida em sete sub-amostras (3 fumigadas e 3 não fumigadas e uma para obtenção da umidade do solo), devidamente pesadas (12g) e acondicionadas em frascos de vidro de 100 ml. Imediatamente após a pesagem das amostras de solo, foi adicionado 1 ml de clorofórmio, com o auxílio de uma pipeta em todos os frascos destinados à fumigação. Os frascos foram fechados e incubados por 24 horas, com temperatura em torno de 25 a 28°C. A extração foi realizada por meio a filtração, utilizando a solução de  $K_2SO_4$  ( 87,135g de  $K_2SO_4$  em 1L de água destilada), com pH ajustado entre 6,5 e 6,8. O método consiste em adicionar 25 ml de  $K_2SO_4$  no frasco contendo o solo e posteriormente filtrar o solo para obtenção do extrato do solo. A leitura do teor de carbono da biomassa microbiana foi realizada em espectrofotômetro, em absorbância, em um comprimento de onda de 590nm. Foram utilizados padrões de glicose nas seguintes concentrações: 0%, 2,5%, 5%, 10%, 15% e 20%.

A respiração do solo foi determinada usando a metodologia, onde o  $CO_2$  é capturado em uma solução de hidróxido de sódio (NaOH – 0,05 M) e titulado em uma solução de ácido clorídrico (HCl – 0,05 M). Para esse método, uma amostra de 25g de solo foi colocada dentro de um frasco, e essa, foi adicionada a um frasco maior contendo a solução de NaOH – 0,05 M. Em seguida o frasco foi incubado no escuro, à temperatura de 25°C, por 7 dias. Após o período estabelecido, a amostra de solo foi retirada no frasco contendo a solução de NaOH – 0,05 M e foi adicionado ao frasco 5ml de solução de cloreto de bário, que serve para parar a captura de  $CO_2$  após o tempo determinado. Posteriormente foi adicionado 3 gotas de fenolftaleína, que foi o indicador utilizado para a determinação de  $CO_2$ . O  $qCO_2$  foi determinado por meio da relação entre a RB e a biomassa microbiana (ANDERSON & DOMSH, 1978).

#### 4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados obtidos na fase de implantação foram submetidos a análise de variância (Fisher, 1934) e ao teste de separação de médias de Scott-Knott (Scott e Knott, 1974). A normalidade dos resíduos foi avaliada utilizando os testes de Shapiro-Wilk (Shapiro & Wilk, 1965) e Anderson-Darling (Anderson e Darling, 1952), enquanto a homogeneidade da variância dos resíduos foi avaliada utilizando o teste de Brown-Forsythe (Brown e Forsythe, 1974). A análise da variável  $qCO_2$  foi analisada após o uso da transformação Box-Cox (Box e Cox, 1964). As variáveis foram também analisadas utilizando a correlação de Pearson (Pearson, 1931).

## 5. RESULTADOS

Os resultados obtidos apresentaram interação entre as doses de fertilizante e os tratamentos de inoculação e coinoculação para as seguintes variáveis: número de perfilhos, produtividade, NMSPA, PMSPA, KMSPA, RB e qCO<sub>2</sub>. Para as variáveis altura e CBM foi observado apenas diferenças relacionadas as doses de adubação (Tabela 3).

**Tabela 3.** Análise da variância dos resultados obtidos para altura (Alt), número de perfilhos (Perf), produtividade (Prod), nitrogênio da massa seca da parte aérea (NMSPA), fósforo da massa seca da parte aérea (PMSPA), potássio da massa seca da parte aérea (KMSPA), carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal do solo (RB) e quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) em *Urochloa brizantha* cv. *Marandu* inoculada e coinoculada com bactérias promotoras de crescimento na fase de implantação da pastagem.

F.V	Alt	Perf	Prod	NMSPA	PMSPA	KMSPA	CBM	RB	qCO <sub>2</sub>
-----p >F-----									
A	0,02313	0,00001	0,00012	0,00035	0,18230	0,00065	0,05521	0,10917	0,28710
B	0,74887	0,34722	0,14242	0,17351	0,21072	0,48194	0,64005	0,29135	0,00843
A X B	0,55525	0,08168	0,04477	0,08113	0,05815	0,07656	0,50990	0,00044	0,00344

F.V= fontes de variação; A = doses de fertilizante; B= tratamentos com bactérias promotoras de crescimento.

**Tabela 4.** Altura de plantas de *Urochloa brizantha* cv. *Marandu* inoculada e coinoculada com bactérias promotoras de crescimento na fase de estabelecimento da pastagem.

Tratamentos	-----cm-----			Média
	0 %	50 %	100 %	
AZ	66,45 <sup>ns</sup>	81,13 <sup>ns</sup>	66,33 <sup>ns</sup>	71,75 <sup>ns</sup>
PF	66,80 <sup>ns</sup>	76,48 <sup>ns</sup>	84,03 <sup>ns</sup>	74,33 <sup>ns</sup>
RZ	73,76 <sup>ns</sup>	73,77 <sup>ns</sup>	83,48 <sup>ns</sup>	78,08 <sup>ns</sup>
AZ+PF	78,53 <sup>ns</sup>	74,33 <sup>ns</sup>	94,63 <sup>ns</sup>	81,39 <sup>ns</sup>
AZ+RZ	55,93 <sup>ns</sup>	78,35 <sup>ns</sup>	79,13 <sup>ns</sup>	71,86 <sup>ns</sup>
RZ+PF	46,65 <sup>ns</sup>	91,20 <sup>ns</sup>	82,33 <sup>ns</sup>	69,83 <sup>ns</sup>
AZ+RZ+PF	74,37 <sup>ns</sup>	83,07 <sup>ns</sup>	67,15 <sup>ns</sup>	74,09 <sup>ns</sup>
SI	63,60 <sup>ns</sup>	65,97 <sup>ns</sup>	69,46 <sup>ns</sup>	66,63 <sup>ns</sup>
<b>Média</b>	65,29 <sup>B</sup>	77,48 <sup>A</sup>	77,64 <sup>A</sup>	

SI= sem inoculante; AZ= inoculante com *Azospirillum brasiliense*; RZ= inoculante com *Rhizobium*; PF= inoculante com *Pseudomonas fluorescens*.

\*Médias seguidas com a mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Scott-Knott (p<0,10). Letras maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas. <sup>ns</sup>= não significativo.

A altura das plantas de *Urochloa brizantha* cv. *Marandu* variaram de 55,93 a 94,63 cm (Tabela 4). As doses de fertilizante de 50% e 100% apresentaram plantas com altura maior do

que os tratamentos sem fertilizante, mas não diferiram entre si.

O número de perfilhos.planta<sup>-1</sup> variou entre 8,66 e 26,22 (Tabela 5). O número de perfilhos não apresentou diferenças nos tratamentos sem adubação. Na dose de fertilizante de 50% foi observado que o número de perfilhos foi maior nos tratamentos com RZ, AZ+RZ, RZ+PF e AZ+RZ+PF do que nos demais, mas não apresentaram diferenças entre si. Na dose de fertilizante de 100% não foram observadas diferenças entre os tratamentos (Tabela 5). O tratamento AZ+RZ apresentou maior número de perfilhos na dose de 50% de fertilizantes do que nas demais doses. Já o tratamento RZ+PF apresentou maior número de perfilhos nas doses de 50 e 100% de fertilizantes do que no tratamento sem adubação, mas não diferiram entre si. O tratamento AZ+RZ+PF o maior número de perfilhos ocorreu na dose de 50 % de fertilizante do que nas demais dosagens. Os demais tratamentos não apresentaram diferenças no número de perfilhos nas diferentes doses de fertilizantes (Tabela 5).

**Tabela 5.** Número de perfilhos de plantas de *Urochloa brizantha* cv. *Marandu* inoculadas e coinoculadas com bactérias promotoras de crescimento na fase de estabelecimento da pastagem.

Tratamentos	0 %	50 %	100 %
	-----nº. perfilhos.planta <sup>-1</sup> -----		
AZ	21,30 <sup>aA</sup>	21,81 <sup>bA</sup>	21,98 <sup>aA</sup>
PF	16,39 <sup>aA</sup>	15,67 <sup>bA</sup>	16,26 <sup>aA</sup>
RZ	14,19 <sup>aA</sup>	24,42 <sup>aA</sup>	20,71 <sup>aA</sup>
AZ+PF	17,52 <sup>aA</sup>	18,06 <sup>bA</sup>	20,52 <sup>aA</sup>
AZ+RZ	8,66 <sup>aC</sup>	30,87 <sup>aA</sup>	17,57 <sup>aB</sup>
RZ+PF	9,69 <sup>aB</sup>	26,22 <sup>aA</sup>	20,51 <sup>aA</sup>
AZ+RZ+PF	14,51 <sup>aB</sup>	25,80 <sup>aA</sup>	15,83 <sup>aB</sup>
SI	13,34 <sup>aA</sup>	19,41 <sup>bA</sup>	20,31 <sup>aA</sup>

SI= sem inoculante; AZ= inoculante com *Azospirillum brasilense*; RZ= inoculante com *Rhizobium*; PF= inoculante com *Pseudomonas fluorescens*.

\*Médias seguidas com a mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Scott-Knott ( $p < 0,10$ ). Letras maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas. <sup>ns</sup>= não significativo.

A produtividade de *Urochloa* cv. *Marandu* variou entre 574 a 4801,32 kg.ha<sup>-1</sup>(Tabela 6). Nas áreas sem adubação e com 100% da dose de fertilizantes não foram observadas diferenças de produtividade entre os tratamentos. Na dose de 50% de fertilizante a maior produtividade foi obtida nos tratamentos AZ, AZ+RZ e sem inoculação. Nos tratamentos RZ e RZ+PF a maior produtividade foi obtida na dose de 100% de fertilizante. Já no tratamento

AZ+RZ a maior produtividade foi alcançada nas doses de 50 e 100% de fertilizante, que não diferiram entre si. Os demais tratamentos não apresentaram diferenças nas diferentes doses de fertilizantes.

**Tabela 6.** Produtividade de *Urochloa brizantha* cv. Marandu inoculada e coinoculada com bactérias promotoras de crescimento na fase de estabelecimento da pastagem.

Tratamentos	0 %	50 %	100 %
	-----kg.ha <sup>-1</sup> -----		
AZ	2889,80 <sup>aA</sup>	3807,19 <sup>aA</sup>	1984,77 <sup>aA</sup>
PF	934,60 <sup>aA</sup>	1918,53 <sup>bA</sup>	2288,26 <sup>aA</sup>
RZ	1883,21 <sup>aB</sup>	2417,44 <sup>bB</sup>	4222,98 <sup>aA</sup>
AZ+PF	2033,56 <sup>aA</sup>	2254,89 <sup>bA</sup>	2751,90 <sup>aA</sup>
AZ+RZ	574,01 <sup>aB</sup>	4801,32 <sup>aA</sup>	3390,50 <sup>aA</sup>
RZ+PF	1536,96 <sup>aB</sup>	2011,27 <sup>bB</sup>	3385,02 <sup>aA</sup>
AZ+RZ+PF	1088,30 <sup>aA</sup>	2657,80 <sup>bA</sup>	2754,17 <sup>aA</sup>
SI	1256,99 <sup>aA</sup>	3325,35 <sup>aA</sup>	1535,08 <sup>aA</sup>

SI= sem inoculante; AZ= inoculante com *Azospirillum brasiliense*; RZ= inoculante com *Rhizobium*; PF= inoculante com *Pseudomonas fluorescens*.

\*Médias seguidas com a mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Scott-Knott (p<0,10). Letras maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas. <sup>ns</sup>= não significativo.

**Tabela 7.** Nitrogênio da massa seca da parte aérea de *Urochloa brizantha* cv. Marandu inoculada e coinoculada com bactérias promotoras de crescimento na fase de estabelecimento da pastagem.

Tratamentos	0 %	50 %	100 %
	-----kg.ha <sup>-1</sup> -----		
AZ	63,11 <sup>aA</sup>	76,89 <sup>aA</sup>	40,84 <sup>aA</sup>
PF	20,52 <sup>aA</sup>	40,81 <sup>bA</sup>	43,70 <sup>aA</sup>
RZ	38,39 <sup>aA</sup>	52,26 <sup>bA</sup>	85,86 <sup>aA</sup>
AZ+PF	43,58 <sup>aA</sup>	48,76 <sup>bA</sup>	53,53 <sup>aA</sup>
AZ+RZ	11,07 <sup>aB</sup>	97,69 <sup>aA</sup>	68,76 <sup>aA</sup>
RZ+PF	35,16 <sup>aB</sup>	45,93 <sup>bB</sup>	82,50 <sup>aA</sup>
AZ+RZ+PF	24,94 <sup>aA</sup>	55,06 <sup>bA</sup>	55,12 <sup>aA</sup>
SI	25,12 <sup>aA</sup>	70,35 <sup>aA</sup>	32,84 <sup>aA</sup>

SI= sem inoculante; AZ= inoculante com *Azospirillum brasiliense*; RZ= inoculante com *Rhizobium*; PF= inoculante com *Pseudomonas fluorescens*.

\*Médias seguidas com a mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Scott-Knott (p<0,10). Letras maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas. <sup>ns</sup>= não significativo.



O nitrogênio da massa seca da parte aérea (NMSPA) de braquiária cv. Marandu variou entre 11,07 a 97,69 kg.ha<sup>-1</sup> (Tabela 7). Nas doses 0 e 100% de fertilizantes não foram observadas diferenças entre os tratamentos. Na dose de 50% de fertilizantes, o tratamento AZ, AZ+RZ e sem inoculação apresentaram a maior NMSPA. O tratamento AZ+RZ apresentou maior NMSPA nas doses de 50 e 100% de fertilizante, que não diferiram entre si. Já o tratamento RZ+PF apresentou maior NMSPA no tratamento com 100% da dosagem de fertilizantes.

O fósforo da massa seca da parte aérea (PMSPA) variou entre 0,7 e 9,30 kg.ha<sup>-1</sup> (Tabela 8). Nas doses de 0 e 100% de fertilizantes não foram observadas diferenças entre os tratamentos. Na dose de 50%, o tratamento AZ+RZ apresentou maior produção de PMSPA do que os demais tratamentos. Os tratamentos inoculados e coinoculados não apresentaram diferenças de PMSPA nas diferentes dosagens de fertilizantes.

**Tabela 8.** Fósforo da massa seca da parte aérea de *Urochloa brizantha* cv. Marandu inoculada e coinoculada com bactérias promotoras de crescimento na fase de estabelecimento da pastagem.

Tratamentos	0 %	50 %	100 %
	-----kg.ha <sup>-1</sup> -----		
AZ	4,92 <sup>aA</sup>	5,80 <sup>bA</sup>	3,13 <sup>aA</sup>
PF	1,55 <sup>aA</sup>	3,23 <sup>bA</sup>	3,62 <sup>aA</sup>
RZ	2,81 <sup>aA</sup>	4,27 <sup>bA</sup>	7,86 <sup>aA</sup>
AZ+PF	3,84 <sup>aA</sup>	4,24 <sup>bA</sup>	4,95 <sup>aA</sup>
AZ+RZ	0,70 <sup>aA</sup>	9,30 <sup>aA</sup>	6,22 <sup>aA</sup>
RZ+PF	3,08 <sup>aA</sup>	4,64 <sup>bA</sup>	6,87 <sup>aA</sup>
AZ+RZ+PF	1,90 <sup>aA</sup>	4,62 <sup>bA</sup>	5,51 <sup>aA</sup>
SI	1,98 <sup>aA</sup>	5,91 <sup>bA</sup>	2,79 <sup>aA</sup>

SI= sem inoculante; AZ= inoculante com *Azospirillum brasilense*; RZ= inoculante com *Rhizobium*; PF= inoculante com *Pseudomonas fluorescens*.

\*médias seguidas com a mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Scott-Knott (p<0,10). Letras maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas. <sup>ns</sup>= não significativo.

O potássio da massa seca da parte aérea (KMSPA) variou entre 8,19 e 80,76 kg.ha<sup>-1</sup> (Tabela 9). Nas doses de 0 e 50% de fertilizantes não foram observadas diferenças entre os tratamentos. Na dose de 100%, os tratamentos RZ, AZ+PF, AZ+RZ, RZ+PF e AZ+RZ+PF

apresentaram maior produção de KMSPA do que os demais tratamentos. O tratamento RZ apresentou maior KMSPA na dose de 100% de fertilizante. Os tratamentos AZ+RZ, RZ+PF e AZ+RZ+PF apresentaram maior KMSPA nas doses de 50 e 100% de fertilizantes. Os demais tratamentos não apresentaram diferenças nas diferentes doses de fertilizantes.

**Tabela 9.** Potássio da massa seca da parte aérea de *Urochloa brizantha* cv. Marandu inoculada e coinoculada com bactérias promotoras de crescimento na fase de estabelecimento da pastagem.

Tratamentos	0 %	50 %	100 %
	-----kg.ha <sup>-1</sup> -----		
AZ	40,52 <sup>aA</sup>	41,38 <sup>aA</sup>	29,94 <sup>bA</sup>
PF	15,56 <sup>aA</sup>	34,32 <sup>aA</sup>	21,91 <sup>bA</sup>
RZ	20,09 <sup>aB</sup>	34,40 <sup>aB</sup>	80,76 <sup>aA</sup>
AZ+PF	35,12 <sup>aA</sup>	35,10 <sup>aA</sup>	53,64 <sup>aA</sup>
AZ+RZ	8,19 <sup>aB</sup>	65,77 <sup>aA</sup>	55,29 <sup>aA</sup>
RZ+PF	24,89 <sup>aB</sup>	47,86 <sup>aA</sup>	65,75 <sup>aA</sup>
AZ+RZ+PF	20,55 <sup>aB</sup>	50,66 <sup>aA</sup>	67,32 <sup>aA</sup>
SI	25,65 <sup>aA</sup>	30,43 <sup>aA</sup>	21,55 <sup>bA</sup>

SI= sem inoculante; AZ= inoculante com *Azospirillum brasilense*; RZ= inoculante com *Rhizobium*; PF= inoculante com *Pseudomonas fluorescens*.

\*Médias seguidas com a mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Scott-Knott ( $p < 0,10$ ). Letras maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas. <sup>ns</sup>= não significativo.

**Tabela 10.** Correlação de Pearson entre as variáveis altura, número de perfilhos, produtividade, NMSPA e PMSPA na fase de estabelecimento da pastagem.

	ALT	PERF	Produtividade	NMSPA	PMSPA	KMSPA
ALT	1	0,06 <sup>ns</sup>	0,31 <sup>*</sup>	0,21 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	0,29 <sup>*</sup>
PERF		1	0,39 <sup>*</sup>	0,43 <sup>*</sup>	0,54 <sup>*</sup>	0,47 <sup>*</sup>
PROD			1	0,98 <sup>*</sup>	0,93 <sup>*</sup>	0,85 <sup>*</sup>
NMSPA				1	0,96 <sup>*</sup>	0,84 <sup>*</sup>
PMSPA					1	0,84 <sup>*</sup>
KMSPA						1

\* Significativo ( $p < 0,05$ ). <sup>ns</sup>= não significativo.

A altura apresentou correlação positiva com a produtividade, PMSPA e KMSPA. Já o número de perfilhos apresentou correlação positiva com a produtividade, NMSPA, PMSPA e

KMSPA. Por sua vez, a produtividade apresentou correlação positiva com NMSPA, PMSPA e KMSPA. O NMSPA apresentou correlação positiva com PMSPA e KMSPA. E por último, o PMSPA apresentou correlação positiva com KMPA (Tabela 10).

O CBM em área de *Urochloa brizantha* cv. *Marandu* variou entre 229,19 e 593,73 mg C. kg<sup>-1</sup> solo seco (Tabela 11). Na média geral, o CBM foi maior nas dosagens de 50% e 100% de fertilizantes do que na área não adubada. Já a RB variou entre 7,26 e 85,56 mg CO<sub>2</sub>.kg solo seco<sup>-1</sup> (Tabela 12). Nos tratamentos sem adubação, a maior RB foi obtida em PF, RZ, AZ+PF, AZ+RZ, RZ+PF e SI do que nos demais tratamentos, mas não apresentaram diferenças entre si. Na dose de 50% de fertilizante não foram observadas diferenças entre os tratamentos. Na dose de 100% de fertilizantes, a maior RB foi maior nos tratamentos AZ, PF, RZ+PF e SI do que nos demais tratamentos, mas não diferiram entre si. Por sua vez, o qCO<sub>2</sub> variou entre 0,01 e 0,39 mg CO<sub>2</sub>.kg solo seco-1.CBM-1 (Tabela 13). Na dose de 0% de adubação, o qCO<sub>2</sub> foi maior no tratamento AZ+RZ+PF do que nos demais. Na dose de 50% de fertilizantes, não foram observadas diferenças entre os tratamentos. Na dose de 100% de fertilizantes, os tratamentos AZ, PF, RZ, AZ+PF apresentaram maior qCO<sub>2</sub> que os demais tratamentos, mas não diferiram entre SI. O CBM apresentou correlação negativa com o qCO<sub>2</sub>, enquanto a RB apresentou correlação positiva com o qCO<sub>2</sub> (Tabela 14).

**Tabela 11.** Carbono da biomassa microbiana (CBM) em área de *Urochloa brizantha* cv. *Marandu* inoculada e coinoculada com bactérias promotoras de crescimento na fase de estabelecimento da pastagem.

Tratamentos	0 %	50 %	100 %	Média
	-----mg C. kg <sup>-1</sup> solo seco-----			
AZ	365,67 <sup>ns</sup>	414,41 <sup>ns</sup>	291,31 <sup>ns</sup>	377,65 <sup>ns</sup>
PF	398,59 <sup>ns</sup>	422,02 <sup>ns</sup>	367,08 <sup>ns</sup>	398,52 <sup>ns</sup>
RZ	593,73 <sup>ns</sup>	361,68 <sup>ns</sup>	328,25 <sup>ns</sup>	412,81 <sup>ns</sup>
AZ+PF	229,19 <sup>ns</sup>	323,65 <sup>ns</sup>	400,77 <sup>ns</sup>	325,93 <sup>ns</sup>
AZ+RZ	393,29 <sup>ns</sup>	386,18 <sup>ns</sup>	292,35 <sup>ns</sup>	357,27 <sup>ns</sup>
RZ+PF	511,22 <sup>ns</sup>	423,63 <sup>ns</sup>	352,86 <sup>ns</sup>	429,24 <sup>ns</sup>
AZ+RZ+PF	491,15 <sup>ns</sup>	461,63 <sup>ns</sup>	328,53 <sup>ns</sup>	427,10 <sup>ns</sup>
SI	450,84 <sup>ns</sup>	340,57 <sup>ns</sup>	318,19 <sup>ns</sup>	368,00 <sup>ns</sup>
<b>Média</b>	336,19 <sup>B</sup>	394,65 <sup>A</sup>	429,37 <sup>A</sup>	

SI= sem inoculante; AZ= inoculante com *Azospirillum brasiliense*; RZ= inoculante com *Rhizobium*; PF= inoculante com *Pseudomonas fluorescens*.

\*Médias seguidas com a mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Scott-Knott (p<0,10). Letras maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas. <sup>ns</sup>= não significativo.

**Tabela 12.** Respiração do solo em área de *Urochloa brizantha* cv. *Marandu* inoculada e coinoculada com bactérias promotoras de crescimento na fase de estabelecimento da pastagem.

Tratamentos	0 %	50 %	100 %
	-----mg CO <sub>2</sub> .kg solo seco <sup>-1</sup> -----		
AZ	34,02 <sup>bA</sup>	41,08 <sup>aA</sup>	48,17 <sup>aA</sup>
PF	49,70 <sup>aB</sup>	35,78 <sup>aB</sup>	85,56 <sup>aA</sup>
RZ	73,78 <sup>aA</sup>	40,68 <sup>aA</sup>	26,66 <sup>bA</sup>
AZ+PF	62,56 <sup>aA</sup>	15,27 <sup>aB</sup>	32,35 <sup>bB</sup>
AZ+RZ	58,70 <sup>aA</sup>	41,42 <sup>aA</sup>	12,36 <sup>bB</sup>
RZ+PF	46,70 <sup>aA</sup>	20,84 <sup>aA</sup>	57,85 <sup>aA</sup>
AZ+RZ+PF	7,26 <sup>bB</sup>	84,24 <sup>aA</sup>	14,77 <sup>bB</sup>
SI	66,92 <sup>aA</sup>	39,07 <sup>aA</sup>	50,11 <sup>aA</sup>

SI= sem inoculante; AZ= inoculante com *Azospirillum brasilense*; RZ= inoculante com *Rhizobium*; PF= inoculante com *Pseudomonas fluorescens*.

\*Médias seguidas com a mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Scott-Knott ( $p < 0,10$ ). Letras maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas. <sup>ns</sup>= não significativo.

**Tabela 13.** Quociente metabólico do solo (qCO<sub>2</sub>) em área de *Urochloa brizantha* cv. *Marandu* inoculada e coinoculada com bactérias promotoras de crescimento na fase de estabelecimento da pastagem.

Tratamentos	0 %	50 %	100 %
	-----mg CO <sub>2</sub> .kg solo seco <sup>-1</sup> .CBM <sup>-1</sup> -----		
AZ	0,09 <sup>aA</sup>	0,18 <sup>aA</sup>	0,39 <sup>aA</sup>
PF	0,18 <sup>aA</sup>	0,09 <sup>aB</sup>	0,20 <sup>aA</sup>
RZ	0,19 <sup>aA</sup>	0,12 <sup>aA</sup>	0,19 <sup>aA</sup>
AZ+PF	0,29 <sup>aA</sup>	0,06 <sup>aB</sup>	0,18 <sup>aB</sup>
AZ+RZ	0,15 <sup>aA</sup>	0,12 <sup>aA</sup>	0,08 <sup>bB</sup>
RZ+PF	0,08 <sup>aA</sup>	0,06 <sup>aA</sup>	0,07 <sup>bA</sup>
AZ+RZ+PF	0,01 <sup>aB</sup>	0,10 <sup>aA</sup>	0,06 <sup>bA</sup>
SI	0,14 <sup>aA</sup>	0,12 <sup>aA</sup>	0,05 <sup>bA</sup>

SI= sem inoculante; AZ= inoculante com *Azospirillum brasilense*; RZ= inoculante com *Rhizobium*; PF= inoculante com *Pseudomonas fluorescens*.

\*Médias seguidas com a mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Scott-Knott ( $p < 0,10$ ). Letras maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas. <sup>ns</sup>= não significativo.

**Tabela 14.** Correlação de Pearson entre as variáveis CBM, RB e qCO<sub>2</sub>

	CBM	RB	qCO <sub>2</sub>
CBM	1	0,1950 <sup>ns</sup>	-0,2552*
RB		1	0,78515*
qCO <sub>2</sub>			1

\*\* Significativo (p<0,05). ns= não significativo

## 6. DISCUSSÃO

A altura aumentou com a fertilização da *U. brizantha* cv. Marandu na dose de 50 e 100%. Os resultados obtidos foram similares aos de Apollon *et al.*, (2022), que observou um aumento na altura de braquiária utilizando fertilizantes minerais. Outros trabalhos não observaram efeitos da inoculação com *Azospirillum* e *Pseudomonas* sobre *Urochloa* spp. cv. Mavuno (Duarte, 2020) e da inoculação de *Azospirillum* em capim mombaça (Freitas, 2019).

O número de perfilhos de *U. brizantha* cv. Marandu aumentou com a inoculação com RZ e a coinoculação com AZ+RZ e RZ+PF na dose de 50% de fertilizantes. Os resultados obtidos foram similares aos observados com a inoculação de *U. Brizantha* na área de transição entre o Cerrado e a Amazônia (Leite *et al.*, 2018). E também foram similares na inoculação de *A. brasiliense* e *Herbaspirillum seropedicae* (Carvalho *et al.*, 2018; Ramos *et al.*, 2018), bem como também foram similares com os resultados obtidos por Moreira *et al.*, (2020) que avaliou o efeito da coinoculação de *A. brasiliense* e *Rhizobium tropici* no número de perfilhos de plantas de *U. brizantha* cv. Marandu. O aumento do número de perfilhos foi decorrente do efeito da produção de reguladores de crescimento vegetal como auxinas e citocininas pelos microrganismos inoculados e coinoculados. Diferentes trabalhos relataram a produção de auxinas e citocininas por *Azospirillum* spp. (Cassan *et al.*, 2014; Karimi *et al.*, 2020), *Pseudomonas* spp. (Bakaeva *et al.*, 2020; Singh *et al.*, 2022) e *Rhizobium* spp. (Mishra *et al.*, 2009; Yang *et al.*, 2022). Isto ocorreu porque as auxinas e citocininas foram responsáveis pelos processos de divisão celular que afetaram diretamente o perfilhamento das plantas de braquiária (Gopalakrishnan *et al.*, 2015; Ullah *et al.*, 2018). O perfilhamento das plantas de braquiária também aumentou devido aos efeitos positivos da adubação, onde o N estimula a multiplicação das células vegetais (Oliveira *et al.*, 2007; Silva *et al.*, 2009; Faria *et al.*, 2018), enquanto a disponibilidade de P permite a divisão e expansão celular (Prystupa *et al.*, 2003).

O NMSPA de *U. brizantha* cv. Marandu aumentou com a inoculação de AZ e coinoculação AZ+RZ na dose de 50% de fertilizantes, mas não diferiu do tratamento SI na

mesma dose. O aumento do NMSPA também foi observado por Santos *et al.* (2019) com a inoculação de *A. brasiliense* em *U. brizantha* cv. Marandu no cerrado brasileiro. Os efeitos no aumento da NMSPA em *U. brizantha* cv. Marandu também foram observados na coinoculação de *A. brasiliense* e *R. tropici* (Costa *et al.*, 2019). O aumento do NMSPA foi decorrente da fixação biológica de N proporcionada por *Azospirillum* e *Rhizobium*, que são bactérias diazotróficas (Steenhoudt e Vanderleyden, 2000; Kneip *et al.*, 2007). Deste modo, a inoculação com *Azospirillum* aumentou a eficiência no uso do nitrogênio (NUE), como observado na cultura de milho (Zeffa *et al.*, 2019; Galindo *et al.*, 2020). O aumento da NUE também ocorreu na sucessão de cultura feijão caupi-trigo (Galindo *et al.*, 2021).

O PMSPA aumentou com a coinoculação de AZ+RZ na dose de 50% de fertilizantes. O aumento no PMSPA também foi observado com a coinoculação de *A. brasiliense* e *H. seropedicae* na quantidade de fósforo acumulado na massa seca da parte aérea de plantas de *U. brizantha* cv. Marandu em um solo de cerrado (Barbosa *et al.*, 2021). O aumento de PMSPA pode ter ocorrido devido a capacidade de isolados de *Azospirillum* (Turan *et al.*, 2012) e diferentes gêneros de rizóbio em solubilizar e mineralizar o fosfato.

O KMSPA de *U. brizantha* cv. Marandu aumentou com a inoculação de RZ e coinoculação de AZ+RZ, RZ+PF e AZ+RZ+PF na dose de 100% de fertilizantes. Os resultados obtidos divergem de Barbosa *et al.* (2021), onde não foram observados resultados da coinoculação com *A. brasiliense* e *H. seropedicae* sobre o KMSPA.

A produtividade de *U. brizantha* cv. Marandu aumentou com a inoculação de AZ e a coinoculação de AZ+RZ na dose de 50% de fertilizantes. O aumento da produtividade com a inoculação de *Azospirillum* em *U. Brizantha* cv Marandu com a diminuição do fertilizante nitrogenado também foi observado por Leite *et al.* (2018). A coinoculação com *Azospirillum* spp e *Rhizobium* spp. também aumentou a produtividade em outras gramíneas como arroz (Dos Santos *et al.*, 2019).

O CBM do solo aumentou nas doses de 50 e 100% de fertilizantes. Os resultados obtidos foram similares aos observados com a adubação de NPK em macieira e milho (Liang *et al.*, 2011; Zhu, *et al.*, 2020), com adubação nitrogenada em pastagens na China (Zhang *et al.*, 2019) e com adubação fosfatada na cultura do trigo no Egito (Mahmoud *et al.*, 2019), onde o CBM também aumentou.

A RB do solo aumentou com a inoculação de AZ e PF e coinoculação de RZ+PF, mas não diferiu do SI na dose de 100% de fertilizantes. Este aumento na RB do solo também foi observado na coinoculação de fungos micorrízicos arbusculares e *Bacillus megaterium* com *Curcuma longa* e de *A. brasiliense* e *Pseudomonas fluorescens* com mudas de arroz em casa

de vegetação (Sarathambal *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2021).

O qCO<sub>2</sub> aumentou com a inoculação de AZ, PF e a coinoculação de AZ+PF, mas não diferiu do tratamento SI na dose de 100% de fertilizantes. Este aumento do qCO<sub>2</sub> também ocorreu com a inoculação de *Bacillus* spp. na cultura da soja (Alves *et al.*, 2021). No entanto, resultados de outros trabalhos demonstraram que o qCO<sub>2</sub> aumenta ou diminui em função da adubação (Wardle e Ghani, 1995) e apresenta uma grande variabilidade em diferentes solos agrícolas (Ashraf *et al.*, 2022). O maior qCO<sub>2</sub> nos tratamentos com AZ, PF e AZ+PF indicariam uma maior eficiência microbiana (Fernandes *et al.*, 2005). Outro fator que propiciou um aumento no qCO<sub>2</sub> foi a adubação nitrogenada mineral (Ge *et al.*, 2010).

## 7. CONCLUSÕES

- O número de perfilhos de *Urochloa brizantha* cv. Marandu aumenta com a inoculação com RZ e a coinoculação com AZ+RZ, RZ+PF e AZ+RZ+PF na dose de 50% de fertilizantes;
- A produtividade de *Urochloa brizantha* cv. Marandu aumenta com a inoculação de AZ e a coinoculação de AZ+RZ na dose de 50% de fertilizantes;
- O NMSPA de *Urochloa brizantha* cv. Marandu aumenta com a inoculação de AZ e coinoculação AZ+RZ na dose de 50% de fertilizantes, mas não diferem do tratamento SI na mesma dose;
- O KMSPA de *Urochloa brizantha* cv. Marandu aumenta com a inoculação de RZ e coinoculação de AZ+RZ, RZ+PF e AZ+RZ+PF na dose de 100 % de fertilizantes;
- O PMSPA aumenta com a coinoculação de AZ+RZ na dose de 50% de fertilizantes;
- O CBM do solo aumenta nas doses de 50 e 100% de fertilizantes;
- A RB do solo aumenta com a inoculação de AZ e PF e coinoculação de RZ+PF, mas não difere do SI na dose de 100% de fertilizantes;
- O qCO<sub>2</sub> aumenta com a inoculação de AZ, PF e a coinoculação de AZ+PF, mas não difere do tratamento SI na dose de 100% de fertilizantes;



## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abadias, I.M.; Da Fonseca, P.R.B.; Barbos, C.H. 2020 Manejo da pecuária-uma análise sobre impactos ambientais. *Educamazônia-Educação, Sociedade e Meio Ambiente*, 24(1): 113-125.
- ABIEC –Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne. 2022. Beef Report: perfil da pecuária no Brasil. <https://www.abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2022/>. Acesso: 14/01/23.
- Almeida filho, C.P.; De Souza, L.G.; Moreira, J.M.; De Lima Junior, A.F.; Rosa, J.Q.S.; Melo, A.F. (2023). Adubação nitrogenada foliar sobre a produção de massa da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. *PUBVET*, 16(12): 133.
- Alcantara, P.B. 1987. Origem das braquiárias e suas características morfológicas de interesse forrageiro. In: ENCONTRO SOBRE CAPINS DO GÊNERO *Brachiaria*, 1986, Nova Odessa, SP. Anais. Instituto de Zootecnia. Nova Odessa, São Paulo.
- Alves, J.J.; De Araújo, M.A.; Do Nascimento, S.S. 2009. Degradação da Caatinga: uma investigação ecogeográfica. *Revista Caatinga*, 22(3): 126-135.
- Alves, G.C.; Ferreira, E.P.B.; Frazão, L.A.; Oliveira, J.P.; Silva, K.R.; Carneiro, M.A.C.; Ribeiro Júnior, W.Q. 2018. Coinoculation of nitrogen-fixing and plant growth-promoting bacteria on the microbial activity of soil in pastures of *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 42(01).
- Anderson, T.W.; darling, D.A. 1952. Asymptotic theory of certain "goodness of fit" criteria based on stochastic processes. *The annals of mathematical statistics*, 193-212.
- Anderson, J.P.; Domsch, K.H.; 1978. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil biology and biochemistry*, 10(3): 215-221.
- Aniceto, R.M. 2016. *Modulação da comunidade bacteriana associada ao milho (Zea mays L.) através da inoculação de bactérias promotoras de crescimento de plantas*. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Piracicaba, São Paulo.
- Apollon, W.; Jean-Baptiste, Y.; Wagner, B. J.; Luna-Maldonado, A.I.; Silos-Espino, H. 2022. Effect of organic and inorganic fertilization on the production and quality of *Brachiaria brizantha*. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(1): 1-13. Doi: <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i1.2637>.
- Ashraf, M.N.; Waqas, M.A.; Rahman, S. 2022. Microbial Metabolic Quotient is a Dynamic Indicator of Soil Health: Trends, Implications and Perspectives. *Eurasian Soil Science*, 55(12), 1794-1803.
- Bakaeva, M.; Kuzina, E.; Vysotskaya, L.; Kudoyarova, G.; Arkhipova, T.Y.; Rafikova, G.;... & Loginov, O. 2020. Capacity of *Pseudomonas* strains to degrade hydrocarbons, produce auxins and maintain plant growth under normal conditions and in the presence of petroleum contaminants. *Plants*, 9(3): 379. Doi: <https://doi.org/10.3390/plants9030379>
- Balota, E.L.; Andrade, D.S.; Colozzi Filho, A.; Dick, R.P. 2003. Microbial biomass in soils under different tillage and crop rotation systems. *Biology and Fertility of Soils*, 38(1): 15-20. [10.1007/s00374-003-0590-9](https://doi.org/10.1007/s00374-003-0590-9).

Barbosa, M.V. 2013. *Utilização de Rizóbios e Fungo Micorrizico Arbuscular na Implantação de um Sistema Agroflorestal no semiárido Pernambucano*. Dissertação de Mestrado. Serra Talhada, Pernambuco.

Barbosa, M.S.; Gomes, D.F.; Barroso, D.G.; Carvalho, F.G.; Pereira, W.; Silva, K.B.; Nóbrega, R.S. 2021. Co-inoculation of *Azospirillum brasilense* and *Herbaspirillum seropedicae* improves nitrogen accumulation in *Brachiaria brizantha* cv. BRS Paiaguás. *Journal of Plant Nutrition*, 44(1): 48-60.

Bashan, Y.; Holguin, G. 1998. Proposal for the division of plant growth-promoting rhizobacteria into two classifications: biocontrol-PGPB(plant growth-promoting bacteria) and PGPB. *Soil Biology and Biochemistry*, 30(8): 1225 -1228.

Bashan, Y.; Holguin, G.; De-Bashan, L.E. 2004. *Azospirillum*-plant relationships: physiological, molecular, agricultural, and environmental advances (1997- 2003). *Canadian journal of microbiology*, 50(8): 521-577. Doi: <https://doi.org/10.1139/w04-035>.

Bashan, Y.; De-Bashan, L.E. 2010. How the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* promotes plant growth—a critical assessment. *Advances in agronomy*. Academic Press, 77-136. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(10\)08002-8](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)08002-8).

Bezerra, J.D.V.; Emerenciano Neto, J.V.; Alves, D.J.S.; Batista Neta, I.E.; Galdino Neto, L.C.; Santos, R.S.; Difante, G.S. 2020. Productive, morfogenic and structural characteristics of *Brachiaria brizantha* cultivars grown in two types of soil. *Research, Society and Development*, 9(7): 129972947-129972947. Doi: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i7.2947>

Bhattacharyya, P.N.; Jha, D.K. 2012. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): Emergence in agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28(4): 1327–1350. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(10\)08002-8](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)08002-8)

Bhattacharjee, R.B.; Jourand, P.; Chaintreuil, C.; Dreyfus, B.; Singh, A.; Mukhopadhyay, S.N. 2012. Indole acetic acid and ACC deaminase-producing *Rhizobium leguminosarum* bv. trifolii SN10 promote rice growth, and in the process undergo colonization and chemotaxis. *Biology and Fertility of Soils*, 48(2): 173-182. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00374-011-0614-9>.

Biswas, J.C.; Ladha, J.K.; Dazzo, F.B.; Yanni, Y.G.; Rolfe, B.G. 2000. Rhizobial inoculation influences seedling vigor and yield of rice. *Agronomy Journal*, 92(5): 880-886. Doi: <https://doi.org/10.2134/agronj2000.925880x>.

Box, G.E.; Cox, D.R. 1964. An analysis of transformations. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 26(2): 211-243.

Brennecke, K.; Bertipaglia, L.M.A.; Antoniazzi, A.; Souza, E.F. 2016. Inoculação da bactéria *Pseudomonas fluorescens* sem índice de crescimento de *Brachiaria decumbens* spp. **Revista Acadêmica** **Ciência** **Animal**, 14, 217-224. DOI: <http://dx.doi.org/10.7213/academica.14.2016.24>

Brighenti, A.M.; Souza Sobrinho, F.; Rocha, W.S.D.; Martins, C.E.; Demartini, D.; Costa, T.R. 2012. Suscetibilidade diferencial de espécies de braquiária ao herbicida glifosato. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46(10):1241-1246. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100->

204X2011001000018.

Brown, M.B.; Forsythe, A.B. 1974. 372: the ANOVA and multiple comparisons for data with heterogeneous variances. *Biometrics*, 719-724.

Bulegon, L.G.; Guimarães, V.F.; Laureth, J.C.U. 2016. *Azospirillum brasilense* affects the antioxidant activity and leaf pigment content of *Urochloa ruziziensis* under water stress. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 46(3): 343-349. Doi: <https://doi.org/10.1590/1983-40632016v46i41489>.

Bulegon, L.G.; Battistus, A.G.; Guimarães, V.F.; Inagaki, A.M.; Offemann, L.C.; Souza, A.K.P.; Oliveira, P.S.R. 2017. Physiological responses of *Urochloa ruziziensis* inoculated with *Azospirillum brasilense* to severe drought and rehydration conditions. *Australian Journal of Crop Science*, 11(10): 1283-1289. Doi: <https://doi.org/10.21475/ajcs.17.11.10.pne577>.

Bulegon, L.G.; Guimarães, V.F.; Inagaki, A.M.; Battistus, A.G. Offemann, L.C.; De Souza, A. K.P. 2019. Respostas da soja ao *Azospirillum brasilense* e reguladores vegetais em condições de déficit hídrico. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 14(4): 5678. Doi: DOI:10.5039/agraria.v14i4a5678.

Carvalho, J.L.N.; Raucci, G.S.; Cerri, C.E.P.; Bernoux, M.; Feigl, B.J.; Wruck, F.J.; Cerri, C.C. 2010 Impact of pasture, agriculture and crop-livestock systems on soil C stocks in Brazil. *Soil & Tillage Research, Amsterdam*, 110(1): 175-186. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.still.2010.07.011>.

Carvalho, J.G.; Silva, J.P.; Moreira, F.M.S.; Ferreira, E.P.B.; Hungria, M. 2018. Inoculation of *Brachiaria brizantha* with *Azospirillum brasilense* and *Herbaspirillum seropedicae*: performance under field conditions. *African Journal of Agricultural Research*, 13(10): 470-477.

Cardoso, J.M.S.; Andrade, A.C.; Magalhães, J.A.; Rodrigues, B.H.N.; Vieira, J.S.; Fogaça, F.H.S.; Mehl, H.U.; Costa, N.L. 2015. Fontes e doses de nitrogênio na produtividade do capim-Marandu. *Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia*, 9(8): 348-358.

Cassan F.; Vanderleyden J.; Spaepen S. 2014. Physiological and agronomical aspects of phytohormone production by model plant-growth-promoting rhizobacteria (PGPR) belonging to the genus *Azospirillum*. *Journal of Plant Growth Regulation*, 33, 440-459. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00344-013-9362-4>.

Chanway, C.P.; Hynes, R.K.; Nelson, L.M. 1989. Plant growth-promoting rhizobacteria: effects on growth and nitrogen fixation of lentil (*Lens esculenta* Moench) and pea (*Pisum sativum* L.). *Soil Biology and Biochemistry*, 21(4): 511-517. Doi: [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(89\)90123-5](https://doi.org/10.1016/0038-0717(89)90123-5).

Coelho, L.F.; Freitas, S.S.; De Melo, A.M.T.; Ambrosano, G.M.B. 2007. Interação de bactérias fluorescentes do gênero *Pseudomonas* e de *Bacillus* spp. com a rizosfera de diferentes plantas. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 31:1413-1420.

Costa, D.A.A.; Silva, L.C.F.; Carvalho, F.G. De; Bonfim-Silva, E.M.; Sousa, F.F. de; Santos, V.F. Dos; Vieira, L.G. 2006. Efeitos de bactérias diazotróficas na produtividade de massa seca de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em diferentes níveis de adubação nitrogenada. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38.

- Costa, K.A.P.; De Oliveira, I.P.; Faquin, V. 2006. Adubação nitrogenada para pastagens do gênero *Brachiaria* em solos do Cerrado. Embrapa Arroz e Feijão- Documentos (INFOTECA-E). (<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/215338/1/doc192.pdf>). Acesso: 23/08/20.
- Costa, N.L.; Moraes, A.; Monteiro, A.L.G.; Motta, A.C.V.; Oliveira, R.A.; Rodrigues, A.N.A. 2013. Forage productivity and morphogenesis of *Axonopus aureus* under different nitrogen fertilization rates. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 42(8): 541–548.
- Costa, J.A.A.; Queiroz, H.P. 2017. Régua de Manejo de Pastagens: edição revisada. Embrapa Gado de Corte. Comunicado Técnico (INFOTECA-E), 7p.
- Costa, S.M.L.; Melloni, R. 2019. Relação de fungos micorrízicos arbusculares e rizobactérias no crescimento de mudas de oliveira (*Olea europaea*). *Ciência Florestal*, 29: 169-180.
- Cypriano, M.P.; Horta, F.L., Reis, G.; Peres, M.S. 2012. Banco original. Área técnica-econômica: Variedades de pastagens. ([https://www.original.com.br/uploads/INFORMACOES\\_FINANCEIRAS\\_INFORME\\_PECUARIO/Janeiro\\_2012\\_Variedades%20das%20Pastagens.pdf](https://www.original.com.br/uploads/INFORMACOES_FINANCEIRAS_INFORME_PECUARIO/Janeiro_2012_Variedades%20das%20Pastagens.pdf)). Acesso: 03/04/2022.
- Crispim, S.M.A.; Branco, O.D. 2002. Aspectos gerais das braquiárias e suas características na sub-região da Nhecolândia, Pantanal, MS. Embrapa Pantanal-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E). (<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/810752/aspectos-gerais-das-braquiarias-e-suas-caracteristicas-na-sub-regiao-da-nhecolandia-pantanal-ms>). Acesso: 23/08/20.
- Duarte, C.F.D.; Cecato, U.; Hungria, M.; Fernandes, H J.; Biserra, T.T.; Mamédio, D.;... Nogueira, M.A. 2020. Inoculação de bactérias promotoras do crescimento vegetal em *Urochloa Ruziziensis*. *Research, Society and Development*, 9(8) Doi: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i8.5978>.
- De Campos, D.V.B.; De Resende, A.S.; José, B. 2003. Contribuição da fixação biológica de nitrogênio para a cultura de arroz sob inundação. *Agronomia*, 37(2): 41-46.
- Dias, M.D.S.; Florentino, L.A.; Rabêlo, F.H.S.; Rezende, A.V.D.; Souza, F.R.D.C.; Borgo, L. 2019. Características morfológicas, produtivas e bromatológicas do capim- Xaraés: adubação nitrogenada em cobertura versus inoculação com bactérias diazotróficas. *Ciência Animal Brasileira*, 20. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1089-6891v20e-38586>.
- Dieese. 2011. *Estatísticas do meio rural 2010-2011*. Ministério do Desenvolvimento Agrário. Brasília. DF. Brasil. 292 p.
- Döbereiner, J. 1966. *Azotobacter paspali* sp. n., uma bactéria fixadora de nitrogênio na rizosfera de *Paspalum*. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 1(1) : 357-365.
- Döbereiner, J.; Pedrosa, F.O. 1987. Nitrogen-fixing bacteria in nonleguminous crop plants. *Science Tech Publishers*, 154(1).
- Döbereiner, J.; Andrade, V.D.O.; Baldani, V.L.D. 1999. Protocolos para preparo de meios de cultura da Embrapa Agrobiologia.

Dos Santos, F.L.; Da Silva, F.B.; de Sá, E.L.S. Vian, A.L.; Muniz, A.W.; Dos Santos, R.N. 2019. Inoculation and co-inoculation of growth promoting rhizobacteria in irrigated rice plants. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 14(3): 1-5.

Dubeux Júnior, J.C.B.; Oliveira, J.T.C.; Miranda, K.R.; Lira Júnior, M.A.; Santos, M.V.F. Lira, M.A.; Freitas, E.V. 2014. Isolation of root endophytic bacteria in elephant grass (*Pennisetum purpureum*) cultivars. *Tropical Grasslands- Forrajes Tropicales*, 2: 40-41.

EMBRAPA. 2017. Qualidade da carne bovina. (<https://www.embrapa.br/qualidade-da-carne/carne-bovina>). Acessado: 22/08/22.

EMBRAPA. 2021. Inoculante multifuncional para pastagens com braquiárias. (<https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/8612/inoculante-multifuncional-para-pastagens-com-braquiarias>). Acesso: 13/10/22.

FAO. 2019. Food. The future of food and agriculture—Trends and challenges. Annual Report, 296.

Fernandes, S.A.P.; Bettiol, W.; Cerri, C.C. 2005. Effect of sewage sludge on microbial biomass, basal respiration, metabolic quotient and soil enzymatic activity. *Applied Soil Ecology*, 30(1): 65-77. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2004.03.008>.

Fernandes, J.S. 2016. *Azospirillum brasilense e adubação nitrogenada na Brachiaria decumbens*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal da Grande Dourados. Dourados, Mato Grosso do Sul.

FIORI, C. C. L.; BARTCHECHEN, A.; HITOSHI WATANABI, S.; CARLOS GUARIDO, R. 2010. Efeito da inoculação de *Azospirillum brasilense* na produtividade da cultura do milho (*Zea mays L.*). *Campo digital*, 5(1): 56-59.

Francis, I.; Holsters, M.; Vereecke, D. 2010. The Gram-positive side of plant–microbe interactions. *Environmental Microbiology*, v. 12, n. 1, p. 1-12.

Galindo, F.S.; Pagliari, P.H.; Buzetti, S.; Rodrigues, W.L.; Santini, J.M.K.; Boleta, E.H.M.; Filho, M.C.M.T. 2020. O silício aplicado para corrigir a acidez do solo em combinação com a inoculação de *Azospirillum brasilense* pode melhorar a eficiência do uso de nitrogênio em milho?. *Plos One*, 15(4): 0230954.

Galindo, F.S.; Da Silva, E.C.; Pagliari, P.H.; Fernandes, G.C.; Rodrigues, W.L.; Biagini, A.L.C.; Teixeira Filho, M.C.M. 2021. Nitrogen recovery from fertilizer and use efficiency response to *Bradyrhizobium* sp. and *Azospirillum brasilense* combined with N rates in cowpea-wheat crop sequence. *Applied Soil Ecology*, 157: 103764.

Ge, G.; Li, Z.; Fan, F.; Chu, G.; Hou, Z.; Liang, Y. 2010. Soil biological activity and their seasonal variations in response to long-term application of organic and inorganic fertilizers. *Plant and Soil*, 326(1): 31-44.

Glick, B.R. 2012. Plant growth-promoting bacteria: mechanisms and applications. *Scientifica*, 190(1): 63-68. Doi: <https://doi.org/10.6064/2012/963401>.

Glick B.R. 2014. Bacteria with ACC deaminase can promote plant growth and help to feed the world. *Microbiological research* 169(1): 30-39. Doi:

<https://doi.org/10.1016/j.micres.2013.09.009>.

Gopalakrishnan, S.; Sathya, A.; Vijayabharathi, R.; Varshney, R.K.; Gowda, C.L.; Krishnamurthy, L. 2015. Plant growth promoting *Rhizobia*: challenges and opportunities. *3 Biotech*, 5(4): 355-377.

Guimarães, S.L.; Bonfim-Silva, E.M.; Kroth, B.E.; Moreira, J.F.C.; Rezende, D. 2011. Crescimento e desenvolvimento inicial de *Brachiaria decumbens* inoculada com *Azospirillum* spp. *Enciclopédia Biosfera*, 7(13): 286-295.

Haas, D.; Keel, C. 2003. Regulation of antibiotic production in root-colonizing *Pseudomonas* spp. and relevance for biological control of plant disease. *Annual Review of Phytopathology*, 41(1): 117-153.

Haahtela, K.; Helander, I.; Nurmiäho-Lassila, E.L.; Sundman, V. 1983. Morphological and physiological characteristics and lipopolysaccharide composition of N<sub>2</sub>- 32 fixing (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>-reducing) root-associated *Pseudomonas* sp. *Canadian Journal of Microbiology, Ottawa*, 29(8): 874-880.

Hahn, L. 2013. *Promoção de crescimento de plantas gramíneas e leguminosas inoculadas com rizóbios e bactérias associativas*. Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Rio Grande do Sul.

Hahn, L.; Sá, E.L.S.; Machado, R.G.; Silva, W.R.; Oldra, S.; Damasceno, R.G.; Schönhofen, A. 2014. Growth promotion in maize with diazotrophic bacteria in succession with ryegrass and white clover. *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science*, 14(1): 11-16.

Hoffmann, R.B.; Moreira, E.E.A; Hoffmann, G.S.S.; Araújo, N.S.F. 2018. Efeito do manejo do solo no carbono da biomassa microbiana. *Brazilian Journal of Animal Environmental Research*, 1(1): 168-178.

Huergo, L.F.; Monteiro, R.A.; Bonatto, A.C.; Rigo, L.U.; Steffens, M.B.R.; Cruz, L.M.; Pedrosa, F.O. 2008. 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. Buenos Aires: Asociación Argentina de Microbiología, 17-35.

Hungria, M.; Franchini, J.C.; Campo, R.J. 2005. The importance of nitrogen fixation to soybean cropping in South America. In: Werner, D.; Newton, W.E. (Ed.). *Nitrogen fixation in agriculture, forestry, ecology, and the environment nitrogen fixation: origins, applications, and research progress*. Springer, 4: 25-42. DOI: 10.1007/1-4020-3544-6\_3

Hungria, M. 2010. A inoculação com cepas selecionadas de *Azospirillum brasilense* e *A. lipoferum* melhora a produtividade do milho e do trigo no Brasil. *Planta e solo*. (<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/29676/1/Inoculacao-com-azospirillum.pdf>). Acessado em: 30/01/21.

Hungria, M, Campo R.J, Souza E.M, Pedrosa F.O. 2010. Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. *Plant and Soil*. 331: 413-425

Hungria, M.; Nogueira, M.A.; Araujo, R.S. 2016. Inoculation of *Brachiaria* spp. with the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum brasilense*: an environment-friendly component in the reclamation of degraded pastures in the tropics. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 221: 125-131.

Hungria, M.; Duarte, C.F.D.; Mamédio, D.; Sanches R.; Cecato, U.; Biserra, T.T. 2019. Bactérias promotoras de crescimento de plantas em sistemas agropecuários. *Simpósio de produção animal a pasto*. P 180 – 212.

Hungria, M.; Rondina, A.B.L.; Nunes, A.L.P.; Araujo, R.S.; Nogueira, M.A. 2021. Seed and leaf-spray inoculation of PGPR in brachiarias (*Urochloa* spp.) as an economic and environmental opportunity to improve plant growth, forage yield and nutrient status. *Plant And Soil*, 463(1): 171-186.

Huo, W.; Zhuang, C.H.; Cao, Y.; Pu, M.; Yao, H.; Lou, L.Q.; Cai, Q.S. 2012. Paclobutrazol and plant-growth promoting bacterial endophyte *Pantoea* sp. enhance copper tolerance of guinea grass (*Panicum maximum*) in hydroponic culture. *Acta Physiologiae Plantarum*, v.34, n.1, p.139-150. Doi: 10.1007/s11738-011-0812-y.

IBGE. 2020. Produção agropecuária. (<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/>). Acesso: 16/06/20.

Jenkinson, D.S.; Powlson, D.S. 1976. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil – V. A. method for measuring soil biomass. *Soil Biology And Biochemistry*, 11(3):193-199.

Kankariya, RA.,; Chaudhari, A.B.; Gavit, P.M.; Dandi, N.D. 2019. 2, 4-Diacetylphloroglucinol: a novel biotech bioactive compound for agriculture. In: Singh, D.P.; Gupta, V.K.; Prabha, R. *Microbial Interventions in Agriculture and Environment*. Vol. 1. Research Trends, Priorities and Prospects. Springer, Singapore. p. 419-452.

Karimi, N. ; Goltapeh, E.M.; Amini, J.; Mehnaz, S.; Zarea, M. J. 2021. Effect of *Azospirillum zae* and Seed Priming with Zinc, Manganese and Auxin on Growth and Yield Parameters of Wheat, under Dryland Farming. *Agricultural Research*, 10: 44–55. <https://doi.org/10.1007/s40003-020-00480-5>

Kelemu, S.; Fory, P.; Zuleta, C.; Ricaurte, J.; Rao, I.; Lascano, C. 2011. Detecting bacterial endophytes in tropical grasses of the *Brachiaria* genus and determining their role in improving plant growth. *African Journal Of Biotechnology*, 10(6): 965-976.

Kim, S.; Lowman, S.; Hou, G.; Nowak, J.; Flinn, B.; Mei, C. 2012. Growth promotion and colonization of switchgrass (*Panicum virgatum*) cv. Alamo by bacterial endophyte *Burkholderia phytotriantis* strain PsJN. *Biotechnology for Biofuels*, 5(1): 1-10.

Kloepper, J.W.; Schroth, M.N. 1978. Plant growth-promoting rhizobacteria on radishes. Proceedings of the 4th international conference on plant pathogenic bacteria, v. 2, p. 879 – 882.

Kloepper, J.W. 1978. Plant growth-promoting rhizobacteria on radishes. In: *Proc. of the 4<sup>a</sup> Internat. Conf. on Plant Pathogenic Bacter, Station de Pathologie Vegetale et Phytobacteriologie*, INRA, Angers, France, 2: 879-882.

Kloepper, J.W.; Schroth, M.N. 1981. Relationship of in vitro antibiosis of plant growth-

promoting rhizobacteria to plant growth and the displacement of root microflora. *Phytopathology*, 71(10): 1020-1024.

Kneip, C.; Lockhart, P.; Voß, C.; Maier, U.G. 2007. Nitrogen fixation in eukaryotes—new models for symbiosis. *BMC Evolutionary Biology*, 7(1): 1-12.

Kumar, A.; Verma, H.; Singh, V.K.; Singh, P.P.; Singh, S.K.; Ansari, W.A.; Pandey, K.D. 2017. Role of *Pseudomonas* sp. in sustainable agriculture and disease management. *Agriculturally Important Microbes for Sustainable Agriculture: Applications in Crop Production and Protection*. Springer, 2: 195-215. Doi: <https://doi.org/10.1007/978-981-10-5343-6-7>.

Lange, A.; Dantas, J.; Da Silva, O. F.; Buratto, W.; Spaziani, C.; Caione, G. 2019. Degradação do solo e pecuária extensiva no norte de Mato Grosso. 7(6): 642-648. DOI: 10.31413/nativa.v7i6.6838

Leite, R.D.C.; Dos Santos, J.G.; Silva, E.L.; Alves, C.R.; Hungria, M.; Leite, R.D.C.; Dos Santos, A.C. 2018. Productivity increase, reduction of nitrogen fertiliser use and drought-stress mitigation by inoculation of Marandu grass (*Urochloa brizantha*) with *Azospirillum brasilense*. *Crop and Pasture Science*, 70(1): 61-67.

Liang, B.; Yang, X.; He, X.; Zhou, J. 2011. Effects of 17-year fertilization on soil microbial biomass C and N and soluble organic C and N in loessial soil during maize growth. *Biology and Fertility of Soils*, 47(2): 121-128.

Lino, A.C.M. 2018. *Fixação biológica de nitrogênio em soqueira de cana-de-açúcar com Azospirillum brasilense e na compatibilidade com agroquímicos*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, Minas Gerais.

Lucy, M.; Reed, E.; Glick, B.R. 2004. Applications of free living plant growth-promoting rhizobacteria. *Antonie van leeuwenhoek*, 86(1): 1-25.

Lopes, M.J.S., Dias-Filho, M.B.; Gurgel, E.S.C. 2021. Successful plant growth-promoting microbes: inoculation methods and abiotic factors. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5: 1-13. Doi: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.606454>.

Macedo L.O.B. 2006. Modernização da pecuária de corte bovina no Brasil e a importância do crédito rural. *Agroanalysis*, 25(6): 35-36, 2005.

Macedo, M.C.M.; Zimmer, A.H.; Kichel, A.N.; De Almeida, R.G.; De Araújo, A.R. 2013. Degradação de pastagens, alternativas de recuperação e renovação, e formas de mitigação. In: Encontro De Adubação De Pastagens Da Scot Consultoria - Tec - Fertil, 2489 1, Ribeirão Preto, SP. Anais. Bebedouro: Scot Consultoria. p. 158-181

Macedo, M.C.M.; De Araújo, A.R. 2019. Sistemas de produção em integração: alternativa para recuperação de pastagens degradadas. Embrapa Gado de Corte. In: Bungenstab, D. J.; Almeida, R. G. de; Laura, V. A.; Balbino, L. C.; Ferreira, A. D. 2019. *ILPF: inovação Lavoura Pecuária Floresta*. EMBRAPA Cerrado. P. 295-317.

Machado, R.G.; De Sá; E.L.S.; Damasceno, R.G.; Hahn, L.; Almeida, D.; Moraes, T.; Reartes, D.S. 2011. Promoção de crescimento de *Lotus corniculatus* L. e *Avena strigosa* Schreb pela inoculação conjunta de *Trichoderma harzianum* e rizóbio. *Ciência e*



*Natura*, 33(2): 111-126.

Machado, R.G.; De Sá, E.L. S.; Bruxel, M.; Giongo, A.; Da Silva Santos, N.; Nunes, A. S. 2013. Indoleacetic Acid Producing Rhizobia Promote Growth of Tanzania grass (*Panicum maximum*) and Pensacola grass (*Paspalum sauriae*). *International Journal of Agriculture & Biology*, 15(5): 827-834.

Machado, S.L.M.; Sales, E.C.J.; REIS, S.T.; Mesquita, V.G.; Carvalho, Z.G.; Monção, F.P.; Gomes, E.A.S.; Queiroz, D.S. 2017. Forage accumulation, tillering and bromatological characteristics of Brachiaria grass under nitrogen fertilization. *Científica*, 45(2): 197. Doi: <https://doi.org/10.15361/1984-5529.2017v45n2p197-203>.

Machado, M.L.C.; Sales, M.F.L. 2020. Desempenho de novilhos nelore castrados e não-castrados sob pastejo em Brachiaria humidicola (Rendle) Schweick (Poaceae) exclusiva e em consórcio com amendoim forrageiro. *Ciência Animal Brasileira*, 21. Doi: 10.1590/1809-6891v21e-51379.

Mahmoud, E.; Ibrahim, M.; Abd El-Rahman, L.; Khader, A. 2019. Effects of biochar and phosphorus fertilizers on phosphorus fractions, wheat yield and microbial biomass carbon in Vertic Torrifluvents. *Communications in soil science and plant analysis*, 50(3): 362-372. Doi: <https://doi.org/10.1080/00103624.2018.1563103>.

Malavolta, E.A.; Vitti, G.C.; Oliveira, S.A. 1997. *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. Potafos, Piracicaba, São Paulo.

Mapbiomas. 2021. Mapeamento anual da cobertura e uso da terra no Brasil (1985-2020). Destaques Cerrado. <https://mapbiomas.org/estatisticas>. Acesso: 17/12/22.

Mardad, I.; Serrano, A.; Soukri, A. 2013. Solubilization of inorganic phosphate and production of organic acids by bacteria isolated from a Moroccan mineral phosphate deposit. *African Journal of Microbiology Research*, 7(8): 626-635. Doi: <https://doi.org/10.5897/AJMR12.1431>.

Martuscello, J.A.; Jank, L.; Gontigo Neto, M.M.; Laura V.A.; Cunha, D.N.F.V. 2010. Produção de gramíneas do gênero Brachiaria sob níveis de sombreamento, *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38(7): 1183-1190. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009000700004>.

Mehnaz, S. 2015. *Azospirillum*: A Biofertilizer for Every Crop. In: ARORA, N. K. (Ed.). *Plant Microbes Symbiosis: Applied Facets*. New Delhi: Springer India. p. 297–314.

Mishra, P.K.; Mishra, S.; Selvakumar, G.; Bisht, J.K.; Kundu, S.; & Gupta, H.S. 2009. Coinoculation of Bacillus thuringiensis-KR1 with *Rhizobium leguminosarum* enhances plant growth and nodulation of pea (*Pisum sativum* L.) and lentil (*Lens culinaris* L.). *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 25: 753-761.

Miransari, M.; Smith, D. 2009. Rhizobial lipo-chitoooligosaccharides and gibberellins enhance barley (*Hordeum vulgare* L.) seed germination. *Biotechnology, Faisalabad*, 8(2): 270-275.

Monteiro, L.C.; Verzignassi, J.R.; Barrios, S.C.L.; Valle, C.B.; Fernandes, C.D.; Benteo, G.L.; Libório, C.B. 2016. *Brachiaria decumbens* intraspecific hybrids: characterization and selection for seed production. *Journal of Seed Science*, 38(1): 62-67.

- Moreira, F.M.S.; Siqueira, J.O. 2006. *Microbiologia e bioquímica do solo*. 2. Universidade Federal de Lavras. Lavras, MG. 729 pp.
- Moreira, F.M.S. *et al.* 2020. Coinoculação de *Azospirillum brasilense* e *Rhizobium tropici* em pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu no Cerrado brasileiro. *Semina: Ciências Agrárias*, 41(4): 1543-1554.
- Mumbach, G.L.; Kotowski, I.E.; Schneider, F.J.A.; Mallmann, M.S.; Bonfada, E.B.; Portela, V.O.; Bonfada, E.B.; Kaiser, D.R. 2017. Resposta da inoculação com *Azospirillum brasilense* nas culturas de trigo e de milho safrinha. *Scientia Agraria*, 18(2): 97-103.
- Muniz, A.W. 2011. *Promoção do crescimento em adesmias e macieira utilizando rizóbios de Adesmia latifolia*. Tese de doutorado. Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul. Instituto de ciências básica da saúde, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 95pp.
- Muniz, A.W.; Wordell Filho, J.A.; De Sa, E.L.S. 2012. Promoção de crescimento vegetal por rizóbios. *Revista Agropecuária Catarinense*. v. 25, n. 3, p. 45-47.
- Nogueira, L. 2019. *Brachiaria decumbens*: ainda uma boa opção? (<https://blog.aegro.com.br/brachiaria-decumbens/>). Acesso: 04/07/20.
- Oliveira, A.L.M.D.; Canuto, E.D.L.; Reis, V.M.; Baldani, J.I. 2003. Response of micropropagated sugarcane varieties to inoculation with endophytic diazotrophic bacteria. *Brazilian Journal of Microbiology*, 34(1): 59-61.
- Oliveira, P.P.A.; Oliveira, W.S.; Barioni, W.J. 2007. Produção de forragem e qualidade de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu com *Azospirillum brasilense* e fertilizada com nitrogênio. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 6p. (Circular Técnico, 54).
- Oliveira, I.J.; Fontes, J.R.A.; Pereira, B.F.F.; Muniz, A.W. 2018. Inoculation with *Azospirillum brasiliense* increases maize yield. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 5(1): 1-9.
- Oliveira, A.L.M.; Silva, J.P.F.; Rodrigues, J.L.M.; Barros, H.B.; Souza, T.C.; Pires, F.R. 2019. Coinoculation of plant growth-promoting bacteria in a tropical soil and its effect on microbial activity and biomass. *Applied Soil Ecology*, 133: 117-124.
- ONU. 2019. World Populations Prospects 2019: Highlights. Nova York. 46pp.
- Okon, Y.; Itzigsohn, R. 1995. The development of *Azospirillum* as a commercial inoculant for improving crop yields. *Biotechnology advances*, 13(3): 415-424.
- Pandey, P.K.; Singh, M.C.; Singh, S.S.; Kumar, A.K.; Pathak, M.M.; Shakywar, R.C.; Pandey, A.K. 2017. Inside the plants: endophytic bacteria and their functional attributes for plant growth promotion. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(2): 11-21. DOI: <http://dx.doi.org/10.20546/ijcmas.2017.602.002>
- Parreira, L.H.; Martins, M.E.; Moreira Ribeiro, M.; Junior, J.D.M. 2015. Efeito da bactéria *Azospirillum brasilense* na adubação química e orgânica em pastagens constituídas de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. *Enciclopedia Biosfera*, 11(21): 838.
- Paul, E.A.; Harris, D.; Collins, H.P.; Schulthess, U.; Robertson, G.P. 1999 Evolution of CO<sub>2</sub>

and soil carbon dynamics in biologically managed, row-crop agroecosystems. *Applied Soil Ecology*, 11(1): 53–65. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(98\)00130-9](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(98)00130-9).

Paula, C.C.L.D.; Euclides, V.P.B.; Lempp, B.; Barbosa, R.A.; Montagner, D.B.; Carloto, M.N. 2012. Acúmulo de forragem, características morfológicas e estruturais do capim-marandu sob alturas de pastejo. *Ciência Rural*, 42: 2059-2065.

Pedraza, R.O.; Bellone, C.H.; De Bellone, S.; Boa Sorte, P.M.B.; Teixeira, K.R.D. 2009. *Azospirillum* inoculation and nitrogen fertilization effect on grain yield and on the diversity of endophytic bacteria in the phyllosphere of rice rainfed crop. *European Journal of Soil Biology*, 45(1): 36-43.

Pedreira, B.C.; Barbosa, P.L.; Pereira, L.E.T.; Mombach, M.A.; Domiciano, L.F.; Pereira, D.H.; Ferreira, A. 2017. Tiller density and tillering on *Brachiaria brizantha* cv. Marandu pastures inoculated with *Azospirillum brasilense*. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 69(4): 1039-1046. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4162-9034>.

Pérez-García, A.; Romero, D.; De Vicente, A. 2011. Plant protection and growth stimulation by microorganisms: biotechnological applications of Bacilli in agriculture. *Current opinion in biotechnology*, 22(2): 187-193. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2010.12.003>.

Prystupa, P.; Slafer, G. A.; Savin, R. 2003. Leaf appearance, tillering and their coordination in response to NxP fertilization in barley. *Plant and Soil*, 255: 587-594.

Quadros, P.D.D.; Roesch, L.F.W.; Silva, P.R.F.D.; Vieira, V.M.; Roehrs, D.D.; Camargo, F.A.D.O. 2014. Desempenho agrônômico a campo de híbridos de milho inoculados com *Azospirillum*. *Revista Ceres*, 61(2): 209-218.

Ramos-Aires, J.; Plésiat, P.; Kocjancic-Curty, L.; Köhler, T. 2004. Selection of an antibiotic-hypersusceptible mutant of *Pseudomonas aeruginosa*: identification of the GlmR transcriptional regulator. *Antimicrobial agents and chemotherapy*, 48(3): 843-851. Doi:<https://doi.org/10.1128/AAC.48.3.843-851.2004>

Raza, W.; Ling, N.; Yang, L.; Huang, Q.; Shen, Q. 2016. Response of tomato wilt pathogen *Ralstonia solanacearum* to the volatile organic compounds produced by a biocontrol strain *Bacillus amyloliquefaciens* SQR-9. *Scientific reports*, 6(1): 1-13.

Reis, V.M.; Estrada-De Los Santos, P.; Tenorio-Salgado, S.; Vogel, J.; Stoffels, M.; Guyon, S.; Balandreau, J. 2004. *Burkholderia tropica* sp. nov., a novel nitrogen-fixing, plant-associated bacterium. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 54(6): 2155-2162. Doi: <https://doi.org/10.1099/ijs.0.02879-0>

Reis, V.M.; Teixeira, K.R. dos S. 2005. Fixação biológica de nitrogênio-estado da arte. Processos biológicos no sistema solo-planta: ferramentas para uma agricultura sustentável. *Embrapa Informação Tecnológica*, 28: 350- 68.

Reis Júnior, F.B.; Döbereiner, J.; Baldani, V.; Reis, V.; Machado, A. 1998. Seleção de genótipos de milho e arroz mais eficientes quanto ao ganho de N através de fixação biológica de N<sub>2</sub>. *Embrapa Agrobiologia-Documentos (INFOTECA-E)*.

Reis Júnior, F.B.; Machado, C.T.T.; Machado, A.T.; Sodek, L. 2008. Inoculação de *Azospirillum amazonense* em dois genótipos de milho sob diferentes regimes de nitrogênio.

*Revista Brasileira Ciência do Solo*, 32(3): 1139-1146. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000300022>.

Reynolds, C.J.; Piantadosi, J.; Boland, J. 2015. Rescuing food from the organics waste stream to feed the food insecure: an economic and environmental assessment of Australian food rescue operations using environmentally extended waste input-output analysis. *Sustainability*, 7(4): 4707-4726. Doi: <https://doi.org/10.3390/su7044707>.

Rodriguez, H.; Fraga, R. 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotechnology Advances*, 17(4-5): 319-339. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0734-9750\(99\)00014-2](https://doi.org/10.1016/S0734-9750(99)00014-2).

Rodriguez, H.; Gonzalez, T.; Goire, I.; Bashan, Y. 2004. Gluconic acid production and phosphate solubilization by the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* spp. *Naturwissenschaften*, 91(11): 552-555. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0734-9750\(99\)00014-2](https://doi.org/10.1016/S0734-9750(99)00014-2)

Santillana, N.; Arellano, C.; Zúñiga, D. 2005. Capacidade del *Rhizobium* de promover el crecimiento en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Miller). *Ecologia Aplicada*, 4(1-2): 47-51.

Santos, T.M.; Oliveira, R.P.; Dos Santos Júnior, J.R.; De Oliveira, H.A.; Costa, A.M.; Oliveira, J.S.; Silva, K.D. 2019. Inoculação com *Azospirillum brasilense* aumenta a quantidade de nitrogênio acumulado na massa seca da parte aérea em *braquiária* cv. Marandu. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 43.

Santoyo, G.; Moreno-Hagelsieb, G.; Del Carmen Orozco-Mosqueda, M.; Glick, B.R. 2016. Plant growth-promoting bacterial endophytes. *Microbiological research*, 183: 92-99. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2015.11.008>.

Sarathambal, C.; Dinesh, R.; Srinivasan, V.; Sheeja, T.E.; Jeeva, V.; Manzoor, M. 2022. Changes in bacterial diversity and composition in response to co-inoculation of Arbuscular mycorrhizae and zinc-solubilizing bacteria in turmeric rhizosphere. *Current Microbiology*, 79(1): 1-9.

Schmidt, E.R.; Cruz, C.D.; Zanoncio, J.C.; Pereira, P.R. G.; Ferrão, R.G. 2001. Evaluation of stand correction methods to estimate productivity in cornfields. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 36(8): 1011-1018. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2001000800002>.

Schultz, N.; Morais, R.F. D.; Silva, J.A. D.; Baptista, R.B.; Oliveira, R.P.; Leite, J.M.; Boddey, R.M. 2012. Avaliação agrônômica de variedades de cana-de-açúcar inoculadas com bactérias diazotróficas e adubadas com nitrogênio. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 47(2): 261-268. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2012000200015>.

Scott, A.J.; Knott, M. 1974. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. *Biometrics*, 30(3): 507-512.

Shapiro, S.S.; Wilk, M.B. 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52(3/4), 591-611.

Silva, M.C.P. 2010. *Seleção de estirpes eficientes para fixação biológica de nitrogênio e promoção de crescimento em plantas da espécie Brachiaria brizantha*. Dissertação de

mestrado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, São paulo.

Silva, M.C.P.; Figueiredo, A.F.; Andreote, F.D.; Cardoso, E.J.B.N. 2013. Plant growth promoting bacteria in *Brachiaria brizantha*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 29(1): 163-171.

Silva, K.J.D.; Menezes, C.B.D.; Tardin, F.D.; Souza, V.F.; Santos, C.V. 2014. Comparação de métodos de correção de estande para estimar a produtividade de sorgo granífero. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 44(2): 175-181.

Silva, F.B. da. 2016. *Seleção de rizóbios nativos simbiotes de Desmodium incanum e avaliação da promoção de crescimento de gramíneas*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Rio Grande do Sul.

Simeões, W.L.; Oliveira, A.R.; Reis, V.M.; Pereira, W.; Lima, J.A. 2018. Aplicação de bactérias diazotróficas via sistema de irrigação para fixação biológica de nitrogênio na cana-de-açúcar. *Energia na Agricultura*, 33(1): 45-51. Doi: <https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2018v33n1p45-51>.

Singh, P.; Singh, R.K.; Zhou, Y.; Wang, J.; Jiang, Y.; Shen, N.; ... & Jiang, M. 2022. Unlocking the strength of plant growth promoting *Pseudomonas* in improving crop productivity in normal and challenging environments: a review. *Journal of Plant Interactions*, 17(1): 220-238.

Six, J.; Frey, S.D.; Thiet, R.K.; Batten, K.M. 2006. Bacterial and Fungal Contributions to Carbon Sequestration in Agroecosystems. *Soil Science Society of America Journal*, 70(2): 555–569. Doi: <https://doi.org/10.2136/sssaj2004.0347>.

Sobrinho, F.S.; Carneiro, H.; Magalhães, J.R.; Miranda, J.E.C.; Pereira, A.V.; Lédo, F.J.S.; Reis, M.C.; Brum, S.S.; Oliveira, J.S.; Botrel, M.A. 2005. Produtividade e qualidade da forragem de *Brachiaria* na região norte fluminense. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. Anais. BZ. P. 42. Goiânia, Goiás.

Sottero, A.N. 2003. *Colonização radicular e promoção de crescimento vegetal por rizobactérias*. Dissertação de mestrado. Instituto Agronômico. Campinas, São Paulo.

Souza, R.; Ambrosini, A.; Passaglia, L.M.P. 2015. Plant growth-promoting bacteria as inoculants in agricultural soils. *Genetics and Molecular Biology*, 38(4): 401-419. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1415-475738420150053>.

Steenhoudt, O.; Vanderleyden, J. 2000. *Azospirillum*, a free-living nitrogen-fixing bacterium closely associated with grasses: genetic, biochemical and ecological aspects. *FEMS microbiology reviews*, 24(4): 487-506. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2000.tb00552.x>

Strigul, N.S.; Kravchenko, L. V. 2006. Mathematical modeling of PGPR inoculation into the rhizosphere. *Environmental Modelling & Software*, 21(8): 1158 –1171. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2005.06.003>.

Terra, A.B.; Florentino, L.A.; Rezende, A.D.; Silva, N.C. 2019. Leguminosas forrageiras na recuperação de pastagens no Brasil. *Revista de Ciências Agrárias*, 42(2), 11-20.

Townsend, C.R.; Costa, N.L.; Mendes, A.M.; Pereira, R.G.A.; Magalhães, J.A. 2001. Nutrientes limitantes em solo de pastagens degradadas de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em Porto Velho-RO. In: Reunião Anual Da Sociedade Brasileira De Zootecnia, 38., Fortaleza, Anais. Piracicaba, SBZ, 2001. p.158-159.

Turan, M.; Gulluce, M.; von Wirén, N.; Sahin, F. 2012. Yield promotion and phosphorus solubilization by plant growth-promoting rhizobacteria in extensive wheat production in Turkey. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 175(6): 818-826.

Ullah, A.; Manghwar, H.; Shaban, M.; Khan, A. H.; Akbar, A.; Ali, U.; ... & Fahad, S. 2018. Phytohormones enhanced drought tolerance in plants: a coping strategy. *Environmental Science and Pollution Research*, 25: 33103-33118.

USDA - United States Department of Agriculture. Livestock and Products Semi-annual. 2023.(

[https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Livestock%20and%20Products%20Semi-annual\\_Brasilia\\_Brazil\\_BR2023-0004](https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Livestock%20and%20Products%20Semi-annual_Brasilia_Brazil_BR2023-0004)). Acesso: 05/03/23.

Wardle, D.A.; Ghani, A.A. 1995. A critique of the microbial metabolic quotient (qCO<sub>2</sub>) as a bioindicator of disturbance and ecosystem development. *Soil Biology and Biochemistry*, 27(12): 1601-1610. Doi: [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(95\)00093-T](https://doi.org/10.1016/0038-0717(95)00093-T).

Wendenbaum, S.; Demange, P.; Dell, A.; Meyer, J.M.; Abdallah, M.A. 1983. The structure of pyoverdine Pa, the siderophore of *Pseudomonas aeruginosa*. *Tetrahedron Letters*, 24(44), 4877-4880. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0040-4039\(00\)94031-0](https://doi.org/10.1016/S0040-4039(00)94031-0).

Yang, J.; Lan, L.; Jin, Y.; Yu, N.; Wang, D.; Wang, E. 2022. Mechanisms underlying legume-rhizobium symbioses. *Journal of Integrative Plant Biology*, 64(2): 244-267. Doi:

<https://doi.org/10.1111/jipb.13207>.

Valle C.B.; Jank L.; Resende R.M.S. 2015. O melhoramento de forrageiras tropicais no Brasil. *Revista Ceres*, 56(4): 460-472.

Videira, S.S.; Pereira E.; Silva, M.D.C.; De Souza Galisa, P.; Dias, A.C.F.; Nissinen, R.; Divan, V. L. B.; ... Salles, J.F. 2013. Culture-independent molecular approaches reveal a mostly unknown high diversity of active nitrogen-fixing bacteria associated with *Pennisetum purpureum*—a bioenergy crop. *Plant and soil*, 373(1): 737-754.

Vincent, J.M. 1970. A manual for the practical study of root nodule bacteria. Oxford: Blackwell Scientific, 164p.

Vitor, C.M.T.; Costa, P.M.; Villela, S.D.J.; de Paula Leonel, F.; Fernandes, C.F.; Almeida, G.O. 2014. Características estruturais de uma pastagem de *Brachiaria decumbens* Stapf cv. Basilisk sob doses de nitrogênio. *Boletim de Indústria Animal*, 71(2): 176-182.

Zhang, C.; Song, Z.; Zhuang, D.; Wang, J.; Xie, S.; Liu, G. 2019. Urea fertilization decreases soil bacterial diversity, but improves microbial biomass, respiration, and N-cycling potential in a semiarid grassland. *Biology and Fertility of Soils*, 55(3): 229-242.

Zhang, J. H.; Huang, J.; Hussain, S.; Zhu, L.F.; Cao, X.C.; Zhu, C.Q.; ... & Zhang, H. 2021. Increased ammonification, nitrogenase, soil respiration and microbial biomass N in the rhizosphere of rice plants inoculated with rhizobacteria. *Journal of Integrative Agriculture*, 20(10), 2781-2796. Doi: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63454-2](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63454-2)

Zeffa, D. M.; Perini, L.J.; Silva, M.B.; de Sousa, N.V.; Scapim, C.A.; Oliveira, A.L.M.D.; ... & Azeredo Goncalves, L.S. 2019. *Azospirillum brasilense* promotes increases in growth and nitrogen use efficiency of maize genotypes. *Plos one*, 14(4): 0215332.

Zhu, Z.; Bai, Y.; Lv, M.; Tian, G.; Zhang, X.; Li, L.;... Ge, S. 2020. Soil fertility, microbial biomass, and microbial functional diversity responses to four years fertilization in an apple orchard in North China. *Horticultural plant journal*, 6(4): 223-230.