

**Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Associação de gramíneas forrageiras tropicais em pastagens: produção de  
forragem, estabilidade produtiva e dinâmica populacional de perfilhos**

**Larissa Fernanda Garcia Carvalho**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em  
Ciências. Área de concentração: Ciência Animal e  
Pastagens

**Piracicaba  
2023**

**Larissa Fernanda Garcia Carvalho**  
**Bacharela em Zootecnia**

**Associação de gramíneas forrageiras tropicais em pastagens: produção de  
forragem, estabilidade produtiva e dinâmica populacional de perfilhos**

Orientador:  
Prof. Dr. **SILA CARNEIRO DA SILVA**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em  
Ciências. Área de concentração: Ciência Animal e  
Pastagens

**Piracicaba**  
**2023**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP**

Carvalho, Larissa Fernanda Garcia

Associação de gramíneas forrageiras tropicais em pastagens: produção de forragem, estabilidade produtiva e dinâmica populacional de perfilhos / Larissa Fernanda Garcia Carvalho. - - Piracicaba, 2023.

81 p.

Tese (Doutorado) - - USP / Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

1. Pastos multiespecíficos 2. Complementariedade 3. Dinâmica de perfilhamento  
4. Composição botânica 5. *Overyielding* 6. Monocultivo 7. Estacionalidade de produção I. Título

**Dedico**

À minha mãe **Sonia Maria Jacques.**

**Ofereço**

Ao meu marido **Átila Carvalho**  
e nossa filha **Ísis Garcia Carvalho.**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, acima de tudo.

Ao meu orientador, professor Dr. Sila Carneiro da Silva, pelos inestimáveis ensinamentos e exemplo de profissionalismo.

Aos membros do meu comitê de orientação Professor Dr. Carlos Guilherme Silveira Pedreira e professor Dr. André Fischer Sbrissia pelas considerações.

Aos professores do Departamento de Zootecnia que contribuíram no meu treinamento.

A secretária da pós-graduação Angela Márcia Derigi Silva, por todo suporte nos trâmites administrativos ao longo do meu doutoramento.

Ao Dr. Paulo Gonçalves Duchini e ao professor Dr. Carlos Tadeu dos Santos Dias pelo suporte na análise e interpretação dos dados.

Aos integrantes do Grupo de Estudos em Plantas Forrageiras (GEPF) Alex, Alexandre, Caio e Emanoella pela contribuição na condução do experimento. Em especial, minha estagiária Gislaine Cristina Barro, por estar presente do início ao fim, eterna gratidão por sua colaboração, comprometimento e amizade.

A minha mãe, pelo amor, carinho e apoio.

Ao meu marido Átila Carvalho, pelo amor, companheirismo, apoio, compreensão e paciência ao longo desses anos e, principalmente, na reta final.

A minha filha Ísis Garcia Carvalho, pela alegria e amor incondicional que iluminam meus dias!

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Capes e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP, processo n°. 2019/27582-6) pela concessão das bolsas de estudo.

Aos meus familiares e amigos que torcem por mim.

A todos que contribuíram de alguma maneira para realização desse trabalho.

Meus sinceros agradecimentos!

*“Percalços no caminho são comuns.  
Dificuldades acontecem e superar  
nos fortalece.  
E logo flores nos caminhos  
aparecem.”*

*(Joseli L. M. Barros)*

*“Ainda que eu falasse línguas,  
as dos homens e dos anjos,  
se eu não tivesse o amor,  
eu nada seria.”*

*(Adaptado de 1 Coríntios 13:1-2)*

## SUMÁRIO

RESUMO .....	7
ABSTRACT .....	9
1. INTRODUÇÃO E REVISÃO DE LITERATURA .....	11
1.1. Hipóteses e objetivos .....	15
Referências .....	17
2. DENSIDADE POPULACIONAL DE PERFILHOS E DINÂMICA DO PERFILHAMENTO DE UMA ASSOCIAÇÃO DE GRAMÍNEAS FORRAGEIRAS TROPICAIS EM PASTAGENS.....	21
Resumo .....	21
2.1. Introdução .....	22
2.2. Material e Métodos.....	23
2.3. Resultados .....	30
2.4. Discussão .....	42
2.5. Conclusão.....	44
Referências .....	45
3. PRODUÇÃO DE FORRAGEM E ESTABILIDADE PRODUTIVA DE UMA ASSOCIAÇÃO DE GRAMÍNEAS FORRAGEIRAS TROPICAIS EM PASTAGENS .....	49
Resumo .....	49
3.1. Introdução .....	49
3.2. Material e Métodos.....	51
3.3. Resultados .....	58
3.4. Discussão .....	71
3.5. Conclusão.....	73
Referências .....	73
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	79
5. CONCLUSÃO .....	81

## RESUMO

### **Associação de gramíneas forrageiras tropicais em pastagens: produção de forragem, estabilidade produtiva e dinâmica populacional de perfilhos**

Espécies de gramíneas forrageiras podem ser agrupadas em grupos funcionais distintos (e.g. diferentes estratégias de crescimento e perenização), de modo que, quando cultivadas em associação, podem resultar em redução das variações intra-anuais em oferta de forragem e maximizar o potencial produtivo do sistema. No entanto, informações referentes a pastagens de clima tropical são praticamente inexistentes, uma vez que quase a totalidade dos trabalhos com associação de espécies foi conduzida em regiões de clima subtropical e temperado. Neste contexto, a hipótese geral deste estudo foi de que gramíneas forrageiras tropicais perenes que apresentem nichos ecológicos contrastantes e complementares (e.g. plantas conservadoras × competidoras por recursos) podem ser utilizadas para compor misturas estáveis, persistentes e produtivas em ambientes férteis quando submetidas a desfolhações frequentes e não severas. O objetivo geral foi avaliar a persistência das populações, produção de forragem e estabilidade produtiva de três espécies de gramíneas forrageiras de clima tropical com estratégias de crescimento contrastantes cultivadas em monocultivo e em associação sob regime comum de desfolhação intermitente. O estudo foi realizado em Piracicaba, São Paulo, Brasil, no período de janeiro de 2020 a março de 2022. Os tratamentos corresponderam às espécies *Andropogon gayanus* cv. Planaltina, *Panicum maximum* cv. Massai e *Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã cultivadas em monocultivo e em associação (em iguais proporções com base no número de sementes puras e viáveis). O delineamento experimental foi o de blocos completos casualizados, com quatro repetições. Os pastos foram manejados de forma intermitente utilizando-se a meta de altura pré-corte de 35 cm e a meta de altura pós-corte de 17,5 cm. De maneira geral, os capins piatã e massai apresentaram maiores taxas de aparecimento e mortalidade (*turnover*) de perfilhos no final da primavera e verão e menores no outono/inverno/início de primavera. O capim andropogon apresentou taxas de aparecimento de perfilhos relativamente estáveis entre as épocas do ano e menor taxa de mortalidade (elevada taxa de sobrevivência) no outono/inverno/início de primavera. Na associação, todos os capins oscilaram entre maior *turnover* de perfilhos nas águas e maior sobrevivência de perfilhos na seca, porém com diferentes *timings* de transição de uma estratégia para outra, que resultaram em pequenas flutuações sazonais moduladas pela competição por luz, como uma complementação temporal assegurando pequenas variações nas populações das espécies. Como consequência, houve maior estabilidade da população de plantas na associação caracterizada por uma menor variação em densidade populacional de perfilhos e de perfilhamento ao longo do ano. A população de plantas na associação foi mais jovem e com menor variação na faixa etária dos perfilhos. Não foram observadas variações nas taxas de sobrevivência e de mortalidade de perfilhos na associação relativamente aos seus respectivos monocultivos, sendo as maiores taxas de sobrevivência observadas para todas as espécies no outono/inverno/início de primavera, garantindo a estabilidade das populações durante essa época do ano. A composição botânica das espécies na associação se manteve relativamente estável durante o período experimental, com predominância do capim massai, seguido do capim piatã e do capim andropogon (média geral 70, 20 e 10%, respectivamente). Apesar da massa de forragem ter variado entre tratamentos, a taxa de acúmulo líquido de forragem e a produção total de forragem foram semelhantes entre a associação e os monocultivos. Dessa forma, não houve redução na variação intra-anual da produção de forragem, nem *overyielding* na associação, uma vez que a produção observada foi semelhante à esperada. Dentre as espécies na associação, o capim piatã apresentou *overyielding* de folhas no verão e o capim andropogon apresentou *underyielding* de colmos no outono/inverno/início de primavera. A associação permitiu a coexistência das

espécies, com composição botânica relativamente estável ao longo do ano e entre anos e produção de forragem assim como estabilidade produtiva (variação intra-anual) semelhantes aos monocultivos.

**Palavras-chave:** Pastos multiespecíficos, Complementariedade, Dinâmica do perfilhamento, *Overyielding*, Composição botânica, Monocultivo, Estacionalidade de produção

## ABSTRACT

### **Association of perennial tropical forage grasses: herbage production and stability and dynamics of tiller population**

Forage grass species can be grouped into functional groups (e.g. contrasting strategies of growth and perennation) which combined to form mixed pastures may result in reduced intra-annual variation and increased herbage production, maximizing the productive potential of pastoral grazing systems. However, information regarding tropical pastures is almost nonexistent, since the large majority of the research has been conducted using forage plants from sub-tropical and temperate climate. The hypothesis of this study was that perennial tropical forage grasses that explore contrasting and complementary niches (e.g. resource conservation vs resource capture plants) may be used to compose stable, persistent and productive mixtures when cultivated in fertile environments and subjected to frequent and non-severe defoliations. The objective was to evaluate population persistence, herbage production and productive stability of three perennial tropical forage grass species of contrasting growth strategies cultivated as monocultures and in association under a common intermittent defoliation regime. The experiment was carried out in Piracicaba, São Paulo, Brazil, from January 2020 to March 2022. Treatments corresponded to three perennial tropical forage grass species, *Andropogon gayanus* cv. Planaltina (andropogon grass), *Panicum maximum* cv. Massai (massai grass), and *Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã (piata grass) cultivated in monoculture and in association (the three grass species in equal proportions based on the number of viable seeds), and were allocated to experimental units (12 x 15 m paddocks) according to a complete randomized block design, with four replications. Defoliation management was common to all treatments and corresponded to a pre-cutting height of 35 cm and post-cutting of 17.5 cm. Piatã and massai grass showed the greatest rates of tiller appearance and death (turnover) during late spring and summer and smallest during autumn/winter/early spring. Andropogon grass showed rates of tiller appearance relatively stable throughout seasons of the year and smaller tiller death rate (greater survival rate) during autumn/winter/early spring. In the association, all forage grasses showed high tiller turnover during late spring and summer and low during autumn/winter/early spring, although with different timings for the transition from one strategy to another, which resulted in small seasonal fluctuations modulated by competition for light, as a temporal complementarity ensuring small variations in species populations. As consequence, population stability in the association was greater than in monocultures, and it was characterized by a smaller variation in tiller population density and tillering throughout the year. Plant population in the association was younger and with lesser variation in tiller age categories. There was no difference in tiller death and survival rate of plants when cultivated as monocultures or in association, with the greatest rates of tiller survival for all species recorded during autumn/winter/early spring, ensuring population stability during this season of the year. The botanical composition of the association remained relatively stable during the entire experimental period, with predominance of massai grass, followed by piatã grass and then andropogon grass (overall average of 70, 20 and 10%, respectively). Besides the differences in sward herbage mass among grass species, net herbage accumulation rate and total forage yield were similar for the monocultures and the association. There was no variation in intra-annual herbage production neither overyielding for the association. Among the species comprising the association, piatã grass showed overyielding of leaves during summer and andropogon grass showed underyielding of stems during autumn/winter/early spring. The association allowed conditions for coexistence, with botanical composition relative stable throughout the year and between years, and herbage production and productive stability (intra-annual variation) similar to the monocultures.

**Keywords:** Multispecific pastures, Complementarity, Tillering dynamics, *Overyielding*, Botanical composition, Single grass pastures, Seasonality of production

## 1. INTRODUÇÃO E REVISÃO DE LITERATURA

O aumento significativo na produtividade de pastagens cultivadas no Brasil observado nos últimos anos deve-se principalmente à adoção de novas tecnologias e práticas de manejo pelos pecuaristas. Segundo dados do último Censo Agropecuário (IBGE, 2017), a área de pastagens naturais foi reduzida em 17,4% entre 2006 e 2017 (57,3 para 47,3 milhões de hectares), enquanto, para o mesmo período, a área de pastagens cultivadas aumentou 10,8% (101,4 para 112,2 milhões de hectares). Somadas, as áreas atuais de pastagens naturais e cultivadas representam um total de 159,5 milhões de hectares, ou seja, 45% de toda a área agricultável do país. Isso permite ao Brasil sustentar o maior rebanho de bovinos do mundo (224,6 milhões de cabeças em 2021 - IBGE), se tornando o maior exportador de carne bovina, responsável por 24,1% da produção global (USDA, 2023) e o segundo em produção, representando 17,4% de toda produção mundial. Dessa forma, as pastagens têm grande importância, visto que a produção da pecuária nacional é quase que na sua totalidade obtida a partir de rebanhos mantidos em pastos.

Dentre esses avanços, práticas de manejo do pastejo com desfolhações frequentes e não severas associadas ao uso racional de insumos têm ganhado destaque, pois aumentam o valor nutritivo da forragem produzida e a produtividade animal de forma sustentável (Congio et al., 2019). No entanto, não leva em consideração a variação intra-anual da produção de forragem ao longo das estações do ano, ou seja, sua estacionalidade de produção, ponto importante dentro do sistema de produção animal em pasto, uma vez que cerca de 60 a 80% da produção anual de forragem ocorre durante o “período das águas” (Corrêa et al., 2006; Euclides et al., 2008). Dessa forma, o uso do pasto como fonte exclusiva para alimentação animal torna-se fator limitante durante os períodos de escassez de chuvas.

Diante desse cenário, o uso de pastagens multiespecíficas formadas pela associação de espécies que apresentem complementariedade na exploração de nichos ecológicos (Fridley, 2001), diferentes estratégias de crescimento e desenvolvimento (e.g. conservadoras ou competidoras no uso de recursos) e resistência e tolerância a limitantes edafoclimáticos e bióticos (Cruz et al., 2002; Maire et al., 2009; Pontes et al., 2012; Adair et al., 2019) tem sido considerado alternativa para reduzir as variações intra-anuais em produção de forragem. Essa resposta é consequência do efeito sinérgico da associação que se daria por meio do aumento da resiliência e estabilidade produtiva da pastagem assim formada (Skinner et al., 2004; Pembleton et al., 2015).

De acordo com Weigelt et al. (2009), a multifuncionalidade dos ecossistemas pastoris tem relação positiva com a biodiversidade, a qual é subentendida como a coexistência de diferentes seres vivos em um ecossistema, sendo sua riqueza estabelecida pela interação destes com as condições edafoclimáticas predominantes ao longo do tempo (Nabinger et al., 2006). Segundo Miller & Spoolman (2009), nicho ecológico de uma espécie se refere a sua função no ecossistema e é definido pelo conjunto de condições, recursos e interações que a espécie precisa para se desenvolver. Nesse sentido, aumentos

na produção primária em pastagens com alta diversidade de espécies estão associados aos efeitos decorrentes de pelo menos três mecanismos: (i) *diferença de nichos ecológicos* na qual é estabelecido que cada espécie requer diferentes recursos e condições ambientais para sobreviver, o que possibilita a coexistência entre espécies com diferentes requerimentos (Loreau & de Mazencourt, 2013); (ii) *efeito de seleção*, ocorre quando interações de ordem competitiva resultam em domínio de uma ou poucas espécies sobre as demais na associação, sendo as respostas funcionais da associação fortemente influenciadas pela funcionalidade das espécies dominantes (Tilman, 1999; Yang et al., 2021) e (iii) *facilitação entre as espécies*, que é o processo segundo o qual uma determinada espécie cria condições adequadas para a sobrevivência e desenvolvimento de outras por meio do aumento no suprimento de recursos ou da atenuação de distúrbios ou estresses (Cardinale et al., 2006). Contudo, a diferenciação de nichos é o principal mecanismo de valor agrônômico em pastagens multiespecíficas, resultante da complementaridade (Sonkoly et al., 2019). Entende-se efeito de complementariedade quando as espécies que compõem uma comunidade de plantas coexistem a partir de características e requerimentos por recursos suficientemente contrastantes (Mason et al., 2020; Wang et al., 2021), e.g. diferentes características (morfológicas, estruturais e fisiológicas) presentes nas diferentes espécies componentes da comunidade de plantas podem resultar em diferenças espaço-temporais na captura de recursos e reduzir a competição entre plantas e melhorar a exploração dos recursos acima e abaixo do solo.

Segundo Cruz et al. (2002), gramíneas forrageiras podem ser classificadas em grupos funcionais baseados em suas diferentes habilidades em adquirir recursos. De acordo com essa classificação, em ambientes férteis, espécies mais competidoras apresentam maior capacidade de captura e uso dos recursos e maior velocidade de renovação dos tecidos que as mais conservadoras e, portanto, possuem maior quantidade de gemas axilares capazes de gerar novos perfilhos (Davies, 1974). Espécies conservadoras, por sua vez, apresentam baixa área foliar específica, maior longevidade das folhas e florescimento tardio (Cruz et al., 2002). Nesse sentido, espécies com diferentes habilidades competitivas (competidoras × conservadoras de recursos) são capazes de coexistir em ambientes férteis (Gross et al., 2007), uma que vez que essa condição reduz a competição por recursos abaixo do solo (Wedin & Tilman, 1993) e, quando combinadas, podem reduzir a sazonalidade de produção de forragem em razão dos períodos de florescimento serem distintos, o que pode favorecer a ocorrência de períodos mais longos de suprimento de forragem ao longo do ano.

De maneira geral, o aumento na diversidade de espécies com nichos ecológicos complementares melhora a ocupação tridimensional do espaço acima do solo (Spehn et al., 2000; Tracy & Sanderson, 2004), o que otimiza a captura e utilização dos recursos disponíveis e maximiza os processos ecológicos (Naeem et al., 1994). No ambiente pastoril, pode melhorar a cobertura do solo e aumentar a densidade do dossel forrageiro, o que faz o índice de área foliar residual ser maior e a rebrotação pós-pastejo mais rápida (Skinner et al., 2016). Assim, promove acréscimos significativos na produção de forragem (Küchenmeister et al., 2012), menor proporção de espécies invasoras (Pembleton

et al., 2015; Skinner et al., 2016) e maior estabilidade produtiva (Duchini et al., 2019; Gross et al., 2014), que levam à construção de um ecossistema mais resistente e resiliente (Tilman & Downing 1994; Cottingham et al., 2001; Griffin et al., 2009; Hector et al., 2010). Segundo Pimm (1984), a estabilidade de um ecossistema leva em conta sua resistência às perturbações e sua capacidade de recuperação (resiliência). Além disso, muitos pesquisadores têm relatado que pastos multiespecíficos, quando submetidos a períodos de seca ou de baixas temperaturas, permanecem com produção de forragem relativamente estável ou apresentam redução de produção menos pronunciada em relação a pastos formados por apenas uma espécie forrageira (Woodward et al., 2013; Nobilly et al., 2013; Tharmaraj et al., 2008, 2014; Sanderson et al., 2005; Tilman & Downing, 1994).

Estudos recentes comparando pastagens mono específicas e multiespecíficas demonstram desde produtividades semelhantes entre os sistemas (Medeiros-Neto et al., 2023; Woodward et al., 2013) até aumentos da ordem de 43% na produção de matéria seca em pastagens multiespecíficas (Sanderson et al., 2005). Uma das formas de se quantificar o efeito da competição interespecífica sobre os diversos aspectos funcionais dos ecossistemas é por meio do efeito líquido da complementariedade sobre a produção de forragem de cada espécie, denominado *overyielding* e comumente mensurado por meio do desvio proporcional da produção esperada ( $D_i$ ) (Loreau, 1998). Dessa forma, o índice compara a produção de forragem de cada espécie presente na associação relativamente às suas produções de forragem quando em monocultivo. Assim é possível mensurar *overyielding* de uma comunidade, utilizando o desvio proporcional total ( $D_t$ ) e ponderado ( $\bar{D}$ ) da produção esperada, considerando todas as espécies presentes e suas respectivas proporções. Em síntese, *overyielding* ocorre quando a produção de uma associação supera a média dos monocultivos que a compõem, resultando em valores de  $D_t > 0$  (Fridley, 2001). Estes índices apresentam proporcionalidade com a complementariedade entre espécies e os efeitos líquidos da biodiversidade, respectivamente (Loreau & Hector, 2001). A produção pode, ainda, ser superior àquela da espécie mais produtiva em monocultivo, condição denominada como *transgressive overyielding* (Hector, 1998). Alternativamente, os efeitos da competição interespecífica podem resultar em produção de forragem do pasto multiespecífico abaixo da média para os monocultivos correspondentes, condição esta denominada de *underyielding*.

Segundo Duchini et al. (2019), os *overyieldings* observados em pastagens multiespecíficas são reflexos da combinação do desempenho de cada espécie componente da associação, com grande importância para as espécies presentes em pequenas proporções. Esses mesmos autores avaliaram por dois anos as espécies de gramíneas forrageiras de clima temperado *Arrhenatherum elatius* L., *Festuca arundinacea* Schreb. e *Dactylis glomerata* L. cultivadas em associação e em monocultivo e relataram que, embora a associação entre as espécies não tenha apresentado *transgressive overyielding*, ela foi capaz de produzir a mesma quantidade que os monocultivos mais produtivos por meio da combinação do desempenho de cada espécie ao longo das estações do ano, com grande importância da participação das espécies presentes em menor proporção. Pontes et al. (2012) também encontraram produções além

da esperada para espécies que apresentavam reduzida biomassa em associação de gramíneas. Dessa forma, a escolha adequada das espécies forrageiras que irão compor a associação para a formação de pastos multiespecíficos é de suma importância (Tracy & Sanderson, 2004) para que não ocorra redundância funcional, o que poderia, em tese, aumentar a competição interespecífica e penalizar uma ou mais espécies.

Apesar de a multifuncionalidade dos ecossistemas pastoris apresentar relação positiva com a diversidade de espécies (Weigelt et al., 2009), estudos demonstram que, para se obter incrementos na produção de forragem em pastagens e maior estabilidade produtiva, a utilização de duas ou três espécies com estratégias de crescimento complementares poderia ser mais eficiente do que implantar uma mistura complexa, com grande número de espécies (dez ou mais) de forma aleatória, desde que as espécies escolhidas sejam bem adaptadas às condições ambientais e manejos adotados (Tracy & Sanderson 2004). Em ambientes férteis, ou seja, quando as demandas por nutrientes pelas plantas são supridas, a competição pelo recurso luz torna-se o principal fator limitante do crescimento, pois a luz além de fornecer energia para a fotossíntese fornece também sinais que regulam o desenvolvimento e crescimento das plantas por meio de receptores sensíveis a diferentes intensidades luminosas e qualidades espectrais. Assim, modificações nas características da luz (devido principalmente ao sombreamento) que incide sobre uma planta pode influenciar suas características fisiológicas e modificar seus aspectos funcionais e, conseqüentemente, os das pastagens (Sbrissia et al., 2015), sendo, portanto, o principal agente limitante da diversidade de espécies. Porém, desfolhações frequentes e não severas podem manter ambientes favoráveis ao desenvolvimento de populações de espécies competidoras e conservadoras, uma vez que a intensidade de distúrbios (desfolhação) e estresses (competição por luz) é reduzida, de forma que essas diferentes espécies coexistam e persistam (Grime, 1977; Borer et al., 2014; Duchini et al., 2018).

Entretanto, as pastagens apresentarem elevada produção de forragem não é suficiente se a comunidade de plantas não for estável e persistente, condição que pode ser causada por intensa competição intraespecífica e interespecífica gerando instabilidade das populações de perfilhos na associação. Sendo assim, a dinâmica do perfilhamento é um dos atributos mais importantes a serem avaliados quando se trata de estabilidade e persistência de uma comunidade de gramíneas, uma vez que a persistência apresenta relação direta com a capacidade do pasto de substituir perfilhos mortos, manter sua população de perfilhos ao longo do tempo e restaurar e/ou manter seu índice de área foliar. O perfilho, por sua vez, é considerado como a unidade básica de crescimento das gramíneas (Hodgson, 1990) e é formado por uma sucessão de fitômeros (lâmina foliar, bainha, nó, entrenó e gema axilar – Fick & Clark, 1998; Moore e Moser, 1995) ao longo de seu eixo principal em diferentes fases de desenvolvimento (Valentine & Matthew, 1999). Sendo assim, cada perfilho apresenta prazo de vida determinado, visto que a quantidade de fitômeros que um perfilho poderá emitir é determinada geneticamente (Valentine & Matthew, 1999). Dessa forma, para que uma pastagem persista, é necessário

que cada perfilho emita, em média, pelo menos um novo perfilho durante sua vida para manter a população de plantas estável e persistente (Parsons & Chapman, 2000), principalmente em relação às diferentes épocas do ano, quando a disponibilidade de fatores como luz, água, temperatura e nutrientes afetam significativamente o processo de perfilhamento (Langer, 1963).

Apesar de a grande maioria dos estudos avaliando a dinâmica de perfilhamento considerar apenas as variações em densidade populacional de perfilhos (DPP), Matthew & Sackville-Hamilton (2011) ressaltaram que outros níveis de complexidade da dinâmica do perfilhamento também devem ser considerados, como: determinação das taxas de aparecimento e mortalidade de perfilhos e suas relações (estabilidade populacional); monitoramento da demografia do perfilhamento (probabilidade de sobrevivência dos perfilhos de cada geração ao longo do tempo); e avaliação da hierarquia dos perfilhos. Assim, é possível identificar mudanças sazonais nas taxas de aparecimento e mortalidade de perfilhos, gerações mais numerosas e longevas e, ainda, períodos de instabilidade (Matthew & Sackville-Hamilton, 2011) com o objetivo de auxiliar nas recomendações de manejo. Em pastagens multiespecíficas, essas avaliações se tornam ainda mais importantes, tendo em vista que diferentes espécies de gramíneas forrageiras podem apresentar estratégias de persistência contrastantes, sendo que enquanto algumas possuem perfilhamento relativamente constante ao longo do ano, outras apresentam perfilhamento sazonal influenciado pelo florescimento e/ou condições climáticas (Matthew et al., 2013). Nesse sentido, identificar combinações de espécies com essas características, que resultem em complementariedade temporal com incrementos na estabilidade produtiva, pode ser uma alternativa para redução da variação intra-anual da produção de forragem, favorecendo a ocorrência de períodos mais longos de suprimento de forragem ao longo do ano.

Todavia, estudos avaliando a coexistência e a persistência de gramíneas forrageiras de clima tropical cultivadas em associação (pastos multiespecíficos) são praticamente inexistentes. Por outro lado, o fato de centenas de espécies coexistirem nos campos naturais do Brasil, nos quais grande parte são espécies de gramíneas estivais perenes (Boldrini, 2009), é um indicativo de que esse sistema pode também ser viável para espécies de clima tropical. Dessa forma, estudos visando estratégias de melhor escolha de gramíneas tropicais para compor o pasto em associação, bem como as formas de manejo mais adequadas, que garantam a persistência e a multifuncionalidade desses pastos ao longo do tempo, tornam-se de suma importância.

## **1.1. Hipóteses e objetivos**

### **Hipótese geral**

Gramíneas forrageiras tropicais perenes que apresentem nichos ecológicos contrastantes e complementares (e.g. plantas conservadoras × competidoras por recursos) podem ser utilizadas para

compor misturas estáveis, persistentes e produtivas em ambientes férteis quando submetidas a desfolhações frequentes e não severas.

### **Hipóteses específicas**

**Capítulo 1:** Padrões de perfilhamento de espécies de gramíneas forrageiras tropicais perenes que apresentem nichos ecológicos contrastantes e complementares (e.g. plantas conservadoras × competidoras por recursos) cultivadas em associação sob condições de baixo nível de estresse (disponibilidade adequada de nutrientes no solo) e baixo nível de distúrbio (severidade de desfolhação) são semelhantes àqueles das plantas cultivadas em monocultivo, não modificando as rotas de perenização das espécies associadas.

**Capítulo 2:** Espécies perenes de gramíneas forrageiras tropicais que apresentem nichos ecológicos contrastantes e complementares (e.g. plantas conservadoras x competidoras por recursos) podem coexistir em associação em ambientes com baixo nível de estresse (disponibilidade adequada de nutrientes no solo) e baixo nível de distúrbio (severidade de desfolhação), permitindo estabilidade de sua composição botânica e potencial de resultar em maior produtividade e menor variação intra-anual de produção (estabilidade produtiva).

### **Objetivo geral**

Avaliar a persistência das populações de três espécies de gramíneas forrageiras de clima tropical com estratégias de crescimento contrastantes (*Andropogon gayanus* cv. Planaltina, *Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã e *Panicum maximum* cv. Massai) cultivadas em monocultivo e em associação sob regime comum de desfolhação intermitente (e.g. pastejo rotativo), sua produção de forragem e estabilidade produtiva. Neste contexto, *Andropogon gayanus* cv. Planaltina corresponde à planta conservadora de recursos, *Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã corresponde à planta competidora por recursos e *Panicum maximum* cv. Massai corresponde à planta com estratégia intermediária de captura de recursos.

### **Objetivos específicos**

**Capítulo 1:** estudar a dinâmica do perfilhamento de *Andropogon gayanus* cv. Planaltina, *Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã e *Panicum maximum* cv. Massai cultivados em monocultivo e em associação e seus impactos sobre a estabilidade populacional e persistência das populações e comunidades das plantas na pastagem.

**Capítulo 2:** (i) avaliar a produção de forragem e a estabilidade produtiva das populações de *Andropogon gayanus* cv. Planaltina, *Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã e *Panicum maximum* cv.

Massai cultivados em monocultivo e em associação; (ii) mensurar possíveis *overyieldings* e/ou *underyieldings* das três espécies na associação e seus impactos sobre sua estabilidade produtiva.

## Referências

- ADAIR, K. L.; et al. Above and belowground community strategies respond to different global change drivers. *Scientific reports*, v. 9, n. 1, p. 2540, 2019.
- BOLDRINI, I. I. A flora dos campos do Rio Grande do Sul. *Campos sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade*, p. 63-77, 2009.
- BORER, E. T. et al. Herbivores and nutrients control grassland plant diversity via light limitation. *Nature*, v. 508, n. 7497, p. 517, 2014.
- CARDINALE, B. J. et al. Effects of biodiversity on the functioning of trophic groups and ecosystems. *Nature*, v. 443, n. 7114, p. 989, 2006.
- CONGIO, G. F. et al. Strategic grazing management and nitrous oxide fluxes from pasture soils in tropical dairy systems. *Science of the Total Environment*, v. 676, p. 493-500, 2019.
- CORRÊA, L. A.; SANTOS, P. M. Irrigação de pastagens formadas por gramíneas forrageiras tropicais. *Circular técnica*, São Carlos: Embrapa, 2006.
- COTTINGHAM, K. L.; BROWN, B. L.; LENNON, J. T. Biodiversity may regulate the temporal variability of ecological systems. *Ecology Letters*, v. 4, n. 1, p. 72-85, 2001.
- CRUZ, P. et al. Une nouvelle approche pour caractériser les prairies naturelles et leur valeur d'usage. *Fourrages* 172, p. 335-354, 2002.
- DAVIES, A. Leaf tissue remaining after cutting and regrowth in perennial ryegrass. *The Journal of Agricultural Science*, v. 82, n. 1, p. 165-172, 1974.
- DUCHINI, P. G. et al. Can a Mixture of Perennial Grasses with Contrasting Growth Strategies Compose Productive and Stable Swards? *Agronomy Journal*, 2019.
- DUCHINI, P. G. et al. Experimental evidence that the perennial grass persistence pathway is linked to plant growth strategy. *Plos One*, v. 13, 2018.
- EUCLIDES, V. P. B. et al. Produção de forragem e características da estrutura do dossel de cultivares de *Brachiaria brizantha* sob pastejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.43, p.1805-1812, 2008.
- FICK, G. W. The future of grass for dairy cattle. *Grass for dairy cattle*, p. 373-391, 1998.
- FRIDLEY, J. D. The influence of species diversity on ecosystem productivity: how, where, and why? *Oikos*, v. 93, n. 3, p. 514-526, 2001.

- GRIFFIN, J. N. et al. Biodiversity and the stability of ecosystem functioning. *Biodiversity, Ecosystem Functioning, and Human Wellbeing—an Ecological and Economic Perspective*, p. 78-93, 2009.
- GRIME, J. P. Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. *The American Naturalist*, v. 111, n. 982, p. 1169-1194, 1977.
- GROSS, K. et al. Species richness and the temporal stability of biomass production: a new analysis of recent biodiversity experiments. *The American Naturalist*, v. 183, n. 1, p. 1-12, 2014.
- GROSS, N. et al. Complementarity as a mechanism of coexistence between functional groups of grasses. *Journal of Ecology*, v. 95, n. 6, p. 1296-1305, 2007.
- HECTOR, A. et al. General stabilizing effects of plant diversity on grassland productivity through population asynchrony and overyielding. *Ecology*, v. 91, n. 8, p. 2213-2220, 2010.
- HECTOR, A. The effect of diversity on productivity: detecting the role of species complementarity. *Oikos*, p. 597-599, 1998.
- HODGSON, J. *Grazing management. Science into practice*. Longman Group UK Ltd., 1990.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. 2021. Disponível em: <<https://censos.ibge.gov.br/resultados-censo-agro-2017.html>> Acesso em: 04 jun. 2023
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Resultado preliminares do Censo Agropecuário – 2017. Disponível em: <[https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo\\_agro/resultadosagro/estabelecimentos.html](https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/estabelecimentos.html)> Acesso em: 04 jun. 2023.
- KÜCHENMEISTER, F. et al. Yield and yield stability in mixtures of productive grassland species: Does species number or functional group composition matter? *Grassland science*, v. 58, n. 2, p. 94-100, 2012.
- LANGER, R. H. M. Tillering in herbage grass. A review. *Herbage Abstracts*, v.33, p.141-148, 1963.
- LOREAU, M. Separating sampling and other effects in biodiversity experiments. *Oikos*, p. 600-602, 1998.
- LOREAU, M.; DE MAZANCOURT, C. Biodiversity and ecosystem stability: a synthesis of underlying mechanisms. *Ecology letters*, v. 16, p. 106-115, 2013.
- LOREAU, M.; HECTOR, A. Partitioning selection and complementarity in biodiversity experiments. *Nature*, v. 413, n. 6855, p. 548, 2001.
- MAIRE, V. et al. Trade-off between root nitrogen acquisition and shoot nitrogen utilization across 13 co-occurring pasture grass species. *Functional Ecology*, v. 23, n. 4, p. 668-679, 2009.
- MASON, N. W. H. et al. Resource-use efficiency drives overyielding via enhanced complementarity. *Oecologia*, 193:995 1010, 2020.

- MATTHEW, C. et al. State of knowledge in tiller dynamics. In: International Grassland Congress. p. 1041-1043, 2013.
- MATTHEW, C.; SACKVILLE-HAMILTON, N. R. Analysing persistence of grass swards in terms of tiller birth and death. *Pasture Persistence–Grassland Research and Practice*, v. 15, p. 63-68, 2011.
- MEDEIROS-NETO, C. et al. Mixtures of grasses: An alternative to traditional pasture monocultures in the tropics. *Grass and Forage Science*, v. 78, n. 2, p. 296-305, 2023.
- MILLER, G. T., SPOOLMAN, S. E. Each species play a unique role in its ecosystem. In *Essentials of Ecology*, 5ª ed., Belmont: Cengage Learning, p. 91, 2009.
- MOORE, K. J.; MOSER, L. E. Quantifying developmental morphology of perennial grasses. *Crop Science*, v. 35, n. 1, p. 37-43, 1995.
- NABINGER, C.; DALL'AGNOL, M; CARVALHO, P. C. F. Biodiversidade e produtividade em pastagens. *Simpósio sobre Manejo da Pastagem*, v. 22, p. 37-85, 2006.
- NAEEM, S. et al. Declining biodiversity can alter the performance of ecosystems. *Nature*, v. 368, n. 6473, p. 734-737, 1994.
- NOBILLY, F. et al. Productivity of rotationally grazed simple and diverse pasture mixtures under irrigation in Canterbury. In: *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*. New Zealand Grassland Association, p. 165-172, 2013.
- PARSONS, A. J.; CHAPMAN, D. F. *Grass: Its production and utilisation*. Oxford, UK: Blackwell Science. Chapter. 3. The principles of pasture growth and utilisation; p.31-89, 2000.
- PEMBLETON, K. G. et al. Simple versus diverse pastures: opportunities and challenges in dairy systems. *Animal Production Science*, v. 55, n. 7, p. 893-901, 2015.
- PIMM, S. L. The complexity and stability of ecosystems. *Nature*, v. 307, n. 5949, p. 321, 1984.
- PONTES, L. S. et al. Impacts of species interactions on grass community productivity under contrasting management regimes. *Oecologia*, v.168, p.761-771, 2012.
- SANDERSON, M. A. et al. Forage mixture productivity and botanical composition in pastures grazed by dairy cattle. *Agronomy Journal*, v. 97, n. 5, p. 1465-1471, 2005.
- SBRISSIA, A. F. et al. Pastagens multiespecíficas de gramíneas: oportunidade e desafios. *Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, v. 52, p. 1-12, 2015.
- SKINNER, R. H.; DELL, C. J. Yield and soil carbon sequestration in grazed pastures sown with two or five forage species. *Crop Science*, v. 56, n. 4, p. 2035-2044, 2016.
- SKINNER, R. H.; GUSTINE, D. L.; SANDERSON, M. A. Growth, water relations, and nutritive value of pasture species mixtures under moisture stress. *Crop science*, v. 44, n. 4, p. 1361-1369, 2004.

- SONKOLY, J. et al. Both mass ratio effects and community diversity drive biomass production in a grassland experiment. *Scientific Reports*, v. 9, n. 1, p. 1848, 2019.
- SPEHN, E. M. et al. Above-ground resource use increases with plant species richness in experimental grassland ecosystems. *Functional Ecology*, v.14, p.326-337, 2000.
- THARMARAJ J. et al. Herbage accumulation, botanical composition, and nutritive value of five pasture types for dairy production in southern Australia. *Australian Journal of Agricultural Research*, v. 59, p. 127–138, 2008.
- TILMAN, D. The ecological consequences of changes in biodiversity: A search for general principles. In: *Ecology*. pp 1455-1474, 1999.
- TILMAN, D.; DOWNING, J. A. Biodiversity and stability in grasslands. *Nature*, v. 367, p. 363-365, 1994.
- TRACY, B. F.; SANDERSON, M. A. Forage productivity, species evenness and weed invasion in pasture communities. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 102, p. 175–183, 2004.
- USDA – United States Department of Agriculture. Disponível em: < <https://www.usda.gov>>. Acesso em: 4 jun. 2023
- VALENTINE, I.; MATTHEW, C.; Plant growth, development and yield. In: WHITE, J.; HODGSON, J. *New Zealand – Pasture and Crop Science*, Oxford: Cambridge University Press, 1999, p. 11-27.
- WANG, C. et al. A global meta-analysis of the effects of plant diversity on biomass partitioning in grasslands. *Environmental Research Letters* 16:064083, 2021.
- WEDIN, D.; TILMAN, D. Competition among grasses along a nitrogen gradient: initial conditions and mechanisms of competition. *Ecological Monographs*, v. 63, n. 2, p. 199-229, 1993.
- WEIGELT, A. et al. Biodiversity for multifunctional grasslands: equal productivity in high-diversity low-input and low-diversity high-input systems. *Biogeosciences*, v.6, p.1695-1706, 2009.
- WOODWARD S.L. et al. Are diverse species mixtures better pastures for dairy farming? *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*, v. 75, p. 79–84, 2013.
- YANG, X. et al. Interpreting the effects of plant species diversity and genotypic diversity within a dominant species on above- and belowground overyielding. *Science of the Total Environment* 786:110, 2021.

## 2. DENSIDADE POPULACIONAL DE PERFILHOS E DINÂMICA DO PERFILHAMENTO DE UMA ASSOCIAÇÃO DE GRAMÍNEAS FORRAGEIRAS TROPICAIS EM PASTAGENS

### Resumo

Espécies de gramíneas forrageiras podem ser agrupadas em grupos funcionais distintos (e.g. diferentes estratégias de crescimento e perenização), de modo que, quando cultivadas em associação, podem resultar em população de plantas mais estáveis e maximizar o potencial produtivo do sistema. No entanto, informações referentes a pastagens de clima tropical são praticamente inexistentes, uma vez que quase a totalidade dos trabalhos com associação de espécies foi conduzida em regiões de clima subtropical e temperado. Neste contexto, a hipótese foi que padrões de perfilhamento de espécies de gramíneas forrageiras tropicais perenes que apresentem nichos ecológicos contrastantes e complementares (e.g. plantas conservadoras × competidoras por recursos) cultivadas em associação sob condições de baixo nível de estresse (disponibilidade adequada de nutrientes no solo) e baixo nível de distúrbio (severidade de desfolhação) são semelhantes àqueles das plantas cultivadas em monocultivo, não modificando as rotas de perenização das espécies associadas. O objetivo foi estudar a dinâmica do perfilhamento de três espécies de gramíneas forrageiras de clima tropical cultivadas em monocultivo e em associação e seus impactos sobre a estabilidade populacional e persistência das populações e comunidades das plantas na pastagem. O estudo foi realizado em Piracicaba, São Paulo, Brasil no período de janeiro de 2020 a março de 2022. Os tratamentos foram *Andropogon gayanus* cv. Planaltina, *Panicum maximum* cv. Massai e *Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã cultivados em monocultivo e associação (em iguais proporções com base no número de sementes puras e viáveis). O delineamento experimental foi o de blocos completos casualizados, com quatro repetições. Os pastos foram manejados de forma intermitente utilizando-se a meta de altura pré-corte de 35 cm e a meta de altura pós-corte de 17,5 cm (50% da altura pré-corte). De maneira geral, os capins piatã e massai apresentaram maiores taxas de aparecimento e mortalidade (*turnover*) de perfilhos no final da primavera e verão (maior disponibilidade de luz, precipitação e nutrientes) e menores no outono/inverno/início de primavera (período de maior restrição de fatores abióticos). O capim andropogon apresentou taxas de aparecimento de perfilhos relativamente estáveis entre as épocas do ano e menor taxa de mortalidade (elevada taxa de sobrevivência) no outono/inverno/início de primavera. Na associação, todos os capins oscilaram entre maior *turnover* de perfilhos nas águas e maior sobrevivência de perfilhos na seca, porém com *timings* de transição entre as estratégias diferentes. A população de plantas na associação foi mais jovem e com menor variação na faixa etária dos perfilhos. Não foram observadas variações nas taxas de sobrevivência e mortalidade de perfilhos na associação relativamente aos seus respectivos monocultivos, sendo as maiores taxas de sobrevivência observadas para todas as espécies no outono/inverno/início de primavera, garantindo a estabilidade das populações durante essa época do ano. Nossos resultados mostraram que as plantas alternaram as vias principais em função das condições de ambiente, principalmente em resposta a luz. Em situações mais desfavoráveis ao crescimento, como os períodos mais secos e frios do ano (outono/inverno/início de primavera para nossas condições experimentais), a estratégia de conservação (maior taxa de sobrevivência) foi predominantemente utilizada como resposta a um mecanismo adaptativo importante para compensar o menor aparecimento de perfilhos. Entretanto, especialmente na associação, os diferentes *timings* de transição de uma estratégia para outra, resultaram em pequenas variações sazonais moduladas pela competição por luz, como uma complementação temporal em que pequenas flutuações das populações das espécies promoveram maior estabilidade da população de plantas na associação, com padrão menos variável em densidade populacional de perfilhos e de perfilhamento ao longo do ano.

**Palavras-chave:** Pastos multiespecíficos, Complementariedade, Dinâmica de populações, Monocultivo, Estacionalidade de produção

## 2.1. Introdução

O uso de pastagens multiespecíficas exclusivas de gramíneas forrageiras compostas por espécies com características contrastantes e complementares, tem se mostrado promissor, pois pode incrementar a produção de forragem e a estabilidade produtiva de sistemas intensivos de produção animal em pasto (Pembleton et al., 2015; Duchini et al., 2019). Nesse sentido, gramíneas forrageiras podem ser classificadas em grupos funcionais baseados em suas diferentes habilidades em adquirir recursos (competidoras × conservadoras de recursos) (Cruz et al., 2002) e serem capazes de coexistir em ambientes férteis, por meio da complementariedade na captação e no uso dos recursos disponíveis, (Gross et al., 2007), promovendo inúmeros benefícios ecossistêmicos que refletem em sistemas pastoris mais produtivos, estáveis e sustentáveis (Duchini et al., 2019).

Segundo Tilman et al. (2006) & Hector et al. (2010), a biodiversidade aumenta as flutuações temporais de população e produção primária de espécies individuais e reduz essas variabilidades na associação, por meio da assincronia na flutuação populacional e superprodução de determinadas espécies, o que poderia contribuir para a redução da variação intra-anual da produção de forragem, fornecendo uma distribuição mais uniforme de produção de forragem ao longo do ano.

A produção de forragem depende não apenas da quantidade, mas também da estabilidade da população de plantas, que pode ser comprometida por fatores como a competição intraespecífica e interespecífica entre as espécies, afetando o equilíbrio das populações de perfilhos na associação. Por isso, a dinâmica do perfilhamento é um aspecto fundamental para avaliar a persistência e a adaptação de uma comunidade de gramíneas, pois está relacionada com a capacidade do pasto de repor os perfilhos mortos, manter sua densidade populacional ao longo do tempo e manter ou recuperar seu índice de área foliar. O perfilho, por sua vez, é a unidade básica de crescimento das gramíneas (Hodgson, 1990) e consiste em uma sequência de fitômeros (lâmina foliar, bainha, nó, entrenó e gema axilar – Fick & Clark, 1998; Moore e Moser, 1995) ao longo de seu eixo principal em diferentes estágios de desenvolvimento (Valentine & Matthew, 1999). Cada perfilho tem uma duração de vida limitada, pois o número de fitômeros que ele pode produzir é determinado geneticamente (Valentine & Matthew, 1999). Assim, para que uma pastagem se mantenha estável, é preciso que cada perfilho emita, em média, pelo menos um novo perfilho durante sua vida para garantir a estabilidade e a persistência da população de plantas (Parsons & Chapman, 2000).

Apesar da maioria dos estudos sobre dinâmica de perfilhamento se concentrar na densidade populacional de perfilhos (DPP), Matthew & Sackville-Hamilton (2011) destacaram a importância de se considerar outros aspectos na dinâmica do perfilhamento, como taxas de aparecimento e mortalidade de perfilhos, estabilidade populacional, demografia do perfilhamento e hierarquia dos perfilhos, uma vez que essas informações permitem auxiliar nas metas de manejo, pois identificam mudanças sazonais, gerações mais numerosas e longevas, bem como períodos de instabilidade. Em pastagens multiespecíficas, essas avaliações são ainda mais relevantes, já que diferentes espécies de gramíneas

forrageiras têm estratégias de persistência contrastes, sendo que enquanto algumas possuem perfilhamento relativamente constante ao longo do ano, outras apresentam perfilhamento sazonal influenciado pelo florescimento e/ou condições climáticas (Matthew et al., 2013) e identificar se ocorrem mudanças nesses padrões quando as plantas são cultivadas em associação são importantes para auxiliar tanto nas escolhas das espécies forrageiras quanto nas metas de manejo que serão adotadas, uma vez que ecossistemas com pequenas diferenças entre espécies podem sobrepor a necessidade e uso dos recursos e aumentar a competição entre as plantas.

De acordo com Weigelt et al. (2009), a multifuncionalidade dos ecossistemas pastoris tem relação positiva com a biodiversidade, no entanto, a utilização de três espécies bem adaptadas às condições ambientais e de manejo parece ser suficiente para gerar os benefícios produtivos promovidos pela biodiversidade (Tracy & Sanderson, 2004; Rosher et al., 2007). Apesar dos estudos sobre coexistência e persistência de gramíneas forrageiras tropicais em pastos multiespecíficos serem escassos. Considerando a diversidade de espécies que coexistem nos campos naturais do Brasil, incluindo gramíneas estivais perenes, é indicativo de que esse sistema também pode ser viável para espécies tropicais. Portanto, estudos que abordem a seleção adequada de gramíneas tropicais para pastagens associadas, bem como as práticas de manejo para garantir a persistência e a multifuncionalidade desses pastos ao longo do tempo, são de suma importância.

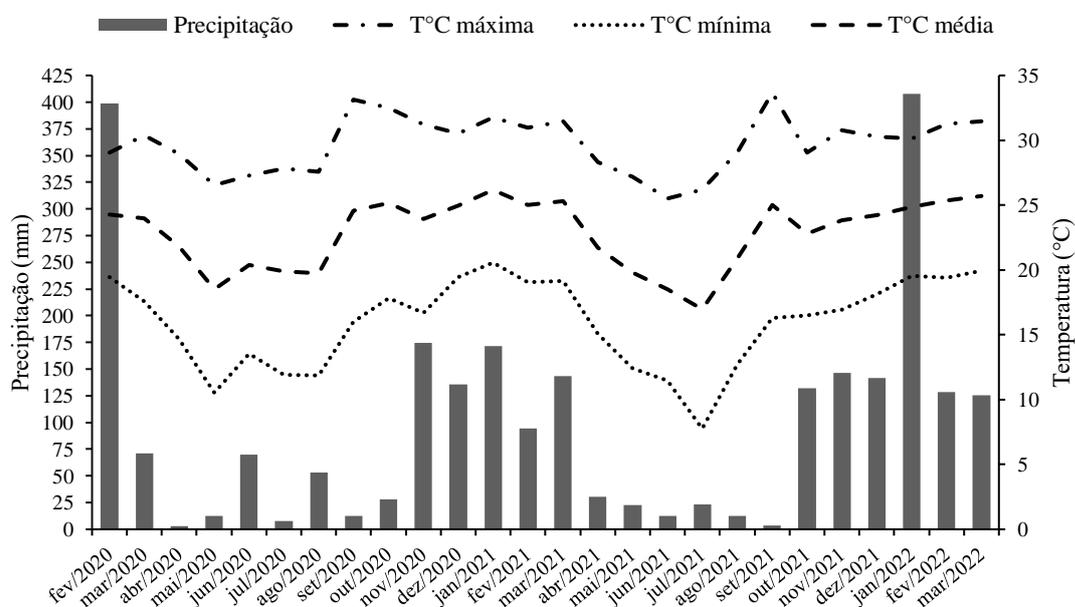
Com base no exposto, nós hipotizamos que padrões de perfilhamento de espécies de gramíneas forrageiras tropicais perenes que apresentem nichos ecológicos contrastantes e complementares (e.g. plantas conservadoras × competidoras por recursos) cultivadas em associação, sob condições de baixo nível de estresse (disponibilidade adequada de nutrientes no solo) e baixo nível de distúrbio (severidade de desfolhação), são semelhantes àqueles das plantas cultivadas em monocultivo, não modificando as rotas de perenização das espécies associadas.

## **2.2. Material e Métodos**

### **2.2.1. Localidade e características da área experimental**

O estudo foi conduzido em área experimental do Departamento de Zootecnia da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP), em Piracicaba, Estado de São Paulo (coordenadas geográficas aproximadas de 22°42’ de latitude Sul, 47°38’ de longitude Oeste e 546 m de altitude; Cepagri, 2012). O clima da região, segundo classificação de Köppen, é do tipo Cwa (mesotérmico úmido subtropical de inverno seco) (Alvares et al., 2013), com precipitação média anual de 1275 mm. A temperatura média do período experimental foi de 22,8°C e o índice pluviométrico referente ao período de fevereiro de 2020 a março de 2022 foi de 2563,6 mm, no qual 657,3 mm corresponderam à primeira estação de crescimento (fevereiro a outubro de 2020); 956,8 mm à segunda estação de crescimento (novembro de 2020 a outubro de 2021) e 949,5 mm à terceira estação de

crescimento (novembro de 2021 a março de 2022), tendo as maiores precipitações sido registradas nos meses de fevereiro de 2020 (398,9 mm) e janeiro de 2022 (407,7 mm) (Figura 1).



**Figura 1.** Precipitação (mm), temperaturas máxima, média e mínima do ar (°C) para a região de Piracicaba/SP durante o período experimental (fevereiro de 2020 a março de 2022).

O solo da área experimental é classificado como Nitossolo Vermelho Eutroférrico de textura argilosa (EMBRAPA, 2018) e apresentava as seguintes características químicas:

**Tabela 1.** Características químicas da camada 0-20 cm do solo na área experimental

pH	MO	P	S	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V	m
CaCl <sub>2</sub>	g.dm <sup>-3</sup>	mg.dm <sup>-3</sup>		mmolc.dm <sup>-3</sup>							%	
4,5	33,8	49,5	25,8	3,5	30,3	12,5	1,5	72,5	46,0	118,5	39,0	3,50

MO = Matéria orgânica do solo; SB = Soma de bases; CTC = Capacidade de troca de cátions efetiva; V = Saturação por bases; e m = Saturação de alumínio

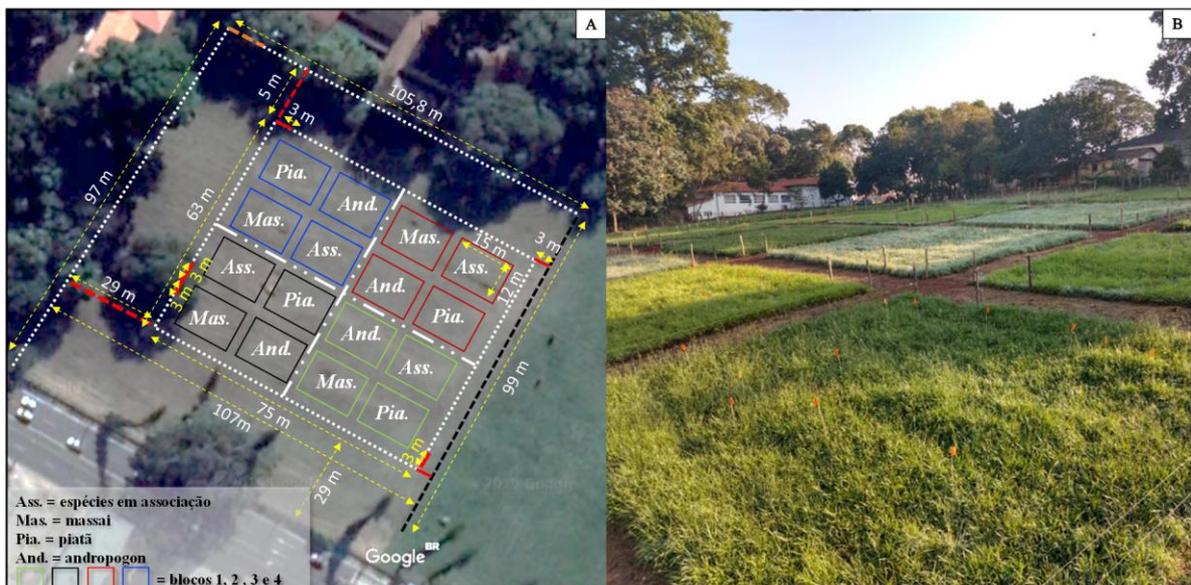
Antes da implantação do experimento o solo foi corrigido com o objetivo de elevar a saturação por bases a 70% utilizando calcário dolomítico, seguindo recomendações do manual de adubação e calagem para o Estado de São Paulo (Van Raij et al., 1997). Não foi necessário aplicar fertilizante por ocasião da semeadura, pois o solo já apresentava níveis satisfatórios de nutrientes para as espécies escolhidas (Werner et al., 1997).

### 2.2.2. Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos corresponderam a três gramíneas forrageiras perenes de clima tropical: capim andropogon (*Andropogon gayanus* cv. Planaltina), capim massai (*Panicum maximum* cv. Massai) e capim piatã (*Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã), cultivadas em monocultivo e em associação (mesma proporção baseada na quantidade de sementes puras e viáveis por hectare no momento de estabelecimento da área), as quais foram estabelecidas em janeiro de 2020.

O critério de escolha das espécies forrageiras foi o de diferenças entre estratégias de crescimento (captura e conservação de recursos) das plantas, associado a diferenças em arquitetura do dossel forrageiro e hábito de crescimento (Pontes et al., 2012; Loreau e Hector, 2001) utilizando protocolo análogo ao descrito por Duchini et al. (2018, 2019). O *Andropogon gayanus* cv. Planaltina foi escolhido como representante de planta conservadora de recursos (baixa área foliar específica, elevada longevidade de folhas e crescimento cespitoso), além de apresentar tolerância ao ataque de insetos, principalmente cigarrinha das pastagens (Pires, 2010); a *Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã foi escolhida como representante de planta competidora por recursos (elevada área foliar específica e renovação de folhas e perfilhos), e o *Panicum maximum* cv. Massai como representante de planta intermediária (renovação mais lenta de folhas e perfilhos e crescimento semiereto). Além disso, são espécies que apresentam elevada tolerância à seca e boa capacidade produtiva quando manejadas de forma intensiva (Fonseca et al., 2010).

A área total possuía 4.725 m<sup>2</sup>, os quais foram divididos em 16 unidades experimentais (piquetes) de 12 m × 15 m (180 m<sup>2</sup> cada) separados entre si por corredores de 3 m de largura (Figura 2). Em razão da declividade do terreno, o delineamento experimental utilizado foi o de blocos completos casualizados, com quatro repetições.



**Figura 2.** Croqui (A) e vista da área experimental (B) indicando o layout e disposição dos piquetes e blocos

### 2.2.3. Estabelecimento das plantas forrageiras e controle das condições experimentais

A semeadura foi realizada manualmente, a lanço, em janeiro de 2020, nos dias 07 (bloco 1), 09 (blocos 2 e 3) e 10 (bloco 4), utilizando taxa equivalente a 300 sementes puras viáveis  $m^{-2}$ , sendo  $\frac{1}{3}$  de cada espécie na associação (100 sementes puras viáveis  $m^{-2}$ ), seguida de compactação com rolo compactador pesando cerca de 100 kg. Aos 21 dias após a semeadura foi realizada aplicação de nitrogênio em cobertura, na forma de nitrato de amônio, na dose de  $40 \text{ kg N ha}^{-1}$ .

Os pastos foram mantidos em crescimento livre até atingirem a meta pré-corte de 35 cm, quando foi realizado o primeiro corte de uniformização e definida a altura de resíduo (pós-corte) de 17,5 cm. A partir desse momento foi iniciado o controle das condições experimentais e do regime de desfolhação baseado em cortes intermitentes caracterizados pela altura pré-corte de 35 cm e altura pós-corte de 17,5 cm. As avaliações foram iniciadas assim que todos os piquetes haviam recebido pelo menos um corte, condição a partir da qual se iniciou o período experimental com o acompanhamento dos ciclos de rebrotação, e que se estendeu até março de 2022, englobando três estações de crescimento consecutivas e sem interrupção (2019/2020, 2020/2021 e 2021/2022).

A altura ideal pré-corte para os capins andropogon, massai e piatã, segundo o critério de  $IL_{95\%}$ , é 50, 55 e 35 cm, respectivamente (Sousa et al., 2010; Barbosa et al., 2010; Crestani et al., 2017). Contudo, assumindo-se essas alturas como sendo as máximas possíveis e considerando a amplitude de 40% abaixo dessas alturas em que não ocorre redução da produção de forragem (Sbrissia et al., 2018; Dearo et al., 2018), é possível manejar o capim andropogon com até 30 cm e o capim massai com até 33 cm de altura pré-corte. Portanto, a meta de altura pré-corte de 35 cm escolhida foi compatível e comum com as necessidades de manejo para as três espécies sendo avaliadas. A meta pós-corte foi correspondente a 50% do valor da altura pré-corte, ou seja, 17,5 cm. Esse critério foi baseado em trabalhos que indicam que essa severidade de desfolhação assegura elevado IAF residual (Giacomini et al., 2009; Silveira et al., 2013), contribuindo para que as desfolhações fossem feitas de forma frequente e não severa, assegurando condições adequadas de crescimento e desenvolvimento das espécies na associação (baixo nível de perturbação – severidade de pastejo, e baixo nível de estresse – competição por luz).

A adubação nitrogenada foi de aproximadamente  $200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de nitrogênio na forma de nitrato de amônio. As aplicações foram feitas de forma fracionada ao longo do período experimental (taxa diária de aplicação de  $1,7 \text{ kg N ha}^{-1}$ ), sendo realizadas somente durante o período quente e chuvoso do ano (outubro a março), sempre após os cortes. A quantidade de fertilizante por aplicação foi proporcional ao intervalo entre cortes ocorrido em cada piquete, de forma que ao final de cada estação de crescimento, todos os piquetes haviam recebido a mesma quantidade de nitrogênio.

O monitoramento das alturas pré- e pós-corte foi realizado para o controle das condições experimentais durante todo o período de avaliações. Foram tomadas 40 leituras por piquete ao longo de quatro linhas transectas utilizando-se régua graduada em milímetros. As avaliações foram realizadas a

cada três dias durante a rebrotação, começando imediatamente após o corte e, na medida em que a altura atingia valores próximos à meta pré-corte de 35 cm, as avaliações passavam a ser diárias, até que os pastos atingissem a meta pré-corte estabelecida. Uma vez atingida a meta de 35 cm de altura pré-corte, realizava-se o protocolo previsto de avaliações antes do corte da forragem, feito com auxílio de roçadora manual a 17,5 cm do solo. Após cada corte um novo ciclo de rebrotação era iniciado e o ciclo de avaliações se repetia.

#### **2.2.4. Avaliações**

##### **2.2.4.1. Interceptação luminosa pelo dossel forrageiro**

As avaliações de interceptação luminosa foram realizadas de forma concomitante às avaliações de altura em pré- e pós-corte utilizando-se aparelho analisador de dossel modelo LAI-2000 (Li-Cor, Lincoln, Nebraska, EUA). As leituras eram realizadas em oito pontos de amostragem por piquete em locais representativos da condição média do dossel forrageiro no momento da amostragem (avaliação visual da massa de forragem e altura). Em cada ponto de amostragem foi tomada uma leitura de referência acima do dossel forrageiro e outras cinco leituras no nível do solo, totalizando 40 leituras por piquete. As mensurações foram realizadas em momentos de predominância de radiação difusa (condição de céu nublado ou baixa elevação solar, ou seja, no início da manhã ou final da tarde), seguindo as recomendações de operação do equipamento (Welles e Norman, 1991).

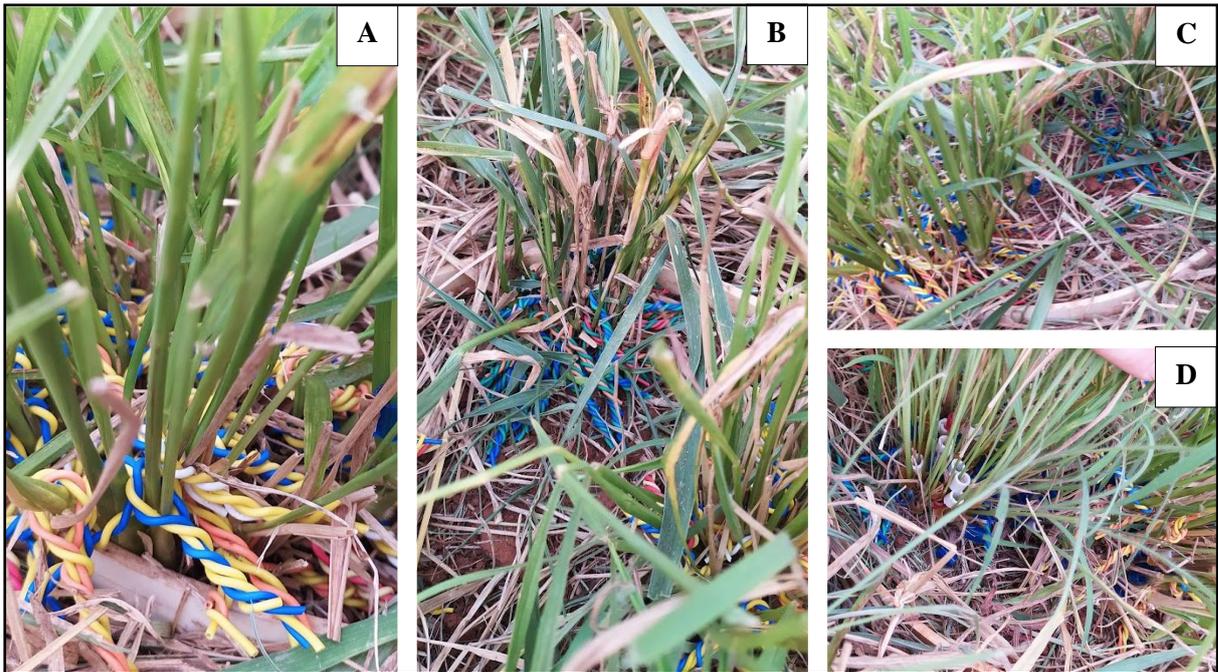
##### **2.2.4.2. Massa de forragem, densidade populacional de perfilhos e peso por perfilho**

As avaliações de massa de forragem pré- e pós-corte e densidade populacional de perfilhos foram realizadas uma vez a cada época do ano, como forma de evitar danos e comprometimento da área para amostragem dos piquetes. Foram amostrados dois pontos representativos por piquete (avaliação visual da massa de forragem e altura no momento da amostragem) utilizando-se moldura metálica de 100 × 25 cm e cortando-se toda a forragem contida no seu interior no nível do solo. Em seguida, as amostras, devidamente identificadas e armazenadas em caixas de isopor com gelo, foram levadas ao laboratório para processamento. Primeiramente, foi realizada contagem do número de perfilhos presentes em cada amostra e, para as amostras referentes aos piquetes com espécies em associação, foi realizada separação botânica dos perfilhos por espécie, para posterior contagem do número de perfilhos. Em razão da difícil identificação da origem do material morto presente nas amostras provenientes da associação, este, incluindo o material preso nos perfilhos, foi contabilizado de forma conjunta, sem identidade de espécie (Duchini et al., 2018). Em seguida, todos os perfilhos (sem material morto) foram

colocados para secar em estufa de circulação forçada de ar a 65°C até massa constante para determinação do peso médio por perfilho (g MS.perfilho<sup>-1</sup>).

#### **2.2.4.3. Dinâmica populacional de perfilhos**

A dinâmica populacional de perfilhos foi avaliada na condição pós-corte, de forma contínua ao longo de todo o período experimental, utilizando-se dois anéis de PVC com 30 cm de diâmetro fixados ao solo por meio de grampos metálicos em locais representativos da condição média dos piquetes no momento da ancoragem (avaliação visual da massa de forragem e altura). Na primeira avaliação, todos os perfilhos contidos nos anéis foram contados, marcados com arames encapados com plástico colorido (uma cor para cada espécie) e denominados de geração de referência ( $G_0$ ). Após novo corte (segunda avaliação), os perfilhos vivos da  $G_0$  foram contados, os novos perfilhos surgidos (nova geração) marcados com cor diferente (uma cor para cada espécie) e foram denominados de 1ª geração ( $G_1$ ) e assim sucessivamente a cada ciclo de rebrotação (Figura 3). Dessa forma, foi possível garantir a identificação tanto da espécie (para piquetes da associação de espécies) quanto da geração, bem como quantificar o número de perfilhos que morreram, surgiram e permaneceram vivos em cada geração. Para determinação das taxas relativas de aparecimento (TAP) foram contabilizados todos os perfilhos surgidos entre dois cortes sucessivos. Posteriormente, foi determinada qual a porcentagem que esses novos perfilhos representavam em relação à população total de perfilhos existentes no início do ciclo de rebrotação. A taxa relativa de mortalidade (TMP) e a taxa relativa de sobrevivência (TSP) foram calculadas de forma análoga, porém utilizando-se o número de perfilhos que morreram e que permaneceram vivos no mesmo período, respectivamente. Por meio da soma dos perfilhos surgidos e mortos das três espécies na associação foram calculadas as taxas de aparecimento, mortalidade e sobrevivência de perfilhos da associação. Como os intervalos de corte não foram os mesmos ao longo do período experimental para tratamentos e repetições (resultado da forma como o regime de desfolhação foi realizado), as taxas foram corrigidas para intervalos de 30 dias. Posteriormente, por conta do número diferente de ciclos de rebrotação entre piquetes, foram calculadas taxas médias relativas por época do ano, e os valores expressos como perfilhos.100 perfilhos<sup>-1</sup>.30 dias<sup>-1</sup>.



**Figura 3.** Vista de um dos anéis de PVC (C) com perfilhos de capim massai (A), capim piatã (B) e capim adropogon (D) cultivados em associação, marcados com diferentes cores para estudo da demografia de perfilhamento

#### 2.2.4.4. Estabilidade da população de perfilhos

O índice de estabilidade da população de perfilhos (IEP) foi calculado com base nas taxas de aparecimento e sobrevivência utilizando-se a equação adaptada de Matthew e Sackville-Hamilton (2011):

$$P_1 / P_0 = TAP + TSP$$

Onde:  $P_1 / P_0$  representa a proporção entre a população de perfilhos existentes na contagem atual e a população de perfilhos existente na contagem anterior e, TAP e TSP são as taxas de aparecimento e sobrevivência de perfilhos correspondentes.

Posteriormente, foram elaborados diagramas da demografia do perfilhamento, indicando o número de perfilhos surgidos em cada geração e seu decréscimo ao longo das sucessivas avaliações, que geralmente apresenta um comportamento exponencial. Sendo assim, a meia-vida dos perfilhos de cada geração foi calculada para os monocultivo conforme descrito por Korte (1986):

$$t_{1/2} = \ln 2/b$$

Onde:  $t_{1/2}$  é a meia-vida de uma geração de perfilhos e  $b$  é o coeficiente da regressão exponencial resultante da redução no número de perfilhos dessa geração com o tempo.

O resultado de meia-vida para cada geração foi utilizado para o cálculo da meia-vida média das gerações de perfilhos surgidos em cada estação do ano, utilizando como unidade de ponderação a quantidade de perfilhos existentes de cada geração.

### **2.2.5. Análise dos dados**

Como os tratamentos foram manejados por meio de cortes baseados em metas de altura do dossel forrageiro em pré- e pós-corte, as datas de corte não foram as mesmas para todos os tratamentos e repetições ao longo do período experimental. Sendo assim, todas as variáveis coletadas foram interpoladas de forma a obter valores para cada época do ano e permitir que as variáveis estudadas pudessem ser comparadas sob influência das mesmas condições climáticas. Como consequência, o período experimental foi dividido nas seguintes épocas do ano: verão 1 (fevereiro e março de 2020); outono, inverno e início de primavera 1 (abril a outubro de 2020); final de primavera 1 (novembro e dezembro de 2020); verão 2 (janeiro a março de 2021); outono, inverno e início de primavera 2 (abril a outubro de 2021); final de primavera 2 (novembro e dezembro de 2021); e verão 3 (janeiro a março de 2022). Posteriormente foram realizadas as médias dos anos para cada época e os dados analisados como final de primavera, verão e outono, inverno e início de primavera, totalizando três épocas do ano. Os dados foram submetidos a análise de variância utilizando-se o PROC MIXED do pacote estatístico SAS® (*Statistical Analysis System*) versão 9.3. A escolha da matriz de variância e de covariância foi feita com base no critério de informação de Akaike (AIC). A análise foi realizada considerando os tratamentos e suas interações como efeitos fixos e blocos como efeito aleatório (Littel et al., 2000). As épocas do ano foram tratadas como medida repetida no tempo. As médias dos tratamentos foram estimadas utilizando-se o comando “LSMEANS” e as comparações entre elas, quando apropriadas, foram realizadas por meio da probabilidade da diferença (PDIF), utilizando o teste “t” de “Student” com  $P < 0,05$ . As comparações das variações das taxas de aparecimento, mortalidade e sobrevivência de perfilhos e meia-vida de perfilhos entre as espécies em associação versus seu respectivo monocultivo foram realizadas por contrastes ortogonais ( $P < 0,05$ ).

## **2.3. Resultados**

### **2.3.1. Características gerais e controle experimental**

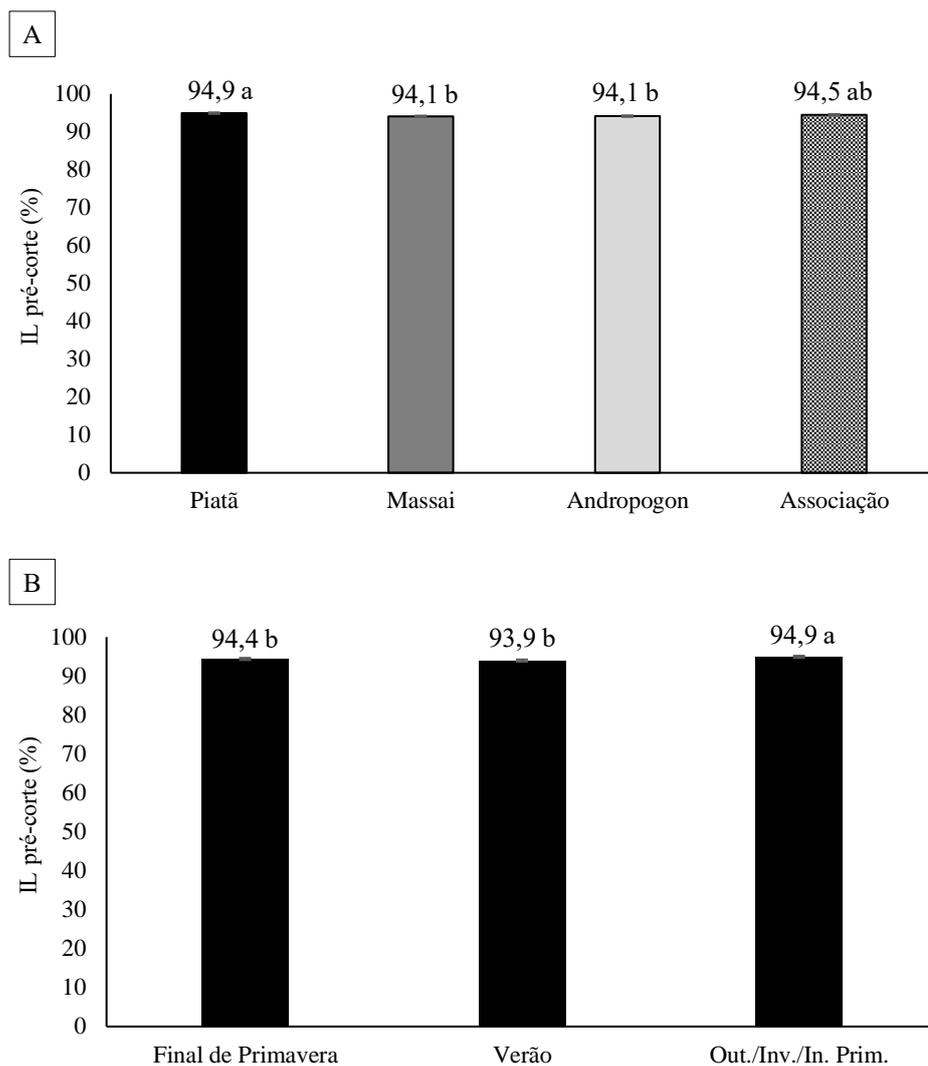
De maneira geral, as metas de altura pré- e pós-corte (35 e 17,5 cm, respectivamente) foram mantidas muito próximas do planejado ao longo de todo o período experimental, com exceção para o capim piatã na época de outono/inverno/início de primavera dos dois anos avaliados, em que foi realizado um corte em todas as repetições antes de chegarem na meta planejada (Tabela 2). Os cortes

foram necessários em razão do crescimento dos pastos ter sido consideravelmente reduzido pelas condições climáticas da época, a fim de se evitar prejuízos para a estrutura do dossel e interferências nas avaliações seguintes, sendo um corte realizado em maio/2020 e outro realizado em junho/2021 (altura média dos piquetes: 25,9 e 30,2 cm, respectivamente). Além disso, o capim piatã apresentou número menor de ciclos de corte relativamente aos demais tratamentos (Tabela 2).

**Tabela 2.** Altura do dossel forrageiro em pré- e pós-corte e número total de ciclos de corte para os capins piatã, massai e andropogon cultivados em monocultivo e em associação durante o período experimental

Época do ano	Piatã	Massai	Andropogon	Associação
<i>Altura pré-corte (cm)</i>				
Final de Primavera	35,2 ± 0,1	35,3 ± 0,2	35,4 ± 0,1	35,3 ± 0,3
Verão	35,1 ± 0,2	35,2 ± 0,2	35,2 ± 0,1	35,1 ± 0,1
Out./Inv./In. Prim.	30,8 ± 0,5	34,9 ± 0,2	34,2 ± 0,8	34,5 ± 0,6
<i>Altura pós-corte (cm)</i>				
Final de Primavera	17,3 ± 0,3	17,1 ± 0,3	17,6 ± 0,2	17,2 ± 0,1
Verão	17,4 ± 0,1	17,2 ± 0,1	17,4 ± 0,1	17,3 ± 0,1
Out./Inv./In. Prim.	17,3 ± 0,2	17,3 ± 0,1	17,5 ± 0,1	17,3 ± 0,2
<i>Número total de ciclos</i>				
	16,8 ± 0,8	24,5 ± 1,1	23,0 ± 1,2	23,5 ± 1,1

A interceptação luminosa (IL) pelo dossel forrageiro em pré-corte variou com tratamento (P=0,0122) e época do ano (P=0,0010), apresentando valores muito próximos a 95%. Maiores valores foram observados para o capim piatã (94,9%), seguidos pela associação (94,5%) e menores valores para os capins massai e andropogon, ambos com 94,1% (Figura 4).



**Figura 4.** Interceptação luminosa (IL) do dossel forrageiro em pré-corte para os capins piatã, massai e andropogon cultivados em monocultivo e em associação durante o período experimental

A IL pelo dossel forrageiro em pós-corte variou com tratamento ( $P < 0,0001$ ), época do ano ( $P < 0,0001$ ) e com a interação tratamento  $\times$  época do ano ( $P = 0,0280$ ). De maneira geral, maiores valores foram registrados para o capim piatã e para a associação, assim como para todos os tratamentos durante o outono/inverno/início de primavera relativamente às demais épocas do ano (Tabela 3).

**Tabela 3.** Interceptação luminosa do dossel forrageiro em pós-corte para os capins piatã, massai e andropogon cultivados em monocultivo e em associação durante o período experimental

Época do ano	Piatã	Massai	Andropogon	Associação	Média	EPM
<i>Interceptação luminosa pós-corte (%)</i>						
Final de primavera	89,6 Ba	86,0 Bb	87,2 Bb	87,5 Bb	87,6 B	0,35
Verão	85,5 Ca	85,5 Ba	81,8 Cb	85,9 Ba	84,7 C	0,35
Out./Inv./In. Prim.	92,1 Aa	89,6 Ab	89,7 Ab	91,5 Aab	90,7 A	0,35
Média	89,1 a	87,0 b	86,2 b	88,3 a		
<i>EPM</i>	<i>0,40</i>	<i>0,40</i>	<i>0,40</i>	<i>0,40</i>		

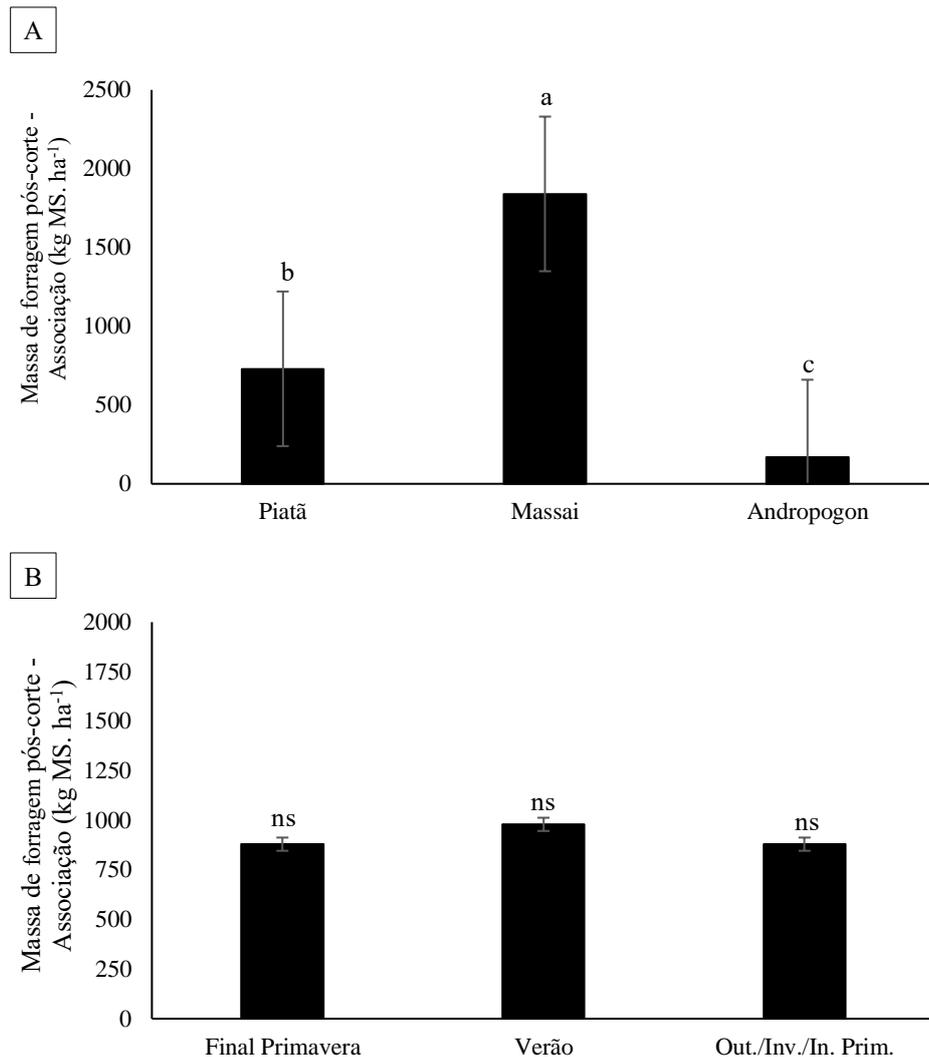
Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ( $P < 0,05$ ). Letras maiúsculas nas colunas comparam épocas do ano, letras minúsculas nas linhas comparam tratamentos. EPM = erro padrão da média.

A massa de forragem tanto em pré- como em pós-corte variou com tratamento ( $P < 0,0001$  e  $P = 0,0030$ , respectivamente), época do ano ( $P < 0,0001$ ) e com a interação tratamento  $\times$  época do ano ( $P = 0,0025$  e  $P < 0,0001$ , respectivamente). Em pré-corte, de maneira geral, maiores valores foram registrados no outono/inverno/início de primavera e menores valores no verão (Tabela 4). O capim piatã foi o que apresentou maiores valores, seguido pela associação e pelo capim massai, sendo o capim andropogon o que apresentou os menores valores. Com relação às espécies na associação, houve efeito de tratamento ( $P < 0,0001$ ) e interação tratamento  $\times$  época do ano ( $P = 0,0016$ ) para massa de forragem pré-corte. O capim massai apresentou sempre os maiores valores de massa de forragem e o capim andropogon os menores. Não houve diferença entre épocas do ano ( $P = 0,1906$ ). Em pós-corte, menores valores foram registrados durante o verão, assim como para o capim andropogon. O capim massai apresentou valores relativamente estáveis ao longo das épocas do ano e a associação apresentou o segundo maior valor (Tabela 4). Com relação às espécies na associação, houve variação apenas para tratamento ( $P < 0,0001$ ), seguindo o mesmo padrão de resposta descrito para a condição pré-corte (Figura 5).

**Tabela 4.** Massa de forragem em pré- e em pós-corte para os capins piatã, massai e andropogon cultivados em monocultivo e em associação durante o período experimental

Época do ano	Piatã	Massai	Andropogon	Associação	Média	EPM
<i>Massa de forragem pré-corte (kg MS.ha<sup>-1</sup>)</i>						
Final de primavera	7790 Ba	6680 Bb	6450 Ab	7390 Ba	7080 B	168
Verão	7290 Ba	6710 Bab	5030 Bc	6560 Cb	6390 C	168
Out./Inv./In. Prim.	8965 Aa	7470 Ab	6470 Ac	8580 Aa	7870 A	168
Média	8020 a	6950 c	5980 d	7510 b		
EPM	200	200	200	200		
<i>Massa de forragem pré-corte - Associação (kg MS.ha<sup>-1</sup>)</i>						
Final de primavera	1100 Ab	2670 Ba	290 Ac	-	1350 ns	97
Verão	820 Ab	3400 Aa	210 Ac	-	1480 ns	97
Out./Inv./In. Prim.	800 Ab	3860 Aa	170 Ac	-	1610 ns	97
Média	910 b	3310 a	220 c			
EPM	97	97	97			
<i>Massa de forragem pós-corte (kg MS.ha<sup>-1</sup>)</i>						
Final de primavera	5830 Ba	5620 Aa	5710 Aa	5590 ABa	5690 A	170
Verão	4560 Cb	5030 Aab	3400 Cc	5210 Ba	4550 B	118
Out./Inv./In. Prim.	6820 Aa	5560 Abc	4920 Bc	6070 Aab	5840 A	176
Média	5740 a	5400 a	4680 b	5620 a		
EPM	216	216	216	216		

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ( $P < 0,05$ ). Letras maiúsculas nas colunas comparam épocas do ano, letras minúsculas nas linhas comparam tratamentos. EPM = erro padrão da média.



**Figura 5.** Massa de forragem em pós-corte para os capins piatã, massai e andropogon cultivados em associação durante o período experimental

### 2.3.2. Densidade populacional de perfilhos e peso médio por perfilho

A densidade populacional de perfilhos (DPP) variou com tratamento ( $P < 0,0001$ ), época do ano ( $P < 0,0001$ ) e com a interação tratamento  $\times$  época do ano ( $P < 0,0001$ ). De maneira geral, maiores valores foram registrados no outono/inverno/início de primavera (Tabela 5). Não houve diferença entre épocas do ano para o capim piatã, sendo seus valores menores relativamente aos dos demais tratamentos. A associação apresentou valores intermediários de DPP, com maior valor registrado no verão. Os capins massai e andropogon apresentaram as maiores densidades populacionais, sendo ambas registradas no outono/inverno/início de primavera, porém, o capim massai apresentou sua menor DPP no final da primavera e o capim andropogon no verão.

O peso médio por perfilho variou com tratamento ( $P < 0,0001$ ) e com a interação tratamento  $\times$  época do ano ( $P < 0,0001$ ). De forma geral, o capim piatã apresentou perfilhos mais pesados, o capim

andropogon perfilhos mais leves e o capim massai e a associação apresentaram valores intermediários (Tabela 5).

**Tabela 5.** Densidade populacional de perfilhos e peso médio por perfilho para os capins piatã, massai e andropogon cultivados em monocultivo e em associação durante o período experimental

Época do ano	Piatã	Massai	Andropogon	Associação	Média	EPM
<i>Densidade populacional de perfilhos (perfilhos.m<sup>-2</sup>)</i>						
Final de primavera	953 Ac	1444 Ba	1484 Ba	1228 Bb	1277 B	47,8
Verão	1074 Ab	1530 ABa	1157 Cb	1421 Aa	1296 B	47,8
Out./Inv./In. Prim.	1086 Ac	1670 Ab	1858 Aa	1517 Ab	1533 A	47,8
Média	1038 c	1548 a	1500 a	1389 b		
EPM	51,1	51,1	51,1	51,1		
<i>Peso médio por perfilho (g MS.perfilho<sup>-1</sup>)</i>						
Final de primavera	4,9 Ba	2,9 ABb	2,0 ABc	3,2 Ab	3,2 ns	0,18
Verão	4,8 Ba	3,1 Ab	2,3 Ac	3,0 Ab	3,3 ns	0,13
Out./Inv./In. Prim.	5,6 Aa	2,6 Bc	1,8 Bd	3,1 Ab	3,3 ns	0,16
Média	5,1 a	2,9 b	2,0 c	3,1 b		
EPM	0,17	0,17	0,17	0,17		

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si (P<0,05). Letras maiúsculas nas colunas comparam épocas do ano, letras minúsculas nas linhas comparam tratamentos. EPM = erro padrão da média.

### 2.3.3. Taxas relativas de aparecimento e mortalidade de perfilhos

A TAP variou com a época do ano (P<0,0001) e com a interação tratamento × época do ano (P<0,0001). De forma geral, maiores valores foram registrados no verão e menores no outono/inverno/início de primavera (Tabela 6). O capim piatã apresentou a maior amplitude de variação ao longo das épocas do ano, com a TAP do verão sendo três vezes maior relativamente àquela do outono/inverno/início de primavera. Em contrapartida, o capim andropogon se destacou por apresentar pequena amplitude de variação e os maiores valores de TAP no outono/inverno/início de primavera relativamente aos demais tratamentos. O capim massai apresentou redução do aparecimento de perfilhos somente no outono/inverno/início de primavera e a associação apresentou maiores valores de TAP no verão e menores no outono/inverno/ início de primavera.

**Tabela 6.** Taxas relativas de aparecimento, mortalidade e sobrevivência de perfilhos para os capins piatã, massai e andropogon cultivados em monocultivo e em associação durante o período experimental

Época do ano	Piatã	Massai	Andropogon	Associação	Média	EPM
<i>Taxa relativa de aparecimento de perfilhos (perfilhos.100 perfilhos<sup>-1</sup>.30dias<sup>-1</sup>)</i>						
Final de primavera	28,0 Bbc	36,2 Aa	25,9 Bc	31,1 Bb	30,3 B	0,80
Verão	47,9 Aa	34,9 Ab	37,1 Ab	41,8 Aab	40,4 A	1,47
Out./Inv./In. Prim.	14,4 Cb	19,9 Bb	28,6 Ba	20,0 Cb	20,7 C	0,98
Média	30,1 ns	30,3 ns	30,5 ns	31,0 ns		
EPM	1,53	1,46	1,46	1,46		
<i>Taxa relativa de mortalidade de perfilhos (perfilhos.100 perfilhos<sup>-1</sup>.30dias<sup>-1</sup>)</i>						
Final de primavera	21,5 Bc	29,4 Ab	36,1 Aa	28,0 Ab	28,7 A	0,99
Verão	33,2 Aa	22,5 Bb	32,6 Aa	26,5 Aab	28,7 A	1,20
Out./Inv./In. Prim.	13,2 Cb	17,7 Ca	12,8 Bb	14,2 Bb	14,5 B	0,32
Média	22,6 b	23,2 b	27,2 a	22,9 b		
EPM	1,29	1,24	1,24	1,24		
<i>Taxa relativa de sobrevivência de perfilhos (perfilhos.100 perfilhos<sup>-1</sup>.30dias<sup>-1</sup>)</i>						
Final de primavera	78,5 Ba	70,6 Cb	63,9 Bc	72,0 Bb	71,3 B	0,99
Verão	66,8 Cb	77,5 Ba	67,4 Bb	73,5 Bab	71,3 B	1,20
Out./Inv./In. Prim.	86,8 Aa	82,3 Ab	87,2 Aa	85,8 Aa	85,5 A	0,32
Média	77,4 a	76,8 a	72,8 b	77,1 a		
EPM	1,29	1,24	1,24	1,24		

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si (P<0,05). Letras maiúsculas nas colunas comparam épocas do ano, letras minúsculas nas linhas comparam tratamentos. EPM = erro padrão da média.

A TMP e a TSP variaram com tratamento (P=0,0459), época do ano (P<0,0001) e com a interação tratamento × época do ano (P<0,0001). De forma geral, o capim andropogon apresentou a maior TMP e o outono/inverno/início de primavera a menor TMP (Tabela 6). O capim piatã apresentou maiores valores no verão e menores no outono/inverno/início de primavera e o capim massai apresentou maiores valores no final da primavera e menores no outono/inverno/início de primavera. Já o capim andropogon e a associação apresentaram menores valores no outono/ inverno/início de primavera, sendo que não houve diferença entre final de primavera e verão. Com relação à TSP, o capim andropogon apresentou as menores taxas de sobrevivência, sendo sempre os maiores valores registrados no outono/inverno/início de primavera (Tabela 6). O capim piatã apresentou menor TSP no verão, o capim massai no final da primavera e o capim andropogon, assim como a associação, não apresentaram diferenças entre o final da primavera e o verão.

#### 2.3.4. Meia-vida dos perfilhos

A meia-vida dos perfilhos variou com tratamento (P=0,0003), época do ano (P<0,0001) e com a interação tratamento × época do ano (P<0,0001). De forma geral, o capim massai foi o que apresentou perfilhos mais longevos relativamente aos demais tratamentos (Tabela 7). Perfilhos surgidos durante o

verão apresentam longevidade superior àqueles surgidos nas demais épocas do ano. O capim piatã apresentou o menor valor de meia-vida, especialmente os perfilhos surgidos no final de primavera (menor valor registrado durante todo o período experimental). Na associação, os valores de meia-vida de perfilhos surgidos em diferentes épocas do ano foram menos variáveis.

**Tabela 7.** Meia-vida de perfilhos surgidos em diferentes épocas do ano para os capins piatã, massai e andropogon cultivados em monocultivo e em associação durante o período experimental

Época do ano	Piatã	Massai	Andropogon	Associação	Média	EPM
Final de primavera	29 Bc	67 Ba	48 Bb	55 Bab	50 B	5,5
Verão	58 Ab	114 Aa	68 Ab	65 Ab	76 A	5,5
Out./Inv./In. Prim.	51 Aa	59 Ba	50 ABa	52 Ba	53 B	5,5
Média	46 c	80 a	55 b	57 b		
EPM	6,0	8,6	7,2	4,8		

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ( $P < 0,05$ ). Letras maiúsculas nas colunas comparam épocas do ano, letras minúsculas nas linhas comparam tratamentos. EPM = erro padrão da média.

### 2.3.5. Taxas de aparecimento, mortalidade e sobrevivência de perfilhos e meia-vida de perfilhos das espécies na associação versus seus respectivos monocultivos

Considerando as espécies quando cultivadas em associação relativamente aos seus monocultivos (Tabela 8), o capim piatã apresentou maior TAP no final de primavera ( $P=0,0049$ ), o capim massai apresentou menor TAP no final de primavera ( $P=0,0024$ ) e maior no verão ( $P=0,0051$ ) e o capim andropogon não apresentou variação. Não foram observadas variações para as taxas de mortalidade e sobrevivência de perfilhos para as três espécies estudadas. O capim massai apresentou perfilhos mais longevos no final de primavera ( $P=0,0415$ ) e menos longevos no verão ( $P=0,0387$ ), o capim andropogon apresentou apenas perfilhos mais longevos no final de primavera ( $P=0,0476$ ), já o capim piatã manteve as idades dos perfilhos independente da forma de cultivo.

**Tabela 8.** Taxas relativas de aparecimento, mortalidade e sobrevivência de perfilhos e meia-vida de perfilhos para os capins piatã, massai e andropogon cultivados em monocultivo e em associação durante o período experimental

Espécie	Final de primavera	<i>P value</i>	Verão	<i>P value</i>	Out./Inv./In. Prim.	<i>P value</i>
<i>Taxa relativa de aparecimento de perfilhos (perfilhos.100 perfilhos<sup>-1</sup>.30dias<sup>-1</sup>)</i>						
Piatã	28,0	<b>0,0049</b>	52,8	0,2039	14,4	0,4202
Piatã – Ass.	34,7		44,6		16,3	
Massai	36,2	<b>0,0024</b>	34,9	<b>0,0051</b>	19,9	0,2235
Massai – Ass.	28,8		55,0		17,0	
Andropogon	25,9	0,0601	37,1	0,5852	28,6	0,2168
Andropogon – Ass.	30,1		33,6		31,5	
<i>Taxa relativa de mortalidade de perfilhos (perfilhos.100 perfilhos<sup>-1</sup>.30dias<sup>-1</sup>)</i>						
Piatã	21,5	0,0722	32,7	0,8909	13,2	0,2372
Piatã – Ass.	24,0		26,8		12,1	
Massai	29,4	0,3301	22,4	0,3087	17,7	0,6987
Massai – Ass.	26,9		18,3		17,4	
Andropogon	36,1	0,3406	32,6	0,1593	12,8	0,2730
Andropogon – Ass.	31,3		33,2		11,6	
<i>Taxa relativa de sobrevivência de perfilhos (perfilhos.100 perfilhos<sup>-1</sup>.30dias<sup>-1</sup>)</i>						
Piatã	78,5	0,0722	67,3	0,8909	86,8	0,2372
Piatã – Ass.	76,0		73,2		87,9	
Massai	70,6	0,3301	77,5	0,3087	82,3	0,6987
Massai – Ass.	73,1		81,7		82,6	
Andropogon	63,9	0,3406	67,4	0,1593	87,2	0,2730
Andropogon – Ass.	68,7		66,8		88,3	
<i>Meia vida de perfilhos (dias)</i>						
Piatã	29,4	0,2971	58,3	0,1262	51,2	0,5082
Piatã – Ass.	44,2		71,64		52,1	
Massai	67,2	<b>0,0415</b>	113,9	<b>0,0387</b>	58,6	0,5109
Massai – Ass.	82,4		83,1		63,9	
Andropogon	48,3	<b>0,0476</b>	67,8	0,3425	50,4	0,9076
Andropogon – Ass.	55,7		89,9		55,8	

Valores de (*P value*) referem-se aos contrastes ortogonais ( $P < 0.05$ ).

### 2.3.6. Índice de estabilidade da população de perfilhos

O índice de estabilidade da população de perfilhos (IEP) variou com tratamento ( $P=0,0089$ ), época do ano ( $P < 0,0001$ ) e com a interação tratamento  $\times$  época do ano ( $P < 0,0001$ ). De maneira geral, todos os tratamentos apresentaram índices superiores a 1,0, sendo o capim andropogon o que registrou menor IEP, assim como a época de outono/inverno/início de primavera, porém valor também superior a 1,0 (Tabela 9). O capim piatã registrou maior IEP no verão e menor no final de primavera. O capim massai registrou menor IEP no outono/inverno/início de primavera e não houve diferença entre o final de primavera e o verão. O capim andropogon foi o único que apresentou índice abaixo de 1,0 (0,89 no

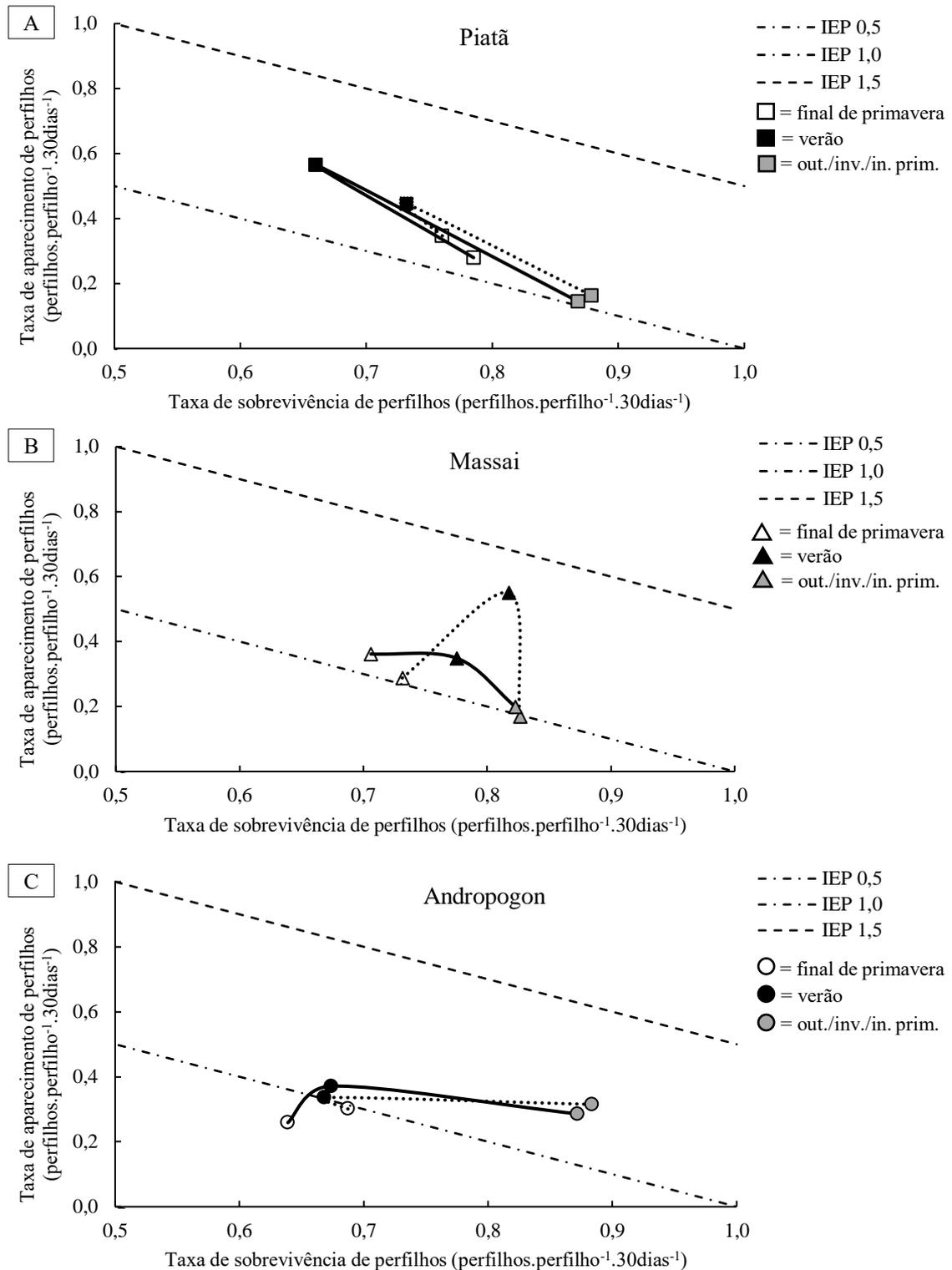
final de primavera) e maior IEP no outono/inverno/início de primavera. Já a associação apresentou maior IEP no verão e não houve diferença entre o outono/inverno/início de primavera e final de primavera (Tabela 9).

**Tabela 9.** Índice de estabilidade da população de perfilhos para os capins piatã, massai e andropogon cultivados em monocultivo e em associação durante o período experimental

Época	Piatã	Massai	Andropogon	Associação	Média	<i>EPM</i>
<i>Índice de estabilidade populacional</i>						
Final de primavera	1,02 Ca	1,07 Aba	0,89 Cb	1,03 Ba	1,02 C	0,012
Verão	1,12 Aa	1,12 Aa	1,05 Bb	1,15 Aa	1,12 A	0,013
Out./Inv./In. Prim.	1,06 Bb	1,02 Bb	1,16 Aa	1,06 Bb	1,06 B	0,012
Média	1,07 a	1,07 a	1,03 b	1,08 a		
<i>EPM</i>	0,012	0,011	0,011	0,011		

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ( $P < 0,05$ ). Letras maiúsculas nas colunas comparam épocas do ano, letras minúsculas nas linhas comparam tratamentos. *EPM* = erro padrão da média.

Quando se comparou cada espécie da associação com seu respectivo monocultivo, não foram observadas respostas contrastantes àquelas descritas para as situações de monocultivo (Figura 6). De maneira geral, a relação entre as taxas de aparecimento e sobrevivência de perfilhos ficaram muito próximas.



**Figura 6.** Diagrama sazonal da estabilidade populacional de perfilhos em populações dos capins piatã (quadrados) (A), massai (triângulos) (B) e andropogon (círculos) (C) em monocultivo (linha contínua) e em associação (linha pontilhada) ao longo das estações do ano. Os símbolos indicam o índice de estabilidade populacional de perfilhos (IEP) como resultado de combinações entre taxas de sobrevivência (TSP) e aparecimento (TAP) de perfilhos de acordo com a seguinte equação:  $IEP = TSP + TAP$  (Adaptado de Matthew & Sackville Hamilton, 2011). Valores de *P* em *itálico* indicam contrastes ortogonais com  $P < 0,05$  para TAP.

## 2.4. Discussão

Nossos resultados demonstram que a associação de gramíneas de clima tropical com grupos funcionais distintos, sob condições de baixa competição por luz e nutrientes criadas por meio do protocolo experimental utilizado, apresenta estabilidade das populações de plantas resultante da complementariedade entre as espécies em função das diferenças em estratégias de crescimento e perenização moduladas pelas condições de ambiente (disponibilidade de luz e nutrientes) ao longo das épocas do ano, sem alteração de suas rotas principais de perenização, principalmente por meio da sobrevivência de perfilhos (Tabela 8).

Comunidades de plantas em pastagens condicionam-se às diferentes frequências e severidades de desfolhação a que são submetidas por meio de mecanismos que visam assegurar sua perenidade e eficiência fotossintética, sendo a densidade populacional de perfilhos (DPP) a característica estrutural que permite a maior flexibilidade de ajuste em índice de área foliar do dossel forrageiro por parte da comunidade de plantas (Matthew et al., 2000). Nesse sentido, para a mesma condição de manejo, o capim piatã apresentou maior massa de forragem composta por perfilhos maiores e em menor número (menor DPP) e os capins andropogon e massai apresentaram maiores densidades populacionais de perfilhos mais leves e, conseqüentemente, menores massas de forragem. Já a elevada massa de forragem observada para a associação foi decorrente de um arranjo espacial complementar entre o capim massai, que apresentou estrutura com maior ângulo da folhagem (mais verticalizada) (Silva, 2023), e os capins piatã e andropogon, que apresentaram menores ângulos da folhagem (mais horizontalizada), permitindo melhor ocupação da superfície por meio do uso do espaço entre as touceiras de massai pelos capins piatã e andropogon.

De maneira geral, os capins piatã e massai apresentaram maiores taxas de aparecimento e mortalidade (*turnover*) de perfilhos no final da primavera e verão (maior disponibilidade de luz, precipitação e nutrientes) e menores no outono/inverno/início de primavera (período de maior restrição de fatores abióticos), resposta condizente com a estratégia de maior captação de recursos durante períodos de elevada disponibilidade como forma de gerar maior vantagem competitiva (Cruz et al., 2002). Por outro lado, o capim andropogon apresentou taxas de aparecimento de perfilhos relativamente estáveis entre as épocas do ano e menor taxa de mortalidade (elevada taxa de sobrevivência) no outono/inverno/início de primavera, época em que ocorre limitação dos recursos abióticos e as condições de crescimento são menos favoráveis, resposta condizente com a estratégia de conservação de recursos durante períodos de escassez como forma de gerar vantagem competitiva (Cruz et al., 2002). Estratégias de persistência contrastantes entre as diferentes espécies de gramíneas forrageiras foram relatadas por Matthew et al. (2013). Segundo os autores, algumas espécies apresentam perfilhamento sazonal, influenciado pelo florescimento e/ou condições climáticas (como os capins piatã e massai), enquanto

outras possuem estratégia de persistência “vegetativa”, com perfilhamento contínuo e mais bem distribuído ao longo do ano (como o capim andropogon).

Na associação, todos os capins oscilaram entre maior *turnover* de perfilhos nas águas e maior sobrevivência de perfilhos na seca. O *timing* da transição de uma estratégia para outra durante a primavera e outono, respectivamente, é que parece ter sido diferente para as espécies, o que *per se* já é um exemplo de complementariedade. Em 1974, Grime já havia relatado que apesar das plantas apresentarem funcionalidades distintas, dificilmente alguma planta apresentaria características exclusivas de um grupo funcional, ou seja, geralmente uma espécie apresenta características intermediárias entre eles (Grime, 1977). Sendo assim, a grande maioria das espécies forrageiras pode transitar entre suas funcionalidades, ora sendo competidoras e/ou estresse-tolerantes, como observado no nosso estudo. Além disso, a distribuição vertical das espécies no dossel forrageiro pareceu ter favorecido os capins piatã e andropogon, especialmente no final de primavera, e favorecido o capim massai no verão, épocas em que suas taxas de aparecimento de perfilhos foram maiores relativamente aos seus monocultivos. Quando uma pastagem é formada por diferentes espécies, as plantas componentes desse ecossistema multiespecífico têm ao seu redor indivíduos com características diferentes daqueles presentes em um monocultivo, dessa forma melhora a ocupação tridimensional acima do solo (Naeem et al., 1994), resultando em complementariedade arquitetônica entre as espécies (Spehn et al., 2000). Contudo, a heterogeneidade botânica também pode propiciar maior sombreamento das espécies de desenvolvimento mais lento e/ou porte mais baixo e intensificar a competição por luz. Dessa forma, no retorno das águas como os pastos ainda estavam se restabelecendo e, conseqüentemente os perfilhos menos adensados (mais luz chegando na base do dossel), os capins piatã e andropogon se sobressaíram. Porém, após o restabelecimento, o capim massai por apresentar maior ângulo da folhagem e maior taxa de alongamento foliar (Silva, 2023), foi beneficiado no uso de suas estratégias de captura e utilização dos recursos, se sobressaindo no verão.

Quando as demandas por nutrientes pelas plantas são supridas, a competição pelo recurso luz torna-se o principal fator limitante do crescimento, pois a luz além de fornecer energia para a fotossíntese fornece também sinais que regulam o desenvolvimento e crescimento das plantas por meio de receptores sensíveis a diferentes intensidades luminosas e qualidades espectrais. Assim, modificações nas características da luz (devido principalmente ao sombreamento) que incide sobre uma planta pode influenciar suas características fisiológicas e modificar seus aspectos funcionais e, conseqüentemente, os das pastagens (Sbrissia et al., 2015). No presente estudo, embora não tenha ocorrido competição por nutrientes (Gomes, 2023), mas sim por luz em nível de perfilhos individuais (Silva, 2023), esta parece não ter sido intensa a ponto de influenciar a dinâmica de perfilhamento das plantas, visto que as plantas cultivadas em associação apresentaram dinâmicas semelhantes àquelas observadas quando cultivadas em monocultivo. No entanto, parece ter sido suficiente o bastante para gerar diferenças nas estratégias de crescimento e de perenização das espécies, como discutido acima.

Segundo Tilman et al. (2006) e Hector et al. (2010), a biodiversidade aumenta as flutuações temporais de população e produção primária de cada espécie que compõe uma mistura, mas reduz essas variabilidades na comunidade. Nesse sentido, as variações sazonais nas populações dos capins *piatã* e *massai* entre o final de primavera e verão, respectivamente, resultaram em pequenas flutuações temporais na associação, que concomitante ao perfilhamento relativamente estável do capim *andropogon* e a utilização da estratégia de sobrevivência por todas as espécies nos períodos menos favoráveis de crescimento, reduziram as variações nas taxas de perfilhamento, promovendo maior estabilidade na população de plantas (DPP). Porém, não foram suficientes para gerar maior estabilidade produtiva (menor variação intra-anual), ou seja, redução na estacionalidade de produção (dados não publicados). No entanto, a população de plantas foi mais jovem e com menor variação na faixa etária dos perfilhos. A idade dos perfilhos tem impacto significativo no desempenho produtivo das plantas, uma vez que perfilhos jovens possuem maior taxa de aparecimento e de alongamento das folhas que perfilhos velhos (Carvalho et al., 2001; Paiva et al., 2011; Paiva et al., 2015). Além das respostas discutidas acima, não foram observadas variações nas taxas de sobrevivência e mortalidade de perfilhos na associação relativamente aos seus respectivos monocultivos, sendo as maiores taxas de sobrevivência observadas para todas as espécies no outono/inverno/início de primavera, garantindo a estabilidade das populações durante essa época do ano. Segundo Matthew et al. (2000), a estabilidade da população de perfilhos e perenização das pastagens podem ocorrer por meio de duas vias principais: elevada taxa de aparecimento e/ou elevada sobrevivência de perfilhos. Nossos resultados mostraram que as plantas alternaram as vias principais em função das condições de ambiente. Em situações mais desfavoráveis ao crescimento, como os períodos mais secos e frios do ano (outono/inverno/início de primavera para nossas condições experimentais), a estratégia de conservação (maior taxa de sobrevivência) foi predominantemente utilizada como resposta a um mecanismo adaptativo importante para compensar o menor aparecimento de perfilhos (Santos et al., 2011).

## 2.5. Conclusão

A associação de gramíneas forrageiras tropicais cultivadas em ambientes férteis e com desfolhações frequentes e não severas permitiu com que as populações fossem estáveis e apresentassem dinâmicas de perfilhamento similares aos seus monocultivos. No outono/inverno/início de primavera, condições em que a disponibilidade dos recursos é limitada por fatores abióticos, a estabilidade dos pastos foi em função do uso, para todas as espécies, da estratégia de conservação principalmente por meio da sobrevivência dos perfilhos existentes. Porém, quando os recursos não foram mais um fator limitante (final de primavera e verão), o uso da estratégia de captura foi preconizado para maior *turnover* das espécies, sendo a estabilidade dos pastos assegurada por meio de altas taxas de aparecimento como forma de compensar as elevadas taxas de mortalidade de perfilhos. Entretanto, especialmente na

associação, os diferentes *timings* de transição de uma estratégia para outra, resultaram em pequenas variações sazonais moduladas pela competição por luz, como uma complementação temporal em que pequenas flutuações das populações das espécies promoveram maior estabilidade da população de plantas na associação, com padrão menos variável em densidade populacional de perfilhos e de perfilhamento ao longo do ano.

## Referências

- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- BARBOSA, R. A.; ROSA, P. R. da; LIMA, G. de O. Capim-massai manejado em diferentes combinações de intensidade e frequência de corte. *Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, Empreendedorismo e Progresso Científicos na Zootecnia Brasileira De Vanguarda*, v. 47, 2010.
- CARVALHO, D. D.; MATTHEW, C.; HODGSON, J. Effect of aging in tillers of *Panicum maximum* on leaf elongation rate. In *Proceedings of the XIX International Grassland Congress*, São Pedro, Brazil, 11–21 February 2001; Gomide, J.A., Mattos, W.R.S., da Silva, S.C., Eds.; FEALQ: São Pedro, Brazil, 2001; pp. 41–42.
- CRESTANI, S. et al. Sward structural characteristics and herbage accumulation of Piatã palisade grass (*Brachiaria brizantha*) in a crop–livestock–forest integration area. *Crop and Pasture Science*, v. 68, n. 9, p. 859-871, 2017.
- CRUZ, P. et al. Une nouvelle approche pour caractériser les prairies naturelles et leur valeur d'usage. *Fourrages*, v. 172: 335-354, 2002.
- DEARO, J. G. C.; GOMES, C. M.; DA SILVA, S. C. Existe flexibilidade na meta de altura pré-pastejo para o capim-marandu? In: *Simpósio Internacional de Iniciação Científica e Tecnológica da USP - SIICUSP*, 2018, Piracicaba, SP. *Anais do 26º Simpósio Internacional de Iniciação Científica e Tecnológica da USP – SIICUSP*, CD-ROM, 2018.
- DUCHINI, P. G. et al. Can a Mixture of Perennial Grasses with Contrasting Growth Strategies Compose Productive and Stable Swards? *Agronomy Journal*, 2018.
- DUCHINI, P. G. et al. Experimental evidence that the perennial grass persistence pathway is linked to plant growth strategy. *Plos One*, v. 13, 2019.
- FICK, G. W. The future of grass for dairy cattle. *Grass for dairy cattle*, p. 373-391, 1998.
- FONSECA, D. M. et al. *Plantas forrageiras*, 2 ed. Editora UFV. Universidade Federal de Viçosa, 537p, 2010.

- GIACOMINI, A. A. et al. Components of the leaf area index of marandu palisadegrass swards subjected to strategies of intermittent stocking. *Scientia Agricola*, v. 66, n. 6, p. 721-732, 2009.
- GOMES, C. M. Association of tropical forage grasses in pastures: an opportunity for sustainable intensification? Thesis (PhD in Animal Science and Pastures), “Luiz de Queiroz” College of Agriculture – São Paulo University. 2023.
- GRIME, J. P. Vegetation classification by reference to strategies. *Nature*, v. 250, p. 26-31, 1974.
- GRIME, J. P. Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. *The American Naturalist*, v. 111, n. 982, p. 1169-1194, 1977.
- GROSS, N. et al. Complementarity as a mechanism of coexistence between functional groups of grasses. *Journal of Ecology*, v. 95, n. 6, p. 1296-1305, 2007.
- HECTOR, A. et al. General stabilizing effects of plant diversity on grassland productivity through population asynchrony and overyielding. *Ecology*, v. 91, n. 8, p. 2213-2220, 2010.
- HODGSON, J. Grazing management. Science into practice. Longman Group UK Ltd., 1990.
- KORTE, C. J. Tillering in ‘Grasslands Nui’ perennial ryegrass swards 2. Seasonal pattern of tillering and age of flowering tillers with two mowing frequencies. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, v. 29, n. 4, p. 629-638, 1986.
- LITTEL, R. C.; PENDERGAST, J.; NATARAJAN, R. Modelling covariance structure in the analysis of repeated measures data. *Statistics in Medicine*, Boston, v. 19, p. 1793-1819, 2000.
- LOREAU, M.; HECTOR, A. Partitioning selection and complementarity in biodiversity experiments. *Nature*, v. 412, n. 6842, p. 72-76, 2001.
- MATTHEW, C. et al. State of knowledge in tiller dynamics. Proceedings of the 22nd International Grassland Congress, Sydney, Austrália. Setembro, 2013.
- MATTHEW, C. et al. Tiller dynamics in grazed swards. In *Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology*; Lemaire, G., Hodgson, J., Moraes, A., Nabinger, C., Carvalho, P.C.F., Eds.; CAB International: Wallingford, UK, pp. 127–150, 2000.
- MATTHEW, C.; SACKVILLE-HAMILTON, N. R. Analysing persistence of grass swards in terms of tiller birth and death. *Pasture Persistence—Grassland Research and Practice*, v. 15, p. 63-68, 2011.
- MOORE, K. J.; MOSER, L. E. Quantifying developmental morphology of perennial grasses. *Crop Science*, v. 35, n. 1, p. 37-43, 1995.
- NAEEM, S. et al. Declining biodiversity can alter the performance of ecosystems. *Nature*, v. 368, p. 21, 1994.

- PAIVA, A. J. et al. Identification of tiller age categories based on morphogenetic responses of continuously stocked marandu palisade grass fertilised with nitrogen. *Ciência Rural*, v. 45, p. 867-870, 2015
- PAIVA, A. J. et al. Morphogenesis on age categories of tillers in marandu palisadegrass. *Scientia Agricola*, v. 68, p. 626-631, 2011.
- PARSONS, A. J.; CHAPMAN, D. F. Grass: Its production and utilisation. Oxford, UK: Blackwell Science. Chapter. 3. The principles of pasture growth and utilisation; p.31-89, 2000.
- PEMBLETON, K. G. et al. Simple versus diverse pastures: opportunities and challenges in dairy systems. *Animal Production Science*, v. 55, n. 7, p. 893-901, 2015.
- PIRES, A.V. Bovinocultura de corte. Piracicaba: FEALQ, v.1, p.760, 2010.
- PONTES, L. S. et al. Impacts of species interactions on grass community productivity under contrasting management regimes. *Oecologia*, v.168, p.761-771, 2012.
- RAIJ, B. van et al. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agrônômico/Fundação IAC, 1997.
- ROSCHER, C. et al. Detecting the role of individual species for overyielding in experimental grassland communities composed of potentially dominant species. *Oecologia*, v. 154, n. 3, p. 535-549, 2007.
- SANTOS M. E. R. et al. Capim-braquiária sob lotação contínua e com altura única ou variável durante as estações do ano : dinâmica do perfilhamento. *Rev. Bras. Zootec.*, v.40, p.2332-2339, 2011
- SBRISSIA, A. F. et al. Defoliation Strategies in Pastures Submitted to Intermittent Stocking Method: Underlying Mechanisms Buffering Forage Accumulation over a Range of Grazing Heights. *Crop Science*, v. 58, n. 2, p. 945-954, 2018.
- SBRISSIA, A. F. et al. Pastagens multiespecíficas de gramíneas: oportunidade e desafios. *Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, v. 52, p. 1-12, 2015.
- SILVA, A. M. S. Association of tropical forage grasses in pastures: agronomic aspects that determine plant performance. Thesis (PhD in Animal Science and Pastures), “Luiz de Queiroz” College of Agriculture – São Paulo University. 2023.
- SILVEIRA, M. C. T. et al. Herbage accumulation and grazing losses on Mulato grass subjected to strategies of rotational stocking management. *Scientia Agricola*, v. 70, n. 4, p. 242-249, 2013.
- SOUSA, B. M. L. et al. Morphogenetic and structural characteristics of *Andropogon* grass submitted to different cutting heights. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 39, n. 10, p. 2141-2147, 2010.
- SPEHN, E. M. et al. Above-ground resource use increases with plant species richness in experimental grassland ecosystems. *Functional Ecology*, v. 14, n. 3, p. 326-337, 2000.

- TILMAN, D.; REICH, P. B.; KNOPS, J. M. H. Biodiversity and ecosystem stability in a decade-long grassland experiment. *Nature*, v. 441, n. 7093, p. 629-632, 2006.
- TRACY, B. F.; SANDERSON, M. A. Forage productivity, species evenness and weed invasion in pasture communities. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 102, p. 175–183, 2004.
- VALENTINE, I.; MATTHEW, C.; Plant growth, development and yield. In: WHITE, J.; HODGSON, J. *New Zealand – Pasture and Crop Science*, Oxford: Cambridge University Press, p. 11-27, 1999.
- WEIGELT, A. et al. Biodiversity for multifunctional grasslands: equal productivity in high-diversity low-input and low-diversity high-input systems. *Biogeosciences*, v.6, p.1695-1706, 2009.
- WELLES, J.M.; NORMAN, J.M. Instrument for indirect measurement of canopy architecture. *Agronomy Journal*, Madison, v.83, p.818-825, 1991.
- WERNER, J. C. et al. Forrageiras. In: Raij B Van, Cantarella H, Quaggio JA & Furlani AMC. (Eds.). *Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo*. 2ª ed. Campinas, IAC. p.263-273 (Boletim Técnico, 100). 1997.

### 3. PRODUÇÃO DE FORRAGEM E ESTABILIDADE PRODUTIVA DE UMA ASSOCIAÇÃO DE GRAMÍNEAS FORRAGEIRAS TROPICAIS EM PASTAGENS

#### Resumo

Espécies de gramíneas forrageiras podem ser agrupadas em grupos funcionais distintos (e.g. diferentes estratégias de crescimento e perenização), de modo que, quando cultivadas em associação, podem resultar em redução das variações intra-anuais em oferta de forragem e maximizar o potencial produtivo do sistema. No entanto, informações referentes a pastagens de clima tropical são praticamente inexistentes, uma vez que quase a totalidade dos trabalhos com associação de espécies foi conduzida em regiões de clima subtropical e temperado. Neste contexto, a hipótese foi de que espécies perenes de gramíneas forrageiras tropicais que apresentem nichos ecológicos contrastantes e complementares (e.g. plantas conservadoras x competidoras por recursos) podem coexistir em associação em ambientes com baixo nível de estresse (disponibilidade adequada de nutrientes no solo) e baixo nível de distúrbio (severidade de desfolhação), permitindo estabilidade de sua composição botânica e potencial de resultar em maior produtividade e menor variação intra-anual de produção (estabilidade produtiva). Os objetivos foram (i) avaliar a produção de forragem e a estabilidade produtiva das populações de três espécies de gramíneas forrageiras de clima tropical cultivadas em monocultivo e em associação; (ii) mensurar possíveis *overyieldings* e/ou *underyieldings* das três espécies na associação e seus impactos sobre sua estabilidade produtiva. O estudo foi realizado em Piracicaba, São Paulo, Brasil no período de janeiro de 2020 a março de 2022. Os tratamentos foram *Andropogon gayanus* cv. Planaltina, *Panicum maximum* cv. Massai e *Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã cultivados em monocultivo e associação (em iguais proporções com base no número de sementes puras e viáveis). O delineamento experimental foi o de blocos completos casualizados, com quatro repetições. Os pastos foram manejados de forma intermitente utilizando-se a meta de altura pré-corte de 35 cm e a meta de altura pós-corte de 17,5 cm (50% da altura pré-corte). A composição botânica das espécies na associação se manteve relativamente estável durante o período experimental, com predominância do capim massai, seguido do capim piatã e do capim andropogon. Apesar da massa de forragem ter variado entre os tratamentos, a taxa de acúmulo líquido de forragem e a produção total de forragem foram semelhantes entre a associação e os monocultivos. Dessa forma, não houve redução na variação intra-anual da produção de forragem, nem *overyielding* na associação, uma vez que a produção observada foi igual a esperada. Dentre as espécies na associação, o capim piatã apresentou *overyielding* de folhas no verão e o capim andropogon apresentou *underyielding* de colmos no outono/inverno/início de primavera. Nossos resultados mostraram que a associação permitiu a coexistência das espécies com composição botânica relativamente estável ao longo do ano e produção de forragem, assim como estabilidade produtiva (variação intra-anual) semelhantes aos monocultivos.

**Palavras-chave:** Pastos multiespecíficos, Complementariedade, Composição botânica, *Overyielding*, Estacionalidade de produção

#### 3.1. Introdução

O agronegócio brasileiro tem a pecuária como um de seus pilares, gerando inúmeros benefícios econômicos, ambientais e sociais para o país, além de exercer papel relevante no cenário mundial (USDA, 2023). Assim, as pastagens têm grande importância, haja vista que a produção da pecuária nacional é quase que na sua totalidade obtida a partir de rebanhos mantidos em pastos. Porém, o mercado demanda cada vez mais qualidade e sustentabilidade na produção agropecuária, sendo que para atender a essa demanda e garantir a segurança alimentar da população mundial, é preciso aumentar a produção

sem comprometer os serviços ecossistêmicos. Neste contexto, as pesquisas têm buscado novas tecnologias e práticas de manejo que possibilitem produzir mais com menos impacto ambiental (Embrapa, 2023). No entanto, a grande maioria dos trabalhos não leva em consideração a variação intra-anual da produção de forragem ao longo das estações do ano, ou seja, sua estacionalidade de produção, ponto de grande importância dentro do sistema de produção animal em pasto, uma vez que cerca de 60 a 80% da forragem produzida ocorre durante o “período das águas” (Corrêa et al., 2006; Euclides et al., 2008), gerando impactos significativos quando o pasto é utilizado como fonte exclusiva de alimento para o animal.

Diante deste contexto, a produção de forragem a partir de pastos multiespecíficos formados por espécies com diferentes estratégias de crescimento e/ou de exploração de nichos ecológicos, tem sido considerado alternativa para reduzir as variações intra-aneais da produção de forragem, pois além das espécies apresentarem complementariedade na captação e no uso dos recursos disponíveis são capazes de coexistir em ambientes férteis (Gross et al., 2007), principalmente quando a competição por luz é minimizada por meio de desfolhações (Borer et al., 2014). Nesse sentido, Cruz et al., (2002) classificaram as gramíneas forrageiras de acordo com seus diferentes “grupos funcionais”, com base nas habilidades de aquisição e utilização de recursos. Segundo essa classificação, espécies com habilidades mais competidoras se destacam em ambientes férteis, pois têm maior eficiência e velocidade na captura de recursos e na renovação dos tecidos, além de maior número de gemas axilares capazes de originar novos perfilhos (Davies, 1974). Já as espécies com habilidades mais conservadoras têm menor área foliar específica, maior duração de vida das folhas (menor velocidade na renovação dos tecidos), florescem mais tardiamente e, portanto, são consideradas plantas estresse-tolerantes. Assim, espécies com diferentes capacidades competitivas (competidoras × conservadoras) podem coexistir em ambientes férteis (Gross et al., 2007), pois a competição por recursos abaixo do solo é reduzida (Wedin & Tilman, 1993) e, quando combinadas, podem reduzir a sazonalidade de produção de forragem e favorecer a ocorrência de períodos mais longos de suprimento de forragem ao longo do ano.

Diversos estudos relatam os benefícios gerados com o aumento na diversidade de espécies com nichos ecológicos complementares. De maneira geral, é possível observar melhora na ocupação tridimensional do espaço acima do solo, incrementos significativos na produção de forragem, menor proporção de espécies invasoras e maior estabilidade produtiva, levando à construção de um ecossistema mais resistente e resiliente (Spehn et al., 2000; Küchenmeister et al., 2012; Skinner et al., 2016; Duchini et al., 2019; Tilman & Downing 1994). Além disso, a introdução de duas a três espécies pode resultar em incrementos mais significativos na produção de forragem e na estabilidade produtiva relativamente à implantação de pastagens mais complexas e aleatórias (Tracy & Sanderson, 2004), uma vez que a complementariedade entre as espécies compostas por plantas dominantes pode saturar com três espécies (Roscher et al., 2007).

Concomitante a escolha das gramíneas forrageiras que irão compor a associação, a determinação de metas de manejo são de suma importância para manutenção da coexistência das espécies associadas. Medeiros-Neto et al., (2023) avaliaram duas associações de gramíneas tropicais compostas por três capins e um monocultivo combinados como: (i) *Panicum maximum* BRS Zuri, *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés e *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk; (ii) *Panicum maximum* cv. BRS Quênia, *Brachiaria brizantha* cv. Marandu e *Brachiaria brizantha* cv. BRS Paiaguás, respectivamente) e (iii) monocultivo de *Panicum maximum* cv. BRS Zuri e relataram que as produções dos pastos multiespecíficos foram semelhantes ao monocultivo, com uma tendência de maior acúmulo de forragem nas associações durante a estação seca relativamente ao monocultivo. No entanto, os capins basilisk e paiaguás foram suprimidos ao longo do período experimental. Segundo os autores, essa reposta pode ter sido atribuída à intensa competição por luz nas camadas inferiores do dossel.

Em ambientes férteis, ou seja, quando as demandas por nutrientes pelas plantas são supridas, a competição pelo recurso luz torna-se o principal fator limitante do crescimento, pois a luz além de fornecer energia para a fotossíntese fornece também sinais que regulam o desenvolvimento e crescimento das plantas por meio de receptores sensíveis a diferentes intensidades luminosas e qualidades espectrais (Sbrissia et al., 2015), sendo o principal agente limitante da diversidade de espécies. Porém, desfolhações frequentes e não severas podem manter ambientes favoráveis ao desenvolvimento de populações de espécies competidoras e conservadoras, uma vez que a intensidade de distúrbios (desfolhação) e estresses (competição por luz) é reduzida, de forma que essas diferentes espécies coexistam e persistam (Grime, 1977; Borer et al., 2014; Duchini et al., 2018).

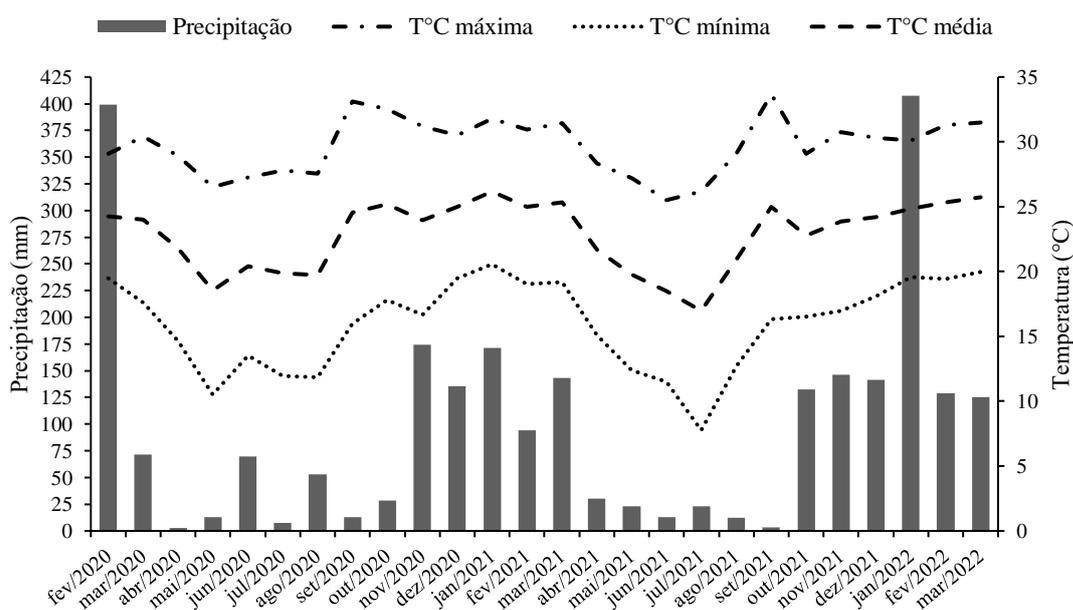
Com base no exposto, nós hipotetizamos que espécies perenes de gramíneas forrageiras tropicais que apresentem nichos ecológicos contrastantes e complementares (e.g. plantas conservadoras × competidoras por recursos) podem coexistir em associação em ambientes com baixo nível de estresse (disponibilidade adequada de nutrientes no solo) e baixo nível de distúrbio (severidade de desfolhação), permitindo estabilidade de sua composição botânica e potencial de resultar em maior produtividade e menor variação intra-anual de produção (estabilidade produtiva).

## **3.2. Material e Métodos**

### **3.2.1. Localidade e características da área experimental**

O estudo foi conduzido em área experimental do Departamento de Zootecnia da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP), em Piracicaba, Estado de São Paulo (coordenadas geográficas aproximadas de 22°42’ de latitude Sul, 47°38’ de longitude Oeste e 546 m de altitude; Cepagri, 2012). O clima da região, segundo classificação de Köppen, é do tipo Cwa (mesotérmico úmido subtropical de inverno seco) (Alvares et al., 2013), com precipitação média anual

de 1275 mm. A temperatura média do período experimental foi de 22,8°C e o índice pluviométrico referente ao período de fevereiro de 2020 a março de 2022 foi de 2563,6 mm, no qual 657,3 mm corresponderam à primeira estação de crescimento (fevereiro a outubro de 2020); 956,8 mm à segunda estação de crescimento (novembro de 2020 a outubro de 2021) e 949,5 mm à terceira estação de crescimento (novembro de 2021 a março de 2022), tendo as maiores precipitações sido registradas nos meses de fevereiro de 2020 (398,9 mm) e janeiro de 2022 (407,7 mm) (Figura 7).



**Figura 7.** Precipitação (mm), temperaturas máxima, média e mínima do ar (°C) para a região de Piracicaba/SP durante o período experimental (fevereiro de 2020 a março de 2022).

O solo da área experimental é classificado como Nitossolo Vermelho Eutroférico de textura argilosa (EMBRAPA, 2018) e apresentava as seguintes características químicas:

**Tabela 10.** Características químicas da camada 0-20 cm do solo na área experimental

pH	MO	P	S	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V	m
CaCl <sub>2</sub>	g.dm <sup>-3</sup>	mg.dm <sup>-3</sup>		mmolc.dm <sup>-3</sup>							%	
4,5	33,8	49,5	25,8	3,5	30,3	12,5	1,5	72,5	46,0	118,5	39,0	3,50

MO = Matéria orgânica do solo; SB = Soma de bases; CTC = Capacidade de troca de cátions efetiva; V = Saturação por bases; e m = Saturação de alumínio

Antes da implantação do experimento o solo foi corrigido com o objetivo de elevar a saturação por bases a 70% utilizando calcário dolomítico, seguindo recomendações do manual de adubação e calagem para o Estado de São Paulo (Van Raij et al., 1997). Não foi necessário aplicar fertilizante por

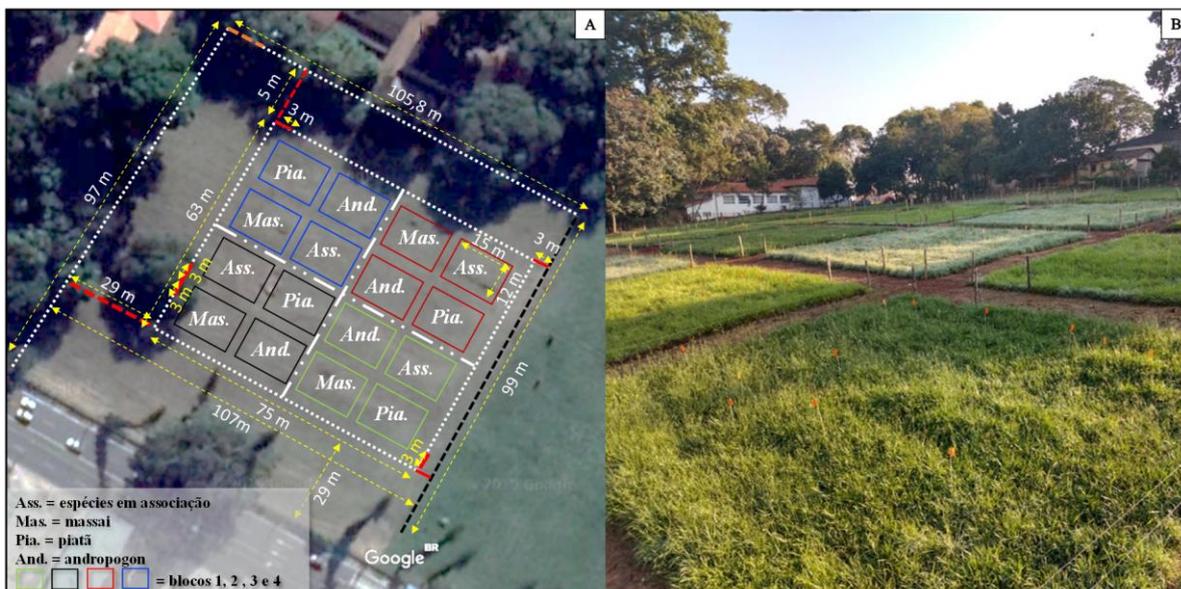
ocasião da sementeira, pois o solo já apresentava níveis satisfatórios de nutrientes para as espécies escolhidas (Werner et al., 1997).

### 3.2.2. Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos corresponderam a três gramíneas forrageiras perenes de clima tropical: capim andropogon (*Andropogon gayanus* cv. Planaltina), capim massai (*Panicum maximum* cv. Massai) e capim piatã (*Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã), cultivadas em monocultivo e em associação (mesma proporção baseada na quantidade de sementes puras e viáveis por hectare no momento de estabelecimento da área), as quais foram estabelecidas em janeiro de 2020.

O critério de escolha das espécies forrageiras foi o de diferenças entre estratégias de crescimento (captura e conservação de recursos) das plantas associado a diferenças em arquitetura do dossel forrageiro e hábito de crescimento (Pontes et al., 2012; Loreau e Hector, 2001) utilizando protocolo análogo ao descrito por Duchini et al. (2018, 2019). O *Andropogon gayanus* cv. Planaltina foi escolhido como representante de planta conservadora de recursos (baixa área foliar específica, elevada longevidade de folhas e crescimento cespitoso), além de apresentar tolerância ao ataque de insetos, principalmente cigarrinha das pastagens (Pires, 2010); a *Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã foi escolhida como representante de planta competidora por recursos (elevada área foliar específica e renovação de folhas e perfilhos), e o *Panicum maximum* cv. Massai como representante de planta intermediária (renovação mais lenta de folhas e perfilhos e crescimento semiereto). Além disso, são espécies que apresentam elevada tolerância à seca e boa capacidade produtiva quando manejadas de forma intensiva (Fonseca et al., 2010).

A área total possuía 4.725 m<sup>2</sup>, os quais foram divididos em 16 unidades experimentais (piquetes) de 12 m × 15 m (180 m<sup>2</sup> cada) separados entre si por corredores de 3 m de largura (Figura 8). Em razão da declividade do terreno, o delineamento experimental utilizado foi o de blocos completos casualizados, com quatro repetições.



**Figura 8.** Croqui e vista da área experimental indicando o layout e a disposição dos piquetes e blocos

### 3.2.3. Estabelecimento das plantas forrageiras e controle das condições experimentais

A semeadura foi realizada manualmente, a lanço, em janeiro de 2020, nos dias 07 (bloco 1), 09 (blocos 2 e 3) e 10 (bloco 4), utilizando taxa equivalente a 300 sementes puras viáveis  $m^{-2}$ , sendo  $\frac{1}{3}$  de cada espécie na associação (100 sementes puras viáveis  $m^{-2}$ ), seguida de compactação com rolo compactador pesando cerca de 100 kg. Aos 21 dias após a semeadura foi realizada aplicação de nitrogênio em cobertura, na forma de nitrato de amônio, na dose de  $40 \text{ kg N ha}^{-1}$ .

Os pastos foram mantidos em crescimento livre até atingirem a meta pré-corte de 35 cm, quando foi realizado o primeiro corte de uniformização e definida a altura de resíduo (pós-corte) de 17,5 cm. A partir desse momento foi iniciado o controle das condições experimentais e do regime de desfolhação baseado em cortes intermitentes caracterizados pela altura pré-corte de 35 cm e altura pós-corte de 17,5 cm. As avaliações foram iniciadas assim que todos os piquetes haviam recebido pelo menos um corte, condição a partir da qual se iniciou o período experimental com o acompanhamento dos ciclos de rebrotação, e que se estendeu até março de 2022, englobando três estações de crescimento consecutivas e sem interrupção (2019/2020, 2020/2021 e 2021/2022).

A altura ideal pré-corte para os capins andropogon, massai e piatã, segundo o critério de  $IL_{95\%}$ , é 50, 55 e 35 cm, respectivamente (Sousa et al., 2010; Barbosa et al., 2010; Crestani et al., 2017). Contudo, assumindo-se essas alturas como sendo as máximas possíveis e considerando a amplitude de 40% abaixo dessas alturas em que não ocorre redução da produção de forragem (Sbrissia et al., 2018; Dearo et al., 2018), é possível manejar o capim andropogon com até 30 cm e o capim massai com até 33 cm de altura pré-corte. Portanto, a meta de altura pré-corte de 35 cm escolhida foi compatível e comum com as necessidades de manejo para as três espécies sendo avaliadas. A meta pós-corte foi correspondente a

50% do valor da altura pré-corte, ou seja, 17,5 cm. Esse critério foi baseado em trabalhos que indicam que essa severidade de desfolhação assegura elevado IAF residual (Giacomini et al., 2009; Silveira et al., 2013), contribuindo para que as desfolhações fossem feitas de forma frequente e não severa, assegurando condições adequadas de crescimento e desenvolvimento das espécies na associação (baixo nível de perturbação – severidade de pastejo, e baixo nível de estresse – competição por luz).

A adubação nitrogenada foi de aproximadamente  $200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de nitrogênio na forma de nitrato de amônio. As aplicações foram feitas de forma fracionada ao longo do período experimental (taxa diária de aplicação de  $1,7 \text{ kg N.ha}^{-1}$ ), sendo realizadas somente durante o período quente e chuvoso do ano (outubro a março), sempre após os cortes. A quantidade de fertilizante por aplicação foi proporcional ao intervalo entre cortes ocorrido em cada piquete, de forma que ao final de cada estação de crescimento, todos os piquetes haviam recebido a mesma quantidade de nitrogênio.

O monitoramento das alturas pré- e pós-corte foi realizado para o controle das condições experimentais durante todo o período de avaliações. Foram tomadas 40 leituras por piquete ao longo de quatro linhas transectas utilizando-se régua graduada em milímetros. As avaliações foram realizadas a cada três dias durante a rebrotação, começando imediatamente após o corte e, na medida em que a altura atingia valores próximos à meta pré-corte de 35 cm, as avaliações passavam a ser diárias, até que os pastos atingissem a meta pré-corte estabelecida. Uma vez atingida a meta de 35 cm de altura pré-corte, realizava-se o protocolo previsto de avaliações antes do corte da forragem, feito com auxílio de roçadora manual a 17,5 cm do solo. Após cada corte um novo ciclo de rebrotação era iniciado e o ciclo de avaliações se repetia.

### **3.2.4. Avaliações**

#### **3.2.4.1. Interceptação luminosa pelo dossel forrageiro**

As avaliações de interceptação luminosa foram realizadas de forma concomitante às avaliações de altura em pré- e pós-corte utilizando-se aparelho analisador de dossel modelo LAI-2000 (Li-Cor, Lincoln, Nebraska, EUA). As leituras eram realizadas em oito pontos de amostragem por piquete em locais representativos da condição média do dossel forrageiro no momento da amostragem (avaliação visual da massa de forragem e altura). Em cada ponto de amostragem foi tomada uma leitura de referência acima do dossel forrageiro e outras cinco leituras no nível do solo, totalizando 40 leituras, por piquete. As mensurações foram realizadas em momentos de predominância de radiação difusa (condição de céu nublado ou baixa elevação solar, ou seja, no início da manhã ou final da tarde), seguindo as recomendações de operação do equipamento (Welles e Norman, 1991).

#### 3.2.4.2. Massa, acúmulo de forragem e composição de espécies

As avaliações de massa de forragem em pré- e em pós corte foram realizadas apenas uma vez a cada época do ano como forma de evitar danos e comprometimento da área de amostragem dos piquetes. Foram amostrados dois pontos representativos por piquete (avaliação visual da massa de forragem e altura no momento da amostragem) utilizando-se moldura metálica de 100 × 25 cm e cortando-se toda a forragem contida no seu interior no nível do solo. Em seguida, as amostras, devidamente identificadas e armazenadas em caixas de isopor com gelo, foram levadas ao laboratório para processamento. Primeiramente, foi realizada contagem do número de perfilhos presentes em cada amostra e, para as amostras referentes aos piquetes com espécies em associação, foi realizada separação botânica dos perfilhos por espécie, para posterior contagem do número de perfilhos. Em seguida, foi realizada a separação em massa verde, material morto e plantas invasoras. Em razão da dificuldade de identificação da procedência do material morto encontrado nas amostras da associação, este, incluindo o material preso nos perfilhos, foi contabilizado de forma conjunta, sem identidade de espécie (Duchini et al., 2018). Em seguida, os materiais foram acondicionados em sacos de papel e colocados para secar em estufa de circulação forçada de ar a 65°C até massa constante para determinação da massa de forragem em pré- e pós corte, e os valores expressos em kg MS.ha<sup>-1</sup>.

As avaliações de acúmulo de forragem foram realizadas em pré-corte a cada ciclo de rebrotação cortando-se a forragem na meta de altura pós-corte de 17,5 cm e o material acima da altura de corte coletado. As amostras de forragem produzidas passaram pelo mesmo procedimento descrito acima para coleta das amostras para determinação da massa de forragem. No laboratório, as amostras foram separadas em componentes morfológicos (lâminas verdes, colmo + bainha foliar, inflorescência e material morto) e plantas invasoras. Para as amostras referentes aos piquetes com espécies em associação, foi realizada a separação botânica dos perfilhos por espécie antes da separação dos componentes morfológicos e plantas invasoras. Em seguida, as amostras foram acondicionadas em sacos de papel e colocadas para secar em estufa de circulação forçada de ar a 65°C até massa constante para determinação do acúmulo de folhas (lâminas foliares), colmos (colmos + bainhas), material morto e plantas invasoras, que, somados, perfizeram a massa de forragem acumulada por corte com valores expressos em kg MS.ha<sup>-1</sup>.

#### 3.2.4.3. Variações na produção de forragem e ocorrência de *overyieldings* e/ou *underyieldings*

As variações na produção de forragem entre as estações do ano foram calculadas para os monocultivos por meio dos desvios-padrão das produções registradas (Pontes et al., 2012) e, para a associação, por meio dos coeficientes de variação (CV) para as populações de plantas de cada espécie,

tendo em vista que as proporções da área ocupada por cada espécie na associação em relação a seus monocultivos foram diferentes (Duchini et al. 2019).

A expectativa de produção de cada espécie na associação ( $E_i$ ) foi estimada segundo Loreau (1998):  $E_i = p_i M_i$ , onde  $p_i$  é a proporção da espécie  $i$  na associação e  $M_i$  é a produção de forragem observada para a espécie  $i$  em monocultivo.

Os *overyieldings* e/ou *underyieldings* das populações de cada espécie foram mensurados pelos desvios proporcionais da produção esperada ( $D_i$ ) a partir da produção de forragem de seus monocultivos, conforme proposto por Loreau, (1998):  $D_i = \frac{O_i - E_i}{E_i}$ , onde  $O_i$  é a população observada para a espécie  $i$  na associação. Como a proporção de cada espécie na associação ao longo do período experimental foi diferente da proporção semeada, optou-se por calcular os valores referentes às proporções das espécies ( $p_i$ ) com base na densidade populacional de perfilhos (adaptado de Duchini et al., 2019). Da mesma forma, foram quantificados  $D_i$  para produção de colmos e folhas, considerando valores de  $O_i$  e  $M_i$  para cada variável (Duchini et al., 2019). Já os *overyieldings* e/ou *underyieldings* referentes à comunidade de plantas foram quantificados pelos desvios proporcionais ponderados ( $\bar{D}$ ), por meio da equação:  $\bar{D} = \sum_1 p_i D_i$  e desvios proporcionais totais ( $D_t$ ):  $D_t = \frac{O_t - E_t}{E_t}$ , ambos do rendimento esperado, segundo Loreau & Hector, (2001). Onde:  $O_t = \sum_i O_i$  e  $E_t = \sum_i p_i M_i$ .

### 3.2.3. Análise dos dados

Como os tratamentos foram manejados por meio de cortes baseados em metas de altura do dossel forrageiro em pré- e pós-corte, as datas de corte não foram as mesmas para todos os tratamentos e repetições ao longo do período experimental. Sendo assim, todas as variáveis coletadas foram interpoladas de forma a obter valores para cada época do ano e permitir que as variáveis estudadas pudessem ser comparadas sob influência das mesmas condições climáticas. Como consequência, o período experimental foi dividido nas seguintes épocas do ano: verão 1 (fevereiro e março de 2020), outono, inverno e início de primavera 1 (abril a outubro de 2020), final de primavera 1 (novembro e dezembro de 2020), verão 2 (janeiro a março de 2021), outono, inverno e início de primavera 2 (abril a outubro de 2021), final de primavera 2 (novembro e dezembro de 2021) e verão 3 (janeiro a março de 2022). Posteriormente foram realizadas as médias dos anos para cada época e os dados analisados como final de primavera, verão e outono, inverno e início de primavera, totalizando três épocas do ano. Os dados foram submetidos a análise de variância utilizando-se o PROC MIXED do pacote estatístico SAS® (*Statistical Analysis System*) versão 9.3. A escolha da matriz de variância e de covariância foi feita com base no critério de informação de Akaike (AIC). A análise foi realizada considerando os tratamentos e suas interações como efeitos fixos e blocos como efeito aleatório (Littel et al., 2000). As épocas do ano

foram tratadas como medida repetida no tempo. As médias dos tratamentos foram estimadas utilizando-se o comando “LSMEANS” e as comparações entre elas, quando apropriadas, foram realizadas por meio da probabilidade da diferença (PDIFF), utilizando o teste “t” de “Student” com  $P < 0,05$ . Intervalos de confiança de 95% foram utilizados para considerar diferentes de zero os desvios da produção esperada ( $\bar{D}$  e  $D_t$ ), assim como os desvios proporcionais ( $D_i$ ) de cada espécie e seus desvios na produção de cada componente morfológico (folha e colmo).

### 3.3. Resultados

#### 3.3.1. Características gerais e controle experimental

De maneira geral, as metas de altura pré- e pós-corte (35 e 17,5 cm, respectivamente) foram mantidas muito próximas do planejado ao longo de todo o período experimental, com exceção para o capim piatã na época de outono/inverno/início de primavera dos dois anos avaliados, em que foi realizado um corte em todas as repetições antes de chegarem na meta planejada (Tabela 11). Os cortes foram necessários em razão do crescimento dos pastos ter sido consideravelmente reduzido pelas condições climáticas da época, a fim de se evitar prejuízos para a estrutura do dossel e interferências nas avaliações seguintes, sendo um corte realizado em maio/2020 e outro em junho/2021 (altura média dos piquetes: 25,9 e 30,2 cm, respectivamente). Além disso, o capim piatã apresentou número menor de ciclos de rebrotação relativamente aos demais tratamentos (Tabela 11).

**Tabela 11.** Altura do dossel forrageiro em pré- e pós-corte e número total de ciclos de corte para os capins piatã, massai e andropogon cultivados em monocultivo e em associação durante o período experimental

Época do ano	Piatã	Massai	Andropogon	Associação
<i>Altura pré-corte (cm)</i>				
Final de Primavera	35,2 ± 0,1	35,3 ± 0,2	35,4 ± 0,1	35,3 ± 0,3
Verão	35,1 ± 0,2	35,2 ± 0,2	35,2 ± 0,1	35,1 ± 0,1
Out./Inv./In. Prim.	30,8 ± 0,5	34,9 ± 0,2	34,2 ± 0,8	34,5 ± 0,6
<i>Altura pós-corte (cm)</i>				
Final de Primavera	17,3 ± 0,3	17,1 ± 0,3	17,6 ± 0,2	17,2 ± 0,1
Verão	17,4 ± 0,1	17,2 ± 0,1	17,4 ± 0,1	17,3 ± 0,1
Out./Inv./In. Prim.	17,3 ± 0,2	17,3 ± 0,1	17,5 ± 0,1	17,3 ± 0,2
<i>Número total de ciclos</i>				
	16,8 ± 0,8	24,5 ± 1,1	23,0 ± 1,2	23,5 ± 1,1

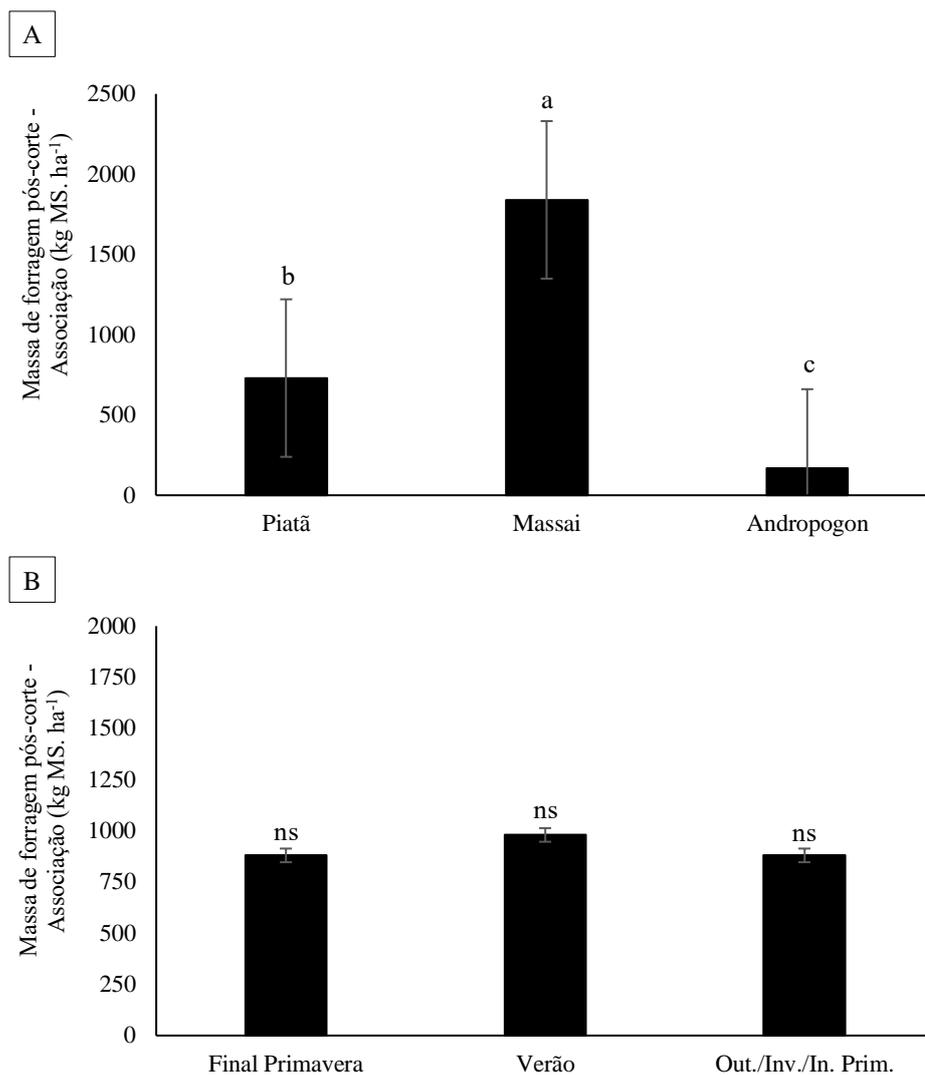
A massa de forragem tanto em pré- como em pós-corte variou com tratamento ( $P < 0,0001$  e  $P = 0,0030$ , respectivamente), época do ano ( $P < 0,0001$ ) e com a interação tratamento × época do ano ( $P = 0,0025$  e  $P < 0,0001$ , respectivamente). Em pré-corte, de maneira geral, maiores valores foram

registrados no outono/inverno/início de primavera e menores valores no verão (Tabela 12). O capim piatã foi o que apresentou maiores valores, seguido pela associação e pelo capim massai, sendo o capim andropogon o que apresentou os menores valores. Com relação às espécies na associação, houve efeito de tratamento ( $P < 0,0001$ ) e interação tratamento  $\times$  época do ano ( $P = 0,0016$ ) para massa de forragem pré-corte. O capim massai apresentou sempre os maiores valores de massa de forragem e o capim andropogon os menores. Não houve diferença entre épocas do ano ( $P = 0,1906$ ). Em pós-corte, menores valores foram registrados durante o verão, assim como para o capim andropogon. O capim massai apresentou valores relativamente estáveis ao longo das épocas do ano e a associação apresentou o segundo maior valor (Tabela 12). Com relação às espécies na associação, houve variação apenas para tratamento ( $P < 0,0001$ ), seguindo o mesmo padrão de resposta descrito para a condição pré-corte (Figura 9).

**Tabela 12.** Massa de forragem em pré- e em pós-corte para os capins piatã, massai e andropogon cultivados em monocultivo e em associação durante o período experimental

Época do ano	Piatã	Massai	Andropogon	Associação	Média	<i>EPM</i>
<i>Massa de forragem pré-corte (kg MS.ha<sup>-1</sup>)</i>						
Final de primavera	7790 Ba	6680 Bb	6450 Ab	7390 Ba	7080 B	168
Verão	7290 Ba	6710 Bab	5030 Bc	6560 Cb	6390 C	168
Out./Inv./In. Prim.	8965 Aa	7470 Ab	6470 Ac	8580 Aa	7870 A	168
Média	8020 a	6950 c	5980 d	7510 b		
<i>EPM</i>	200	200	200	200		
<i>Massa de forragem pré-corte - Associação (kg MS.ha<sup>-1</sup>)</i>						
Final de primavera	1100 Ab	2670 Ba	290 Ac	-	1350 ns	97
Verão	820 Ab	3400 Aa	210 Ac	-	1480 ns	97
Out./Inv./In. Prim.	800 Ab	3860 Aa	170 Ac	-	1610 ns	97
Média	910 b	3310 a	220 c			
<i>EPM</i>	97	97	97			
<i>Massa de forragem pós-corte (kg MS.ha<sup>-1</sup>)</i>						
Final de primavera	5830 Ba	5620 Aa	5710 Aa	5590 ABa	5690 A	170
Verão	4560 Cb	5030 Aab	3400 Cc	5210 Ba	4550 B	118
Out./Inv./In. Prim.	6820 Aa	5560 Abc	4920 Bc	6070 Aab	5840 A	176
Média	5740 a	5400 a	4680 b	5620 a		
<i>EPM</i>	216	216	216	216		

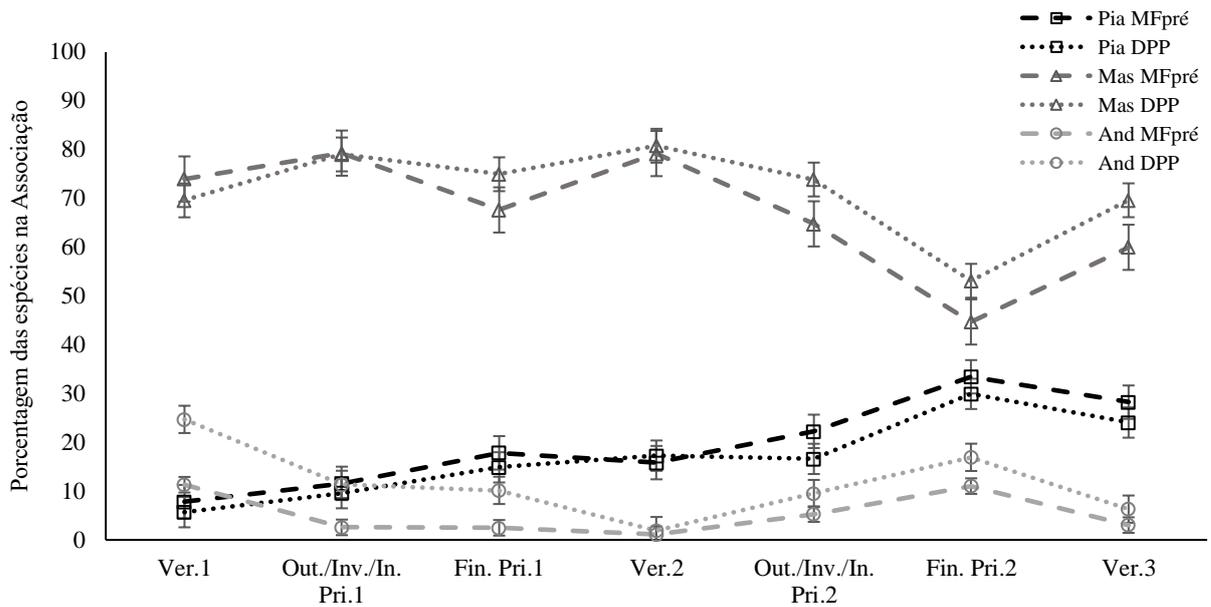
Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ( $P < 0,05$ ). Letras maiúsculas nas colunas comparam épocas do ano, letras minúsculas nas linhas comparam tratamentos. *EPM* = erro padrão da média.



**Figura 9.** Massa de forragem em pós-corte para os capins piatã, massai e andropogon cultivados em associação durante o período experimental

### 3.3.2. Composição de espécies na associação

A proporção das espécies na associação apresentou padrão consistente de resposta, independente se avaliada com base na massa de forragem pré-corte ou na densidade populacional de perfilhos (Figura 10). O capim massai foi a espécie presente em maior porcentagem (média de 67,1% na MF pré-corte e 71,6% na DPP), o capim andropogon foi a espécie presente em menor porcentagem (média de 5,3% na MF pré-corte e 11,6% na DPP) e o capim piatã apresentou participação intermediária, com porcentagem média de 19,6% na MF pré-corte e 16,9% na DPP. Com exceção do final de primavera 2, época em que o capim massai apresentou pequena redução em população, a contribuição de cada espécie na associação foi relativamente estável ao longo de todo o período experimental.



**Figura 10.** Participação dos capins piatã (quadrados), massai (triângulos) e andropogon (círculos) na associação (%). As linhas tracejadas indicam valores com base na massa de forragem pré-corte e pontilhadas indicam valores com base na densidade populacional de perfilhos.

### 3.3.3. Produção de forragem e contribuição de cada espécie na associação

A produção de forragem (acúmulo de forragem considerando material morto e plantas invasoras) variou com a época do ano ( $P < 0,0001$ ) e com a interação tratamento  $\times$  época do ano ( $P = 0,0005$ ). De forma geral, maiores valores foram registrados no verão e menores no final de primavera (Tabela 13). Esse padrão foi o mesmo para os tratamentos, exceto para o capim andropogon, que apresentou produções semelhantes no outono/inverno/início de primavera e final e final de primavera. A taxa de acúmulo líquido de forragem (sem considerar material morto e plantas invasoras) variou com a época do ano ( $P < 0,0001$ ) e com a interação tratamento  $\times$  época do ano ( $P < 0,0001$ ). De forma geral, maiores valores foram registrados no verão e menores no outono/inverno/início de primavera. No final de primavera não houve diferença entre tratamentos, com taxas de acúmulo líquido de forragem variando entre 68 e 78 kg MS.ha<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>. No verão, o capim massai apresentou a maior taxa de acúmulo líquido, seguido da associação, que por sua vez, apresentou valores semelhantes aos demais tratamentos. Os capins piatã e andropogon apresentaram as menores taxas de acúmulo líquido, cujos valores não diferiram entre si. Já no outono/inverno/início de primavera, o capim andropogon apresentou a menor taxa de acúmulo líquido de forragem relativamente aos demais tratamentos, cujos valores não diferiram entre si (Tabela 13). Já para as espécies na associação, a taxa de acúmulo líquido variou com tratamento ( $P < 0,0001$ ), época do ano ( $P < 0,0001$ ) e com a interação tratamento  $\times$  época do ano ( $P < 0,0001$ ). O mesmo padrão de resposta descrito para os monocultivos foi observado para as espécies na associação. No entanto, por estarem presentes na maior e menor porcentagem na mistura, os capins massai e

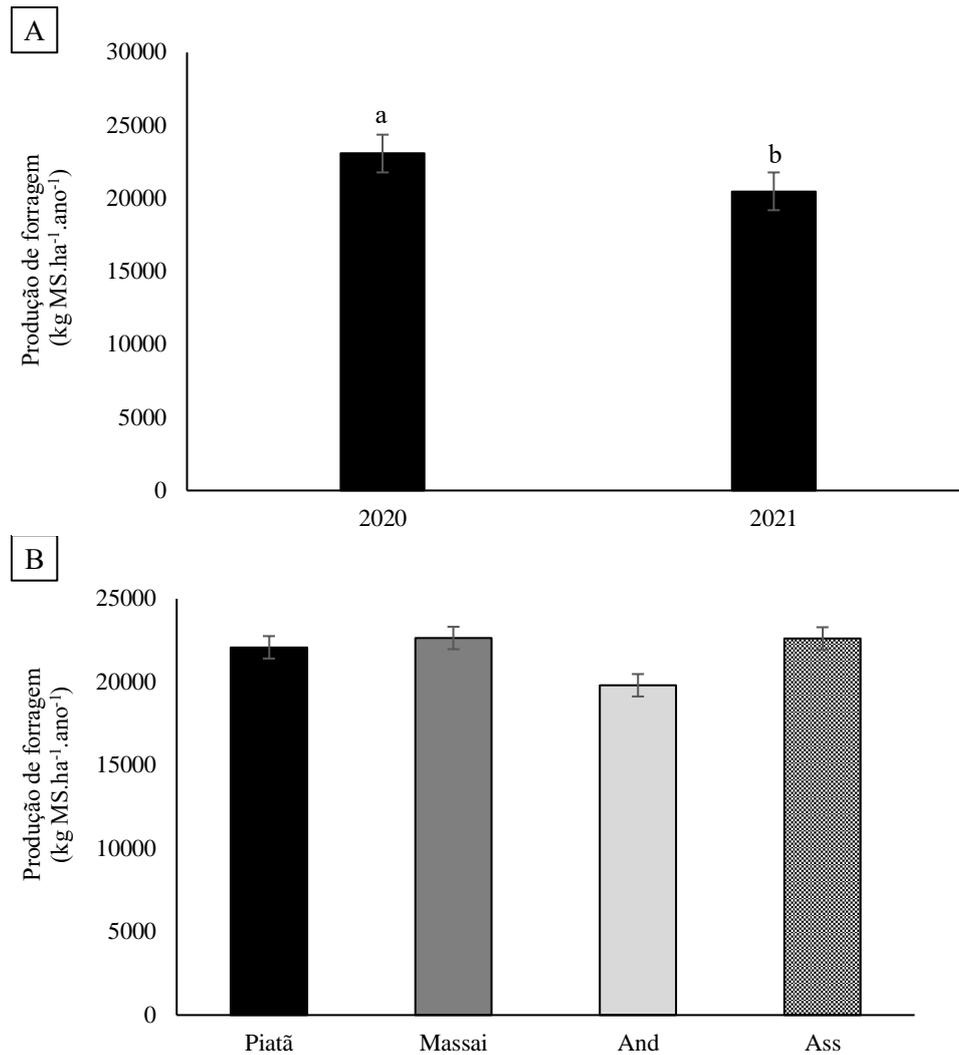
andropogon foram os que apresentaram os maiores e menores valores de taxa de acúmulo líquido de forragem (Tabela 13).

**Tabela 13.** Produção de forragem (kg MS.ha<sup>-1</sup>) e taxas de acúmulo líquido de forragem (kg MS.ha<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>) para os capins piatã, massai e andropogon, cultivados em monocultivo e em associação durante o período experimental

Época do ano	Piatã	Massai	Andropogon	Associação	Média	EPM
<i>Produção de forragem (kg MS.ha<sup>-1</sup>)*</i>						
Final de primavera	5370 Ca	5020 Ca	5830 Ba	5050 Ca	5320 C	332,2
Verão	10160 Abc	11430 Aa	9610 Ac	10960 Aab	10540 A	332,2
Out./Inv./In. Prim.	6650 Ba	6510 Ba	5190 Bb	7340 Ba	6420 B	332,2
Média	7400 ns	7650 ns	6880 ns	7790 ns		
EPM	388,7	388,7	388,7	388,7		
<i>Taxa de acúmulo líquido de forragem (kg MS.ha<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>)**</i>						
Final de primavera	72 Ba	76 Ba	78 Ba	68 Ba	74 B	3,3
Verão	114 Ab	139 Aa	98 Ab	127 Aab	119 A	3,2
Out./Inv./In. Prim.	25 Ca	27 Ca	18 Cb	28 Ca	25 C	1,1
Média	70 ns	81 ns	65 ns	74 ns		
EPM	4,4	4,4	4,4			
<i>Taxa de acúmulo líquido de forragem - Associação (kg MS.ha<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>)</i>						
Final de primavera	19 Bb	42 Ba	6 Bc	-	22 B	0,9
Verão	23 Ab	93 Aa	11 Ac	-	42 A	0,9
Out./Inv./In. Prim.	4 Cb	23 Ca	1 Cc	-	9 C	0,8
Média	15 b	53 a	6 c			
EPM	0,9	0,9	0,9			

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si (P<0,05). Letras maiúsculas nas colunas comparam épocas do ano, letras minúsculas nas linhas comparam tratamentos. \* acúmulo de forragem considerando material morto e plantas invasoras. \*\* acúmulo de forragem sem considerar material morto e plantas invasoras. EPM = erro padrão da média.

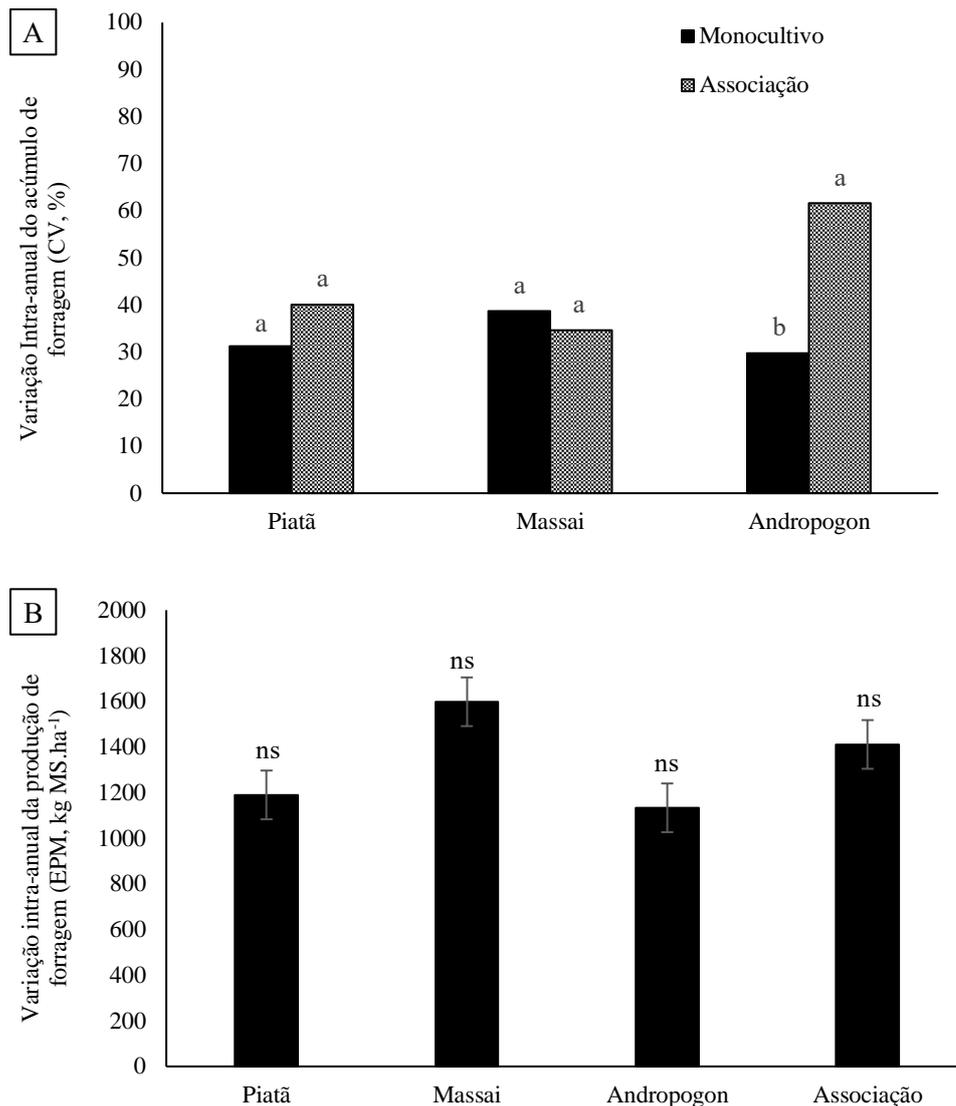
A produção total de forragem variou entre anos de experimentação (P=0,0001). Em 2020, a produção foi 2.590 kg MS.ha<sup>-1</sup> superior em relação a 2021 (Figura 11, A), sem diferença entre tratamentos (valores médios variando entre 19.800 a 22.640 kg MS.ha<sup>-1</sup> - Figura 11, B).



**Figura 11.** Produção total de forragem para os capins piatã, massai e andropogon cultivados em monocultivo e em associação durante o período experimental

### 3.3.4. Variação intra-anual da produção de forragem

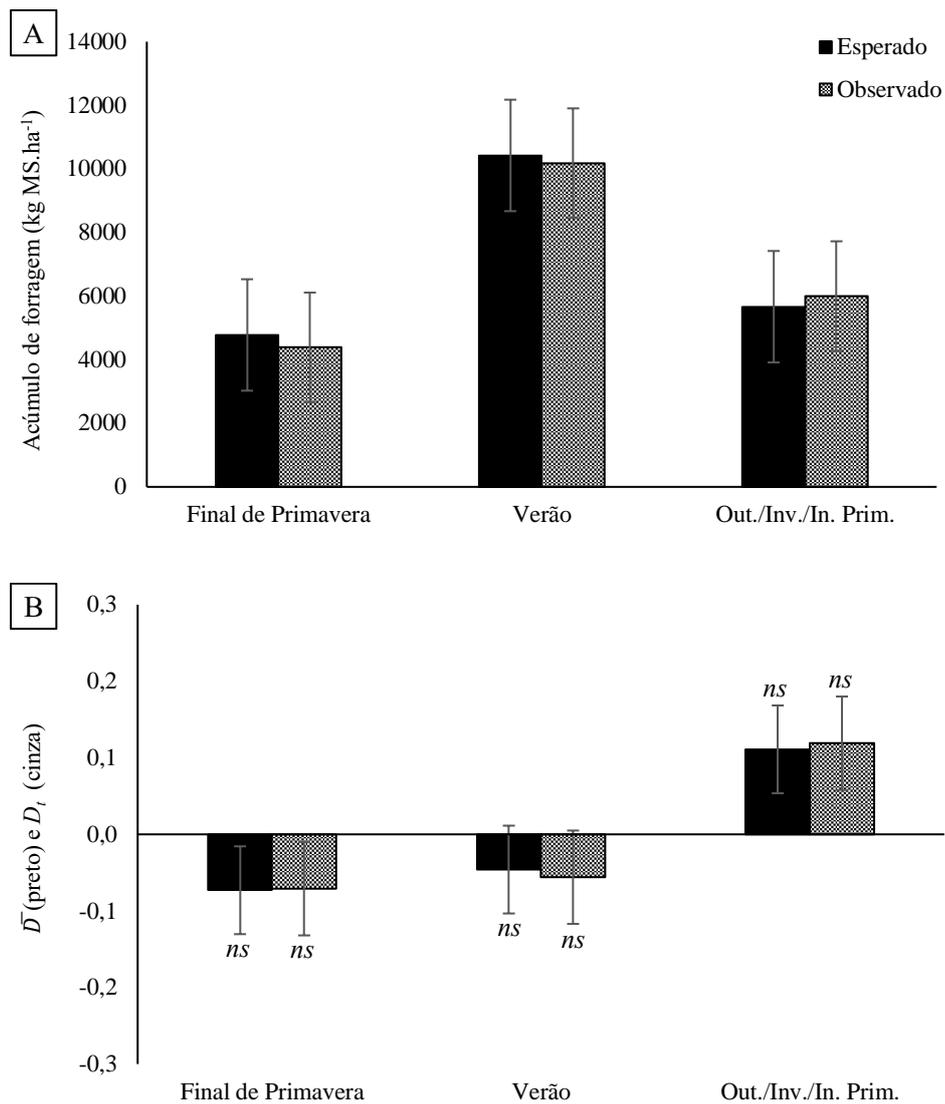
As variações intra-anuais da produção de forragem das populações dos capins piatã e massai foram semelhantes quando cultivados em monocultivo ou em associação (Figura 12, A). Apenas o capim andropogon, quando cultivado em associação, apresentou variação superior ao seu respectivo monocultivo (51% a mais de variação). Não foi observado efeito para as variações intra-anuais entre os tratamentos (Figura 12, B).



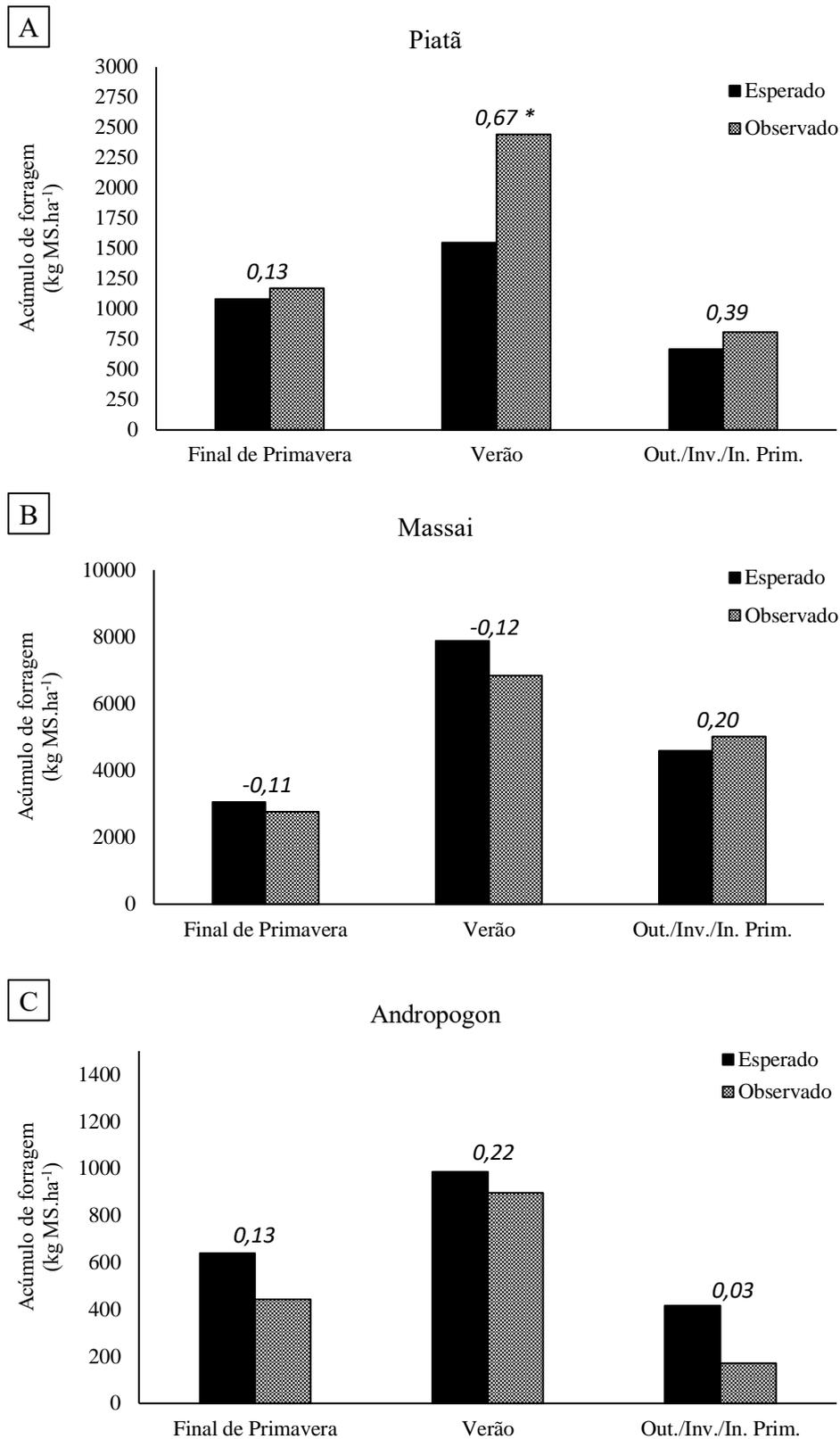
**Figura 12.** Variação intra-anual da produção de forragem em populações dos capins piatã, massai e andropogon cultivados em monocultivo e em associação durante o período experimental

### 3.3.5. Expectativa de produção da associação e *overyieldings*

Produções líquidas de forragem acima da esperada não foram observadas entre as épocas do ano para a associação, ou seja, os valores de desvios ponderados ( $\bar{D}$ ) e desvios totais ( $D_i$ ) foram semelhantes entre as produções esperadas para as épocas do ano (Figura 13). No entanto, considerando cada uma das espécies constituintes da associação, foi observado  $D_i$  positivo para o capim piatã no verão (Figura 14, A).

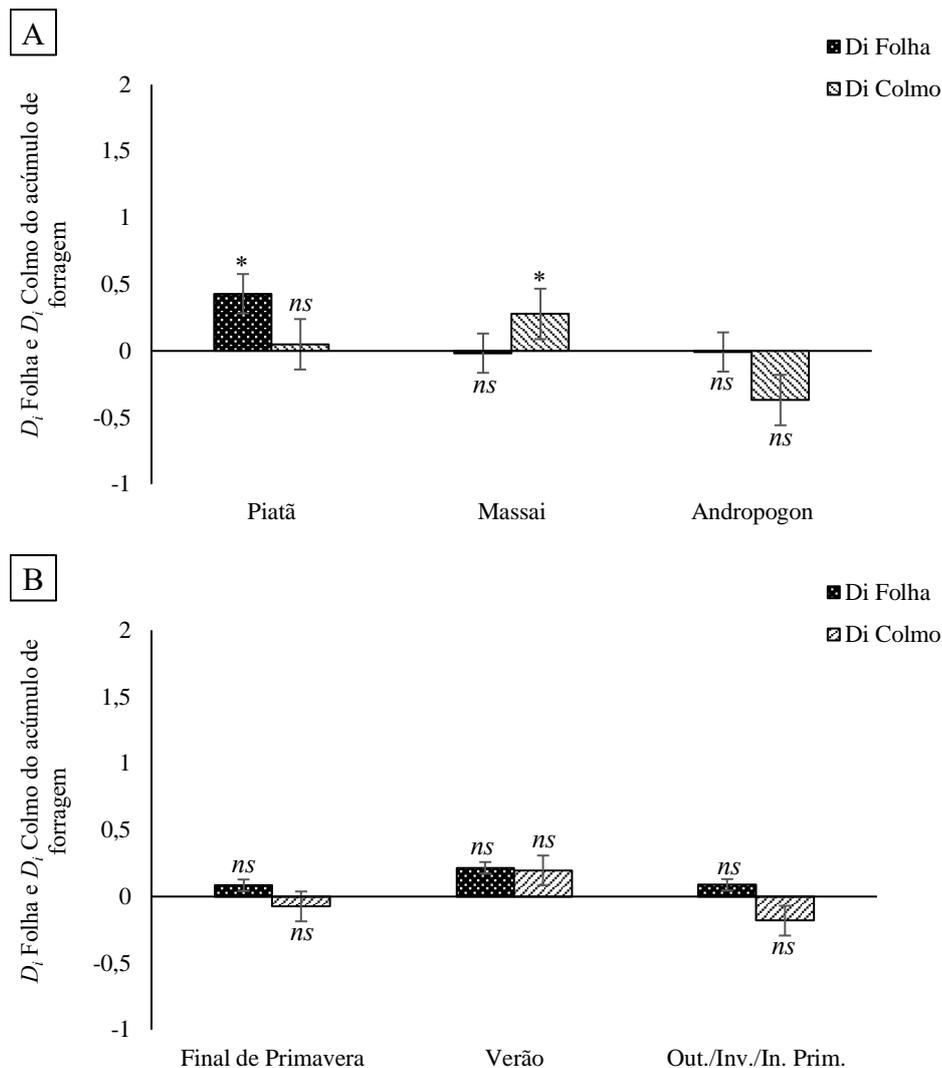


**Figura 13.** Produção de forragem esperada e observada (considerando a proporção de cada espécie e suas respectivas produções de forragem em monocultivo) de uma associação composta por piatã, massai e andropogon, semeadas nas mesmas proporções ao longo das estações do ano (A) e seus desvios ponderados ( $\bar{D}$ ) e desvios totais ( $D_t$ ) da produção esperada na associação (B). Ns indicam que  $\bar{D}$  e  $D_t$  não diferem de zero (0,0) com um intervalo de confiança de 95%.



**Figura 14.** Produção de forragem esperada e observada (considerando a proporção de cada espécie e suas respectivas produções de forragem em monocultivo) de uma associação composta por piatã (A), massai (B) e andropogon (C), semeadas nas mesmas proporções ao longo das estações do ano e seus respectivos desvios proporcionais da produção de forragem esperada. Valores em itálico =  $D_i$ ; \* indicam que  $D_i$  é diferente de zero (0,0) com um intervalo de confiança de 95%.

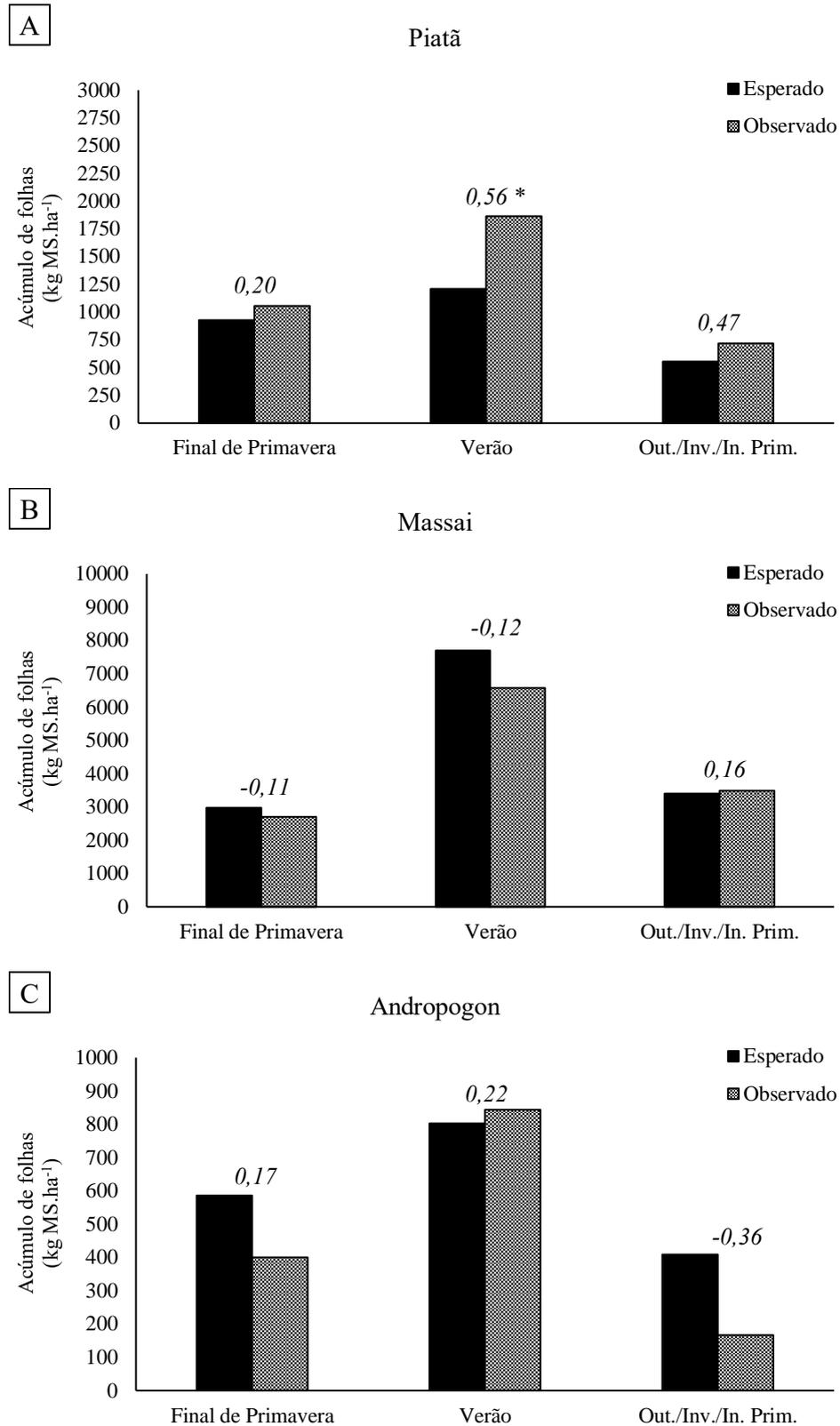
Com relação aos componentes morfológicos folha e colmo, produções líquidas acima da esperada foram registradas para os capins piatã e massai. Para o capim piatã foi observado  $D_i$  positivo para folhas. Já para o capim massai,  $D_i$  positivo foi observado para colmos (Figura 15, A). Não foram observados valores de  $D_i$  significativos para as médias das épocas do ano (Figura 15, B).



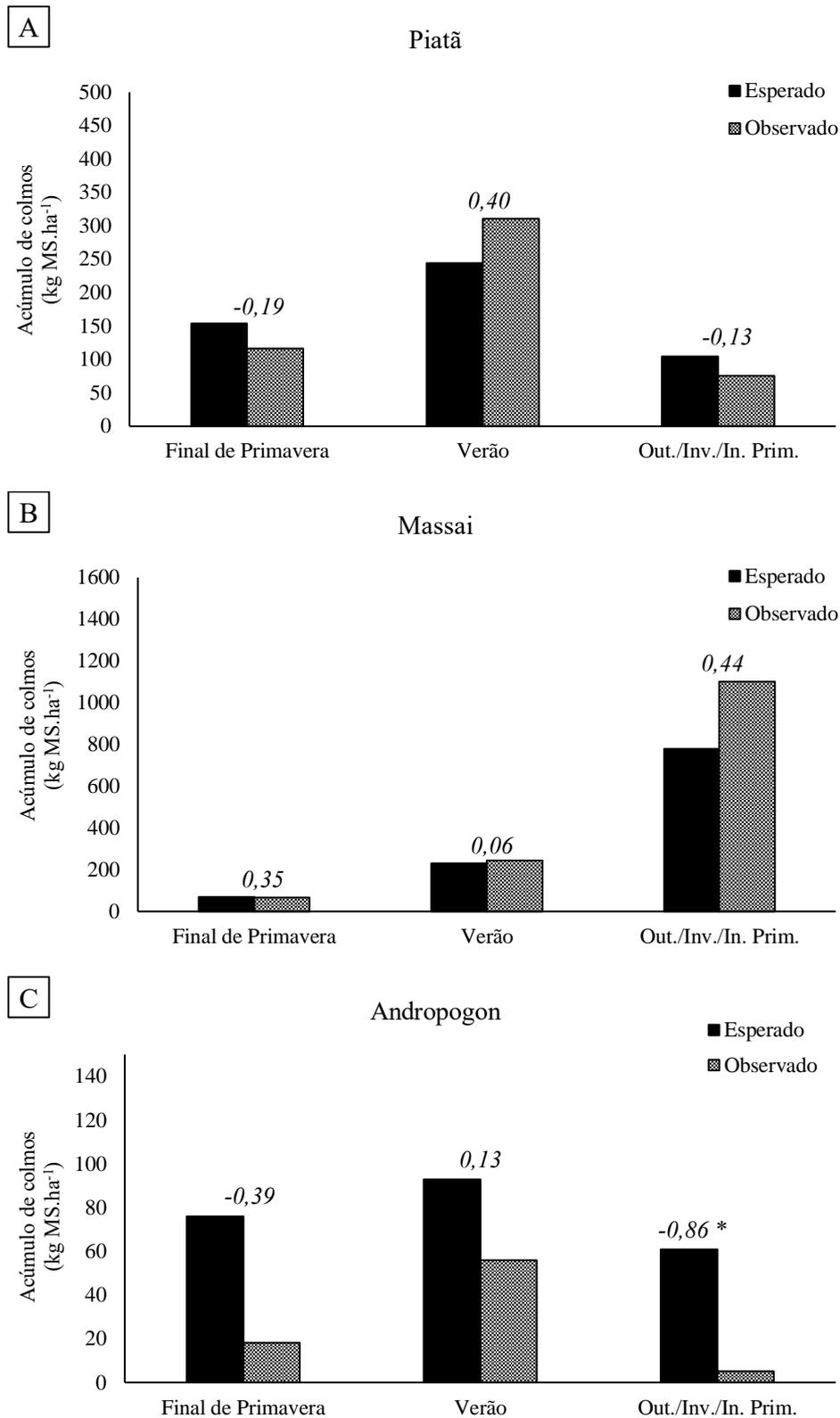
**Figura 15.** Desvios proporcionais ( $D_i$ ) para produções de folhas e colmos (esperada e observada - considerando a proporção de cada espécie e suas respectivas produções em monocultivo) de uma associação composta por piatã, massai e andropogon, semeadas nas mesmas proporções ao longo das estações do ano. \* indicam que  $D_i$  é diferente de zero (0,0) com um intervalo de confiança de 95%.

Considerando, ainda, cada uma das espécies constituintes da mistura, o capim piatã apresentou 56% de acúmulo de folhas a mais do que era esperado no verão (Figura 16, A). As demais espécies acumularam quantidades de folha semelhantes às esperadas em todas as épocas do ano (Figura 16). Com relação ao acúmulo de colmos, apenas o capim andropogon apresentou  $D_i$  negativo no

outono/inverno/início de primavera, com *underyielding* de 86% (Figura 17, C). Não foi observado valores de  $D_1$  significativos para as demais espécies e épocas do ano (Figura 17).



**Figura 16.** Produção de folhas esperada e observada (considerando a proporção de cada espécie e suas respectivas produções de folhas em monocultivo) de uma associação composta por piatã (A), massai (B) e andropogon (C), semeadas nas mesmas proporções ao longo das estações do ano e seus respectivos desvios proporcionais da produção de folhas esperada. Valores em itálico =  $D_i$ ; \* indicam que  $D_i$  é diferente de zero (0,0) com um intervalo de confiança de 95%.



**Figura 17.** Produção de colmos esperada e observada (considerando a proporção de cada espécie e suas respectivas produções de colmos em monocultivo) de uma associação composta por piatã (A), massai (B) e andropogon (C), semeadas nas mesmas proporções ao longo das estações do ano e seus respectivos desvios proporcionais da produção de folhas esperada. Valores em itálico =  $D_i$ ; \* indicam que  $D_i$  é diferente de zero (0,0) com um intervalo de confiança de 95%.

### 3.4. Discussão

De maneira geral, as alturas do dossel forrageiro tanto em pré- quanto em pós-corte foram mantidas muito próximas das metas planejadas durante todo o período experimental, assegurando efetivo controle das condições experimentais (Figura 4). De forma geral, os valores de IL pré-corte permaneceram muito próximos a 95%, condição escolhida para que não houvesse competição intensa por luz, evitando acúmulo excessivo de colmos e de material morto na massa de forragem (Da Silva et al., 2009).

A massa de forragem de uma pastagem depende de diversos fatores, dentre eles as condições de crescimento, manejo e grupos funcionais a que pertencem as plantas cultivadas (Langer et al., 1963; Da Silva et al., 2019; Cruz et al., 2002; Silveira et al., 2010). No presente experimento, os dois primeiros fatores foram iguais para todos os tratamentos. Dessa forma, as diferenças observadas em massa de forragem e taxas de acúmulo líquido de forragem foram decorrentes das características morfológicas e funcionais de cada espécie que levaram à variação no número de ciclos de rebrotação, porém, sem diferença de produção total de forragem entre os monocultivos e a associação (Figura 11, B).

Na associação, o capim massai apresentou maior ângulo da folhagem (mais verticalizada), maior taxa de alongamento foliar, com IAF inferior nos 10 cm superiores do dossel (Silva, 2023) e maior comprimento radicular (Gomes, 2023); o capim piatã apresentou maior IAF, porém menor ângulo da folhagem (mais horizontalizada), menor taxa de alongamento foliar (Silva 2023) e maior massa radicular (Gomes, 2023), e o capim andropogon apresentou menor número de folhas por perfilho e desempenho produtivo mais baixo mesmo com taxas de crescimento semelhantes ao capim massai (Silva, 2023), com menor massa e comprimento de raízes (Gomes, 2023). Dessa forma, as espécies apresentaram traços contrastantes que resultaram em complementariedade arquitetônica do perfil vertical do dossel forrageiro (Spehn et al., 2000) tanto acima do solo, com melhor ocupação da superfície por meio do uso do espaço entre as touceiras de capim massai pelos capins piatã e andropogon (dados não publicados), quanto abaixo. Da mesma forma, Naeem et al. (1994) e Spehn et al. (2000) mostraram que elevada diversidade de plantas em um ecossistema permite melhor distribuição tridimensional e ocupação dos espaços do dossel. No entanto, também resultou em baixa competição por luz, tendo o capim massai se sobressaído uma vez que o posicionamento mais vertical de suas folhas permitiu maior entrada de luz no perfil vertical do dossel forrageiro e favoreceu o rápido alongamento de suas folhas (Silva, 2023). Como consequência, houve predominância do capim massai na composição botânica da associação, seguido do capim piatã e do capim andropogon, independente se avaliado na massa de forragem pré-corte ou na densidade populacional de perfilhos (DPP) (Figura 10). Dessa maneira, a dinâmica entre as espécies provavelmente foi determinada por interações de ordem competitiva e de coexistência, direcionadas por efeitos de complementariedade e, principalmente, por efeitos de seleção entre as espécies.

Entende-se efeito de complementariedade quando as espécies que compõem uma comunidade de plantas coexistem a partir de características e requerimentos por recurso suficientemente contrastantes (Mason et al., 2020; Wang et al., 2021), ou seja, quando há presença de benefícios entre plantas convivendo na comunidade. Entretanto, o efeito de seleção ocorre quando interações de ordem competitiva resultam em domínio de uma ou poucas espécies sobre as demais na associação, sendo as respostas funcionais da associação fortemente influenciadas pela funcionalidade das espécies dominantes (Tilman, 1999; Yang et al., 2021). Ainda, segundo Loreau & Hector (2001), a dominância ocorre devido à maior adaptabilidade de algumas plantas ao ambiente em que estão inseridas, permitindo que se sobressaiam na comunidade. Em razão disso, o padrão de resposta da comunidade de plantas, assim como dos processos produtivos são condicionados pelas características particulares das espécies dominantes (Fridley, 2001; Loreau & Hector, 2001), o que foi observado no presente estudo, uma vez que as respostas da associação para as variáveis estudadas (massa de forragem, produção de forragem e taxas de acúmulo líquido) ficaram muito próximas dos capins massai e piatã, que estavam presentes em maior porcentagem na associação.

Apesar de não ter sido observada redução na variação intra-anual da produção de forragem na associação, as espécies apresentaram flutuações nas populações de plantas na transição do período seco para o retorno das águas, com incrementos dos capins piatã e andropogon, principalmente no segundo ano do experimento (Figura 10). Segundo Tilman et al. (2006) e Hector et al. (2010), a biodiversidade aumenta as flutuações temporais de população e produção primária de cada espécie que compõe uma mistura, mas reduz essas variabilidades na comunidade. Ainda, segundo esses autores, assincronia na flutuação populacional e superprodução de determinadas espécies são responsáveis por aumentar a estabilidade de ecossistemas biodiversos, porém este segundo mecanismo desempenha papel modesto. Dessa forma, pode ser um indicativo de que se a associação apresentasse maiores proporções dos capins piatã e andropogon poderia gerar maior estabilidade produtiva caso essas flutuações alternassem as plantas dominantes ao longo do ano, conforme descrito por Allan et al., (2011). Segundo os autores, ao trabalharem com gradientes de diversidade por sete anos, concluíram que a estabilidade no longo prazo de ambientes biodiversos é resultado principalmente da assincronia na flutuação populacional das espécies presentes nessas comunidades, pois as espécies dominantes foram diferentes ao longo dos anos. Assim, a maior estabilidade produtiva contribuiria para redução da variação intra-anual da produção de forragem, ou seja, da estacionalidade de produção, favorecendo a ocorrência de períodos mais longos de suprimento de forragem ao longo do ano.

Segundo Loreau & Hector (2001), o efeito líquido da biodiversidade sobre as diversas funções dos ecossistemas (e.g. produção de forragem) é resultado do balanço entre os efeitos da seleção das espécies que compõem uma mistura e da complementariedade entre elas. Assim, a participação de cada espécie na produção de forragem da associação, bem como o efeito da complementariedade entre espécies sobre essa produção, foi avaliada ao longo das épocas do ano. Embora não tenha sido observado

*overyielding*, a produção de forragem da associação ficou dentro do esperado em todas as épocas do ano. Possivelmente esse resultado foi reflexo da complementariedade temporal das espécies, em especial pelos capins piatã e andropogon no final de primavera, visto que juntos representaram 37% da taxa de acúmulo líquido de forragem para essa época do ano. Com relação a participação de cada espécie na associação, o capim piatã apresentou *overyielding*, com produção de folhas acima do esperado no verão (Figura 16), o que pode ser um indicativo de que maior porcentagem dessa espécie poderia contribuir para gerar *overyielding* na associação. Em contrapartida, o capim andropogon apresentou *underyielding*, com produção de colmos abaixo do esperado no outono/inverno/início de primavera (Figura 17), o que para essa resposta é interessante, uma vez que o valor nutritivo dos colmos é inferior ao das folhas (Griffin & Jung, 1983) e sua presença em estratos superiores do dossel poderia interferir negativamente no consumo de forragem pelos animais em pastejo (Benvenuti et al., 2006) e, conseqüentemente, em seu desempenho. Resultado semelhante foi encontrado por Duchini et al. (2016) ao avaliarem uma mistura de aveia-preta e azevém anual. Os autores não encontraram maior produção de colmos na mistura relativamente aos monocultivos das mesmas espécies, porém *transgressive overyielding* foi observada para produções de folhas durante o estágio de desenvolvimento vegetativo das plantas. Embora apenas o capim piatã tenha apresentado *overyielding* entre as espécies, o fato de a associação não ter apresentado *underyielding* e se mostrado tão produtiva quanto seus respectivos monocultivos já é um indício de que a coexistência das três espécies é possível, de modo a obter os benefícios da biodiversidade nesses sistemas.

### 3.5. Conclusão

A associação de gramíneas forrageiras tropicais cultivadas em ambientes férteis e com desfolhações frequentes e não severas permitiu a coexistência das espécies com composição botânica relativamente estável e produção de forragem assim como a estabilidade produtiva (variação intra-anual) semelhantes aos monocultivos.

### Referências

- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ALLAN, E. et al. More diverse plant communities have higher functioning over time due to turnover in complementary dominant species. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 108, n. 41, p. 17034-17039, 2011.

- BARBOSA, R. A.; ROSA, P. R. da; LIMA, G. de O. Capim-massai manejado em diferentes combinações de intensidade e frequência de corte. Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, Empreendedorismo e Progresso Científicos na Zootecnia Brasileira De Vanguarda, v. 47, 2010.
- BENVENUTTI, M. A.; GORDON, I. J.; POPPI, D. P. The effect of the density and physical properties of grass stems on the foraging behaviour and instantaneous intake rate by cattle grazing an artificial reproductive tropical sward. *Grass and Forage Science*, v. 61, n. 3, p. 272-281, 2006.
- BORER, E. T. et al. Herbivores and nutrients control grassland plant diversity via light limitation. *Nature*, v. 508, n. 7497, p. 517, 2014.
- CORRÊA, L. A.; SANTOS, P. M. Irrigação de pastagens formadas por gramíneas forrageiras tropicais. Circular técnica, São Carlos: Embrapa, 2006.
- CRESTANI, S. et al. Sward structural characteristics and herbage accumulation of Piatã palisade grass (*Brachiaria brizantha*) in a crop–livestock–forest integration area. *Crop and Pasture Science*, v. 68, n. 9, p. 859-871, 2017.
- CRUZ, P. et al. Une nouvelle approche pour caractériser les prairies naturelles et leur valeur d'usage. *Fourrages* 172, p. 335-354, 2002.
- DA SILVA, S. C. Nutritive value and morphological characteristics of Mombaça grass managed with different rotational grazing strategies. *The Journal of Agricultural Science* 157, 592–598. 2019.
- DA SILVA, S.C. et al. Sward structural characteristics and herbage accumulation of *Panicum maximum* cv. Mombaça subject to rotational stocking managements. *Sci. Agric.*, 66, 8–19, 2009.
- DAVIES, A. Leaf tissue remaining after cutting and regrowth in perennial ryegrass. *The Journal of Agricultural Science*, v. 82, n. 1, p. 165-172, 1974.
- DEARO, J. G. C.; GOMES, C. M.; DA SILVA, S. C. Existe flexibilidade na meta de altura pré-pastejo para o capim-marandu? In: Simpósio Internacional de Iniciação Científica e Tecnológica da USP - SIICUSP, 2018, Piracicaba, SP. Anais do 26º Simpósio Internacional de Iniciação Científica e Tecnológica da USP – SIICUSP, CD-ROM, 2018.
- DUCHINI, P. G. et al. Can a Mixture of Perennial Grasses with Contrasting Growth Strategies Compose Productive and Stable Swards? *Agronomy Journal*, 2018.
- DUCHINI, P. G. et al. Experimental evidence that the perennial grass persistence pathway is linked to plant growth strategy. *Plos One*, v. 13, 2019.
- DUCHINI, P. G. Intercropping black oat (*Avena strigosa*) and annual ryegrass (*Lolium multiflorum*) can increase pasture leaf production compared with their monocultures. *Crop and Pasture Science*, v. 67, n. 5, p. 574-581, 2016.

- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Embrapa. Portfólio de Pastagens: Tecnologia e sustentabilidade nos pastos do Brasil. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/portfolio/pastagens>>. Acesso em 05 jun. 2023.
- EUCLIDES, V. P. B. et al. Produção de forragem e características da estrutura do dossel de cultivares de *Brachiaria brizantha* sob pastejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.43, p.1805-1812, 2008.
- FONSECA, D. M. et al. Plantas forrageiras, 2 ed. Editora UFV. Universidade Federal de Viçosa, 537p, 2010.
- FRIDLEY, J. D. The influence of species diversity on ecosystem productivity: how, where, and why? *Oikos*, v. 93, n. 3, p. 514-526, 2001.
- GIACOMINI, A. A. et al. Components of the leaf area index of marandu palisadegrass swards subjected to strategies of intermittent stocking. *Scientia Agricola*, v. 66, n. 6, p. 721-732, 2009.
- GOMES, C. M. Association of tropical forage grasses in pastures: an opportunity for sustainable intensification? Thesis (PhD in Animal Science and Pastures), “Luiz de Queiroz” College of Agriculture – São Paulo University. 2023.
- GRIFFIN, J. L.; JUNG, G. A. Leaf and stem forage quality of big bluestem and switchgrass. *Agronomy Journal*, v. 75, n. 5, p. 723-726, 1983.
- GRIME, J. P. Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. *The American Naturalist*, v. 111, n. 982, p. 1169-1194, 1977.
- GROSS, N. et al. Complementarity as a mechanism of coexistence between functional groups of grasses. *Journal of Ecology*, v. 95, n. 6, p. 1296-1305, 2007.
- HECTOR, A. et al. General stabilizing effects of plant diversity on grassland productivity through population asynchrony and overyielding. *Ecology*, v. 91, n. 8, p. 2213-2220, 2010.
- KÜCHENMEISTER, F. et al. Yield and yield stability in mixtures of productive grassland species: Does species number or functional group composition matter? *Grassland science*, v. 58, n. 2, p. 94-100, 2012.
- LANGER, R.H.M. Tillering in herbage grass. A review. *Herbage Abstracts*, v.33, p.141-148, 1963.
- LITTEL, R. C.; PENDERGAST, J.; NATARAJAN, R. Modelling covariance structure in the analysis of repeated measures data. *Statistics in Medicine*, Boston, v. 19, p. 1793-1819, 2000.
- LOREAU, M. Separating sampling and other effects in biodiversity experiments. *Oikos*, p. 600-602, 1998.
- LOREAU, M.; HECTOR, A. Partitioning selection and complementarity in biodiversity experiments. *Nature*, v. 412, n. 6842, p. 72-76, 2001.

- MASON, N. W. H. et al. Resource-use efficiency drives overyielding via enhanced complementarity. *Oecologia*, 193:995-1010, 2020.
- MEDEIROS-NETO, C. et al. Mixtures of grasses: An alternative to traditional pasture monocultures in the tropics. *Grass and Forage Science*, v. 78, n. 2, p. 296-305, 2023.
- NAEEM, S. et al. Declining biodiversity can alter the performance of ecosystems. *Nature*, v. 368, n. 6473, p. 734-737, 1994.
- PIRES, A.V. Bovinocultura de corte. Piracicaba: FEALQ, v.1, p.760, 2010.
- PONTES, L. S. et al. Impacts of species interactions on grass community productivity under contrasting management regimes. *Oecologia*, v.168, p.761-771, 2012.
- RAIJ, B. van et al. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agrônômico/Fundação IAC, 1997.
- ROSCHER, C. et al. Detecting the role of individual species for overyielding in experimental grassland communities composed of potentially dominant species. *Oecologia*, v. 154, n. 3, p. 535-549, 2007.
- SBRISSIA, A. F. et al. Defoliation Strategies in Pastures Submitted to Intermittent Stocking Method: Underlying Mechanisms Buffering Forage Accumulation over a Range of Grazing Heights. *Crop Science*, v. 58, n. 2, p. 945-954, 2018.
- SBRISSIA, A. F. et al. Pastagens multiespecíficas de gramíneas: oportunidade e desafios. *Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, v. 52, p. 1-12, 2015.
- SILVA, A. M. S. Association of tropical forage grasses in pastures: agronomic aspects that determine plant performance. Thesis (PhD in Animal Science and Pastures), "Luiz de Queiroz" College of Agriculture – São Paulo University. 2023.
- SILVEIRA, M. C. T. et al. Herbage accumulation and grazing losses on Mulato grass subjected to strategies of rotational stocking management. *Scientia Agricola*, v. 70, n. 4, p. 242-249, 2013.
- SILVEIRA, M. C. T. et al. Morphogenetic and structural comparative characterization of tropical forage grass cultivars under free growth. *Scientia Agricola*, v. 67, n. 2, p. 136-142, 2010.
- SKINNER, R. H.; DELL, C. J. Yield and soil carbon sequestration in grazed pastures sown with two or five forage species. *Crop Science*, v. 56, n. 4, p. 2035-2044, 2016.
- SOUSA, B. M. L. et al. Morphogenetic and structural characteristics of *Andropogon* grass submitted to different cutting heights. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 39, n. 10, p. 2141-2147, 2010.
- SPEHN, E. M. et al. Above-ground resource use increases with plant species richness in experimental grassland ecosystems. *Functional Ecology*, v. 14, p. 326-337, 2000.

- SPEHN, E. M. et al. Above-ground resource use increases with plant species richness in experimental grassland ecosystems. *Functional Ecology*, v.14, p.326-337, 2000.
- TILMAN, D. The ecological consequences of changes in biodiversity: A search for general principles. In: *Ecology*. pp 1455-1474, 1999.
- TILMAN, D.; DOWNING, J. A. Biodiversity and stability in grasslands. *Nature*, v. 367, p. 363-365, 1994.
- TILMAN, D.; REICH, P. B.; KNOPS, J. M. H. Biodiversity and ecosystem stability in a decade-long grassland experiment. *Nature*, v. 441, n. 7093, p. 629-632, 2006.
- TRACY, B. F.; SANDERSON, M. A. Forage productivity, species evenness and weed invasion in pasture communities. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 102, p. 175–183, 2004.
- USDA – United States Department of Agriculture. Disponível em: < <https://www.usda.gov>>. Acesso em: 4 jun. 2023.
- WANG, C. et al. A global meta-analysis of the effects of plant diversity on biomass partitioning in grasslands. *Environmental Research Letters* 16:064083, 2021.
- WEDIN, D.; TILMAN, D. Competition among grasses along a nitrogen gradient: initial conditions and mechanisms of competition. *Ecological Monographs*, v. 63, n. 2, p. 199-229, 1993.
- WELLES, J.M.; NORMAN, J.M. Instrument for indirect measurement of canopy architecture. *Agronomy Journal*, Madison, v.83, p.818-825, 1991.
- WERNER, J. C. et al. Forrageiras. In: Raj B Van, Cantarella H, Quaggio JA & Furlani AMC. (Eds.). *Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo*. 2ª ed. Campinas, IAC. p.263-273 (Boletim Técnico, 100). 1997.
- YANG, X. et al. Interpreting the effects of plant species diversity and genotypic diversity within a dominant species on above- and belowground overyielding. *Science of the Total Environment* 786:1-10, 2021.



#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nossos resultados mostraram que uma associação de gramíneas forrageiras tropicais com características contrastantes e complementares em suas habilidades de aquisição e uso de recursos assim como em suas estratégias de persistência, quando cultivadas em ambientes férteis e com desfolhações frequentes e não severas que atenuem a competição por luz, pode permitir a coexistência das espécies e ser tão produtiva e estável quanto os monocultivos.

De maneira geral, associação apresentou padrão menos variável em densidade populacional de perfilhos e de perfilhamento ao longo do ano como resultado de alternância entre as estratégias de persistência. O capim andropogon apresentou perfilhamento relativamente constante e os capins piatã e massai pequenas flutuações sazonais, resultando em diferentes *timings* de retorno durante o retorno da precipitação na primavera. Entretanto, apesar da maior estabilidade populacional de plantas na associação, esta não foi capaz de gerar incrementos significativos em produção e reduzir a variação intra-anual da produção de forragem. Porém, foi importante para garantir a estabilidade da associação. Vale ressaltar, que nos pastos dos monocultivos os níveis de distúrbios são menores, pois a competição é intraespecífica, já na associação além da intraespecífica ocorre também a interespecífica.

Dessa forma, o fato de a associação ter sido tão estável e produtiva quanto os monocultivos *per se* já é um sinal de coexistência entre as espécies, principalmente por não ter sido observado indícios de que as espécies que se encontravam em menor proporção, principalmente o capim andropogon, poderia desaparecer ao longo do tempo, visto que o padrão de variação em composição botânica foi consistente durante os dois anos de condução do experimento. Além disso, o *overyielding* de folhas no verão observado para o capim piatã e o *underyielding* de colmo para o capim andropogon no outono/inverno/início de primavera indicam que são espécies com potencial de uso quando cultivadas em associação para gerar *overyieldings* na comunidade de plantas se proporções maiores pudessem ser implementadas.

Sendo assim, estudos que avaliem outras formas de implantação e taxas de semeaduras diferentes que visem aumentar as populações dos capins piatã e andropogon, com objetivo de maximizar os benefícios gerados por esses capins, pode ser uma possibilidade de tentar reduzir as variações intra- anuais da produção de forragem.



## 5. CONCLUSÃO

A associação de gramíneas forrageiras tropicais composta por *Andropogon gayanus* cv. Planaltina, *Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã e *Panicum maximum* cv. Massai, manejada de forma intermitente utilizando-se a meta de altura pré-corte de 35 cm e a meta de altura pós-corte de 17,5 cm, permite a coexistência entre as três espécies, com composição botânica e padrões de perfilhamento relativamente estáveis ao longo do ano e produção de forragem assim como a estabilidade produtiva (variação intra-anual) semelhantes aos monocultivos.