

DESENVOLVIMENTO DE PASTAGENS INOCULADAS COM A ESTIRPE MAY1 DE *AZOSPIRILLUM* SPP. NO PANTANAL, SUB-REGIÃO NHECOLÂNDIA, BRASIL

Development of Pastures Inoculated with the MAY1 Strain of *Azospirillum* spp. in the Pantanal, Nhecolandia sub-region, Brazil

DOI 10.55028/geop.v18i34

Mayara Silva Torres de Souza*
Sandra Aparecida Santos**
Marivaine da Silva Brasil***

Resumo: Objetivou-se avaliar a contribuição da inoculação da estirpe de *Azospirillum* MAY1 no desenvolvimento de pastagens em áreas de solos arenosos com baixa fertilidade no Pantanal, em 2016/2017. Realizou-se um experimento em campo, tendo 2 tratamentos e 4 repetições: tratamento inoculado com MAY1 (T1) e sem inoculação (T2). A massa seca da parte aérea do T1 apresentou um percentual de aumento para todas as plantas avaliadas (*Mesosetum chauseae*, *Paspalum oteroi* e *Urochloa humidicola*). *M. chauseae* também apresentou percentuais de aumentos nos teores de nitrogênio e proteína bruta no T1. MAY1 mostrou-se promissora para melhorar o desenvolvimento de pastagens no Pantanal.

Palavras-chave: Bactérias promotoras de crescimento de plantas, inoculante, pastagens nativas, fixação biológica de nitrogênio, forrageiras.

Abstract: The objective was to evaluate the contribution of inoculation of the *Azospirillum* MAY1 strain in the development of pastures

Introdução

Cerca de 95% do Pantanal é ocupado por fazendas particulares, cuja principal atividade econômica é a pecuária de corte extensiva (Santos *et al.*, 2011). Na pecuária extensiva são utilizadas principalmente pastagens nativas adaptadas às condições de seca e inundação da região e pastagens exóticas, principalmente *Urochloa humidicola*, introduzidas nas áreas de mesorelevos mais alto para substituir gramíneas nativas grosseiras de baixo valor nutritivo (Abreu *et al.*, 2015; Comastri Filho, 1997; Santos *et al.*, 2011).

Pantanal é caracterizado pela alternância de estações seca e cheia, apresen-

* Técnica de laboratório da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – Campus do Pantanal. Licenciada em Ciências Biológicas (UFMS) e doutora em Ciências (Bioquímica) pela UFPR. E-mail: mayara.torres@ufms.br.

** Pesquisadora da Embrapa Pantanal, Graduada em Zootecnia (UNESP) e doutora em Zootecnia pela UNESP. E-mail: sandra.santos@embrapa.br.

*** Professora da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – Campus do Pantanal, Licenciada em Ciências Biológicas (UFMS) e doutora em Fitotecnia pela UFRJ. E-mail: marivaine.brasil@ufms.br - Autor para correspondência.

in areas of sandy soils with low fertility in the Pantanal, in 2016/2017. A field experiment was conducted, having 2 treatments and 4 repetitions: treatment inoculated with MAY1(T1) and without inoculation(T2). The dry mass of shoots of T1 showed a percentage increase for all plants evaluated (*Mesosetum chaseae*, *Paspalum oteroi* and *Urochloa humidicola*). *M. chaseae* also showed percent increases in nitrogen and crude protein contents at T1. MAY1 showed promise for improving pasture development in the Pantanal.

Keywords: Plant growth promoting bacteria, inoculant, native pastures, biological nitrogen fixation, forages.

ta solo de origem sedimentar, ocorrendo em fases argilosas e arenosas de forma alternada e descontínua (Comastri Filho, 1984). Com exceções, os índices zootécnicos da pecuária bovina da região são relativamente baixos, em decorrência de grande parte da baixa fertilidade dos solos, da estacionalidade e da qualidade das pastagens nativas que são influenciadas por flutuações ambientais (seca, inundações, incêndios, etc.) e práticas de manejo, bem como da genética do rebanho (Abreu *et al.*, 2015; Comastri Filho, 1997; Santos *et al.*, 2002c). Além disso, diversos fatores como a falta de boas práticas de manejo das pastagens, lotação acima da capacidade suporte das pastagens, incêndios descontrolados, desmatamento sem nenhum critério técnico para a introdução de pastagens exóticas, tem ocasionado a degradação de áreas do Pantanal, especialmente pastagens nativas.

A atividade pecuária extensiva exercida no Pantanal é considerada uma das grandes emissoras de gases de efeito estufa (Abreu *et al.*, 2015) o que é acentuado com a degradação das pastagens. Buscando reduzir a emissão desses tipos gases e promover o desenvolvimento do sistema de produção da pecuária extensiva de uma forma econômica e ecologicamente sustentável, a Embrapa Pantanal criou recomendações para operacionalização do Plano de Agricultura de Baixo Carbono (ABC) no Pantanal que foi divulgada através do documento 132 por Abreu *et al.*, (2015). Dentre as recomendações divulgadas são destaca-

das: uso de suplementação mineral, desmama precoce, recuperação de pastagens degradadas, controle de invasoras nas pastagens, bem como melhorar a qualidade e o aproveitamento das pastagens nativas e, por consequência favorecer a fixação do CO₂ atmosférico nas plantas forrageiras e no solo. Uma alternativa sustentável para melhorar o desenvolvimento e a qualidade das pastagens seria a inoculação de bactérias promotoras do crescimento de plantas (BPCP) do gênero *Azospirillum*.

As bactérias do gênero *Azospirillum* são capazes de se associar a diversas famílias de plantas e promover o seu crescimento por meio da produção de reguladores de crescimento vegetal, como o ácido indol-3-acético (AIA), citocininas e giberelinas, da fixação biológica de nitrogênio (FBN) (Cassán *et al.*, 2020), solubilização de fosfato e indução de tolerância a estresses bióticos e abióticos (Fukami; Cerezini; Hungria, 2018).

O *Azospirillum spp.* é a BPCP mais estudada no mundo e hoje é comercializada como inoculante, também chamado de bioinsumo, em diversos países da América do Sul como Argentina, Brasil, Uruguai, Paraguai (Cassán; Diaz-Zorita, 2016). Um dos primeiros países a lançar um inoculante comercial a base de *Azospirillum* foi a Argentina em 1996, com a marca Nodumax-La, contendo a estirpe Az39 de *A. brasilense*, seguido pelo México em 2002 (Reis, 2007). Em 2009, o primeiro inoculante produzido no Brasil, composto pelas estirpes AbV5 e AbV6 de *Azospirillum brasilense*, foi lançado pela empresa de inoculante Stoller com o nome Masterfix L Gramineas® indicado para milho e arroz. No ano seguinte, foi lançado o inoculante AzoTotal® para as lavouras de milho e trigo contendo essas mesmas estirpes que foram produzidas através da cooperação público-privada entre a Embrapa Soja e a Total Biotecnologia (Santos; Nogueira; Hungria, 2021). Dentre os experimentos de inoculação realizados em campo que comprovaram a eficiência agrônômica deste inoculante temos que a inoculação das estirpes AbV5 e AbV6 em veículo líquido e turfoso resultou no aumento médio na produtividade de 27% no milho e 31% no trigo (Hungria, 2011).

Em 2016, também através da parceria público-privada da Embrapa Soja e da Total Biotecnologia, foi lançada o primeiro inoculante comercial para pastagens no Brasil contendo as estirpes AbV5 e AbV6 que foi indicada para as espécies de *Urochloa brizantha* e *Urochloa ruziziensis*. Em comparação com a testemunha que recebeu apenas N-fertilizante (40 kg ha⁻¹ de N na semeadura), o uso desse inoculante combinado com a mesma quantidade do N-fertilizante promoveu um aumento de 17,3 e 12,5% da produção da biomassa de *U. brizantha* e *U. ruziziensis*, respectivamente. Além de aumentar uma média de 25% o acúmulo de nitrogênio na parte aérea das pastagens (Hungria; Nogueira; Araújo, 2016). Segundo os autores Hungria, Nogueira e Araújo (2016), como um maior acúmulo de matéria seca

implica em um aumento da fixação de CO₂, destaca-se outro benefício ambiental da inoculação que é a redução da emissão de gases do efeito estufa.

Apesar desses resultados promissores, na maioria dos experimentos em campo realizados em diversas culturas e nas pastagens existe uma falta de consistência nos resultados que parecem estar relacionados à fatores como condições edafoclimáticas, interações com a biota do solo, técnicas de inoculação, bem como práticas de manejo de culturas (Cassán; Diaz-Zorita, 2016; Reis, 2007), sendo imprescindível levar em conta esses fatores e a seleção de estirpes promissoras para o sucesso da tecnologia de inoculação. Devido a isto, existe um esforço de pesquisadores em buscar estirpes adaptadas às condições bióticas e abióticas de cada bioma brasileiro e assim poder otimizar a eficiência do uso desses bioinsumos em regiões com características peculiares como por exemplo a do Pantanal.

No Pantanal Sul-mato-grossense foram isoladas bactérias do gênero *Azospirillum* oriundas de pastagens nativas da região, as quais foram selecionadas com base em suas características promotoras de crescimento de plantas, como FBN (fixação biológica de nitrogênio) e produção de ácido indol-3-acético (AIA), destacando-se entre as estirpes promissoras para experimentos de inoculação as estirpes MAY1, MAY12 e MAY3 (Souza *et al.*, 2017). A estirpe MAY1 beneficiou o desenvolvimento de três gramíneas forrageiras nativas do Pantanal (*Mesosetum chaseae*, *Hymenachne amplexicaulis* e *Axonopus purpusii*) (Souza *et al.*, 2017) e de milho (Galeano *et al.*, 2019) em experimentos de casa de vegetação, o que levou ao interesse da realização de mais pesquisas com essa estirpe em culturas e pastagens.

Dentre as principais forragens consumidas pelo gado no Pantanal arenoso e de baixa fertilidade temos as gramíneas nativas *Mesosetum chaseae* e *Paspalum oteroi* e a pastagem exótica cultivada *Urochloa humidicola*. *M. chaseae*, conhecida como grama-do-cerrado, é uma importante pastagem nativa da região do Pantanal arenoso, devido à sua estabilidade na produção da forragem, à resistência a seca, bom perfilhamento, aceitabilidade pelos animais e crescimento em solos pobres (Santos *et al.*, 2002a; Santos; Comastri Filho; Cardoso, 2005). A grama-tio-Pedro (*P. oteroi*) é uma espécie perene de ocorrência no Pantanal Sul-mato-grossense, pertencente à família Gramineae, com boa palatabilidade, resistência a pragas e moléstias, tolerância ao alagamento, com qualidade da forragem mediana e que vegeta bem em solos arenosos, úmidos e de média fertilidade (Comastri Filho; Costa Júnior, 1980; Otero, 1961). *U. humidicola* também vegeta bem em solos de baixa fertilidade e arenoso, possui tolerância à inundação e pisoteio se manejada adequadamente (Santos *et al.*, 2002c, 2011).

Nesse contexto, o objetivo do presente estudo foi avaliar a contribuição da inoculação da estirpe de *Azospirillum* MAY1 no desenvolvimento das pastagens

nativas *Mesosetum chaseae*, *Paspalum oteroi* e da pastagem exótica *Urochloa humidicola* em experimento de campo na região do Pantanal arenoso Sul-mato-grossense, sub-região Nhecolândia, Brasil.

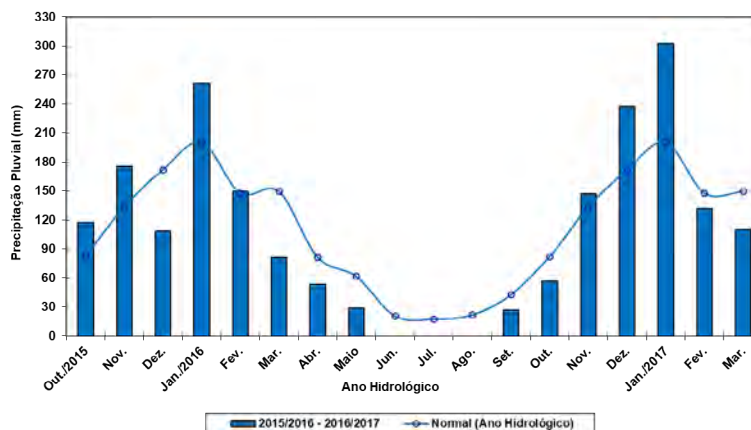
Materiais e Métodos

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental Nhumirim da Embrapa Pantanal, nas coordenadas 18° 59 '01" S e 56° 37' 22" O, sub-região da Nhecolândia, Corumbá, Mato Grosso do Sul, Brasil. O local experimental trata-se de uma área de campo limpo degradado, com solos de baixa fertilidade natural (Tabela 1). Quanto à análise física do solo, verificou-se tratar de Neossolo Quartzarênico, com areia grossa= 21,62%; areia fina= 74,35; areia total= 95,97; silte= 1,67% e; argila=2,36%. O clima da região é classificado como tropical megatérmico, com temperatura média do mês mais frio superior a 18°C. O experimento foi realizado entre dezembro de 2015 (estabelecimento) e 2017 (final), cujos dados meteorológicos são apresentados na Figura 1.

Tabela 1. Características químicas do solo da área experimental, na profundidade de 0 – 10 cm, antes da implantação do experimento

pH	Al	Ca	Mg	P	K	Na	Mn	Fe	Cu	Zn
em H ₂ O	cmol/cm ³			mg/L	cmolc/dm ³			mg/L		
5,2	0,15	0,20	0,10	0,17	0,04	0,03	14,36	29,22	0,28	0,70

Figura 1. Precipitação pluvial do ano hidrológico (mm) 2015/2016 - 2016/2017, Fazenda Experimental Nhumirim, sub-região da Nhecolândia, em Corumbá, Mato Grosso do Sul, Brasil



Fonte: Dados da estação meteorológica da Fazenda Nhumirim da Embrapa Pantanal, sub-região da Nhecolândia, Pantanal, MS.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com 2 tratamentos e 4 repetições: inoculação da estirpe de *Azospirillum* MAY1 (T1) e tratamento sem inoculação (T2). As pastagens escolhidas para o plantio foram a *Urochloa humidicola* BRS Tupi e as gramíneas nativas do Pantanal Sul-mato-grossense *Paspalum oteroi* e *Mesosetum chaseae*. A estirpe utilizada na inoculação foi a MAY1 de *Azospirillum* spp. (Souza *et al.*, 2017) a qual foi crescida em meio Dygs líquido (Rodrigues Neto; Malavolta Júnior; Victor, 1986) por 24h a 30°C sob agitação de 100 rpm até a concentração final de 1×10^9 UFC mL⁻¹. O crescimento bacteriano até a concentração final foi avaliado pelo método de diluição seriada e plaqueamento em placa utilizando o meio Dygs sólido. Em *U. humidicola*, a inoculação foi feita nas sementes na dose de 100 mL/5 Kg de semente, nas outras espécies a inoculação foi realizada nas raízes utilizando 1 mL do inoculante em cada muda de planta. Antes da inoculação, as mudas de *M. chaseae* e *P. oteroi* foram lavadas em água corrente e podadas (raízes e caule) para obter altura e volume uniformes.

O experimento foi implantado em dezembro de 2015 e o crescimento e produtividade das forrageiras foi avaliado até março de 2017. Para tanto, em cada parcela foram tomadas duas amostras, utilizando-se um gabarito de 0,2 x 0,2m em março e julho de 2016 e em março de 2017. As forrageiras colhidas foram pesadas frescas e em seguida, secas em estufa de circulação forçada de ar a 65°C, para análises posteriores de matéria seca da parte aérea para obtenção do acúmulo de matéria seca da parte aérea (MSPA), em kg ha⁻¹; proteína bruta (PB) conforme o protocolo de Silva e Queiroz (2002); fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e lignina (LIG), de acordo com Van Soest, Robertson e Lewis (1991). As análises citadas foram avaliadas no mês de março dos anos de 2016 e 2017. Também foram estimadas a altura do dossel (AL) e o percentual de cobertura (CO) das forrageiras no dossel em julho de 2016 e março de 2017. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e comparação de médias pelo teste Tukey a 5% de significância, pelo software estatístico SISVAR (Ferreira, 2011).

Resultados e Discussão

A gramínea nativa *M. chaseae* teve um bom desenvolvimento com a inoculação de MAY1, de acordo com os parâmetros avaliados como massa seca da parte aérea (MSPA), percentual de cobertura, teores de nitrogênio, de proteína bruta, de fibra em detergente neutro (FDN) e de fibra de detergente ácida (FDA - mostrou valor médio inferior) no ano de 2017. O que também foi possível observar no ano de 2016 para os parâmetros avaliados como MSPA, altura, cobertura, teores de nitrogênio e de proteína bruta (Tabela 2). Apesar de não significativo estatisticamente, a inoculação de MAY1 proporcionou um aumento de 10,2%, 1,24% e de 1,27% na

produção de MSPA, teores de nitrogênio e de proteína bruta, respectivamente, em relação a do tratamento sem inoculação (T2) no ano de 2017 (Tabela 2). E em 2016, a inoculação promoveu aumentos de 3,28% e 3,96%, respectivamente, nos teores de nitrogênio e de proteína bruta, em relação à T2 (Tabela 2).

Tabela 2. Médias da altura (AL), cobertura da forrageira (CO), massa seca da parte aérea (MSPA), dos teores de Nitrogênio (N), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e lignina (LIG) de plantas de *Mesosetum chaseae* inoculadas com a estirpe MAY1 em condições de campo nos anos de 2016 e 2017

Tratamentos	AL (cm)	CO (cm)	MSPA (g)	N (g)	PB (g)	FDN (%)	LIG (%)	FDA (%)
MAY1 (T1)								
2016	11,0	94,0	NE	1,26	8,67	NE	NE	NE
2017	29,0	92,0	4340,0	0,82	5,57	78,94	7,69	40,32
Tratamento sem inoculação (T2)								
2016	10,0	93,0	931,25	1,22	8,34	NE	NE	NE
2017	30,2	91,2	3940,0	0,81	5,50	78,15	6,38	40,43
CV (%) 2016	7,78	4,01	-	17,20	17,89	-	-	-
CV (%) 2017	13,69	10,59	35,62	22,76	23,24	2,26	14,51	2,44

AL e CO foram avaliadas no mês de julho de 2016 e no mês de março de 2017. MSPA, N, PB, FDN, LIG e FDA foram avaliadas no mês de março de 2016 e de 2017.

As plantas de *P. oteroi* inoculadas com a estirpe MAY1 também obtiveram um bom desenvolvimento, as quais apresentaram percentuais de aumento na produção de MSPA, cobertura, teores de nitrogênio, proteína bruta, FDN e menor percentual de teor de lignina no ano de 2016 em relação às plantas não inoculadas. Em 2017 os parâmetros avaliados como MSPA, altura, cobertura, teores de FDN mostraram percentuais superiores no tratamento inoculado em comparação ao tratamento não inoculado (Tabela 3). Os aumentos médios obtidos com a inoculação de MAY1 no ano de 2016 foram de aproximadamente 1%, 2,12%, 1,15% e de 1% na produção de MSPA, cobertura, teores de nitrogênio e de proteína bruta, respectivamente, em relação à T2. Em 2017 a inoculação promoveu aumentos de 10%, 7% e 1,1% na produção de MSPA, altura e cobertura, respectivamente (Tabela 3).

Esses resultados mostram que dentre as forrageiras nativas *M. chaseae* se mostrou mais adaptada ao ambiente do local experimental – campo limpo degradado com solo arenoso de baixa fertilidade natural - que *P. oteroi* e com isso é provável que *M. chaseae* tenha tido uma maior interação com MAY1, visto que uma interação

bem sucedida com a planta associada é um fator importante para a promoção de crescimento por *Azospirillum*, e que segundo Otero (1961) *P. oteroi* vegeta bem em solo úmido e de média fertilidade. Além disso, apesar dos aumentos citados não serem significativos estatisticamente (teste de tukey $p \leq 0,05$) e somado ao fato que existe uma falta de consistência nos resultados em experimentos de inoculação em campo, esse resultado sugere que a inoculação de MAY1 no presente trabalho pode ter contribuído para o desenvolvimento das pastagens nativas *M. chaseae* de *P. oteroi*.

Tabela 3. Médias da altura (AL), cobertura (CO), massa seca da parte aérea (MSPA), dos teores de Nitrogênio (N), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e lignina (LIG) de plantas de grama-tio-pedro (*Paspalum oteroi*) inoculadas com a estirpe MAY1 em condições de campo nos anos 2016 e 2017

Tratamentos	AL (cm)	CO (cm)	MSPA (g)	N (g)	PB (g)	FDN (%)	LIG (%)	FDA (%)
MAY1 (T1)								
2016	12,33	96,5	2059,4	0,88	6,11	71,27	7,42	38,58
2017	27,5	93,7	3906,6	0,63	4,11	71,84	NE	NE
Tratamento sem inoculação (T2)								
2016	12,33	94,5	2040,6	0,87	6,05	71,19	7,66	38,50
2017	25,7	92,7	3400,0	0,66	4,57	71,10	5,61	37,01
CV (%) 2016	28,67	3,42	19,18	16,04	15,71	1,52	10,19	2,79
CV (%) 2017	22,99	7,51	22,44	15,09	7,36	3,42	-	-

AL e CO foram avaliadas no mês de julho de 2016 e no mês de março de 2017. MSPA, N, PB, FDN, LIG e FDA foram avaliadas no mês de março de 2016 e de 2017.

Considerando todos os parâmetros em conjunto, apesar de não significativo estatisticamente pelo teste de tukey a 5%, as plantas de *U. humidicola* inoculadas com a estirpe MAY1 apresentaram maiores percentuais de MSPA, altura, cobertura, teores de nitrogênio e menores teores de lignina e FDA no ano de 2017. Em 2016 a inoculação proporcionou um incremento nas médias das variáveis MSPA e teores de FDN e uma diminuição nos teores de lignina no tratamento inoculado em relação ao tratamento não inoculado (Tabela 4). As médias da MSPA das plantas de *U. humidicola* inoculadas apresentaram um aumento de 21,54 e de 18,75% em relação às das plantas não inoculadas nos anos de 2016 e 2017, respectivamente, diferença que foi superior ao das outras forrageiras estudadas (Tabela 4).

Tabela 4. Médias da altura (AL), cobertura (CO), massa seca da parte aérea (MSPA), dos teores de Nitrogênio (N), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e lignina (LIG) de plantas de *Urochloa humidicola* inoculadas com a estirpe MAY1 em condições de campo nos anos de 2016 e 2017

Tratamentos	AL (cm)	CO (cm)	MSPA (g)	N (g)	PB (g)	FDN (%)	LIG (%)	FDA (%)
MAY1 (T1)								
2016	17,0	89,67	2062,37	0,70	4,80	78,61	4,93	42,57
2017	36,75	92,5	4750,0	4,50	0,66	78,03	4,93	40,74
Tratamento sem inoculação (T2)								
2016	17,0	90,66	1696,87	0,81	5,50	74,0	9,60	42,53
2017	34,0	85,5	4000,0	4,48	0,67	78,12	5,69	41,54
CV (%) 2016	0,0	7,48	38,73	5,71	5,33	6,59	22,13	4,45
CV (%) 2017	8,54	7,37	15,17	7,05	7,1	2,35	8,95	3,88

AL e CO foram avaliadas no mês de julho de 2016 e no mês de março de 2017. MSPA, N, PB, FDN, LIG e FDA foram avaliadas no mês de março de 2016 e de 2017.

No trabalho de Souza *et al.* (2017) a inoculação de MAY1 em três forrageiras nativas do Pantanal Sul-mato-grossense em um experimento de inoculação em casa de vegetação, na ausência de adubação nitrogenada, também proporcionou aumentos da maioria das variáveis testadas. Plantas de *Hymenachne amplexicaulis* inoculadas com MAY1 apresentaram médias significativamente maiores de massa seca da parte aérea e volume de raízes quando comparado ao controle sem inoculação e as inoculadas com as estirpes tipo Sp7 e Sp59 de *A. brasilense* utilizadas como referência. A inoculação em *Axonopus purpusii* com MAY1 proporcionou o aumento significativo da massa seca da parte aérea, enquanto que em *Mesosetum chauseae* o efeito da inoculação acarretou no aumento da altura da planta e volume de raízes quando comparado ao controle (Souza *et al.*, 2017). No mesmo trabalho, as análises filogenéticas dos genes 16S e NifH de MAY1 mostrou que essa estirpe está intimamente relacionada com a espécie *Azospirillum brasilense*, sendo considerada uma das estirpes promissoras para ser utilizada em experimentos de inoculação em campo. A inoculação da estirpe MAY 1, em outro experimento em casa de vegetação, também mostrou aumento significativo na MSPA e conteúdo de proteínas totais do milho quando comparado ao tratamento sem inoculação e equiparou-se às médias obtidas pelo inoculante comercial (contendo as estirpes AbV5 e AbV6 de *A. brasilense*) (Galeano *et al.*, 2019).

Segundo Hungria (2011), um fator chave para o sucesso da inoculação com *Azospirillum* é a seleção de estirpes eficientes. A estirpe MAY1 foi selecionada

para experimentos de inoculação devido às suas características promotoras de crescimento como fixação biológica de nitrogênio e produção de níveis altíssimos (1038 μM) do fitohormônio ácido indol-3-acético (Souza *et al.*, 2017). Sabe-se que respostas como mudanças na arquitetura das raízes a espécies de *Azospirillum* são desencadeadas por reguladores de crescimento de plantas, como auxinas (principalmente ácido indol-3-acético, AIA) (Fukami; Cerezini; Hungria, 2018). O crescimento das raízes, devido a inoculação de *Azospirillum*, aumenta a área de absorção de água nutrientes, por consequência, aumenta o rendimento da biomassa e a tolerância a estresses ambientais como a seca (Brasil *et al.*, 2021). Esses aumentos observados em pastagens inoculadas com MAY1 no presente estudo e nos estudos anteriores é um indicativo que essa estirpe pode promover o crescimento das pastagens no ambiente pantaneiro que apresenta solo com baixa fertilidade natural e suscetíveis a estacionalidade de seca e cheia da região. Além disso, o aumento nos teores de nitrogênio e proteína bruta observados nas pastagens pode ser devido em parte pelo maior aporte de nitrogênio disponibilizado para a planta associada devido a fixação biológica de nitrogênio por MAY1.

A vegetação no Pantanal pode ser classificada de acordo com a declividade da topografia em cinco formações vegetais (fitofisionomias) principais: cerrado, campo cerrado, campo limpo não inundável, campo limpo geralmente inundável, vazantes e baixadas (Santos *et al.*, 2012). Segundo Santos *et al.* (2011) a precipitação e a hidrologia são os principais determinantes da produção primária de recursos forrageiros no Pantanal. Dessa forma, a curva de crescimento das plantas de pastagem segue a curva pluviométrica, porém o efeito das chuvas é marcante nas áreas que são inundadas como bordas de lagoas, vazantes, entre outras que possuem maiores teores de matéria orgânica, onde encontram-se as forrageiras de melhor qualidade (Santos *et al.*, 2012), porém, a produtividade dessas pastagens depende do nível de inundação, ou seja, dependendo da intensidade da inundação, se for baixa ou média a planta continuará a realizar fotossíntese e por consequência haverá produtividade, mas se for muita intensa não haverá fotossíntese e poderá fechar o ciclo de N, não havendo produção. O nosso local de estudo trata-se de uma área de campo limpo de solo arenoso, de mesorelevo mais alto, pobre em matéria orgânica e não inundável, na qual a vegetação está sujeita somente a variação pluvial, características que são diferentes das áreas úmidas que são dinâmicas e estão sujeitas também a inundação por origem fluvial (por extravasamento de rios e “corixos”). De maneira geral, essas áreas úmidas possuem maior disponibilidade de matéria orgânica e consequentemente apresentam maior fertilidade do solo, pelo menos em algum momento do ano. Portanto, visto que a inoculação da estirpe MAY1 possibilitou esses percentuais de aumento em uma área degradada com condições desfavoráveis à produção vegetal, seria interessante avaliar

a resposta das pastagens em experimento de inoculação em campo em áreas do Pantanal com outras condições ambientais.

Houve uma tendência de diminuição nos teores de lignina e FDA em *U. humidicola* e *M. chuseae*. Apesar de não significativo estatisticamente, os teores médios de lignina em *U. humidicola* foram 94,7% e 15,4% menores nas plantas inoculadas em relação às plantas não inoculadas no ano de 2016 e 2017, respectivamente (Tabela 4). A lignina é um dos constituintes da parede celular vegetal que confere rigidez e apoio estrutural, determina a qualidade dos tecidos e sua biodegradabilidade (Blaschke *et al.*, 2002). Nas forrageiras, a lignina correlaciona-se negativamente com a digestibilidade (Santos *et al.*, 2002b) uma vez que a resistência física e química da lignina a categoriza como substância não digestível para a nutrição animal e, devido a sua forte ligação com a celulose e as proteínas, a digestibilidade desses nutrientes é reduzida (Taiz *et al.*, 2017). No entanto, segundo Holechek, Vavra e Pieper (1982) a lignina não é um preditor confiável de digestibilidade, pois a lignina das espécies forrageiras novas pode parcialmente ser digerida.

Menores valores médios de teores de FDA também são buscados, uma vez que quanto menor o valor de FDA maior a qualidade e a digestibilidade da forrageira, que por sua vez, tem relação com a menor emissão de metano (CH₄). A FDA é um componente da FDN, representando as frações de Celulose, Lignina, N-ligado a fibra e N-danificado pelo calor (Moore, 1994), enquanto que o FDN é composta de FDA mais a hemicelulose. No presente estudo, *U. humidicola* e *M. chuseae* apresentaram menores percentuais de FDA com a inoculação de MAY1 no ano de 2017. Para a variável FDN os valores médios para a maioria das plantas entre os tratamentos foram basicamente iguais (Tabelas 2, 3 e 4), porém o tratamento inoculado (T1) de *U. humidicola* apresentou um percentual de aumento de 6,23% de FDN em relação ao T2 (Tabela 4).

Pastagens nativas e pastagens exóticas principalmente *U. humidicola* são utilizadas como alimento na pecuária de corte extensiva na região arenosa do Pantanal Sul-mato-grossense (Santos *et al.*, 2011). No entanto, a falta de boas práticas de manejo dessas pastagens, entre outros fatores, tem levado a degradação e diminuição da produtividade dessas pastagens. Buscando solucionar esse impasse e com o intuito de estimular o crescimento do setor pecuário de uma forma sustentável baseado na redução de emissão de gases do efeito estufa, a Embrapa Pantanal criou recomendações para o Plano de Agricultura de Baixo Carbono (ABC) no Pantanal. Dentre essas recomendações temos a melhoria da qualidade das pastagens (Abreu *et al.*, 2015). Diante do exposto, a utilização de bactérias promotoras de crescimento de plantas selecionadas que possui características promissoras, como

a estirpe MAY1, como inoculante mostrou com os resultados aqui apresentados ser uma estratégia promissora para alcançar melhorias na qualidade da forragem pantaneira e aumentar a produção pecuária de maneira sustentável. Além de contribuir para fixação de dióxido de carbono (CO₂), ciclagem de nutrientes e consequentemente para a qualidade do solo.

Conclusões

A inoculação das pastagens nativas (*M. chauseae*, *P. oteroi*) e exóticas (*U. humidicola*) com a estirpe de MAY1 de *Azospirillum* sp. apresentou benefícios nos valores médios da massa seca da parte aérea.

M. chauseae apresentou percentuais de aumento nos teores de nitrogênio e proteína bruta com a inoculação de MAY1.

A estirpe MAY1, mostrou ter potencial para alcançar melhorias no desenvolvimento de pastagens no ambiente Pantaneiro.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Apoio ao Desenvolvimento de Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul (FUNDECT, MS SIA-FEM/024370), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) e à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Pantanal, Corumbá, MS, Brasil).

Referências

- ABREU, U. G. P.; MALHEIROS, S.; COMASTRI FILHO, J. A.; OLIVEIRA, L. O. F.; OLIVEIRA, A. F.; PIEDADE, E. M. F.; MICHEL, A. F.; DIAS, J. A. V. **Recomendações para Operacionalização do Plano de Agricultura de Baixo Carbono (ABC) no Pantanal**. Corumbá-MS: Embrapa Pantanal, 2015. (Documento 132).
- BLASCHKE, L.; FORSTREUTER, M.; SHEPPARD, L. J.; LEITH, I. K.; MURRAY, M. B.; POLLE, A. Lignification in beech (*Fagus sylvatica*) grown at elevated CO₂ concentrations: interaction with nutrient availability and leaf maturation. **Tree Physiology**, v. 22, n. 7, p. 469-477, 2002.
- BRASIL, M. S.; SOUZA, M. S. T.; GUIMARÃES, S. L.; KOSWOSKI JUNIOR, S. L.; BATISTELA, M. W. A. Initial development of upland rice plants inoculated with the MAY12 strain of *Azospirillum* spp. **Ciência Rural**, v. 51, n. 12, 2021.
- CASSÁN, F.; CONIGLIO, A.; LÓPEZ, G.; MOLINA, F.; NIEVAS, F.; COLINE, L. N. C.; FLORENCIA, D.; TORRES, D.; ROSAS, S.; PEDROSA, F. O.; SOUZA, E. M.; DIAZ-ZORITA, M.; DE-BASHAN, L.; MORA, V. Everything you must know about *Azospirillum* and its impact on agriculture and beyond. **Biology and Fertility of Soils**, v. 56, p. 461-479, 2020.

- CASSÁN, F.; DIAZ-ZORITA, M. *Azospirillum* sp. in current agriculture: From the laboratory to the field. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 103, p. 117-130, 2016.
- COMASTRI FILHO, J. A. **Pastagens nativas e cultivadas do Pantanal Mato-grossense**. Corumbá-MS: Embrapa/CPAP, 1984. (Circular técnica 13)
- COMASTRI FILHO, J. A. Pastagens cultivadas. In: CATTO, J. B.; SERENO, J. A.; COMASTRI FILHO, J. (Eds.). **Tecnologias e informações para a pecuária de corte no Pantanal**. Corumbá - MS: Embrapa-CPAP, 1997. p.21-47.
- COMASTRI FILHO, J. A.; COSTA JÚNIOR, E. M. A. **A Grama-Tio-Pedro (*Paspalum oteroi*) no Pantanal Matogrossense**. Corumbá-MS: Embrapa CPAP, 1980. (Comunicado Técnico 04).
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- FUKAMI, J.; CERZINI, P.; HUNGRIA, M. *Azospirillum*: benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. **AMB Express**, v. 8, n. 1, p. 73, 4 dez. 2018.
- GALEANO, R. M.; CAMPELO, A. P.; MACKERT, A.; BRASIL, M. S. Desenvolvimento inicial e quantificação de proteínas do milho após a inoculação com novas estirpes de *Azospirillum brasilense*. **Journal of Neotropical Agriculture**, v. 6, n. 2, p. 95-99, 2019.
- HOLECHEK, J. L.; VAVRA, M.; PIEPER, R. D. Methods for Determining the nutritive quality of Range Ruminant Diets: A Review. **Journal of Animal Science**, v. 54, n. 2, p. 363-376, 1982.
- HUNGRIA, M. **Inoculação com *Azospirillum brasilense*: inovação em rendimento a baixo custo**. Londrina- PR: Embrapa Soja, 36p., 2011. (Documentos, 325).
- HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S. Inoculation of *Brachiaria* spp. with the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum brasilense*: An environment-friendly component in the reclamation of degraded pastures in the tropics. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 221, p. 125-131, 2016.
- OTERO, J. R. de. Grama-tio-pedro. In: OTERO, J. R. de. **Informações sobre algumas plantas forrageiras**. 2.ed. ver. Aum. Rio de Janeiro: Serviço de Informação Agrícola do Ministério da Agricultura, 1961. p.137 -9. (Série Didática, 11).
- REIS, V. M. **Uso de Bactérias Fixadoras de Nitrogênio como Inoculante para Aplicação em Gramíneas**. Embrapa Agrobiologia. Embrapa agrobiologia, Seropédica - RJ, 2007. (Documentos, 232).
- RODRIGUES NETO, J.; MALAVOLTA JÚNIOR, V. A.; VICTOR, O. Meio simples para o isolamento e cultivo de *Xanthomonas campestris* pv. citri tipo B. **Summa Phytopathologica**, v. 12, p. 16, 1986.
- SANTOS, M. S.; NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M. Outstanding impact of *Azospirillum brasilense* strains Ab-V5 and Ab-V6 on the Brazilian agriculture: Lessons that farmers are receptive to adopt new microbial inoculants. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 45, 2021.
- SANTOS, S. A.; COSTA, C.; SOUZA, G. D. S.; POTT, A.; ALVAREZ, J. M.; MACHADO, S. R. Composição Botânica da Dieta de Bovinos em Pastagem Nativa na Sub-Região da Nhecolândia, Pantanal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n.4, p. 1648-1662, 2002a.
- SANTOS, S. A.; COSTA, C.; SOUZA, G.D.S.; MORAES, A. S.; ARRIGONI, M. D. B. Qualidade da Dieta Seleccionada por Bovinos na Sub-Região da Nhecolândia, Pantanal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n.4, p. 1663-1673, 2002b.
- SANTOS, S. A.; POTT, E. B.; COMASTRI FILHO, J. A.; CRISPIM, S. M. A. **FORAGEAMENTO e Nutrição Mineral de Bovinos de Corte no Pantanal**. Corumbá-MS: Embrapa Pantanal, 2002c. (Documento 39).
- SANTOS, S. A.; DESBIEZ, A.; CRISPIM, S. M. A.; COMASTRI FILHO, J. A.; ABREU, U. G. P.; RODELA, L. G. Natural and cultivated pastures and their use by cattle. In: JUNK, W. J. *et al.* (Eds.).

The Pantanal: Ecology, biodiversity and sustainable management of a large neotropical seasonal wetland. Sofia-Moscow: Pensoft Publishers, 2011. p. 127-141.

SANTOS, S. A.; POTT, A.; RODRIGUES, S. A. G.; CARDOSO, E. L.; COMASTRI FILHO, J. A.; CRISPIM, S. M. A. Pastagem nativa. *In:* CARDOSO, E. L. (Ed.). **Gado de corte no Pantanal:** o produtor pergunta, a Embrapa responde. 2. ed. rev. atual. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2012. (Coleção 500 perguntas, 500 respostas).

SANTOS, S. A.; COMASTRI FILHO, J. A.; CARDOSO, E. L. Identificação de espécies forrageiras nativas tolerantes à seca na sub-região da Nhecolândia, Pantanal. *In:* CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA, 6., 2005. **Anais [...].** Campo Grande-MS, 2005. (CD-ROM).

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análises de alimentos:** métodos químicos e biológicos. 3. ed. Viçosa: Imprensa Universitária UFV, 2002.

SOUZA, M. S. T.; DE BAURA, V. A.; SANTOS, S. A.; FERNANDES-JUNIOR, P. I.; REIS JUNIOR, F. B.; MARQUES, M. R.; PAGGI, G. M.; BRASIL, M. S. *Azospirillum* spp. from native forage grasses in Brazilian Pantanal floodplain: biodiversity and plant growth promotion potential. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 33, n. 4, p. 1-13, 2017.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

VAN SOEST, P. J.; ROBERTSON, J. B.; LEWIS, B. A. Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. **Journal of Dairy Science**, v. 74, n. 10, p. 3583-3597, 1991.