UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA

CAMPUS DE BOTUCATU

# COMPORTAMENTO DE ACESSOS DE *Paspalum* L. (Poaceae) TOLERANTES AO SOMBREAMENTO EM SISTEMA SILVIPASTORIL COM ÁRVORES NATIVAS

LAYSA FONTES MOURA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Zootecnia.

BOTUCATU - SP

NOVEMBRO - 2025

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA

CAMPUS BOTUCATU

# COMPORTAMENTO DE ACESSOS DE *Paspalum* L. (Poaceae) TOLERANTES AO SOMBREAMENTO EM SISTEMA SILVIPASTORIL COM ÁRVORES NATIVAS

LAYSA FONTES MOURA

ZOOTECNISTA

Orientador: Prof. Dr. Ciniro Costa

Coorientadora: Drª. Sandra Aparecida Santos

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Zootecnia.

BOTUCATU - SP

NOVEMBRO – 2025

M929c

Moura, Laysa Fontes
Comportamento de acessos de Paspalum L. (Poaceae) tolerantes ao sombreamento em sistema silvipastoril com árvores nativas / Laysa Fontes Moura. -- Botucatu, 2025
58 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Botucatu
Orientador: Ciniro Costa
Coorientadora: Sandra Aparecida Santos

1. Poaceae forrageiras. 2. Plasticidade fenotípica. 3. Desempenho produtivo. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Dados fornecidos pelo autor(a).

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

**Câmpus de Botucatu**

## CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO DA DISSERTAÇÃO:** COMPORTAMENTO DE ACESSOS DE Paspalum L. (Poaceae) TOLERANTES AO SOMBREAMENTO EM SISTEMA SILVIPASTORIL COM ÁRVORES NATIVAS

AUTORA: LAYSA FONTES MOURA
ORIENTADOR: CINIRO COSTA
COORIENTADORA: SANDRA APARECIDA SANTOS

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Mestre em Zootecnia, área: Nutrição e Produção Animal pela Comissão Examinadora:

Prof.Titular CINIRO COSTA (Participaçao Presencial)
Melhoramento e Nutrição Animal / FMVZ, UNESP, Câmpus de Botucatu/SP

Pesquisador Dr. MARCELO MATTOS CAVALLARI (Participaçao Presencial)
Recursos Genéticos Vegetais / Empresa Brasileira de Agropecuária - EMBRAPA

Professora Assistente JULIANA DA SILVA BARROS (Participaçao Virtual)
Forragicultura e Pastagens / Universidade Estadual do Piauí

Botucatu, 19 de novembro de 2025.

gov.br Documento assinado digitalmente
CLAUDIA CRISTINA MORECI
Data: 08/12/2025 10:10:24-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

## BIOGRAFIA DO AUTOR

Laysa Fontes Moura, nascida em 29 de abril de 2001, natural da cidade de Araguaína/TO, filha de Íris Lúcia Rodrigues Moura e José Ronaldo Fontes de Moura. Iniciou seus estudos no ano de 2005, no colégio municipal José Henrique dos Santos localizado no interior do estado do Tocantins. Deu início a graduação em 2019 e em dezembro 2023 obteve o título de bacharel em Zootecnia pela Universidade Federal do Tocantins - UFT. Durante a graduação desenvolveu sua iniciação científica e participou de projeto de extensão com ênfase em pesquisa, e práticas didático-pedagógicas. Em março 2024 ingressou no curso de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia-FMVZ/Unesp-Campus de Botucatu, na área de Nutrição e Produção Animal e linha de pesquisa em Forragicultura e Pastagens.

## DEDICATÓRIA

Inteiramente à minha família. Aos meus pais, Íris Lúcias Rodrigues Moura e José Ronaldo Fontes de Moura por serem meu suporte e confiarem tanto em mim.

Aos meus irmãos Lívia, Ronald e Richard que sempre me deram força e torceram por mim. E imensamente a minha vó Maria, por todas as orações que me fortalecem.

Com todo amor e saudade, os dedico.

## AGRADECIMENTOS

Em primeira instância, à Deus, meu guia, protetor e fortalecedor, por me amparar diariamente, me encaixar nos propósitos, e por desprender qualquer medo e cansaço dos meus momentos árduos.

Agradeço ao meus pais, Íris Lúcia e José Ronaldo responsáveis pela maior parte da minha força interior, vocês são meus exemplos, e não conseguiria chegar até aqui sem o abraço, o apoio e confiança de vocês. Com vocês eu aprendi e aprendo a valorizar as coisas mais simples que a vida me traz. Estejam cientes de que são minha energia, e espero retribuir todo empenho depositado a mim, com todo meu amor e admiração para os melhores pais do mundo.

Ao meu orientador Ciniro Costa, pela calmaria e sabedoria, por me receber como orientada com toda atenciosidade e paciência. Por tantos conselhos e ajuda estando longe ou perto. Tenho certeza de que seus ensinamentos permanecerão intactos em todos os passos que estão por vir.

A minha coorientadora Sandra Aparecida Santos, por literalmente trabalharmos juntas, por ser uma profissional indistinguível e capacitada, pela oportunidade concedida a mim, por todo afeto e leveza que a senhora carrega, por estar comigo em todas as oscilações possíveis, pelas orações e por todos os conselhos edificantes desde o primeiro dia que nos conhecemos.

Ao Prof. Dr. Paulo Roberto de Lima Meirelles, o senhor foi um ser humano crucial nesta jornada, não imaginava conhecer alguém tão realizado e apaixonado pelo que faz. Agradeço todos os conselhos, por acreditar no meu trabalho e me amparar academicamente, pelas suas aulas excepcionais na PGZoo, por acreditar em mim e me incentivar para que eu sempre busque o melhor.

Aos meus irmãos Lívia Moura, Ronald Moura e Richard Moura, minha avó Maria Moura, meus sobrinhos José Antony, Maria Clara e Yan Ravi e meu amigo Dailson Pereira, vocês me energizaram todos os dias, com mensagens de carinho, orações e zelo, saibam que são valorosos para mim, e para a construção de quem sou.

Gratidão as minhas amigas Karen Camilo e Lorrane Gabriele, vocês estiveram sempre dispostas a me compreender, ouvir e aconselhar, são pessoas incríveis e com coração imersos de humanidade, sou muito feliz por ter a amizade de vocês, esses anos se tornaram mais leves com nossas conversas profundas sobre a vida, nossas piadas e desesperos aleatórios.

Agradeço a minha amiga Elen Kaline, você esteve comigo desde o início do meu experimento, mesmo sendo do Sul suportou altas temperaturas na casa de vegetação em prol de me auxiliar, dividimos até uma casa na colônia da Fazenda Canchim, e aos poucos você se

tornou uma irmã para mim e alguém que levo sempre no meu coração, você me aconselhou, me apoiou , e até hoje é presente em minha vida, mesmo distante está sempre me direcionando com sua maturidade surreal e torcendo pelas minhas escolhas, “Gratiluz” amiga.

As minhas “roommates” Yasmin Madio e Catharina Eulasya que se tornaram minhas rochas em diversas etapas e continuam me acolhendo sempre, que benção ter vocês, obrigada por toda conexão, e por me receberem em Botucatu com toda atenciosidade, não estive sozinha nenhum dia com a presença de vocês, obrigada Apto 01.

Agradeço as minhas queridas colegas que a Pós-Graduação me presenteou, Gabriely Millena Lobão Varotto e Marcela Martins Faveri, saibam que são muito especiais para mim e espero que nossa sincronia seja mantida.

Ao Centro de Pesquisa Embrapa Pecuária do Sudeste (CPPS), pelo apoio na condução deste estudo, com todos os recursos disponíveis ao meu auxílio, e por ser meu abrigo desde o início do experimento.

À Associação para o Fomento à Pesquisa de Melhoramento de Forrageiras (UNIPASTO) pela fonte de recursos para realizar todas a análises para desenvolvimento do projeto.

À FMVZ/UNESP, e aos professores da PPG em Zootecnia por conceder recursos e singularidades para minha formação.

Agradeço a todos os colaboradores, funcionários e estagiários da Fazenda Canchim que contribuíram com as etapas de execução deste trabalho. Em especial, ao pesquisador Dr. José Ricardo Macedo Pezzopane. Aos estagiários, Carlos Fernandes, Giovanna Piccin, Leonardo Rio, Manoel Borges, Maryanna Luizza e Ycaro Ruan. Aos funcionários Emar José Fagundes, Ismael Brás, Luis Antônio Trevisani e Valdeci. Saibam que cada apoio, parceria e compreensão de vocês, somaram indubitavelmente para conclusão desta etapa da minha vida.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela concessão das bolsas de estudo, assim como à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Somos movidos por conexões e construções geradas ao longo dos caminhos da vida. Portanto, a todos que de alguma forma, seja física, emocional ou relance passageiro, me guiaram para esta conquista inestimável, minha gratidão, respeito e admiração.

## EPÍGRAFE

Mas aqueles que esperam no senhor renovam suas forças. Voam alto como águias; correm e não ficam exaustos, andam e não se cansam. (Isaias 40:31)

# COMPORTAMENTO DE ACESSOS DE *Paspalum* L. (Poaceae) TOLERANTES AO SOMBREAMENTO EM SISTEMA SILVIPASTORIL COM ÁRVORES NATIVAS

## RESUMO

O gênero *Paspalum* L. (*Poaceae*) possui elevado potencial forrageiro e destaca-se por sua ampla plasticidade fenotípica, sendo promissor para uso em sistemas silvipastoris (SSP). Diante disso, este estudo objetivou avaliar a produtividade de massa seca total (MS), percentual de folhas e as características morfológicas de quatro acessos de *Paspalum* (*P. rojasii* BGP-149, *P. maritimum* BGP-210, *P. malacophyllum* BGP-293 e BGP-486) em comparação com a controle *Urochloa brizantha* cv. Piatã em SSP com árvores nativas, ao longo de duas estações do ano. O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados, com esquema fatorial 4 × 5 (três ambientes sombreados e Pleno Sol, com cinco forrageiras), com medidas repetidas no tempo. Houve interação significativa de acessos e sombreamentos, bem como de sombreamentos e estações ($p< 0,01$). Os acessos BGP-293 e BGP-486 apresentaram maior produção em ambiente de pleno sol e sombra moderada, em comparação, na condição de sombra intensa e período seco, a produtividade da cv. Piatã foi reduzida. Em contraste, o acesso BGP-149 demonstrou melhor resiliência produtiva, superando o controle Piatã em aproximadamente 58%. Conclui-se que o acesso BGP-149 apresentou as características morfológicas e produtivas mais favoráveis, no ano estudado, superando a cultivar Piatã, para a estabilidade e sustentabilidade em um sistema Silvipastoril com árvores nativas.

**Palavras-chave:** Poaceae forrageiras, plasticidade fenotípica, desempenho produtivo

# BEHAVIOR OF SHADE-TOLERANCE *Paspalum* L. (Poaceae) ACCESSIONS IN A SILVOPASTORAL SYSTEM WITH NATIVE TREES

## ABSTRACT

The genus *Paspalum* L. (Poaceae) has high forage potential and stands out for its broad phenotypic plasticity, making it promising for use in silvopastoral systems (SPS). Therefore, this study aimed to evaluate total dry matter (DM) yield, leaf percentage, and morphological characteristics of four *Paspalum* accessions (*P. rojasii* BGP-149, *P. maritimum* BGP-210, *P. malacophyllum* BGP-293, and BGP-486) compared with the control *Urochloa brizantha* cv. Piatã in an SPS with native trees, across two seasons of the year. The experiment was conducted in a randomized block design, in a 4 × 5 factorial arrangement (three shaded environments and full sun, with five forages), with repeated measures over time. There was a significant interaction between accessions and shading levels, as well as between shading levels and seasons ($p < 0.01$). Accessions BGP-293 and BGP-486 showed greater production in full sun and moderate shade; however, under intense shade and during the dry season, the yield of cv. Piatã was reduced. In contrast, accession BGP-149 demonstrated greater productive resilience, outperforming the control Piatã by approximately 58%. It is concluded that accession BGP-149 presented the most favorable morphological and productive characteristics in the year evaluated, surpassing cv. Piatã, contributing to stability and sustainability in a silvopastoral system with native trees.

**Keywords:** forage grasses (Poaceae), phenotypic plasticity, productive perfomace

# LISTA DE ILUSTRAÇÕES

## CAPÍTULO 2

**Figura 1.** Médias mensais de pluviosidade (mm) e temperatura (°C) durante o período experimental (novembro de 2023 a abril de 2025).....34
**Figura 2**. Médias mensais de pluviosidade (mm) e temperatura (°C). Normal climatológica (1999-2024), São Carlos-SP.....35
**Figura 3.** Balanço hídrico decendial do solo (CAD= 100), indicando excedente e déficit hídrico durante o período experimental (novembro de 2023 a abril de 2025). .....35
**Figura 4**. Área experimental do sistema silvipastoril com posições avaliadas (Pleno sol, PS; Sombra Baixa, SB; Sombra Moderada, SM e Sombra Intensa, SI). .....37
**Figura 5**. Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR) em sistema silvipastoril em função do nível de sombreamento.....39

# LISTA DE TABELAS

## CAPÍTULO 2

**Tabela 1.** Identificação, grupo botânico e origem dos acessos de *Paspalum* e da cultivar comercial utilizada para o experimento. ..... 51

**Tabela 2**. Datas de cortes e manejos do sistema silvipastoril com quatro acessos de *Paspalum* ..... 52

**Tabela 3.** Desdobramento dos componentes de produtividade (MV e MS) e estruturais (Altura, MSF, MSC, MSF+C e MSF+C+FL) dos acessos de *Paspalum* sob níveis de sombreamento na época das águas. ..... 53

**Tabela 4.** Desdobramento dos componentes de produtividade (MV e MS) e estruturais (Altura, MSF, MSC, MSF+C e MSF+C+FL) dos acessos de *Paspalum* sob níveis de sombreamento na Época de Secas. ..... 54

**Tabela 5.** Índice de Área Foliar (IAF), percentual de Matéria Seca (%MS), e composição Morfológica (%FO, COL, MM, FL) dos acessos de *Paspalum* sob níveis de sombreamento na Época de Águas. ..... 55

**Tabela 6.** Índice de Área Foliar (IAF), percentual de Matéria Seca (%MS), e composição Morfológica (%FO, COL, MM, FL) dos acessos de *Paspalum* sob níveis de sombreamento na Época de Secas. ..... 56

**Tabela 7.** Resumo de análise de variância (ANOVA) dos efeitos da intensidade de sombreamento dos acessos de *Paspalum* e de sua interação sobre as características agronômicas avaliadas na época das águas e seca. ..... 57

# LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

| | |
|---|---|
| BAG | Banco Ativo de Germoplasma |
| BGP | Banco de Germoplasma de *Paspalum* |
| CAD | Capacidade de armazenamento no solo |
| CPPSE | Centro de Pesquisa de Pecuária do Sudeste |
| CTC | Capacidade de Troca de Cátions |
| Ha | Hectare |
| IPF | Integração pecuária floresta |
| Kg | Quilograma |
| Mg | Magnésio |
| MO | Matéria original |
| MS | Matéria seca |
| RFA | Radiação Fotossinteticamente Ativa |
| P | Resina trocadora de íons |
| V | Saturação por bases |
| SSP | Sistema Silvipastoril |
| SAS | Sistema de análise estatística |

# SUMÁRIO

**CAPÍTULO 1** ..... 16
**1. Considerações Iniciais** ..... 17
**2. Revisão de Literatura** ..... 18
2.1. Gênero *Paspalum* ..... 18
2.2. Sistema Silvipastoril ..... 21
2.3. Espécies Adaptadas ao Estresse Hídrico ..... 23
2.4. Plasticidade fenotípica de espécies nativas do gênero *Paspalum* ..... 24
**Referências** ..... 26
**CAPÍTULO 2** ..... 32
1. Introdução ..... 33
2. Material e Métodos ..... 34
2.1. Área experimental ..... 34
2.2. Produtividade de Massa Seca e Componentes Morfológicos ..... 37
2.3. Aspectos ambientais ..... 38
2.4. Delineamento Experimental e Análise estatística ..... 39
3. Resultados ..... 40
4. Discussão ..... 41
5. Conclusões ..... 45
Referências ..... 45
**IMPLICAÇÕES** ..... 58

# CAPÍTULO 1

## 1. Considerações Iniciais

O Brasil possui aproximadamente 179 milhões de hectares de pastagens, que são a base da alimentação dos animais ruminantes em sistemas extensivos de produção (Carvalho *et.al*, 2021; Parente e Ferreira, 2018). No entanto, essas áreas são ocupadas por poucos gêneros, espécies e cultivares, com destaque para a *Urochloa brizantha* de origem africana, que representa cerca de 85% da área plantada (Silva *et al*., 2020). Este cenário é preocupante diante da diversidade de recursos forrageiros nativos no Brasil (Indu *et al*., 2022), mas com poucas espécies disponíveis no mercado. Essa limitação do uso de forrageiras nativas, compromete a diversidade de espécies dentro dos sistemas de produção animal, diante da frequência de variações climáticas e incidência de pragas e doenças.

Entre as gramíneas nativas, o gênero *Paspalum* destaca-se por seu alto potencial de uso como planta forrageira, ampla distribuição nas Américas e adaptabilidade nas diferentes condições ecológicas. É o segundo maior gênero da família *Poaceae* no continente americano (RUA *et al*., 2010), com cerca de 217 espécies registradas em território brasileiro (Oliveira; Valls, 2023).

Frente a sua diversidade genética, algumas espécies do gênero *Paspalum* apresentam características morfofisiológicas expressivas, como rizomas vigorosos, capacidade de rebrotação, alta palatabilidade e tolerância a condições adversas, como solos de baixa fertilidade e sombreamento (Wong, 1991; Zuloaga; Morrone, 2005). Não obstante, apesar de seu potencial, o gênero ainda é subutilizado na pecuária nacional, com a maior parte de seus acessos permanecendo pouco caracterizados quanto ao desempenho produtivo e utilização em sistemas integrados de produção.

Uma das alternativas para intensificar a produção animal sustentável no Brasil é o desenvolvimento e uso de sistemas integrados, como os sistemas silvipastoris (SSP), que associam pastagens com árvores nativas e/ou exóticas, permitindo aos produtores viabilidade econômica, com aproveitamento dos recursos naturais (Lana *et al*., 2018) e fornecimento de serviços ecossistêmicos com garantia da produtividade alimentar (Picasso; Pizarro, 2024).

Essa estratégia de uso da terra que integra árvores, animais e pastagens numa mesma área torna possível proporcionar maior conforto térmico aos animais e contribuir com a conservação do solo, da água e da biodiversidade, principalmente em áreas degradadas (Santos Neto *et al*., 2023; Pezzopane *et al*., 2019). Nessas condições, o sombreamento moderado, ocasionado pelas árvores, pode influenciar positivamente o desempenho de algumas gramíneas tropicais, desde que estas apresentem adaptação fisiológica em ambientes com redução da radiação fotossinteticamente ativa (Casanova-Lugo *et al*., 2022).

Com a crescente ocorrência de variações climáticas que incluem períodos de estiagem, torna-se relevante considerar a seleção de forrageiras com maior capacidade de adapta ao estresse hídrico. O conjunto de espécies de *Paspalum* têm demonstrado tolerância aos déficits hídricos e capacidade de manutenção de produtividade em condições restritas, o que as torna candidatas promissoras para programas de melhoramento genético e sistemas sustentáveis de produção animal em pastagens.

Entre 2000 e 2023, cerca de 84% das novas áreas de pastagem no Brasil foram formadas a partir da conversão de vegetação nativa, enquanto aproximadamente 4,8 milhões de hectares de pastagens degradadas foram abandonadas e passaram a regenerar vegetação natural (Mapbiomas, 2023). Esses dados evidenciam tanto a pressão sobre os ecossistemas quanto a necessidade de estratégias produtivas que conciliem eficiência com conservação ambiental.

Nesse contexto, a avaliação de acessos nativos de *Paspalum* em sistemas silvipastoris representa uma contribuição relevante para o provimento de informações técnicas sobre a variabilidade, desempenho e adaptações fisiológicas dessas gramíneas, especificamente sob condições de sombreamento. Essa abordagem pode subsidiar a seleção de materiais mais promissores para uso forrageiro, além de fortalecer o uso de espécies nativas como alternativa de integração da pecuária tropical.

## 2. Revisão de Literatura

### 2.1. Gênero *Paspalum*

A eminência do gênero *Paspalum* é destacada por sua relevância na formação de pastagens nativas nas regiões tropicais e subtropicais das américas (Sartor *et al*., 2011), compreendendo em torno de 400 espécies (Silva *et al*., 2021). Este grupo apresenta níveis distintos de ploidia com populações diplóides (reprodução sexuada) e populações poliplóides (apomixia). De modo símile, em outros países foram lançadas várias cultivares de espécies tetraplóides (2n = 4x = 40) e apomíticas sem melhoramento genético (Motta *et al*., 2012). A poliploidia associada à apomixia, aparentemente é considerada como uma vantagem seletiva, por ampliar os ambientes até as montanhas e planaltos subtropicais do sul do Brasil (Pozzobon; Valls, 2000).

Numerosos pesquisadores têm manifestado interesse nos estudos do gênero *Paspalum*, motivados pela sua importância ecológica e forrageira, assim como pela sua heterogeneidade interna: apomixia, alopoliploidia, autopoliploidia e hibridações que cooperam com a evolução do gênero (Obeid; Pereira, 2011). Análises taxonômicas têm permitido a identificação de novas

espécies e variedades, notadamente nos grupos Dilatata e Plicatula, o que tem propiciado a elaboração de chaves de identificação e mapas de distribuição para esses táxons (Rosso *et al*., 2022). Ainda assim, persistem recorrentes desafios quanto à sua delimitação taxonômica, majoritariamente no grupo Plicatula, para o qual a literatura científica contempla apenas 30 espécies (Acuña *et al*., 2019).

Entretanto, devido ao uso crescente de suas espécies em cultivo, decorrente de sua adaptabilidade como forrageira e ao avanço do melhoramento genético das espécies comerciais, tem-se observado a formação de coleções de materiais com potencial para uso forrageiro submetido em baixos níveis de radiação, como também padrões de resistência às pragas e doenças (Pina Matta, 2019). Desse modo, são reconhecidas por sua resistência aos estresses ambientais, como sombreamento, salinidade, seca e compactação do solo, tornando-as adequadas para gramados, forragem e controle de erosão (Jiang *et al*., 2022). Ademais, apresenta relevantes peculiaridades morfológicas relacionadas ao tamanho e espessura do rizoma, dimensão das flores e das inflorescências, rendimento e qualidade (Nabinger e Dall'agnol, 2008).

No gênero *Paspalum*, a seleção de ecótipos tem sido o método de melhoramento amplamente utilizado, o que tornou possível o lançamento de um vasto número de cultivares de forragem como *P. atratum* Swallen cv. Pojuca, *P. dilatatum* Poir, *P. guenoarum* Arechav, *P. nicorae* Parodi, *P. notatum* e P. *plicatulum* Michx (Brugnoli *et al*., 2023). Outrossim, de modo contemporâneo foram divulgadas espécies de *Paspalum* para gramados, descritas como *P. notatum* cvs. Aruaí, Curica e Tuim (Cavallari *et al*. 2023). Consoante a isso, a tolerância e adaptação ao sombreamento em espécies como *P. conjugatum*; *P. dilatatum*, *P. notatum* (Franke Furtado, 2001) e *P. oteroi* (Fleitas *et al*., 2020) recebem destaque, além de espécies emergentes como o *P. malacophyllum*, que apresenta potencial em programas de melhoramento pela sua resistência a doenças e fertilidade de sementes (Burson; Hussey, 1998; Hojsgaard *et al*., 2016).

Dessa forma, a literatura registra uma diversidade de informações relacionadas ao gênero, permitindo verificar as características reprodutivas e funcionais, a conservação de germoplasma, melhoramento genético e a possibilidade de surgir novas cultivares, características que contemplam e agregam valor forrageiro para os sistemas de produção.

Uma das espécies do gênero *Paspalum* amplamente distribuída é o *P. notatum*, que carrega o nome de cultivares com direcionamento para as condições subtropicais, e largamente disseminada no sudoeste dos Estados Unidos, devido à sua adaptação a baixa fertilidade do solo e manejo com reduzido uso de insumos, entre elas estão as cultivares: Pensacola, Bahiagrass

"comum", Tifton-9 Pensacola, Argentina, Paraguai, Paraguai 22 e Wilmington (Wallau *et al*., 2019).

Ainda assim, o conteúdo e oferta das sementes, não são significativos, e o foco de manter essa oferta é a busca do rompimento da presente dependência da pecuária brasileira a uma estreita base genética de origem africana, amplamente utilizada nas pastagens dos principais biomas do país (Nehring, 2024).

Para isso, instituições de pesquisa abrigam coleções remetentes ao gênero *Paspalum*, em Bancos ativos de Germoplasmas (BAG). Assim, um Banco de Germoplasma pode ser definido como uma estratégia para manutenção da diversidade de plantas forrageiras disponíveis para o sistema agropecuário (Nguyen; Norton, 2020; Singh; Behera, 2022). As principais funções do banco é localizar, coletar, conservar, caracterizar e distribuir grupos de sementes de plantas que, por seus atributos, são consideradas de interesse prioritário na produção e conservação de recursos genéticos, além de fornecer conhecimento científico orientado à otimização da conservação de espécies de importância para a alimentação e a agricultura.

Há diversos bancos de germoplasma distribuídos no mundo. Nessa estimativa, o maior BGP, em termos de quantidade de espécies, pertence ao United States Department of Agriculture – Agricultural Research Service (USDA-ARS), o qual conserva mais de mil acessos, advindas principalmente dos subcontinentes do sudoeste dos Estados Unidos e do norte e sul do México (Grin-Global, 2025). Na américa do Sul, o Brasil, possui o maior número de acessos ativos, distribuídos e mantidos por instituições como a EMBRAPA. Em seguida, o grupo de genética e melhoramento de espécies forrageiras do IBONE (Corrientes, Argentina) (Ziegler *et al*., 2024).

A Embrapa Pecuária Sudeste, localizada em São Carlos, SP, possui o maior BAG do Brasil totalizando 562 acessos de *Paspalum* com aproximadamente 60 espécies, incluindo variedades com destaque para cobertura de solo e uso forrageiro (Cavallari, 2020; Alelo Vegetal, 2025). Os acessos do BAG são oriundos de diversas regiões do Brasil, como Cerrado, Pantanal, Mata atlântica e Pampa com expressões de diferentes adaptações e condições climáticas. Sendo assim, o BAG contribui com o plano de conservação que integra parte do programa de melhoramento de *Paspalum* desenvolvido na unidade e tem como estratégia o fornecimento de híbridos a partir de genitores previamente selecionados (Matta *et al*., 2023). Ademais, também foram realizadas avaliações de possíveis híbridos quanto à sua qualidade nutricional, sua tolerância aos estresses bióticos e sua velocidade de estabelecimento nos sistemas integrados de produção, tendo como referência seus genes.

## 2.2. Sistema Silvipastoril

A Integração Lavoura Pecuária e Floresta (ILPF) é denominada como solução de base natural para a agricultura sustentável, capaz de promover ganhos ambientais, produtivos e sociais. Entre os desafios de manejo e adoção, o sistema se destaca como alternativa estratégica para intensificação sustentável, recuperação de áreas degradadas e mitigação das mudanças climáticas (Bungenstab; Davi Jose Bungenstab, 2012). A ILPF é uma das classificações dos sistemas integrados de produção agropecuária (SIPAs), juntamente com a Integração Lavoura-Pecuária (ILP ou Agropastoril), Integração Pecuária-Floresta (IPF ou Silvipastoril) e Integração Lavoura-Floresta (ILF ou Silviagrícola) (Balbino *et al*., 2012).

O sistema silvipastoril representa de forma categórica os sistemas agroflorestais pois possuem árvores, e são reconhecidos por sua contribuição para a conservação da biodiversidade e maximização dos serviços ambientais, como a ciclagem de nutrientes, qualidade da dieta e bem-estar dos animais (Pizarro *et al*., 2024).

De acordo com Salton *et al*. (2015), a implementação de sistemas integrados é uma estratégia eficaz para reduzir a necessidade de desmatamento, uma vez que tais sistemas elevam a produtividade e eficiência das áreas em uso. Além disso, os sistemas integrados que incluem espécies lenhosas são sobretudo promissores na recuperação de pastagens degradadas. Eles combinam práticas de manejo sustentável com ganhos de produtividade, e trazem benefícios ambientais, como o aumento do sequestro de carbono, permitindo a ampliação da biodiversidade, uso conservacionista do solo e da água (Oliveira; Maneschy, 2009; Barcellos *et al*., 2011), associando a conservação dos recursos naturais à produção animal, garantindo a manutenção sustentável dos sistemas de produção (Oliveira *et al*., 2020) .

Para o estabelecimento de um sistema silvipastoril é necessário o preparo da área e atentar-se as condições locais, os efeitos microclimáticos e recursos disponíveis. Dentre eles, o componente arbóreo, a espécie forrageira que irá compor o sub-bosque e materiais apropriados para o manejo e construção (Neto *et al*., 2018).

As condições microclimáticas dependem de vários fatores, como a caracterização do sistema, arranjos, orientação, idade, fenologia das árvores, composição de espécies e arquitetura, aspectos que influenciam diretamente no sombreamento proporcionado pelas árvores e que, consequentemente, irá reduzir a radiação solar até a chegada do dossel das culturas submetidas. Com isso, ao reduzir a radiação solar, a sombra afetará uma diversidade de variáveis do clima, como temperaturas do ar e do solo, umidade relativa e umidade do solo (Pezzopane *et al*. 2015).

Em relação as árvores a serem utilizadas em um sistema silvipastoril, essas devem apresentar diversidade funcional de acordo com o(s) objetivo(s) do produtor. No estabelecimento do sistema é importante ter espécies de crescimento rápido, copas que permitem a passagem de luz em quantidade satisfatória para o desenvolvimento das culturas associadas.

Sistemas silvipastoris com árvores nativas são aqueles que possuem biodiversidade de espécies nas pastagens, entre elas as leguminosas como o pau-jacaré (*Piptadenia gonoacantha*) e angico-branco (*Anadenanthera colubrina*), trazendo benefícios quanto ao aporte de nitrogênio, subsidiando persistência e recuperação das pastagens (Nicodemo *et al*., 2010). Outros proveitos estão relacionados com a fixação de nitrogênio, regulação de nutrientes e aporte de matéria orgânica, que por sua vez dependem da densidade da copa, qualidade do fuste e presença de raízes superficiais (Barro *et al*., 2008; Santos *et al*., 2020).

Sob outro ângulo, é válido destacar que a composição arbórea dos sistemas silvipastoris, proporcionam sombra durante todo o ano, devido à variação natural na cobertura das árvores, com intensidade nos períodos quentes, influenciada pela espécie e distância entre elas (Castillo; Tiezzi; Franzluebbers, 2020), bem como as espécies perenifólias que apresentam folhas o ano todo, especialmente nos períodos mais quentes (Ye; Kitayama; Onoda, 2022). Aliado a isso, é importante selecionar espécies de árvores com copas que permitam o conforto térmico e a entrada de luminosidade suficiente para o desenvolvimento das forrageiras. Parte desse serviço pode ser proporcionado por manejo de poda e desbaste (Brunetti *et al*., 2022).

A luminosidade é um dos principais fatores ambientais que influenciam diretamente o desenvolvimento das plantas forrageiras, pois está intimamente ligada aos processos fisiológicos e morfológicos necessários para suas funções vitais (Tang *et al*., 2022). Portanto, em sistemas silvipastoris, onde existe a presença de árvores que criam condições de sombreamento, a escolha de plantas forrageiras que sejam capazes de se adaptar aos níveis variados de luz se tornam indispensáveis para assegurar seu retorno produtivo (Santos Neto *et al*., 2023; Lima *et al*., 2019).

Barro *et al*. (2012) avaliando quatro acessos de *Paspalum* em diferentes condições de sombreamento artificial (0%, 50% e 80%), observaram que, durante os ciclos do experimento, o crescimento das plantas em condições de sombreamento moderado (50%) teve efeito positivo na produção de matéria seca das gramíneas. Esse sombreamento moderado pode fornecer um ambiente ideal para a fotossíntese eficiente e para a conservação de recursos hídricos, o que pode explicar o aumento na produtividade de forragem. Por outro lado, o sombreamento intenso (80%) afetou negativamente a produtividade de todos as espécies avaliadas. Esse nível elevado

de sombra pode reduzir drasticamente a quantidade de luz disponível, limitando o crescimento e a produção de biomassa. No entanto, mesmo sob essas condições adversas, espécie como o *P. regnellii* destacou-se por seu alto potencial de utilização em ambientes com diferentes graus de sombreamento, variando de moderado a intenso. Esse genótipo, juntamente com *P. dilatatum*, mostrou maior rendimento potencial sob condições de sombreamento intermediário, sugerindo que essas espécies podem ser especialmente valiosas em sistemas silvipastoris com densidade arbórea moderada.

Estudos têm mostrado que diferentes espécies e genótipos de *Paspalum* respondem de maneira distintas ao sombreamento. Destarte, Pezzopane *et al*., (2022), ao avaliar a tolerância de *Paspalum* sob sombreamento artificial, destacaram o desenvolvimento otimista de *P. rojasii*, *P. conjugatum* e *P. malacophyllum*. Essas espécies apresentaram boa produtividade de folhas e demonstraram indicativos concisos de tolerância ao sombreamento, sugerindo que podem ser boas alternativas para sistemas silvipastoris onde há níveis moderados de sombra. Tendo em vista estes aspectos, a seleção de acessos de *Paspalum*, que possuem maior tolerância ao sombreamento pode ser uma estratégia propícia para melhorar a sustentabilidade e a produtividade de sistemas silvipastoris.

### 2.3. Espécies Adaptadas ao Estresse Hídrico

Dentre as condições que suprimem o desenvolvimento de plantas forrageiras, uma delas é o estresse hídrico, por ser um dos fatores responsáveis que afetam os processos fotossintéticos das gramíneas, diminuindo a quantidade e qualidade da biomassa de forragem (Zahra *et al*., 2023). Cultivares específicas de gramíneas forrageiras apresentam robustez quanto ao estresse hídrico, em meio às mudanças climáticas que vêm alterando a estacionalidade de produção (Habermann *et al*., 2019).

Embora gramíneas africanas como *Panicum maximum* e *Cenchrus ciliaris* sejam abundantemente utilizadas por sua tolerância à seca, espécies nativas têm se mostrado igualmente ou mais adaptadas, devido ao melhor aproveitamento no uso da água e à maior estabilidade produtiva em comparação com espécies exóticas, contribuindo para segurança alimentar do rebanho e sustentabilidade de manejo (Madouh, 2022). Por isso, torna-se necessário, dentro do sistema agropecuário, ter maior disponibilidade de forrageiras que possam sustentar a produção no período da seca, servindo de alimento animal e garantindo o vigor de rebrota quando expostas às condições desfavoráveis (Oliveira *et al*., 2024).

A intensidade e a duração do estresse hídrico são determinantes para o grau de impacto nas plantas, uma vez que déficits severos e prolongados podem causar danos

irreversíveis à estrutura dos tecidos vegetais, como a redução da área foliar, alterações morfofisiológicas e comprometimento da capacidade fotossintética (Pinheiro; Chaves, 2011).

Estudos mostram que a espécie *Paspalum dilatatum* é altamente tolerante a seca, mantendo parte de sua produção de biomassa mesmo sob condições adversas, o que o torna um uso promissor visualizando pastagens em áreas sujeitas a esses desafios (Porcelli et al., 2024). Nesse sentindo, Pezzopane *et al*. (2017), ao caracterizarem espécies de *Paspalum* quanto à sua resistência à seca, verificaram que os acessos que se destacaram em termos de variáveis de desenvolvimento foram: *P. regnellii*, *P. malacophyllum*, *P. atratum*, *P. dilatatum*, *P. conspersum*, pelo maior número de dias até início da murcha, e ainda assim adotaram uma estratégia mais conservadora de uso dos recursos naturais, com a diminuição da área foliar e aumento do turgor (Volaire; Barkaoui; Norton, 2014), o que proporcionou alta tolerância a condições de estresse hídrico severo.

Sendo assim, a funcionalidade diversa das espécies nativas, pode aumentar a capacidade de recuperação dos ecossistemas, estimulando a preparação para futuras secas (Zuffo *et al*., 2022). Por essa razão, a combinação de espécies com diferentes respostas à seca, tanto em termos de produção, quanto de resistência, pode garantir produtividade ao longo do ano, inclusive em sistemas silvipastoris (Tamayo-Chim; Reyes-García; Orellana, 2012).

### 2.4. Plasticidade fenotípica de espécies nativas do gênero *Paspalum*

A plasticidade fenotípica constitui um mecanismo importante para a adaptação de gramíneas forrageiras nativas do gênero *Paspalum* a diversas condições ambientais. A capacidade de ajustar características morfológicas e fisiológicas permite que essas espécies apresentem desempenho estável em ecossistemas variados, reforçado sua relevância para sistemas produtivos sustentáveis.

As espécies do gênero *Paspalum* respondem de maneira ampla e diferenciada à intensidade luminosa, à fertilidade do solo, à temperatura, à salinidade e à disponibilidade hídrica. Essa amplitude de respostas confirma que seus ajustes estruturais e funcionais são importantes para o crescimento e manutenção da produtividade sob condições ambientais contrastantes.

Em *Paspalum oteroi*, Fleitas *et al*. (2020), ao avaliarem o desempenho da espécie sob sombreamento e diferentes regimes de fertilização no Cerrado-Pantanal, observaram modificações na altura das plantas, na razão parte aérea/raiz, na composição química e no índice de área foliar. Essas respostas configuram estratégias adaptativas que podem favorecer a manutenção da produtividade em ambientes sujeitos à sazonalidade hídrica.

Consoante a isso, *Paspalum fasciculatum* também apresenta plasticidade expressiva para tolerar alternâncias entre períodos de seca e inundação, típicas de áreas úmidas tropicais, conforme relatado por Santos *et al.* (2016). Esses resultados reforçam o potencial do gênero *Paspalum* para uso em sistemas de produção animal que demandam espécies resilientes a diferentes regimes ambientais.

A diversidade fenotípica e genética em espécies do gênero *Paspalum* é influenciada pelos modos reprodutivos (autógamas, alógamas e apomíticas). Espécies apomíticas, como *P. notatum*, tendem a apresentar baixa variabilidade intrapopulacional, mas alta diferenciação entre populações, sugerindo adaptação local. Em contraste, espécies alógamas exibem maior variação genotípica dentro das populações, favorecendo a plasticidade (Motta *et al*., 2016).

A plasticidade fenotípica se manifesta em características como produção de biomassa, tolerância ao frio, salinidade e seca, composição bromatológica e hábito de crescimento. Ecótipos de *P. notatum* e *P. guenoarum* diferem em produtividade, tolerância ao frio e valor nutritivo, refletindo adaptações a diferentes ambientes (Steiner *et al*., 2017). Esses padrões reforçam a importância da plasticidade como componente fundamental para a performance dessas espécies em sistemas de produção animal.

A plasticidade em espécies de *Paspalum* pode ser explorada para selecionar genótipos mais adaptados a sistemas silvipastoris, promovendo maior eficiência no uso de recursos e melhor desempenho sob diferentes condições de manejo (Gratani, 2014). O entendimento dessa característica orienta práticas de manejo e estratégias de melhoramento para sistemas integrados.

Uma das demandas apresentadas pelos sistemas integrados de produção animal, é a seleção de plantas forrageiras que sejam tolerantes a baixos níveis de incidência luminosa, inclusive espécies nativas, como as do gênero *Paspalum*, para então compor modelos a fim de garantir que a atividade agropecuária seja integralmente sustentável. Em vista disso, surge a proposta de estudo, que objetiva avaliar a produtividade de diferentes acessos do gênero *Paspalum* implantados em sistemas silvipastoril com uso de árvores nativas, para identificar materiais com maior tolerância ao sombreamento. Para tanto, foi realizado o experimento apresentado no Capítulo 2 denominado: **COMPORTAMENTO DE ACESSOS DE *Paspalum* L. (Poaceae) TOLERANTES AO SOMBREAMENTO EM SISTEMA SILVIPASTORIL COM ÁRVORES NATIVAS**. O trabalho foi redigido de acordo com as exigências para publicação na revista *Agroforestry systems*, excetuando-se o idioma.

## REFERÊNCIAS

ACUÑA, Carlos A. *et al*. Reproductive Systems in Paspalum: Relevance for Germplasm Collection and Conservation, Breeding Techniques, and Adoption of Released Cultivars. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 17, 21 nov. 2019.

**ALELO VEGETAL**. Sistema Informatizado de Recursos Genéticos. 2025. Disponível em: <http://alelo.cenargen.embrapa.br/>. Acesso em: 11 jun. 2025.

BALBINO, L. C.; BARCELLOS, A. de O.; STONE, L. F. (Ed.). **Marco referencial em integração lavoura-pecuária-floresta**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. 130 p.

BALBINO, Luiz Carlos; VILELA, Lourival; CORDEIRO, Luiz Adriano Maia; OLIVEIRA, Priscila de; PULROLNIK, Karina; KLUTHCOUSKI, João; SILVA, Jamir Luís da. **Curso de capacitação do Programa ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono): módulo Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF)** – Região Sul. Brasília, DF: MAPA; Embrapa, 2012. 83 p.

BARRO, Raquel Santiago *et al.* Forage yield and nitrogen nutrition dynamics of warm-season native forage genotypes under two shading levels and in full sunlight**. Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 41, p. 1589–1597, jul. 2012.

BATISTA, Luiz Alberto Rocha; GODOY, Rodolfo. Caracterização preliminar e seleção de germoplasma do gênero Paspalum para produção de forragem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, n. 1, p. 23–32, fev. 2000.

BRUGNOLI, Elsa Andrea *et al.* Reproductive and Agronomic Characterization of Novel Apomictic Hybrids of Paspalum (Poaceae). **Genes**, v. 14, n. 3, p. 631, mar. 2023.

BRUNETTI, H. B. *et al*. Productive and nutritive traits of Piatã palisadegrass after thinning the forest component of a silvopastoral system in southeastern Brazil. **The Journal of Agricultural Science**, v. 160, n. 5, p. 338–348, out. 2022.

BURSON, B. L.; HUSSEY, M. A. Cytology of Paspalum malacophyllum and its relationship to P. jurgensii and P. dilatatum. **International Journal of Plant Science**, v. 159, p. 153–159, 1998.

BUNGENSTAB, D. J. **Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta: a produção sustentável**. Brasília, DF: Embrapa, 2012.

CASANOVA-LUGO, Fernando *et al.* Efeito da sombra das árvores na produtividade do capim *Brachiaria brizantha* em sistemas de produção pecuária tropical no México. **Rangeland Ecology & Management**, v. 80, p. 31–38, 1 jan. 2022.

CASTILLO, Miguel S.; TIEZZI, Francesco; FRANZLUEBBERS, Alan J. Tree species effects on understory forage productivity and microclimate in a silvopasture of the Southeastern USA. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 295, p. 106917, 15 jun. 2020.

CAVALLARI, M. M. **Banco ativo de germoplasma de *Paspalum***: Embrapa Pecuária Sudeste, 2020.

DE OLIVEIRA, Bruno Rodrigues et al. Selection of forage grasses for cultivation under water-limited conditions using Manhattan distance and TOPSIS. **PLOS ONE**, v. 19, n. 1, p. e0292076, 2 jan. 2024.

DE OLIVEIRA, Glauco Lima et al. Effect of shading and canopy height on pasture of Andropogon gayanus in silvopastoral system. **Agroforestry Systems**, v. 94, n. 3, p. 953–962, 1 jun. 2020.

DOS SANTOS NETO, Clemente Fernandes et al. Shading effect and forage production of tropical grasses in Brazilian semi-arid silvopastoral systems. **Agroforestry Systems**, v. 97, n. 6, p. 995–1005, 1 ago. 2023.

DURAND, Mickaël et al. Water deficit enhances C export to the roots in Arabidopsis thaliana plants with contribution of sucrose transporters in both shoot and roots. **Plant Physiology**, v. 170, n. 3, p. 1460–1479, 1 mar. 2016.

FLEITAS, Alex Coene et al. Adaptive responses of *Paspalum oteroi* native grass to fertilization and shading. **Journal of Agricultural Studies**, v. 8, n. 3, p. 871–884, 22 jun. 2020.

FRANKE, I. L.; FURTADO, S. C. **Sistemas silvipastoris: fundamentos e aplicabilidade**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2001. (Embrapa Acre. Documentos, 74).

PINA MATTA, Frederico de. **Pesquisa e desenvolvimento de novas cultivares de forrageiras tropicais – *Paspalum***. Portal Embrapa. Disponível em: https://www.embrapa.br/en/busca-de-projetos/-/projeto/206055/pesquisa-e-desenvolvimento-de-novas-cultivares-de-forrageiras-tropicais--paspalum. Acesso em: 11 jun. 2025.

GRAMINHO, Larissa Arnhold *et al*. Forage characters of different *Paspalum* species in Rio Grande do Sul: a meta-analysis. **Ciência Rural**, v. 47, p. e20161049, 29 maio 2017.

GRATANI, L. (2014). **Plant Phenotypic Plasticity in Response to Environmental Factors**., 2014, 1-17. https://doi.org/10.1155/2014/208747.

HABERMANN, Eduardo *et al*. Warming and water deficit impact leaf photosynthesis and decrease forage quality and digestibility of a C4 tropical grass. **Physiologia Plantarum**, v. 165, n. 2, p. 383–402, 2019.

INDU, I. *et al.* Forage crops: a repository of functional trait diversity for current and future climate adaptation. **Crop and Pasture Scienc**e, v. 74, n. 11, p. 961–977, set. 2022.

JIANG, Kai *et al*. Evaluation of the tolerance and forage quality of different ecotypes of *seashore Paspalum*. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, 29 set. 2022.

LANA, Ângela Maria Quintão *et al*. Influence of native or exotic trees on soil fertility in decades of silvopastoral system at the Brazilian savannah biome. **Agroforestry Systems**, v. 92, n. 2, p. 415–424, 1 abr. 2018.

LIMA, Marina A. *et al*. Productivity and nutritive value of Brachiaria decumbens and performance of dairy heifers in a long-term silvopastoral system**. Grass and Forage Science**, v. 74, n. 1, p. 160–170, 2019.

LOPES, Clenardo Macedo *et al*. Plant morphology and herbage accumulation of signal grass with or without fertilization, under different light regimes. **Ciência Rural**, v. 47, p. 20160472, 28 nov. 2016.

MACHADO, Juliana Medianeira *et al*. Multivariate analysis reveals genetic diversity in *Paspalum notatum Flügge*. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 50, p. e20200252, 19 nov. 2021.

MADOUH, Tareq A. Eco-Physiological Responses of Native Desert Plant Species to Drought and Nutritional Levels: Case of Kuwait. **Frontiers in Environmental Science**, v. 10, 14 abr. 2022.

MANESCHY, R. Q.; SANTANA, A. C.; VEIGA, J. B. **Viabilidade econômica de sistemas silvipastoris com Schizolobium parahyba var. amazonicum e Tectona grandis no Pará**. Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo, Edição especial, n. 60, p. 49–56, dez. 2009.

**MAPBIOMAS.** Pastagem: Coleção 9 - 2000 a 2023. São Paulo: MapBiomas, 2024. Disponível em: https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2024/12/Factsheet-Pastagem_C9_05.12_v3.pdf. Acesso em: 9 abr. 2025.

MATTA, Frederico de Pina *et al.* Agronomic, nutritive value, reproductive, cytogenetic, and molecular aspects of *Paspalum* accessions: Contribution to the development of new forage cultivars. **Grass and Forage Science**, v. 78, n. 1, p. 101–118, 2023.

MEIRELLES, Paulo Roberto de Lima *et al*. Germoplasma do gênero *Paspalum* com potencial para produção de forragem. **Bioscience Journal**, v. 29, p. 1587–1595, 13 nov. 2013

MOTTA, E., Dall'agnol, M., Nascimento, F., Pereira, E., Machado, J., Barbosa, M., Simioni, C., & Ferreira, P. (2016). **Forage performance of Paspalum hybrids from an interspecific cross**. Ciencia Rural, 46, 1025-1031. https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20150232.

NETO, Miguel Marques Gontijo *et al.* **Integração Lavoura-Pecuária-Floresta** - ILPF. [S. l.]: [s. n.], 2018.

NGUYEN, Giao N.; NORTON, Sally L. Genebank Phenomics: A Strategic Approach to Enhance Value and Utilization of Crop Germplasm. **Plants**, v. 9, n. 7, p. 817, jul. 2020.

NICODEMO, Maria Luiza Franceschi *et al.* Desenvolvimento Inicial de Espécies Florestais em Sistema Silvipastoril na Região Sudeste. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 0, n. 60, p. 49/53, 26 fev. 2010.
OBEID, J. A.; PEREIRA, D. H. **Gênero *Paspalum***. In: FONSECA, D. M.; MARTUSCELLO, J. A. (Orgs.). Plantas forrageiras. Viçosa: UFV, 2011. p. 131–165.

OLIVEIRA, R. C.; VALLS, J. F. M. (2023) *Paspalum* na Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB13432. Acesso em: 21 mai. 2025.

OLIVEIRA, T. K. de; MACEDO, R. L. G.; VENTURIN, N.; HIGASHIKAWA, E. M. Desempenho silvicultural e produtivo de eucalipto sob diferentes arranjos espaciais em sistema agrossilvipastoril. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 60, p. 01–09, 2009.

PANDEY, Veena; SHUKLA, Alok. Improving Crop Yield Under Drought Stress Through Physiological Breeding. In: HOSSAIN, Mohammad Anwar et al. (Orgs.). Drought Stress Tolerance in Plants, Vol 1: **Physiology and Biochemistry**. Cham: Springer International Publishing, 2016. p. 331–348.

PARENTE, Leandro; FERREIRA, Laerte. Assessing the Spatial and Occupation Dynamics of the Brazilian Pasturelands Based on the Automated Classification of MODIS Images from 2000 to 2016. **Remote Sensing**, v. 10, n. 4, p. 606, abr. 2018.

PEREIRA, Emerson André *et al*. Adaptabilidade e estabilidade em genótipos apomíticos do gênero *Paspalum*. **Ciência Rural**, v. 45, p. 1361–1367, 2015.

PEREIRA, Emerson André *et al.* Variabilidade genética de caracteres forrageiros em *Paspalum*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p. 1533–1540, out. 2012.

PEZZOPANE, Cristiana de G. *et al*. Evaluation and strategies of tolerance to water stress in *Paspalum* germplasm. **Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales**, v. 5, n. 3, p. 153–162, 30 set. 2017.

PEZZOPANE, J. R. M. *et al.* **Microclimate and soil moisture in a silvopastoral system in southeastern Brazil**. Bragantia, v. 74, p. 110–119, 2015.

PEZZOPANE, José Ricardo Macedo et al. Animal thermal comfort indexes in silvopastoral systems with different tree arrangements. **Journal of Thermal Biology**, v. 79, p. 103–111, 1 jan. 2019.

PEZZOPANE, José Ricardo Macedo *et al.* **Seleção de acesso de *Paspalum* spp. para tolerância ao sombreamento**. [S. l.], dez. 2022. Disponível em: https://support.google.com/docs/answer/39003?hl=pt&co=GENIE.Platform%3DDesktop. Acesso em: 13 nov. 2024.

PICASSO, V.; PIZARRO, D. Silvopastoral transitions in Latin America: toward diverse perennial systems. **Agroforestry Systems**, v. 98, n. 7, p. 2267–2272, 1 out. 2024.

PINHEIRO, C.; CHAVES, M. M. Photosynthesis and drought: can we make metabolic connections from available data? **Journal of Experimental Botany**, v. 62, n. 3, p. 869–882, 1 jan. 2011.

PIZARRO, D. M. et al. Botanical composition gradients in silvopastoral systems on temperate native grasslands of Uruguay. **Agroforestry Systems,** v. 98, n. 7, p. 2055–2068, 1 out. 2024.

PORCELLI, Claudia et al. The Effect of Water and Salt Stress on *Paspalum dilatatum*, a Constituent of Pampas Natural Grasslands. **Phyton-International Journal of Experimental Botany**, v. 93, n. 8, p. 2009–2018, 2024.

POZZOBON, M. T.; VALLS, J. F. M. Cytogeography and variation of stomatal size of *Paspalum Glaucescens* (Gramineae; Paniceae) in Southern Brazil. **Euphytica**, v. 116, n. 3, p. 251–256, 1 dez. 2000

ROSSO, Virginia C. et al. **New Entities of *Paspalum* and a Synopsis of the Dilatata Group**. [S. l.], mar. 2022.

RUA, Gabriel H. et al. A phylogenetic analysis of the genus *Paspalum* (Poaceae) based on cpDNA and morphology. **Plant Systematics and Evolution**, v. 288, n. 3, p. 227–243, 1 set. 2010.

SALTON, J. C. (Ed.); PEZARICO, C. R.; TOMAZI, M.; COMAS, C. C.; RICHETTI, A.; MERCANTE, F. M.; CONCENÇO, G. 20 **Anos de Experimentação em Integração Lavoura Pecuária na Embrapa Agropecuária Oeste: relatório.** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2015b. 167 p. (Documentos, 130).

SANTOS, Alyce Raiana Monteiro *et al.* Efeito do ambiente luminoso em forrageiras de clima tropical em sistemas silvipastoris. **Nativa**, v. 8, n. 5, p. 10, 5 out. 2020.

SANTOS, S., Valls, J., Pott, A., Berselli, C. (2016). **Adaptive phenotypic plasticity of the native forage grass *Paspalum fasciculatum*: a trait relevant to climatic changes in wetlands**.

SILVA, Anádria S. *et al.* Taxon delimitation, chromosome numbers and genetic diversity of *Paspalum polyphyllum* and P. bicilium (Poaceae, Paspaleae). **Plant Systematics and Evolution**, v. 307, n. 2, p. 18, 15 fev. 2021.

SINGH, Ankita; BEHERA, Chandana. Strategies, Opportunities, and Challenges in Crop Genetic Diversity Conservation: A Plant Breeder's Perspective. In: KUMAR, Ashwani et al. (Orgs.). **Molecular Genetics and Genomics Tools in Biodiversity Conservation. Singapore: Springer Nature**, 2022. p. 151–169.4

STEINER, M., Dall'agnol, M., Nabinger, C., Scheffer-Basso, S., Weiler, R., Simioni, C., Schifino-Wittmann, M., & Motta, E. (2017). **Forage potential of native ecotypes of Paspalum notatum and P. guenoarum**. Anais da Academia Brasileira de Ciencias, 89 3, 1753-1760. https://doi.org/10.1590/0001-3765201720160662.

TAMAYO-CHIM, Manuela; REYES-GARCÍA, Casandra; ORELLANA, Roger. A combination of forage species with different responses to drought can increase year-round productivity in seasonally dry silvopastoral systems. **Agroforestry Systems**, v. 84, n. 2, p. 287–297, 1 fev. 2012.

TANG, Wei et al. Effect of Light Intensity on Morphology, Photosynthesis and Carbon Metabolism of Alfalfa (Medicago sativa) Seedlings. **Plants**, v. 11, n. 13, p. 1688, jan. 2022.

THAIANA RUEDA DA SILVA, Camila *et al*. Yield Component Responses of the *Brachiaria brizantha* Forage Grass to Soil Water Availability in the Brazilian Cerrado. **Agriculture**, v. 10, n. 1, p. 13, jan. 2020

**USDA**, Serviço de Pesquisa Agrícola, Sistema Nacional de Germoplasma Vegetal. 2025. Rede de Informação sobre Recursos de Germoplasma (Taxonomia GRIN). Laboratório Nacional de Recursos de Germoplasma, Beltsville, Maryland. Disponível em: https://npgsweb.ars-grin.gov/gringlobal/taxon/taxonomydetail?id=26880. Acesso em: 15 abr. 2025.

VOLAIRE, Florence; BARKAOUI, Karim; NORTON, Mark. Designing resilient and sustainable grasslands for a drier future: Adaptive strategies, functional traits and biotic interactions. **European Journal of Agronomy**, v. 52, p. 81–89, 1 jan. 2014.

WALLAU, Marcelo *et al.* Bahiagrass (*Paspalum notatum Flueggé*): Overview and Pasture Management. **EDIS,** v. 2019, n. 4, p. 10, 9 ago. 2019.

YE, Yunhan; KITAYAMA, Kanehiro; ONODA, Yusuke. A cost–benefit analysis of leaf carbon economy with consideration of seasonal changes in leaf traits for sympatric deciduous and evergreen congeners: implications for their coexistence. **New Phytologist**, v. 234, n. 3, p. 1047–1058, 8 fev. 2022.

ZAHRA, Noreen *et al.* Plant photosynthetic responses under drought stress: Effects and management. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 209, n. 5, p. 651–672, 2023.

ZIEGLER, Carla *et al*. Discovery of natural *Paspalum* L. (Poaceae) triploid hybrids near sympatric populations of Paspalum urvillei Steud. and species of Paniculata group in northeastern Argentina. **Euphytica**, v. 220, n. 5, p. 1–18, 1 maio 2024.

ZUFFO, Alan Mario *et al.* Selected Indices to Identify Water-Stress-Tolerant Tropical Forage Grasses. **Plants**, v. 11, n. 18, p. 2444, 19 set. 2022.

**CAPÍTULO 2**

Comportamento de acessos de *Paspalum* L. (Poaceae) tolerantes ao sombreamento em sistema silvipastoril com árvores nativas

O artigo a seguir está redigido de acordo com as normas para publicação na revista Agroforestry Systems com exceção do idioma.

## 1. Introdução

O potencial forrageiro de espécies do gênero *Paspalum* decorre principalmente, da sua elevada capacidade produtiva e adaptações em diferentes ecossistemas, incluindo ambientes com baixa disponibilidade luminosa (Steiner et al., 2017). O grande número de espécies, a diversidade genética, a ampla cobertura de pastagens nativas por espécies de *Paspalum*, bem como a qualidade da forragem e a sua notável plasticidade fenotípica, corroboram a importância desse gênero para os sistemas de produção animal (Novo et al., 2016). Tais atributos conferem ao *Paspalum* um papel estratégico no aprimoramento de sistemas integrados de produção agropecuária, como os sistemas silvipastoris, onde o sombreamento constitui um fator limitante à produtividade de forrageiras disponíveis.

Os sistemas silvipastoris despontam como alternativa sustentável que integra produção animal, vegetal e florestal (Anjos & Chaves, 2021). Entretanto, com a presença de árvores nesses sistemas altera o regime de luz incidente no sub-bosque, comprometendo o desempenho eficiente das gramíneas forrageiras tropicais (Coelho et al., 2014). Diante disso, a identificação e seleção de espécies forrageiras com tolerância ao sombreamento torna indispensável para garantir a viabilidade produtiva desses sistemas em longo prazo.

Diversos estudos têm avaliado o desempenho de espécies de *Paspalum* com base em critérios de produção de massa seca de forragem (Batista & Godoy, 2000; Pereira et al., 2012, 2015; Meirelles et al., 2013; Graminho et al., 2017; Machado et al.; Pezzopane et al., 2022), notadamente em ambientes controlados, como casas de vegetação ou sob estruturas artificiais de sombreamento. Essas abordagens, embora úteis para a compreensão dos mecanismos fisiológicos de resposta à luminosidade, não reproduzem com clareza as complexas interações imersas em sistemas silvipastoris. Portanto, é de crucial importância a observação do desempenho produtivo de acessos de *Paspalum* sob condições naturais de campo, predominantemente em sistemas integrados de produção com árvores, onde fatores como competição por recursos, comportamentos microclimáticos e dinâmica do dossel arbóreo influenciam diretamente a produtividade forrageira.

O presente estudo objetivou avaliar a produtividade de massa seca total (MS), percentual de folhas e as características morfológicas de quatro acessos do gênero *Paspalum* sob as condições microclimáticas de um sistema silvipastoril com uso de árvores nativas, visando identificar materiais com maior tolerância ao sombreamento e déficit hídrico.

## 2. Material e Métodos

### *2.1. Área experimental*

O experimento foi conduzido no Centro de Pesquisa de Pecuária do Sudeste (CPPSE), da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), localizado na Fazenda Canchim, São Carlos, estado de São Paulo, Brasil (21°57’42’’ S, 47°50’28’’W, 860 M snm), durante os meses de novembro de 2023 a abril de 2025 em um sistema silvipastoril (SSP) com árvores nativas. De acordo com a classificação de Köppen, o clima predominante na região é tipo Cwa, que se caracteriza pelo clima tropical de altitude, de inverno seco (de abril a setembro) com temperatura média de 19,9 °C e precipitação total de 250 mm e verão chuvoso (de outubro a março) com temperatura média de 23,0 °C e precipitação total de 1100 mm (Alvares et al. 2013).

Foram coletados os dados microclimáticos referente ao período experimental obtidos na Estação Meteorológica Automática próxima do local do experimento (Figura 1), assim como a normal climatológica dos últimos 30 anos (Figura 2). O balanço hídrico foi descrito na Figura 3 com decêndios mensais do excedente de água no solo e o déficit hídrico, seguindo o valor da capacidade de armazenamento no solo (CAD) de 100 mm.

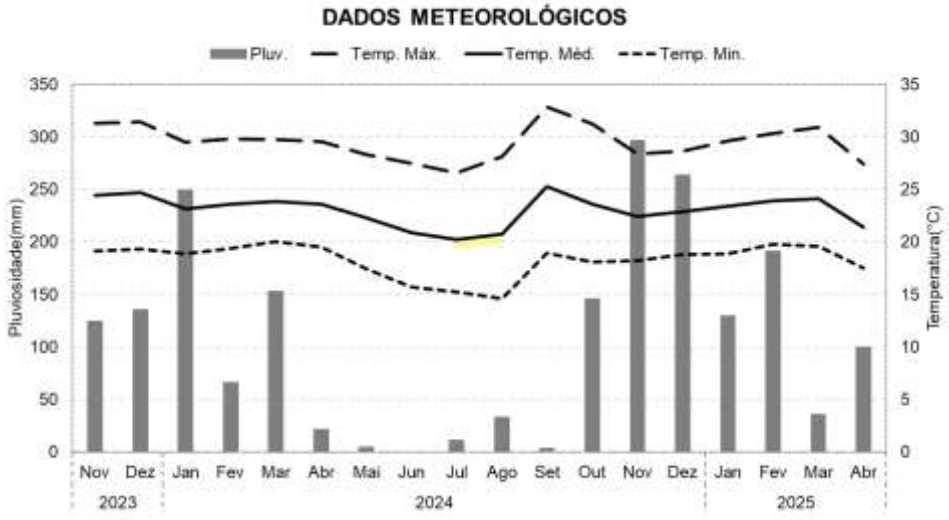



Figura 1 Médias mensais de pluviosidade (mm) e temperatura (°C) durante o período experimental (novembro de 2023 a abril de 2025).
*Fonte:* Elaboração do autor

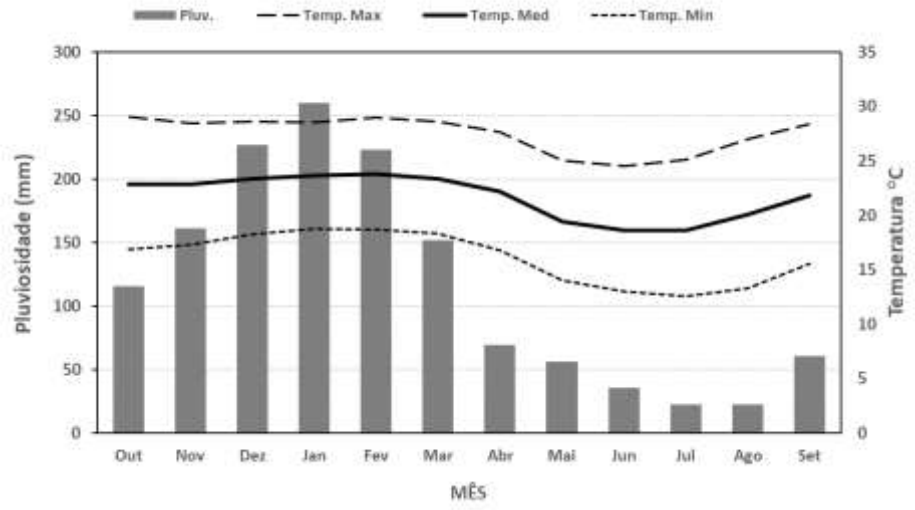



Figura 2 Médias mensais de pluviosidade (mm) e temperatura (°C). Normal climatológica (1999-2024), São Carlos-SP
*Fonte:* Elaboração do autor

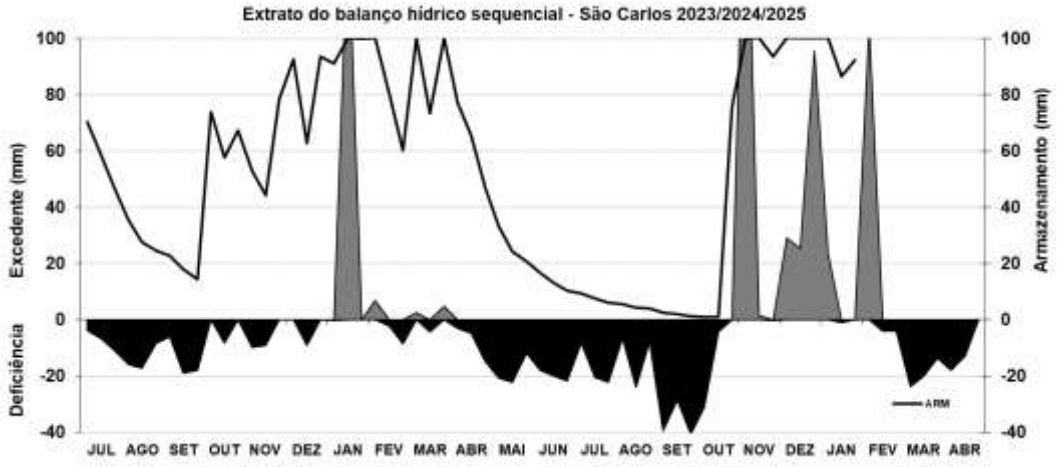



Figura 3 Balanço hídrico decendial do solo (CAD= 100), indicando excedente e déficit hídrico durante o período experimental (novembro de 2023 a abril de 2025).
*Fonte:* ROLIM et al. (1998). Elaboração do autor

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico com textura média e terreno levemente ondulado (Calderano Filho et al. 1998), apresentando as seguintes características químicas na camada de 0-20 cm: pH $CaCl_2$: 5,3; MO: 28 g dm-3; P (resina trocadora de íons): 12 mg $dm^{-3}$; Ca: 22 mmolc dm-3; Mg: 10 mmolc $dm^{-3}$; K: 1,4 mmol $dm^{-3}$; CTC: 56 mmol $dm^{-3}$ e V: 60%. Os teores de nutrientes foram corrigidos com base nas exigências das gramíneas forrageiras do gênero *Paspalum* conforme recomendação de Raij et al. (1996).

O experimento foi projetado em um SSP implantado em 2008, o qual apresentava 15 anos de idade no início das avaliações das forrageiras, realizadas em 2023. O plantio original

do sistema foi estabelecido em faixas de três fileiras de árvores, com espaçamento aproximado de 17m entre renques e 2,5m entre árvores, resultando em uma densidade inicial de 545 árvores $ha^{-1}$. As mudas das árvores nativas utilizadas foram obtidas de um viveiro local, produzidas a partir de sementes coletadas de árvores-matrizes em um raio de aproximadamente 150km da sede do viveiro, garantindo a procedência genética regional das espécies arbóreas. As espécies arbóreas foram selecionadas com base em múltiplas funções, incluindo adaptação às condições locais, crescimento rápido, capacidade de fixação de nitrogênio e potencial madeireiro (Nicodemo et al. 2010).

A fileira central foi composta pelas espécies *Anadenanthera colubrina* (angico-branco), *Peltophorum dubium* (canafístula), *Zeyheria tuberculosa* (ipê-felpudo), *Cariniana estrellensis* (jequitibá-branco) e *Piptadenia gonoacantha* (pau-jacaré). As fileiras marginais foram compostas por *Guazuma ulmifolia* (mutambo) e *Croton floribundus* (capixingui), utilizadas como espécies de apoio. Em 2016, foi realizado um desbaste com a retirada parcial das espécies de apoio, com o objetivo de reduzir o sombreamento e favorecer o crescimento das espécies madeireiras remanescentes. Esse manejo reduziu a densidade arbórea para 413 árvores $ha^{-1}$.

Para a condução do presente experimento, foi selecionada a área central do SSP, em decorrência da desativação da faixa intermediária, no qual o espaçamento entre renques foi ampliado para 22m, mantendo-se linha simples, na orientação Leste-Oeste, com uma densidade de 182 árvores $ha^{-1}$. Essa configuração composta pelas cinco espécies da fileira central definiu as condições de sombreamento e microclima sob as quais foram avaliadas as espécies de plantas forrageiras.

Os acessos de *Paspalum* foram selecionados previamente com base em um estudo anterior que avaliou três graus de sombreamento (30, 50 e 80%) e pleno sol utilizando sombrites, a fim de validar o potencial de produção e a tolerância à sombra (Pezzopane et al. 2022). Foram avaliados quatro genótipos do gênero *Paspalum*: dois pertencentes ao grupo botânico Malacophylla (*Paspalum malacophyllum* BGP-293, *Paspalum malacophyllum* BGP-486), um do grupo Plicatula (*Paspalum rojasii* BGP-149), e um do grupo Paniculata (*Paspalum maritimum* BGP-210), além da testemunha *Urochloa brizantha* cv Piatã como referência comercial (Tabela 1).

A preparação das mudas das respectivas forrageiras foi realizada em casa de vegetação nas dependências da Embrapa Pecuária Sudeste, a partir do dia 02 de outubro de 2023. Os acessos foram inicialmente semeados em bandeja sementeira de plástico, contendo substrato Carolina Garden ® (composto por turfa, vermiculita, casca de arroz carbonizada, resíduo orgânico e NPK). Foram utilizadas três sementes por célula, devido a carência de sementes

advindas do banco de germoplasma da unidade. Após a emergência e estabelecimento inicial, as mudas, passaram por aclimatação ao ambiente externo durante duas semanas, antes de serem transplantadas para área experimental que ocorreu entre os dias 21 e 22 de novembro de 2023.

A área experimental no SSP de 4096m$^2$ foi protegida com cerca eletrificada. Durante a preparação do terreno, foi realizado duas gradagens leves antes do plantio. O plantio das mudas foi realizado em covas com 10cm de profundidade. No momento do plantio foi realizada adubação nas covas utilizando 2,4 g de adubo (08-28-16) (N-$P_2O_5$-$K_2O$). Cada parcela foi constituída com cinco linhas de plantas, com separação entre linhas de 50cm e entre plantas de 20cm e área útil de 6,25m$^2$ (Figura 4). Após o desenvolvimento inicial, realizou-se o corte de uniformização em janeiro de 2024 a 15 cm do solo. E para manutenção de cobertura, após cada corte foi realizada a lanço a adubação utilizando 125g do fertilizante 20-05-20 (50kg N ha$^{-1}$, 12,5kg $P_2O_5$ ha$^{-1}$, 50kg $K_2O$ ha$^{-1}$) em cada unidade experimental.

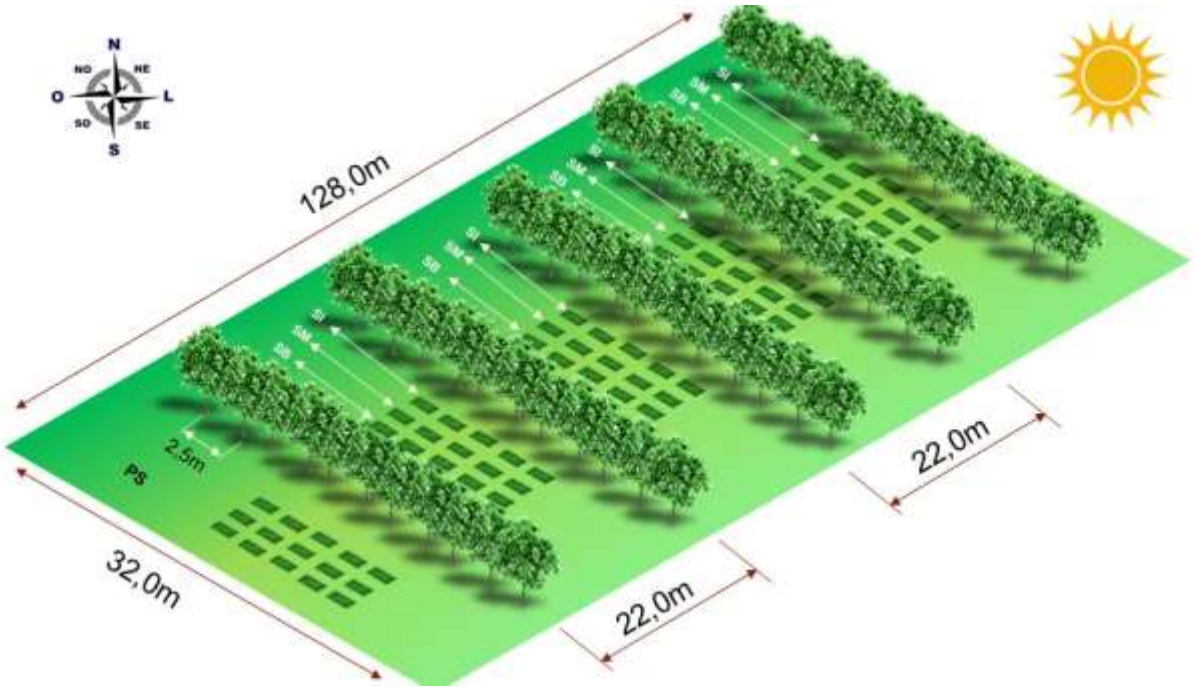



Figura 4 Área experimental do sistema silvipastoril com posições avaliadas (Pleno sol, PS; Sombra Baixa, SB; Sombra Moderada, SM e Sombra Intensa, SI).
Fonte: Elaboração do autor

*2.2. Produtividade de Massa Seca e Componentes Morfológicos*

O período experimental iniciou com o corte de uniformização aos 56 dias após a implantação das mudas, aproximadamente 15cm acima da superfície do solo. As avaliações da produção de massa forrageira foram realizadas a cada 28 dias (verão) e a cada 42 dias (inverno) durante um ano experimental. Para a coleta de massa forrageira, foram utilizadas molduras

metálicas de 0,5x1,0m (0,5m$^2$) posicionadas no centro das parcelas, toda a forrageira no interior da moldura foi cortada a uma altura de 15cm acima do nível do solo, exceto para o acesso 210, que devido ao seu porte mais baixo e hábito de crescimento estolonífero e rizomatoso foi cortado a 10cm. Antes do corte, foi realizado a altura média das lâminas foliares utilizando uma régua de PVA de 1m graduada em cm, medindo três alturas no interior do quadrado. Os cortes foram realizados com uso de um cutelo e acondicionados em sacos plásticos identificados com o número da parcela. Após cada amostragem, toda a parcela foi uniformemente cortada a 15cm, promovendo o nivelamento das plantas.

Imediatamente após a coleta, os materiais vegetais foram transportados ao laboratório de forragicultura da unidade, e pesados para a obtenção da matéria original (MO) total expressa em (kg/ha$^{-1}$). Os materiais foram então, homogeneizados e subdivididos em duas frações de aproximadamente 200g. A primeira fração foi utilizada para determinação de teor de matéria seca (MS), a segunda fração das amostras conforme os tratamentos experimentais, procedeu-se a análise da composição morfológica da forragem, com quantificação proporcional (%) dos componentes, folha, colmo, flor e material morto.

Os dados de conteúdo de MS e composição morfológica foram usados para calcular a massa total de forragem (MS), massa seca de folha (MSF), massa seca do colmo (MSC), massa de folha + colmo (MSF + C), massa de folha+colmo+inflorescência (MSF +C+F), em kg ha$^{-1}$. As lâminas foliares foram escaneadas individualmente no integrador de área foliar, modelo LI-300 (LI, COR, Lincoln, Nebraska, EUA) para obtenção da área foliar, e após esses procedimentos, as amostras foram secas em estufa com ventilação forçada a 65°C durante 72 horas até atingir peso constante. A partir do peso seco, foi calculada a produtividade de massa seca total, expressa em kg ha$^{-1}$. Assim, os dados foram agrupados por estação do ano, sendo os períodos (águas e secas) de máxima e mínima produção com base no balanço hídrico. As datas de corte e manejo da área experimental encontram-se descritos na Tabela 2.

*2.3. Aspectos ambientais*

Para caracterizar os regimes de luz, a radiação fotossinteticamente ativa (PAR, Photosynthetically Active Radiation) foi mensurada em cinco horários ao longo do dia (8h, 10h, 12h, 14h e 16h), sob condições de céu limpo a cada 30 dias durante todo o período experimental. As medições foram realizadas usando um medidor digital portátil, Ceptomer AccuPAR LP-80 LightScout® (Decagon Devices, Pullman, Washington, EUA), que registra o fluxo de fótons fotossintéticos (PPFD; μmol·m$^{-2}$·s$^{-1}$), a uma altura de 1m do solo, sendo a barra de medição L1-2200 posicionada no ponto central de cada parcela. As coletas iniciaram-se em fevereiro de

2024 e foram realizadas em todas as estações do ano até abril de 2025, tanto nas áreas sob influência de árvores, quanto em pleno sol. O objetivo foi caracterizar a variação horária da incidência luminosa no ambiente sombreado e não sombreado, utilizando a média diária como indicador comparativo entre os tratamentos (Figura 5). Desse modo, foram divididos em quatro níveis de luz, Pleno Sol (0%), Sombra baixa (40%), Sombra Meio (50%), Sombra Intensa (65%).

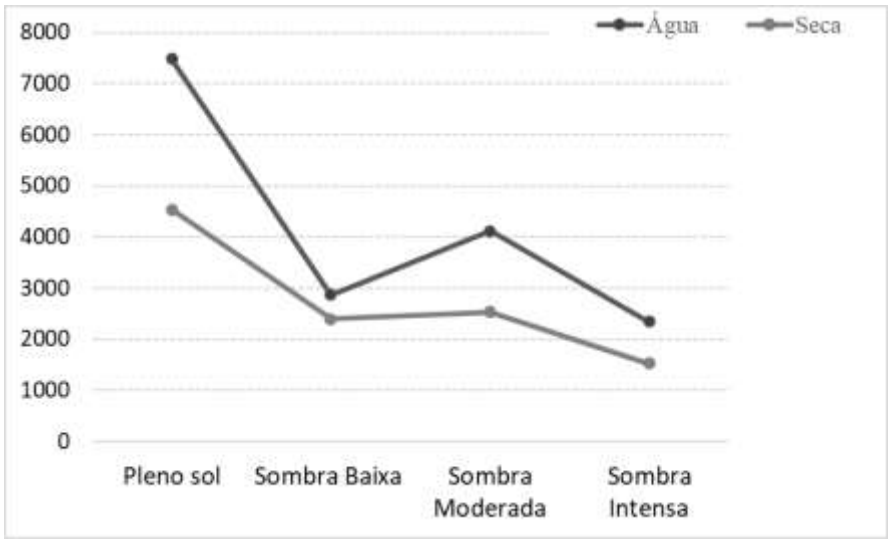



Figura 5 Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR) em sistema Silvipastoril em função do nível de sombreamento.
Fonte: Elaboração do autor

*2.4. Delineamento Experimental e Análise estatística*

O experimento foi realizado em delineamento de blocos casualizados com esquema fatorial 4x5 de medidas repetidas no tempo. Os tratamentos foram: três níveis de sombreamento (Sombra Baixa; Sombra Moderada e Sombra Intensa) e Pleno Sol e cinco espécies de plantas forrageiras, sendo quatro acessos de *Paspalum* (BGP-149, BGP-210, BGP-293, BGP-486) e, a testemunha *Urochloa brizantha* cv. Piatã) com quatro repetições, num total de 80 parcelas de 6,25 $m^2$ (Figura 4), com uma bordadura de 50cm separadas por 2m em pleno sol.

Os dados foram analisados utilizando o software SAS (SAS Institute Inc., Cary, NC, EUA), versão 9.4. A normalidade dos resíduos foi avaliada com o teste de Shapiro–Wilk (PROC UNIVARIATE) e a homoscedasticidade de variância com o teste de Levene (PROC TRANSREG). Os dados que não atenderam à suposição de normalidade foram transformados por ranks (PROC RANK). As análises foram conduzidas separadamente para cada época (Águas e Seca). Os fatores sombra e acesso e sua interação foram considerados efeitos fixos, e

bloco foi considerado efeito aleatório. A estrutura de covariância para medidas repetidas foi selecionada entre alternativas (CS, AR (1), UN, TOEP) pelo menor critério BIC. As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey (≤ 0,05) a partir de LSMEANS; quando houve interação significativa, aplicou-se análise SLICE para desdobrar efeitos.

## 3. Resultados

As condições climáticas apresentaram comportamentos marcantes durante o período experimental (Figura 1), influenciando diretamente o desenvolvimento das gramíneas forrageiras tropicais avaliadas em SSP.

Foram encontradas diferenças significativas entre nível de sombra e acessos estudados ($p$<0,0001) no entanto, não houve interação dos acessos avaliados ($P$>0,05) para grande parte das variáveis de produção (Tabela 3,4) e componentes morfológicos (5,6).

Para variável altura foram evidenciadas diferenças significativas para o nível de sombra e acesso forrageiro ($p$ <0,0001) no período das águas. Contudo, não houve interação dos fatores ($P$= 0,86), indicando que o comportamento de crescimento dos acessos manteve-se uniforme. A *Urochloa* cv. Piatã e o acesso BGP 293 apresentaram as maiores alturas médias, não diferindo estatisticamente entre si (Tabela 3). Em contraste, o acesso BGP-210, apresentou as menores alturas em todos os níveis de sombra, com redução ainda mais evidente sob Sombra Intensa.

Em relação as variáveis de produtividade MV e MS, foram observadas diferenças significativas entre os níveis de sombreamento e acessos ($p$ <0,001). Entretanto, não houve interação dos fatores ($p$ >0,05) (Tabela 3), concomitantemente a produtividade diminuiu conforme aumentou o sombreamento.

Em condições de Pleno Sol, os acessos BGP-293 e BGP-486, apresentaram maiores médias de MV. Na Sombra Baixa destacaram-se os acessos BGP-149, BGP-293 e a Piatã, comportamento que se manteve na Sombra Moderada e Intensa. Para MS, o desempenho dos acessos foi semelhante em Pleno sol, com destaque para o BGP-486. Sob Sombra Moderada e Intensa a Piatã e acesso BGP-149 apresentaram as maiores médias de produtividade.

Os componentes de massa seca da folha (MSF), massa seca do colmo (MSC), massa seca do colmo e folha (MSF+C), e massa seca do colmo e inflorescência (MSF+C+FL) apresentaram diferença significativa entre os níveis de sombreamento e acessos ($p$<0,001) no período das águas e secas (Tabela 3,4). No entanto, para MSF apresentou interação dos níveis de sombra e acessos ($p$ < 0,05) (Tabela 4) durante a estação seca. No período chuvoso (Tabela 3) em Pleno sol, o acesso BGP-486 apresentou os maiores valores de MSC, seguido por BGP-

293 e Piatã, enquanto BGP-149 apresentou o menor acúmulo de colmo nessa condição. Na Sombra Baixa, houve redução da variabilidade entre os acessos, com valores semelhantes entre Piatã, BGP-293, BGP-210 e BGP-486. Entretanto, na Sombra Moderada o acesso BGP-293 e a Piatã demonstraram desempenho superior, enquanto sob Sombra Intensa, todos os acessos apresentaram reduções expressivas, sem diferenças marcantes.

Os teores de matéria seca (MS), folha (FO), colmo (COL), material morto (MM) e inflorescência (FL) apresentaram diferenças entre nível de luz e acesso (<0,0001) (Tabela 5). Entretanto, o teor de MS não demonstrou um padrão consistente de variação entre os níveis de sombra. No Pleno Sol, o acesso BGP-293 apresentou maior percentual de COL, enquanto o BGP-210 destacou-se com maior proporção de FL. Na condição de Sombra Baixa, a Piatã e os acessos BGP-210 e BGP-486 mantiveram proporções intermediárias de FO e COL, enquanto o BGP-293 apresentou maior proporção de FO. De forma consistente entre os níveis de luz, o acesso BGP-149 se destacou pelos maiores teores de FO, principalmente sob Sombra Intensa. Em contraste observou-se aumento de MM na Sombra Intensa para os acessos BGP-293 e BGP-210.

Para a variável índice de área foliar (IAF) houve diferença significava entre níveis de sombra (<0,0001) (Tabela 6). Os maiores valores foram observados em Pleno Sol, com destaque para os acessos BGP-210 e BGP-486, seguido pela Piatã e o acesso BGP-149. À medida que o sombreamento aumentou, houve redução de IAF para todos os acessos.

## 4. Discussão

A disponibilidade de  luz no dossel forrageiro em um sistema silvipastoril, não possui homogeneidade, portanto estes estão sujeitos a diferentes níveis de sombreamento ao longo do seu desenvolvimento (Valladares; Niinemets, 2008). Nesse sentindo, este estudo forneceu dados interessantes sobre tolerância de espécies de *Paspalum* sob condições de baixa incidência luminosa.

Durante o período experimental, os padrões de precipitação e temperatura (Figura 1), foram instáveis. Observou-se um prolongado déficit hídrico e variações acentuadas de temperatura mesmo próximo ao período das águas. Apesar disso, os acessos de *Paspalum* demonstraram tolerância à baixa luminosidade e mantiveram o desenvolvimento, sugerindo alta plasticidade fenotípica, que é a habilidade de um genótipo em alterar as características morfológicas em resposta às condições ambientais (Sultan, 2010). Evidencia-se que o crescimento não foi impedido, mas sim regulado por mecanismos de aclimatação, fundamental

para o estabelecimento e persistência das espécies avaliadas (Glison et al., 2021; Vasellati et al., 2001).

A variável altura do dossel mostrou uniformidade em todos os acessos e nível de sombreamento. O aumento ou diminuição da altura foi mais dependente do potencial de cada acesso do que adaptação específica a um nível de sombra. A cv. Piatã e o acesso BGP-293 apresentaram maiores alturas médias, sugerindo maior capacidade de alongamento do colmo e interceptação luminosa em condições de Pleno Sol e sombreamento Baixo à Moderado. Os acessos BGP-210 e BGP-149 tiveram as menores alturas em todos os níveis, e com maior redução em Sombra Intensa, associado ao hábito de crescimento. O acesso BGP-210 demonstrou menos plasticidade, principalmente na época de poucos recursos como água e temperatura.

Morfologicamente o acesso BGP-149 exibiu folhas arqueadas e longas bainhas foliares que protegem o colmo curto que refletiu na menor altura do dossel e arquitetura mais horizontal. Embora estudos mostrem que a arquitetura de folhas mais verticais em pastagens em pleno sol favoreça a distribuição de luz no dossel resultando numa maior produtividade de matéria seca (Cartmill e Donaghy 2024), a arquitetura mais horizontal maximiza a superfície de interceptação para a luz difusa e fraca (Ventre_Lespiaucq et al. 2017) de um ambiente silvipastoril.

Coradini et al. (2023), ao estudarem respostas de 14 acessos de *Paspalum* em sombreamento artificial destacou espécies de *Paspalum malacophyllum, P. dilatatum, P. regnellii*, quando foram submetidos ao nível de mais 56% de sombra tiveram maior alongamento do colmo. Em contraste, nesse estudo as plantas mantiveram sua arquitetura, mesmo em condições de Sombra Intensa, com 35% de luz disponível.

A produção de massa verde e massa seca foram significativamente maiores nas condições de Pleno Sol do que nas condições de sombreamento, em concordância com o trabalho de Oliveira et al. (2020) que ao avaliaram a produção de massa seca de forragem de *Andropogon gayanus* em ambiente sombreado e não sombreado, observaram valores elevados de massa forrageira em ambientes não sombreados. Esta redução de produtividade é esperada devido à limitação da radiação fotossinteticamente ativa em condições de sombra, o que restringe a fonte de energia para a fotossíntese. No presente estudo, constatou-se em Pleno Sol, que os acessos BGP-293 e BGP-486 apresentaram maiores produtividades de MV (6022; 5815,82 kg $ha^{-1}$), porém com redução de 32 e 25% em Sombra nível Moderado, respectivamente. Esse desempenho se manteve na Sombra Baixa e Moderada, com inclusão do

acesso BGP-149 e a cv. Piatã. Esse resultado sugere que essas plantas possuem maior estabilidade frente a redução parcial de luz.

Para a produtividade de massa seca, o comportamento foi semelhante, com maiores valores em Pleno sol, e redução conforme o aumento do sombreamento. O acesso BGP-486 destacou-se em condições de alta luminosidade, enquanto a Piatã e o BGP-149 apresentaram melhor desempenho em níveis elevados de sombra (Moderada, 50% e Intensa, 65%). Evidentemente, plantas com mecanismo fotossintético $C_4$ quando submetidas ao sombreamento intenso podem apresentar reduções na fotossíntese e na produtividade (Paciullo et al. 2007; Da Silva et al. 2020; Pereira et al. 2021; Llanos et al. 2025).

Respostas positivas das características de produtividade das gramíneas nativas para MSF foram observadas entre os acessos BGP-149, BGP-293 e BGP-486, com destaque para a condição de Pleno Sol, mas com grande redução sob Sombra Baixa e Intensa. Pezzopane et al. (2022), ao avaliar espécies de *P. malacophyllum* e *P. rojasii*, em casa de vegetação também destacaram boas produtividades de folhas desses acessos, mesmo em condições de 30 a 60% de intensidade de luz. Para este estudo, o resultado foi obtido no período seco, portanto, não apenas o microclima promovido pelas árvores influenciou a produção, como também o déficit hídrico.

Em contrapartida, o BGP-486 apresentou maior acúmulo de MSC em Pleno Sol, seguido por BGP-293 e Piatã, indicando maior desenvolvimento de estruturas de sustentação nessa condição. Por outro lado, o BGP-149 apresentou, menor produção de colmo em Pleno Sol, mostrando características menos dependentes de alongamento. Esse comportamento pode ser explicado pela morfologia do BGP-149 (*P. rojasii)*, que apresenta hábito de crescimento cespitoso e lâminas foliares estreitas na base e mais largas no ápice (Oliveira e Valls 2009).

Com o aumento do sombreamento, os acessos BGP-293 e BGP-486 apresentaram redução expressiva na produção de MSC, principalmente acima de 65% de sombra, mantendo, porém, a produção de massa foliar. Essa característica é positiva para produção animal em ambientes integrados, pois maior proporção de folhas favorece a apreensão e o consumo durante o pastejo (Geremia et al. 2018).

O SSP apresentou acessos com maiores proporções de FO, COL, MM e FL, demonstrando comportamentos distintos sob os níveis de sombreamento. O acesso BGP-149 manteve maiores teores de FO, mesmo sob Sombra Intensa, revelando um mecanismo adaptativo mesmo com taxas fotossintéticas baixas. Embora não tenham sido encontrados estudos específicos com *P. maritimum*, respostas semelhantes foram relatadas em *Urochloa decumbens* sob condições de sombreamento (Paciullo et al. 2021).

Estes autores ao compararem um SSP com pastagem aberta, observaram maior proporção de folhas, associada a um menor percentual de material morto no SSP, e relacionado com melhor valor nutricional da forragem. Por outro lado, os acessos BGP-293 e BGP-210, apresentaram aumento do teor de MM sob Sombra Intensa, possivelmente pela redução na taxa de renovação das folhas, que intensificou a senescência dos acessos. Esse comportamento foi descrito por Monteiro et al. (2024), em que forrageiras demonstram menor vigor e maior perda de tecido funcional quando expostas ao longo do tempo em ambientes com baixo índice luminoso.

Visto que em Sistemas Integrados de Produção a disponibilidade de luz solar para as gramíneas forrageiras é reduzida, as alterações no dossel também dependem do índice de área foliar (Baldassini et al. 2018). Segundo Lista et al. (2019) os parâmetros de IAF mudam de acordo com a intensidade de luz, e com aumento na produção de forragem, porém em taxas decrescentes.

No período seco, os acessos BGP-293, BGP-149 e a Piatã apresentaram os maiores valores de IAF em Pleno Sol (Tabela 6), o que está associado à maior produtividade de MSF observada nessas condições. Em contraste, ocorreu intensa redução do IAF sob Sombra Baixa, Moderada e Intensa. Este comportamento indica estresse fisiológico, no qual a planta prioriza a senescência foliar como estratégia de conservação de recursos e água, resultando em baixo IAF (Soares-Cordeiro et al. 2009).

Bosi et al. (2014) avaliando a produtividade de *Urochloa decumbens* sob pastejo em sistema silvipastoril, também observaram que, durante o período seco, o sombreamento teve menor influência de IAF, sugerindo que a limitação hídrica se torna principal fator determinante da resposta forrageira, independentemente da disponibilidade de luz. Entretanto, reafirma, que a implementação de SSP está intrinsicamente associada com a escolha da espécie forrageira (Dzib-Castillo et al. 2025).

A análise integrada dos parâmetros avaliados demonstrou que os acessos de *Paspalum* exibiram alta plasticidade fenotípica para enfrentar a combinação de sombreamento e déficit hídrico no ano avaliado. A cultivar Piatã (controle), apesar de apresentar bom desempenho em Pleno Sol, mostrou valores muito baixos na condição mais crítica (Sombra Intensa no período seco). Em contraste, os acessos de *Paspalum* apresentaram desempenho superior. O acesso BGP-293 destacou-se com maior potencial produtivo a Pleno Sol, enquanto o acesso BGP-149 demonstrou a melhor resiliência produtiva sob estresse, superando a cv. Piatã em aproximadamente 58%. Além disso, o BGP-149 manteve maior alocação de biomassa para folhas, indicando que combina tolerância ao sombreamento com manutenção da qualidade da

forragem. Morfologicamente, o BGP-149 apresentou arquitetura mais baixa, folhas arqueadas que otimizam a interceptação de luz difusa e bainhas longas que protegem um colmo curto, reduzindo o investimento em tecidos de sustentação lignificados.

Contudo, as plantas forrageiras mostraram capacidade de aclimatação aos gradientes de luz no SSP, mantendo produção e estrutura mesmo sob sombreamento intenso. O sistema, por ser estabelecido com árvores nativas, apresentou sombreamento heterogêneo e microclima variável, evidenciando complexidade nas avaliações de campo. Esses resultados indicam o potencial de acessos nativos para uso em sistemas silvipastoril, embora seja necessário a continuidade das avaliações, incluindo análise bromatológica e repetição em outros anos para confirmar a estabilidade produtiva desses acessos.

## 5. Conclusões

Conclui-se que o acesso BGP-149 possui as características morfológicas e produtivas mais favoráveis no ano estudado, superando o controle Piatã, para a estabilidade e sustentabilidade em um sistema silvipastoril com uso de árvores nativas.

## Referências

Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, De Moraes GJL, Sparovek G (2013) Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, *22*(6), 711–728. https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507

Batista, LAR, Godoy R (2000) Caracterização preliminar e seleção de germoplasma do gênero *Paspalum* para produção de forragem. Revista Brasileira de Zootecnia, 29(1), 23–32. https://doi.org/10.1590/S1516-35982000000100004

Baldassini P., Despósito C, Piñeiro G, Paruelo JM (2018) Silvopastoral systems of the Chaco forests: Effects of trees on grass growth. *Journal of Arid Environments*, *156*, 87–95. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2018.05.008

Bernath Plaisted JS, Ribic CA, Hills WB, Townsend, PA, Zuckerberg B (2023) Microclimate complexity in temperate grasslands: Implications for conservation and management under climate change. *Environmental Research Letters*, *18*(6), 064023. https://doi.org/10.1088/1748-9326/acd4d3

Bosi C, Pezzopane JRM, Sentelhas PC, Santos PM, Nicodemo MLF (2014) Produtividade e características biométricas do capim-braquiária em sistema silvipastoril. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, *49*, 449–456. https://doi.org/10.1590/S0100-204X2014000600006

Calderano Filho B, dos Santos HG, Da Fonseca OOM, dos Santos RD, Primavesi O, Primavesi AC (1998) Os solos da Fazenda Canchim, Centro de Pesquisa de Pecuária do Sudeste, São Carlos, SP: Levantamento semidetalhado, propriedades e potenciais. Embrapa Pecuária Sudeste. http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/335880

Cartmill AD, Donaghy DJ (2024) Pasture Performance: Perspectives on Plant Persistence and Renewal in New Zealand Dairy Systems. *Agronomy*, 14, 1673. https://doi.org/ 10.3390/agronomy14081673

Coelho JS, Araújo SAC, Viana MCM, Villela SDJ, Freire FM, Braz TGS (2014) Morfofisiologia e valor nutritivo do capim-braquiária em sistema silvipastoril com diferentes arranjos espaciais. Semina: Ciências Agrárias, 35(3), 1487–1500. https://doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n3p1487

Da Silva SC, Sbrissia AF, Pereira LET (2015) Ecophysiology of C4 Forage Grasses—Understanding Plant Growth for Optimising Their Use and Management. *Agriculture*, *5*(3), 598–625. https://doi.org/10.3390/agriculture5030598

De Oliveira GL, de Oliveira ME, de Oliveira Macêdo E, Andrade AC, Edvan RL (2020) Effect of shading and canopy height on pasture of *Andropogon gayanus* in silvopastoral system. *Agroforestry Systems*, *94*(3), 953–962. https://doi.org/10.1007/s10457-019-00458-5

Dos Anjos AJ, Chaves CS (2021) Características do componente forrageiro em sistemas silvipastoris. Scientific Electronic Archives, 14(3), 53–64. https://doi.org/10.36560/14320211239

Dzib-Castillo BB, Casanova-Lugo F, Pozo-Leyva D, Costa RLD, Macario-González L, Gimenes FMA, Lara-Pérez LA, Chay-Canul AJ (2025) Productivity and nutritional quality of pastures in a silvopastoral system under two harvest intervals in southeastern Mexico. *Agroforestry Systems*, *99*(6), 137. https://doi.org/10.1007/s10457-025-01235-3

Glison N, Batlla D, González Barrios P, Viega L, Saldanha S, Musacchio EM, Rush P, Speranza PR (2021) Modelling seedling emergence in Paspalum species using environmental data from field experiments. *Grass and Forage Science*, *76*(3), 363–377. https://doi.org/10.1111/gfs.12515

Geremia, EV, Crestani S, Mascheroni JDC, Carnevalli, RA, Mourão GB, Silva SC (2018) Sward structure and herbage intake of *Brachiaria brizantha* cv. Piatã in a crop-livestock-forestry integration area. Livestock Science, 212, 83-92. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.03.020

Lista FN, Deminicis BB, Almeida JCC, Araujo SAC, Zanella PG (2019) Forage production and quality of tropical forage legumes submitted to shading. *Ciência Rural*, *49*, e20170726. https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20170726

Llanos PN, Gonzalez CM, Fedrigo JK, Benitez V, Viñoles C (2025) Early-stage Eucalyptus-based silvopastures improve thermal comfort conditions for cattle grazing native grasslands during summer. *Agroforestry Systems*, *99*(8), 255. https://doi.org/10.1007/s10457-025-01347-w

Machado JM, da Motta EAM, Barbosa MR, Weiler RL, Simioni C, Silveira DC, Mills A, Pereira EA, Dall'Agnol M (2021) Multivariate analysis reveals genetic diversity in Paspalum notatum Flügge. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 50, e20200252. https://doi.org/10.37496/rbz5020200252

Meirelles PRL, Batista LAR, Costa C, da Silva MGB, Factori MA, da Silveira JPF, Cavasano FA (2013) Germoplasma do gênero *Paspalum* com potencial para produção de forragem. *Bioscience Journal*, 29(1), 1587–1595.

Monteiro A, Gomes FJ, Mota LG, Motta LJM, Barros LV, Silva FG, Cabral CHA, Cabral CEA (2024). Silvopastoral system with high-density of trees accelerates degradation of tropical grass. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, *25*, e20230006. https://doi.org/10.1590/S1519-994020230006

Novo PE, Valls JFM, Galdeano F, Honfi AI, Espinoza F, Quarin, CL (2016) Interspecific hybrids between *Paspalum* plicatulum and P. oteroi: A key tool for forage breeding. Scientia Agricola, 73(4), 356–362. https://doi.org/10.1590/0103-9016-2015-0218

De Oliveira RC, Valls JFM (2009) Duas novas espécies de *Paspalum* L. (Poaceae: Paniceae) do Brasil. *Brazilian Journal of Botany*, *32*, 89–94. https://doi.org/10.1590/S0100-84042009000100009

Paciullo DSC, Carvalho CAB, Aroeira LJM, Morenz MJF, Lopes FCF, Rossiello ROP (2007) Morfofisiologia e valor nutritivo do capim-braquiária sob sombreamento natural e a sol pleno. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, *42*, 573–579. https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007000400016

Paciullo DSC, Fernandes PB, Carvalho CAB, Morenz MJF, Lima MA, Maurício RM, Gomide CAM (2021) Pasture and animal production in silvopastoral and open pasture systems managed with crossbred dairy heifers. *Livestock Science*, *245*, 104426. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104426

Pereira EA, Barros T, Volkmann GK, Battisti GK, da Silva JAG, Simioni C, Dall'Agnol M (2012) Variabilidade genética de caracteres forrageiros em *Paspalum.* Pesquisa Agropecuária Brasileira, 47(10), 1533–1540. https://doi.org/10.1590/S0100-204X2012001000017

Pereira EA, Dall'Agnol M, Schneider R, Weiler RL, Kuhn NJI, Simioni C, Mazurkievicz, G, da Silva, JAG (2015) Adaptabilidade e estabilidade em genótipos apomíticos do gênero *Paspalum*. Ciência Rural, 45(8), 1361–1367. https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20130102

Pezzopane JRM, Bosi C, Brunetti HB, Santos PM, da Matta P.F, Cavallari MM, (2022, dezembro) Seleção de acesso de *Paspalum* spp. para tolerância ao sombreamento. https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1150932/1/BOLETIM-55. Acessado em 28 de junho de 2025.

Raij B.V, Cantarella H, Quaggio JA, Furlani AMC, (Eds.) Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2.ed. Campinas: Instituto Agronômico & Fundação IAC, 1996. 285p. (Boletim técnico, 100).

Rolim GS, Sentelhas PC, Barbieri V (1998) Planilhas no ambiente EXCEL TM para os cálculos de balanços hídricos: Normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 6(1), 133–137.

Soares-Cordeiro AS, Carmo-Silva AE, Da Silva AB, Da Silva JM, Keys AJ, Arrabaça MC (2009) Effects of rapidly imposed water deficit on photosynthetic parameters of three $C_4$ grasses. *Photosynthetica*, *47*(2), 304–308. https://doi.org/10.1007/s11099-009-0047y

Steiner MG, Dall'agnol M, Nabinger C, Scheffer-Basso SM, Weiler RL, Simioni C, Schifino-Wittmann MT, Motta ÉMD (2017) Forage potential of native ecotypes of *Paspalum* notatum and P. guenoarum. Anais Da Academia Brasileira de Ciências, 89(3), 1753–1760. https://doi.org/10.1590/0001-3765201720160662

Sultan SE Plant developmental responses to the environment: eco-devo insights. Curr Opin Plant Biol. 2010 Feb;13(1):96-101. https://doi.org/10.1016/j.pbi.2009.09.021.

Valladares F, Niinemets Ü (2008) Shade Tolerance, a Key Plant Feature of Complex Nature and Consequences. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, *39*(39), 237–257. https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.39.110707.173506

Vasellati V, Oesterheld M, Medan D, Loreti J (2001) Effects of Flooding and Drought on the Anatomy of *Paspalum* dilatatum. *Annals of Botany*, *88*(3), 355–360. https://doi.org/10.1006/anbo.2001.1469

Ventre-Lespiaucq A, Flanagan NS, Ospina-Calderón NH, Delgado JA, Escudero A (2018) Midday Depression vs. Midday Peak in DiurnalLight Interception: ContrastingPatterns at Crown and Leaf Scales in a Tropical Evergreen Tree. *Frontiers Plant Science*, 9, 727. https://doi.org/ 10.3389/fpls.2018.00727

Tabela 1 Identificação, grupo botânico e origem dos acessos de *Paspalum* e da cultivar comercial utilizada para o experimento.

| Espécies | Grupo Botânico | Local de coleta | Código (BGP) |
|---|---|---|---|
| *Paspalum rojasii* Hack. | Plicatula | Dourados- MS | 149 |
| *Paspalum maritimum* Trin. | Paniculata | Oiapoque- AP | 210 |
| *Paspalum malacophyllum* Trin. | Malacophylla | Japorã- MS | 293 |
| *Paspalum* malacophyllum Trin. | Malacophylla | Ponta Porã- MS | 486 |
| *Urochloa brizantha* cv. Piatã | - | Faz. Sucupira- DF | Piatã |

*BGP: banco de germoplasma de Paspalum.

Tabela 2 Datas de cortes e manejos do sistema silvipastoril com quatro acessos de *Paspalum*.

| Atividade | Data |
|---|---|
| Plantio | nov/23 |
| Uniformização | jan/24 |
| 1° corte | fev/24 |
| 2° corte | mar/24 |
| 3° corte | abr/24 |
| 4° corte | jun/24 |
| 5° corte | jul/24 |
| Uniformização | ago/24 |
| 6° corte | set/24 |
| 7° corte | nov/24 |
| 8° corte | dez/24 |
| 9° corte | jan/25 |
| 10° corte | fev/25 |
| 11° corte | mar/25 |
| 12° corte | abr/25 |

Tabela 3 Desdobramento dos componentes de produtividade (MV e MS) e estruturais (Altura, MSF, MSC, MSF+C e MSF+C+FL) dos acessos de *Paspalum* sob níveis de sombreamento na época das águas.

| Época | Nível de sombra | Acesso | Altura | MV | MS | MSF | MSC | MSF+C | MSF+C+FL |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | cm | Kg.ha$^{-1}$ | Kg.ha$^{-1}$ | Kg.ha$^{-1}$ | Kg.ha$^{-1}$ | Kg.ha$^{-1}$ | Kg.ha$^{-1}$ |
| | | 149 | 36,73 bcd | 5123,00 | 977,51 | 942,50 | 87,25 hefg | 914,55 | 952,13 |
| | | 293 | 46,73a | 6022,00 | 1037,30 | 779,82 | 288,42ab | 1024,33 | 1015,35 |
| | Pleno Sol | 210 | 35,17cd | 5552,34 | 1105,72 | 714,38 | 191,31bcd | 905,70 | 1081,57 |
| | | 486 | 45,97ab | 5815,82 | 1100,18 | 727,02 | 300,51a | 1060,70 | 1072,10 |
| | | Piatã | 46,95a | 5058,88 | 1096,55 | 862,40 | 225,35abc | 1079,89 | 1084,23 |
| | | 149 | 30,42de | 1527,83 | 315,18 | 279,16 | 32,90h | 306,98 | 309,04 |
| | | 293 | 36,85bcd | 1900,69 | 371,51 | 241,89 | 106,57hefdg | 358,09 | 359,09 |
| | Baixo | 210 | 22,94ef | 1462,87 | 319,34 | 217,22 | 65,70hfg | 299,82 | 308,98 |
| | | 486 | 35,39cd | 1465,67 | 299,78 | 190,91 | 91,91hefg | 282,82 | 283,38 |
| | | Piatã | 36,48cd | 1742,28 | 364,02 | 258,65 | 95,20hefg | 353,85 | 355,91 |
| Águas | | | | | | | | | |
| | | 149 | 30,66de | 2187,56 | 443,98 | 385,62 | 50,42hfg | 436,04 | 436,04 |
| | | 293 | 39,70abc | 2519,44 | 519,48 | 314,17 | 169,97cde | 493,56 | 496,99 |
| | Moderado | 210 | 24,82ef | 1795,12 | 345,62 | 272,41 | 68,64hfg | 309,47 | 337,19 |
| | | 486 | 37,52bcd | 2415,28 | 470,79 | 311,37 | 149,27ecdf | 470,39 | 477,71 |
| | | Piatã | 41,00abc | 2624,61 | 541,47 | 383,61 | 123,81efdg | 494,18 | 518,77 |
| | | 149 | 29,78de | 1769,28 | 378,88 | 321,57 | 47,21hg | 368,78 | 372,26 |
| | | 293 | 34,71cd | 1538,94 | 279,20 | 190,48 | 92,46hefg | 266,67 | 266,77 |
| | Intenso | 210 | 21,07ef | 1095,06 | 200,93 | 140,03 | 38,84hg | 178,87 | 194,22 |
| | | 486 | 34,59cd | 1373,33 | 262,11 | 193,95 | 73,53hfg | 252,46 | 253,18 |
| | | Piatã | 36,95bcd | 1583,66 | 324,56 | 214,90 | 83,39hfg | 298,29 | 298,29 |
| P | <0,0001 | <0,0001 | 0,86 | 0,54 | 0,28 | 0,86 | 0,001 | 0,46 | 0,26 |
| EPM* | | | 1,91 | 328,71 | 61,47 | 47,16 | 20,04 | 62,23 | 59,35 |

Médias seguidas das mesmas letras nas colunas, não diferem pelo teste de tukey (P < 0,05).

Abreviaturas: MV: massa verde; MS: massa seca; MSF: massa seca da folha; MSF+C: massa seca da folha e colmo; MSF+C+FL: massa seca do colmo, folha e inflorescência.

*EPM: erro médio padrão

Tabela 4 Desdobramento dos componentes de produtividade (MV e MS) e estruturais (Altura, MSF, MSC, MSF+C e MSF+C+FL) dos acessos de *Paspalum* sob níveis de sombreamento na Época de Secas.

| Época | Nível de sombra | Acesso | Altura | MV | MS | MSF | MSC | MSF+C | MSF+C+FL |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | cm | kg.ha$^{-1}$ | kg.ha$^{-1}$ | kg.ha$^{-1}$ | kg.ha$^{-1}$ | kg.ha$^{-1}$ | kg.ha$^{-1}$ |
| | | 149 | 21,06 | 638,67 | 182,81 | 169,85a | 0,10 | 169,85a | 169,85 |
| | | 293 | 28,61 | 621,67 | 198,17 | 151,32a | 22,13a | 173,45a | 173,45 |
| | Pleno Sol | 210 | 21,67 | 330,67 | 90,62 | 53,57b | 16,15ab | 69,72bc | 69,72 |
| | | 486 | 23,89 | 489,33 | 145,35 | 122,65a | 16,30ab | 138,95ab | 138,95 |
| | | Piatã | 25,55 | 513,00 | 157,04 | 137,18a | 12,26abc | 149,44a | 149,44 |
| | | 149 | 14,00 | 70,50 | 25,01 | 21,76b | 0,10 | 21,77c | 21,76 |
| | | 293 | 15,38 | 32,75 | 8,94 | 5,21b | 0,10 | 5,21c | 5,21 |
| | Baixo | 210 | 10,08 | 33,50 | 2,53 | 1,81b | 0,52c | 2,33c | 2,33 |
| | | 486 | 14,67 | 20,50 | 5,75 | 5,50b | 0,25c | 5,75c | 5,57 |
| | | Piatã | 16,33 | 48,00 | 17,22 | 13,72b | 2,50bc | 16,23c | 16,22 |
| Secas | | | | | | | | | |
| | | 149 | 13,25 | 55,50 | 17,75 | 15,39b | 0,25c | 15,64c | 17,87 |
| | | 293 | 15,62 | 49,00 | 12,25 | 10,75b | 1,25bc | 12,00c | 12,00 |
| | Moderado | 210 | 9,58 | 47,00 | 8,25 | 4,450b | 1,75bc | 6,25c | 6,25 |
| | | 486 | 13,46 | 35,50 | 12,00 | 8,50b | 0,50c | 9,00c | 9,00 |
| | | Piatã | 15,88 | 56,75 | 17,56 | 14,45b | 1,00c | 15,45c | 15,45 |
| | | 149 | 14,46 | 36,50 | 13,06 | 11,58b | 0,50c | 12,06c | 12,06 |
| | | 293 | 14,13 | 13,50 | 5,50 | 3,50b | 0,75c | 4,25c | 4,26 |
| | Intenso | 210 | 9,59 | 3,75 | 1,39 | 0,69b | 0,00 | 0,693c | 0,69 |
| | | 486 | 13,63 | 18,50 | 6,25 | 4,75b | 0,50c | 5,251c | 5,25 |
| | | Piatã | 15,83 | 23,00 | 8,25 | 7,00b | 0,50c | 7,50c | 7,50 |
| P | <000,1 | <000,1 | 0,53 | 0,22 | 0,16 | 0,007 | 0,05 | 0,06 | 0,06 |
| EPM* | | | 1,41 | 57,73 | 2,66 | 13,16 | 3,1 | 14,79 | 4,83 |

Médias seguidas das mesmas letras nas colunas, não diferem pelo teste de tukey (P < 0,05).

Abreviaturas: MV: massa verde; MS: massa seca; MSF: massa seca da folha; MSF+C: massa seca da folha e colmo; MSF+C+FL: massa seca do colmo, folha e inflorescência.

*EPM: Erro Padrão Médio

Tabela 5 Índice de Área Foliar (IAF), percentual de Matéria Seca (%MS), e composição Morfológica (%FO, COL, MM, FL) dos acessos de *Paspalum* sob níveis de sombreamento na Época de Águas.

| Época | Nível de sombra | Acesso | IAF | MS | FO | COL | MM | FL |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $m^2/m^2$ | % | % | % | % | % |
| | | 149 | 1,52 | 20,73ab | 87,57a | 6,92 | 2,08b | 1,30ced |
| | | 293 | 1,59 | 21,25a | 66,21bc | 28,65 | 2,55b | 2,58b |
| | Pleno Sol | 210 | 1,05 | 20,66ab | 65,90bc | 16,17 | 2,74b | 13,21a |
| | | 486 | 1,35 | 20,62ab | 65,32bc | 30,28 | 3,64b | 0,76ed |
| | | Piatã | 1,51 | 22,76a | 75,97b | 22,29 | 1,37b | 0,37ed |
| | | 149 | 0,40 | 21,36a | 91,34a | 6,23 | 1,85b | 0,58ed |
| | | 293 | 0,51 | 21,72a | 73,68b | 22,61 | 3,38b | 0,33e |
| | Baixo | 210 | 0,52 | 20,13ab | 70,07bc | 18,28 | 3,80b | 3,64bcd |
| | | 486 | 0,39 | 22,97a | 67,60bc | 22,89 | 9,45a | 0,06e |
| | | Piatã | 0,54 | 20,85a | 73,21bc | 22,62 | 3,45b | 0,72ed |
| Águas | | | | | | | | |
| | | 149 | 0,57 | 20,60ab | 87,15a | 9,95 | 2,90b | 0,00 |
| | | 293 | 0,64 | 22,07a | 63,59c | 30,92 | 4,81b | 0,68ed |
| | Moderado | 210 | 0,58 | 16,75b | 74,33b | 15,43 | 2,68b | 3,64b |
| | | 486 | 0,68 | 21,18a | 67,39bc | 27,29 | 3,64b | 1,68bced |
| | | Piatã | 0,69 | 21,85a | 72,01bc | 20,83 | 3,47b | 0,46ed |
| | | 149 | 0,48 | 22,98a | 87,39a | 9,28 | 2,36b | 0,72ed |
| | | 293 | 0,40 | 21,72a | 65,38bc | 26,52 | 5,44ab | 0,02e |
| | Intenso | 210 | 0,33 | 20,47ab | 73,44b | 16,31 | 5,71ab | 2,59bcd |
| | | 486 | 0,41 | 21,12a | 70,98bc | 23,71 | 4,97b | 0,34e |
| | | Piatã | 0,51 | 22,58a | 70,54bc | 21,64 | 4,96b | 0,00 |
| P | <0,0001 | 0,011 | 0,071 | 0,28 | 0,03 | 0,061 | 0,01 | <0,01 |
| EPM* | | | 0,09 | 0,8 | 2,92 | 2,04 | 0,99 | 0,5 |

Médias seguidas das mesmas letras nas colunas, não diferem pelo teste de tukey (P < 0,05).

Abreviaturas: IAF: índice de área foliar; MS: matéria seca; FO: folha; COL: colmo; MM: material morto; FL: Inflorescência

*EPM: Erro Padrão Médio

Tabela 6 Índice de Área Foliar (IAF), percentual de Matéria Seca (%MS), e composição Morfológica (%FO, COL, MM, FL) dos acessos de *Paspalum* sob níveis de sombreamento na Época de Secas.

| Época | Nível de sombra | Acesso | IAF | MS | FO | COL | MM | FLOR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $m^2/m^2$ | % | % | % | % | % |
| | | 149 | 0.14a | 35.22abc | 92,79 | 0,01 | 7,22 | - |
| | | 293 | 0.20a | 32.96abc | 79,94 | 8,83 | 11,24 | - |
| | Pleno Sol | 210 | 0.06b | 32.40abc | 68,40 | 10,09 | 21,52 | - |
| | | 486 | 0.18a | 29.60bc | 86,82 | 8,22 | 4,96 | - |
| | | Piatã | 0.15a | 31.47abc | 88,96 | 5,88 | 5,16 | - |
| | | 149 | 0.02b | 33.15abc | 87,73 | 0,00 | 7,67 | - |
| | | 293 | 0.03b | 31.52abc | 29,17 | 0,00 | 0.000b | - |
| | Baixo | 210 | 0.00b | 15.80d | 35,90 | 10,26 | 3,85 | - |
| | | 486 | 0.006b | 28.43abc | 47,83 | 2,18 | 0.000b | - |
| | | Piatã | 0.012b | 35.04abc | 38,96 | 11,37 | 4,55 | - |
| Secas | | | | | | | | |
| | | 149 | 0.008b | 39.94ab | 85,22 | 0,73 | 8,51 | - |
| | | 293 | 0.012b | 26.76cd | 43,88 | 5,10 | 1,02 | - |
| | Moderado | 210 | 0.005b | 37.37abc | 27,28 | 10,61 | 12,12 | - |
| | | 486 | 0.008b | 33.71abc | 35,42 | 2,09 | 12,50 | - |
| | | Piatã | 0.013b | 35.47abc | 82,06 | 4,08 | 7,13 | - |
| | | 149 | 0.008b | 37.02abc | 42,11 | 2,63 | 5,27 | - |
| | | 293 | 0.005b | 41.23a | 31,82 | 6,82 | 11,37 | - |
| | Intenso | 210 | 0.00b | 35.51abc | 25,00 | 0,00 | 0.000b | - |
| | | 486 | 0.006b | 33.02abc | 38,00 | 4,00 | 8,00 | - |
| | | Piatã | 0.006b | 36.97abc | 42,44 | 3,03 | 5,19 | - |
| P | 0,02 | <0,0001 | 0,001 | <0,0001 | 0,43 | 0,007 | 0,001 | - |
| EPM* | | | 0,02 | 2,66 | 13,46 | 2,66 | 2,9 | - |

Médias seguidas das mesmas letras nas colunas, não diferem pelo teste de tukey (P < 0,05).

Abreviaturas: IAF: índice de área foliar; MS: matéria seca; FO: folha; COL: colmo; MM: material morto; FL: Inflorescência

*EPM: Erro Padrão Médio

Tabela 7 Resumo de análise de variância (ANOVA) dos efeitos da intensidade de sombreamento dos acessos de *Paspalum* e de sua interação sobre as características agronômicas avaliadas na época das águas e seca.

| | Águas | | | | Secas | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | EPM | P-valor | | | EPM | P-valor | | |
| | | Sombra | Forrageira | Sombra x Forrageira | | Sombra | Forrageira | Sombra x Forrageira |
| Altura | 1,91 | <.0001 | <.0001 | 0,856 | 1,41 | <.0001 | <.0001 | 0,534 |
| MV | 328,71 | <.0001 | 0,147 | 0,539 | 52,73 | <.0001 | 0,055 | 0,216 |
| MS | 61,77 | <.0001 | 0,177 | 0,278 | 16,54 | <.0001 | 0,015 | 0,164 |
| MSF | 47,16 | <.0001 | <.0001 | 0,861 | 13,16 | <.0001 | 0,001 | 0,007 |
| MSC | 20,04 | <.0001 | <.0001 | 0,001 | 3,10 | <.0001 | 0,053 | 0,049 |
| MSF + C | 62,23 | <.0001 | <.0001 | 0,461 | 14,79 | <.0001 | 0,004 | 0,056 |
| MSF+ C+FL | 59,35 | <.0001 | 0,222 | 0,256 | 4,83 | <.0001 | 0,004 | 0,062 |
| %MS | 0,80 | 0,074 | <0001 | 0,025 | 2,66 | <.0001 | 0,005 | <.0001 |
| %FO | 2,92 | 0,122 | <.0001 | 0,003 | 13,46 | <.0001 | 0,001 | 0,426 |
| %COL | 2,04 | 0,127 | <.0001 | 0,061 | 2,66 | 0,229 | 0,002 | 0,007 |
| %MM | 0,99 | 0,001 | <.0001 | 0,001 | 2,90 | 0,017 | 0,606 | 0,001 |
| %FL | 0,50 | <.0001 | <.0001 | <.0001 | - | - | - | - |
| %IAF | 0,09 | <.0001 | 0,011 | 0,071 | 0,02 | <.0001 | 0,001 | 0,001 |

Abreviações: MV: massa verde; MS: massa seca; MSF: massa seca da folha; MSC: massa seca do colmo; MSF+C: massa seca da folha + colmo; MSF+C+FL: massa seca da folha, colmo e inflorescência; %MS: porcentagem de matéria seca; %FO: porcentagem de folha; %COL: porcentagem de colmo; %MM: porcentagem de material morto; %FL: porcentagem de flor; IAF: índice de área foliar.

*EPM: Erro Padrão Médio

# IMPLICAÇÕES

Para garantir a sustentabilidade dos sistemas silvipastoris (SSPs), é essencial o uso de forrageiras que suportem o sombreamento e as variações decorrentes das alterações edafoclimáticas. Atualmente, a forte inclinação por espécies forrageiras exóticas impõe um risco de homogeneização, restringindo a diversidade genética das pastagens.

Este estudo demonstrou que acessos do gênero *Paspalum*, com ênfase para às espécie *P. malacophyllum*, podem apontar elevada produção de biomassa mesmo sob condições moderadas de sombreamento, permitindo aos produtores maximizar a produção de forragem por unidade de área em SSP.

Aliado a isso, a espécie *P. rojasii* BGP-149 revelou uma estabilidade produtiva notável em ambientes sujeitos a restrições severas de água e luz, validando seu uso potencial em cenários edafoclimáticos desafiadores. Portanto, consiste num material genético de alto valor para regiões sujeitas a longas estiagens, reduzindo a necessidade de irrigação e minimizando as perdas de produção durante a seca.

O estudo valida o potencial de alguns acessos do gênero *Paspalum* como recurso genético adaptado, resultado crucial para diversificar as pastagens tropicais, atualmente dominada por poucas espécies exóticas. Além disso, o fornecimento de acessos com tolerância comprovada à seca e ao sombreamento. Esses resultados podem permitir que programas de melhoramento desenvolvam cultivares “multitolerantes”, essenciais para enfrentar cenários de mudanças climáticas que preveem maior frequência de eventos extremos como seca e altas temperaturas.

Desse modo, pode oferecer forrageiras nativas alternativas, fortalecendo a segurança alimentar e ecológica dos sistemas de produção animal do Brasil. Assim, uso de forrageiras nativas tende a ser mais eficiente no uso de nutrientes e água, contribuindo para a sustentabilidade e longevidade do sistema silvipastoril. A substituição parcial ou total de forrageiras exóticas por espécies nativas adaptadas pode ter inferências positivas na fauna associada, como insetos e polinizadores.

Em síntese, as implicações deste estudo vão além do campo, fornecendo a base para novas estratégias de melhoramento e a incorporação de forrageiras nativas, essenciais para aumentar a resiliência dos SSPs, e enfrentar diferentes desafios ambientais futuros.