

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

**Respostas agronômicas e ecológicas de uma associação de gramíneas
forrageiras tropicais em pastagens**

Alexandre Fameli Mammana

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

**Piracicaba
2022**

Alexandre Fameli Mammana
Engenheiro Agrônomo

**Respostas agronômicas e ecológicas de uma associação de gramíneas forrageiras
tropicais em pastagens**

Versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

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

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

Piracicaba
2022

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

Mammana, Alexandre Fameli

Respostas agronômicas e ecológicas de uma associação de gramíneas forrageiras tropicais em pastagens / Alexandre Fameli Mammana. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2022.

72 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

1. Pastagem multiespecífica 2. Potencial agrônômico 3. Sustentabilidade 4. Consórcio I. Título

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço aos meus pais Marcelo Aliperti Mammana e Susan Fameli Mammana, que tornaram tudo isso possível.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Sila Carneiro da Silva pela oportunidade concedida e pelo auxílio ao longo desta etapa. Minha estima por seus ensinamentos é muito grande, e por isso, obrigado.

À minha companheira, Emanoella Karol Saraiva Otaviano, exemplo de profissional e como pessoa, um alicerce para mim por toda essa etapa desafiadora. Muito obrigado.

À equipe do Grupo de Estudos em Plantas Forrageiras (GEPF). Alex Marciano dos Santos Silva e Caio Macret Gomes, obrigado por dividirem comigo seus ensinamentos.

Aos membros do Grupo de Pesquisa em Pastagens (GP²), em especial Fagner Junior Gomes, Theyson Duarte Maranhão e seus estagiários.

Aos professores do Departamento de Zootecnia da ESALQ/USP pelo conhecimento compartilhado.

Aos funcionários da ESALQ/USP, que de alguma forma auxiliaram a boa condução do projeto e da dissertação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo auxílio pesquisa para implantação e condução do experimento

SUMÁRIO

RESUMO	6
ABSTRACT	7
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABELAS	10
1. INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1. Conceitos gerais e aplicabilidade da diversidade de espécies em pastagens	13
2.2. Respostas agronômicas em sistemas multiespecíficos	17
2.3. Modelo conceitual da diversidade de espécies em pastagens	22
2.4. Hipótese.....	23
2.5. Objetivo	23
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.1. Caracterização e implantação da área experimental.....	25
3.2. Tratamentos e delineamento experimental.....	28
3.3. Monitoramento e controle das condições experimentais	29
3.4. Avaliações	30
3.4.1. Interceptação luminosa	30
3.4.2. Acúmulo de forragem	31
3.4.3. Massa de forragem, composição morfológica e botânica.....	31
3.4.4. Área foliar específica, índice de área foliar (IAF) e relação $IAF_{pós}/IAF_{pré}$	32
3.5. Análise dos dados.....	32
4. RESULTADOS.....	35
4.1. Controle e manutenção das condições experimentais	35
4.1.1. Altura de corte	35
4.1.2. Intervalo entre cortes	36
4.2. Produção de forragem	37

4.2.1. Taxa de acúmulo de forragem	37
4.2.2. Taxa de acúmulo de folhas	38
4.2.3. Taxa de acúmulo de colmos	39
4.3. Interceptação luminosa	40
4.4. Características estruturais do dossel forrageiro	41
4.4.1. Índice de área foliar	41
4.4.2. Relação $IAF_{pós}/IAF_{pré}$	43
4.4.3. Densidade populacional de perfilhos	44
4.4.4. Composição botânica da população de plantas na associação	44
4.4.5. Massa de Forragem	45
4.4.5.1. Porcentagem de folhas	46
4.4.5.2. Porcentagem de colmos	47
4.4.5.3. Porcentagem de morto	48
4.4.5.4. Composição botânica da massa de forragem da associação	49
5. DISCUSSÃO	51
6. CONCLUSÃO	63
REFERÊNCIAS	65

RESUMO

Respostas agronômicas e ecológicas de uma associação de gramíneas forrageiras tropicais em pastagens

A demanda crescente da população mundial torna necessário o aumento da produção de alimentos de forma sustentável, preservando o meio ambiente. Nesse contexto, as pastagens multiespecíficas assumem papel de destaque, uma vez que o incremento da biodiversidade vegetal permite diversificação de espécies, otimização da utilização dos recursos disponíveis, estabilização da produção primária, além de assegurarem diversos serviços ambientais importantes. Essa é uma realidade em regiões de clima temperado, mas ainda muito pouco desenvolvida e estudada em regiões de clima tropical. O objetivo deste estudo foi avaliar as respostas agronômicas de uma associação composta por três gramíneas forrageiras tropicais, caracterizando uma pastagem multiespecífica. O potencial produtivo da associação foi comparado com a produção das três gramíneas forrageiras em monocultivo. As respostas agronômicas da associação foram interpretadas a partir dos mecanismos da biodiversidade (diferenciação de nichos e “efeito de seleção”). As variáveis resposta avaliadas foram: índice de área foliar, interceptação luminosa, densidade populacional de perfilhos, taxa de acúmulo de forragem, massa de forragem e composição botânica e morfológica da massa de forragem. A pesquisa foi realizada em área experimental do Departamento de Zootecnia na ESALQ/USP, Piracicaba, São Paulo, entre janeiro de 2020 e março de 2021. Os tratamentos corresponderam a três espécies de gramíneas forrageiras tropicais (*Andropogon gayanus* cv. Planaltina, *Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã e *Panicum maximum* cv. Massai) cultivadas em monocultivo e em associação, e foram alocados às unidades experimentais segundo delineamento de blocos completos casualizados com quatro repetições. O regime de desfolhação foi comum a todos os tratamentos e caracterizado por altura pré-corte de 35 cm e altura pós-corte de 17,5 cm. De forma geral, as respostas agronômicas da associação foram similares aos dois capins de maior potencial produtivo no monocultivo. A partir dos resultados, é possível inferir que ambos os efeitos de seleção e complementariedade entre as espécies na mistura tenham influenciado as respostas da associação. Apesar da predominância de uma espécie na composição botânica da associação (*Panicum maximum* cv. Massai), não foi encontrado evidência que indique a possibilidade de uma transição para condição de monocultivo.

Palavras-chave: Pastagem multiespecífica, Potencial agronômico, Sustentabilidade, Consórcio

ABSTRACT

Agronomic and ecological responses of a mixture of tropical forage grasses in pastures

The growing demand of the world population causes the need to increase food production in a sustainable way, preserving the environment. In this context, multispecific pastures play a relevant role, since increased biodiversity allows species diversity, resource use optimization, primary production stabilization as well as several important environmental services. This is well known and studied in temperate climate regions, but still very little developed in tropical areas of the globe. The objective of this study was to evaluate the agronomic responses of an association comprised of three tropical forage grass species forming a multispecific pasture. The productive potential of the association was compared to the production of the three grass species in monoculture. The agronomic responses of the association were interpreted using biodiversity mechanisms (niche differentiation and selection effect). The response variables studied were: sward leaf area index, canopy light interception, tiller population density, herbage accumulation rate, herbage mass and its botanical and morphological composition. The experiment was carried out at Animal Science Department, ESALQ/USP, Piracicaba, São Paulo, from January 2020 until March 2021. Treatments corresponded to three tropical forage grass species (*Andropogon gayanus* cv. Planaltina, *Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã e *Panicum maximum* cv. Massai) cultivated as monoculture or in association, and were allocated to experimental units according to a complete randomized block design with four replications. The defoliation regime was common to all treatments and corresponded to intermittent cutting characterized by pre-cutting height of 35 cm and post-cutting height of 17.5 cm. Overall, the agronomic responses of the association were similar to those of the two most productive grass species cultivated as monoculture. From the results, it is possible to infer that both selection and complementary effects among species influenced the responses of the association. In spite of the predominance of one species in the association (*Panicum maximum* cv. Massai), there was no evidence indicating the possibility of a transition to a monoculture condition.

Keywords: Multispecific pasture, Agronomic potential, Sustainability, Consortium

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Modelo conceitual	23
Figura 2. Precipitação (mm), temperatura máxima, média e mínima (°C) do período experimental (Prec., Temp. Máx., Temp. Méd, Temp. Mín, respectivamente) e histórico pluviométrico (mm) e temperatura média (°C) dos últimos 50 anos (Prec. H e Temp. Méd. H, respectivamente). Dados de Posto meteorológico “Professor Jesus Marden dos Santos” ESALQ/USP	25
Figura 3. Extrato do balanço hídrico decendial do período experimental de janeiro/2020 a março/2021. Dados de Posto meteorológico “Professor Jesus Marden dos Santos” ESALQ/USP. O balanço hídrico decendial foi calculado considerando-se a capacidade de armazenamento de água do solo (CAD) de 50 mm	26
Figura 4. Semeadura à lanço das espécies forrageiras (A). Distribuição das sementes na unidade experimental (B). Compactação das sementes no solo com rolo compactador (C) ...	27
Figura 5. Área experimental após a semeadura e compactação (A) e forrageiras já estabelecidas (B)	27
Figura 6. Croqui da área experimental e arranjo dos tratamentos entre os blocos: PIA (<i>Brachiaria brizantha</i> cv. BRS Piatã), MAS (<i>Panicum maximum</i> cv. Massai), AND (<i>Andropogon gayanus</i> cv. Planaltina) e ASS (Associação entre espécies). Foto aérea por Google Earth/2021	28
Figura 7. Avaliação da interceptação luminosa com aparelho LICOR-2000 (A). Amostragem da forragem acumulada, coletando-se a forragem acima da altura de 17,5 cm do solo (B). Amostragem da massa de forragem, coletando-se todo material forrageiro dentro da armação até a altura do solo	32
Figura 8. Alturas (cm) em pré e pós-corte para o capim piatã ao longo do período experimental	35
Figura 9. Alturas (cm) em pré e pós-corte para o capim massai ao longo do período experimental.....	35
Figura 10. Alturas (cm) em pré e pós-corte para o capim andropogon ao longo do período experimental.....	36
Figura 11. Alturas (cm) em pré e pós-corte para a associação ao longo do período experimental	36
Figura 12. Intervalo entre cortes para os monocultivos e a associação durante o período experimental 2020/2021.....	37
Figura 13. Taxa de acúmulo de forragem (kg.ha ⁻¹ .dia ⁻¹) para os monocultivos e associação (A) e épocas do ano (B) durante o período experimental 2020/2021.....	38
Figura 14. Índice de área foliar pré-corte para os monocultivos e associação (A) e épocas do ano (B) durante o período experimental 2020/2021	42
Figura 15. Média dos principais componentes morfológicos acumulados durante o período experimental 2020/2021.....	52

Figura 16. Variações em densidade populacional de perfilhos (piatã, massai, andropogon e associação) e estacionalidade da produção em relação às suas respectivas médias. O padrão de variação da população de perfilhos, de relativa estabilidade, segue comportamento distinto da estacionalidade de produção nas épocas de Out e Invpr, indicando que a o comprometimento de produção ocorreu em escala individual no desenvolvimento do perfilho54

Figura 17. Dendrograma de agrupamento das respostas agronômicas entre os monocultivos e a associação para as épocas do ano avaliadas pelo método de ligação completo. A relação entre respostas agronômicas foram registradas para as épocas Ve1, Pri e Ver2 (Figuras 17, A, B e C, respectivamente) e Out e Invpr (Figuras 17, D e E, respectivamente). Em todas as épocas do ano avaliadas, a maior similaridade entre respostas foram entre o monocultivo do capim massai e a associação. Corroborando com o “efeito de seleção”, o capim massai é a espécie de maior proporção na associação58

Figura 18. Dendrograma de agrupamento das respostas agronômicas entre os monocultivos e a associação durante o período experimental 2020/2021 pelo método de ligação completo. As respostas agronômicas mais discrepantes foram as do monocultivo do capim andropogon e entre tratamentos no Ver1. Os maiores níveis de proximidade das respostas foram entre o monocultivo de capim massai e a associação em todas as épocas do ano avaliadas.....61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características químicas do solo na camada 0-20 cm	26
Tabela 2. Altura de corte para o critério de 95% de interceptação luminosa e amplitude de manejo permitida para as espécies estudadas	29
Tabela 3. Taxa de acúmulo de folhas para os monocultivos e associação durante o período experimental 2020/2021	39
Tabela 4. Taxa de acúmulo de colmos para os monocultivos e associação durante o período experimental 2020/2021	39
Tabela 5. Interceptação luminosa em pré e pós-corte para os monocultivos e a associação durante o período experimental 2020/2021	41
Tabela 6. Índice de área foliar pós-corte para os monocultivos e associação durante o período experimental 2020/2021	43
Tabela 7. Relação $IAF_{pós}/IAF_{pré}$ para os monocultivos e associação durante o período experimental 2020/2021	43
Tabela 8. Densidade populacional de perfilhos para os monocultivos e associação durante o período experimental 2020/2021	44
Tabela 9. Composição botânica da densidade populacional de perfilhos na associação durante o período experimental 2020/2021	45
Tabela 10. Massa de forragem em pré e pós-corte para os monocultivos e associação durante o período experimental 2020/2021	46
Tabela 11. Porcentagem de folhas na massa de forragem em pré e pós corte entre os diferentes tratamentos durante o período experimental 2020/2021	47
Tabela 12. Porcentagem de colmos na massa de forragem em pré e pós corte entre os diferentes tratamentos durante o período experimental 2020/2021	48
Tabela 13. Porcentagem de material morto na massa de forragem em pré e pós corte entre os diferentes tratamentos durante o período experimental 2020/2021	49
Tabela 14. Composição botânica da massa de forragem na associação em pré e pós-corte durante o período experimental 2020/2021	50
Tabela 15. Participação das espécies piatã, massai e andropogon nas respostas agrônômicas da associação durante o período experimental 2020/2021	57

1. INTRODUÇÃO

A importância das pastagens apresenta escala global, uma vez que representam 26% de toda a área produtiva e 80% da área agrícola do planeta (Boval e Dixon 2012). Devido às condições adequadas para produção vegetal, as regiões caracterizadas pelo clima tropical são de grande importância estratégica para atender a necessidade crescente de alimentos ocasionada pelo crescimento da população mundial e limitação de áreas para expansão horizontal da produção. Nessas regiões, a produção animal em pastagens é alternativa viável devido ao baixo custo de produção, alto potencial produtivo das gramíneas forrageiras tropicais (Oliveira et al. 2016) e possibilidade de produção de forma ambiental e eticamente adequada. Nesse sentido, a intensificação sustentável confronta sistemas agropecuários com o desafio de aumentar a produção utilizando menos recursos e reduzindo o impacto ambiental de maneira geral por unidade de produto produzido, preservando os serviços ecossistêmicos frente às consequências das mudanças climáticas (Haughey et al. 2018).

A intensificação sustentável do uso das pastagens a partir do aprimoramento de práticas de manejo, somada à aplicação racional de insumos e dinâmica de desfolhações frequentes tem melhorado a produtividade e o valor nutritivo da forragem produzida, contribuindo de forma positiva para a produção animal, além de mitigar as emissões de gases do efeito estufa (Souza Filho et al. 2019; Congio et al. 2019). Apesar disso, ainda é comum que sistemas agropecuários utilizando elevados níveis de intensificação ainda priorizem a produtividade primária como único fator agrônômico de sucesso, sendo comumente caracterizados por comunidades extremamente simplificadas com a utilização de pastagens monoespecíficas (Finn et al. 2013). Como resultado, esses sistemas de pastejo são menos resilientes e estáveis (Tilman et al. 2014) podendo ficar expostos a menor estabilidade produtiva devido às variações ambientais intra- anuais e ocorrência de doenças e/ou pragas. Além disso, por apresentarem nível mínimo ou inexistente de diversidade, sistemas monoespecíficos não conseguem oferecer os mesmos serviços gerados a partir de um sistema multiespecífico (Cardinale et al. 2007; Tilman et al. 2014). Isso ocorre porque os benefícios gerados a partir da biodiversidade originam-se a partir de mecanismos singulares, como os de diferenciação de nichos e “efeito de seleção” (Sonkoly et al. 2019).

Nesse contexto, a utilização de pastagens multiespecíficas, a partir do aumento de diversidade de espécies em uma mesma comunidade de plantas, pode ser alternativa interessante e estrategicamente importante para aumentar a produtividade e a estabilidade produtiva das pastagens e diminuir a influência de fatores antropogênicos, edafoclimáticos e

bióticos, além de promover a multifuncionalidade e a produção sustentável de forragem nesses ecossistemas (Haughey et al. 2018). Sendo assim, a implantação de misturas de plantas forrageiras compostas por espécies complementares (i.e. com diferentes estratégias de crescimento e/ou de exploração de nichos ecológicos) parece ser alternativa viável tanto do ponto de vista econômico como funcional. Portanto, ao considerar que o objetivo de sistemas pastoris seja produzir forragem de forma mais eficiente possível, a maior estabilidade espacial e temporal na pastagem oferecida pela complementariedade entre espécies pode ser ferramenta importante para melhor utilização dos recursos de produção disponíveis (Finn et al. 2013).

No entanto, estudos avaliando as respostas agronômicas de gramíneas forrageiras de clima tropical cultivadas em associação (pastos multiespecíficos) são praticamente inexistentes. Devido à importância dos mecanismos de diversidade entre espécies na geração de serviços essenciais para humanidade (produção e sustentabilidade), é interessante a avaliação de seu potencial produtivo para futura adoção nas propriedades rurais localizadas nos trópicos.

Com base no exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar as respostas agronômicas de uma associação composta por três gramíneas forrageiras tropicais, caracterizando uma pastagem multiespecífica. O potencial produtivo da associação foi comparado com a produção das três gramíneas forrageiras em monocultivo e as respostas analisadas e interpretadas com a finalidade de compreender como potenciais mecanismos da diversidade de espécies influenciam as características estruturais e produtivas da comunidade de plantas.

2.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Conceitos gerais e aplicabilidade da diversidade de espécies em pastagens

Apesar da grande complexidade envolvendo os mecanismos que modulam sistemas multiespecíficos (Cardinale et al. 2006), atualmente é reconhecido o papel da diversidade de espécies como determinante de grande relevância na dinâmica e funcionamento de comunidades de plantas e ecossistemas (Hooper et al. 2005; Tilman et al. 2014; Mahaut et al. 2020). Nesse aspecto, segundo Hopper et al. (2005), o funcionamento e as propriedades de uma comunidade são importantes pois modulam o fluxo de energia e de tecidos entre as espécies, também regulando o armazenamento de carbono e matéria orgânica no solo. Como consequência, sistemas multiespecíficos são capazes de proporcionar serviços ecossistêmicos importantes como, por exemplo, a regulação do fluxo e estocagem de água solo, polinização, incrementos na produção primária, regulação do clima e até mesmo modificando a própria ciclagem de nutrientes (Hooper et al. 2005). Uma estratégia potencial para promover a sustentabilidade e produtividade de sistemas agropecuários inclui a utilização de pastagens multiespecíficas que possam explorar a complementariedade em características e interações interespecíficas em sistemas mais intensivos de manejo (Finn et al. 2013). Em vista disso, incrementar o número de espécies na pastagem, gerando benefícios a partir da multifuncionalidade pode ser estratégia interessante para sistemas pastoris de produção animal.

De acordo com Weigelt et al. (2009), a multifuncionalidade dos ecossistemas pastoris apresenta relação positiva com sua biodiversidade que, por sua vez, é dependente da condição de coexistência entre indivíduos na comunidade de plantas (Wandrag et al. 2019). Sendo assim, em situações de associação de plantas, indivíduos que apresentam elevada similaridade entre suas características estruturais e fisiológicas competem mais intensamente pelos recursos de produção existentes em quantidades limitadas (Fargione e Tilman 2005; Wandrag et al. 2019). Primeiramente, para que os organismos possam conviver e promover a riqueza de espécies na comunidade é necessário que diferentes nichos ecológicos sejam explorados (Wagg et al. 2017). Nesse aspecto, o nicho ecológico de uma planta corresponde à sua função no ecossistema, definindo o conjunto de condições, características, recursos e interações necessárias para que ela possa se desenvolver (Tilman et al. 2014).

Tal coexistência entre espécies vegetais aumenta a complexidade da comunidade, acarretando maior funcionalidade do ecossistema (Swift e Anderson 1994). A resultante disso é a capacidade de um conjunto de espécies em adquirir e converter maior quantidade de recursos

em biomassa, promovendo a produção vegetal por meio de interações interespecíficas entre as plantas cultivadas em associação (Wang et al. 2021). Assim, a multifuncionalidade, ocasionada pelo maior número de espécies e grupos funcionais, permite que os recursos do ambiente produtivo sejam utilizados de forma mais eficiente pela vegetação (Grace et al. 2018), uma vez que promove maior número de nichos possíveis de serem explorados em uma mesma área relativamente ao monocultivo (Tilman 1999).

De acordo com Duchini et al. (2019), uma forma de promover a multifuncionalidade no ambiente pastoril leva em consideração as diferentes estratégias adotadas pelas plantas forrageiras para a aquisição de recursos. Nesse sentido, as gramíneas podem ser classificadas em grupos funcionais baseados em suas diferentes habilidades de aquisição de recursos (Cruz et al. 2002). Segundo essa classificação, em ambientes férteis, plantas mais competidoras apresentam maior capacidade de captura e uso dos recursos e maior velocidade de renovação de tecidos que plantas mais conservadoras. Plantas conservadoras, por sua vez, apresentam menor renovação de tecidos, menor área foliar específica, maior longevidade das folhas e florescimento tardio (Cruz et al. 2002). Sendo assim, de forma geral, plantas mais competidoras por recursos tendem a ser mais produtivas e utilizar os recursos disponíveis com menor eficiência, já as mais conservadoras são menos produtivas, porém, mais eficientes na utilização dos recursos adquiridos (Hobbie 1992). É esperado que essas diferenças entre estratégias de desenvolvimento e características entre plantas competidoras e conservadoras resultem em menor sobreposição de nichos, permitindo a coexistência de gramíneas de diferentes tipos funcionais em um mesmo pasto. Mesmo assim, em ambientes pastoris de finalidade agrônômica, a coexistência só será possível desde que o manejo promova disponibilidade de nutrientes de forma constante e satisfatória e o regime de desfolhação permita adequada disponibilidade de luz (baixo nível de distúrbio), que é o fator de maior limitação ao desenvolvimento das plantas forrageiras em solos férteis (Borer et al. 2014; Duchini et al. 2019).

A dinâmica do fluxo de energia que é alocada para o ecossistema está intimamente relacionada ao número de espécies que compõem a pastagem (Jochum et al. 2021). Apesar disso, é possível que pastagens compostas por duas ou três espécies contendo grupos funcionais complementares (plantas com diferentes características e estratégias de captura e conservação de recursos) e com alto potencial sinérgico possam ser tão eficientes quanto misturas mais complexas, formadas por grande número de espécies (Sanderson et al. 2006; Tracy et al. 2018). Dessa forma, mesmo que uma comunidade seja composta apenas por gramíneas forrageiras, ainda é possível que efeitos positivos da multifuncionalidade gerem benefícios para o

ecossistema pastagem (Pontes et al. 2011). Adicionalmente, no contexto de produção vegetal, é reconhecido que sistemas agropecuários de maior intensificação adotam com maior frequência o uso do monocultivo. Em relação a esses sistemas, com nível mínimo de diversidade, a inclusão de mais espécies (mesmo que poucas) de plantas na pastagem inevitavelmente causaria um efeito significativo na função do ecossistema pela simples adição de plantas exploradoras de diferentes nichos ecológicos (Swift e Anderson 1994; Haughey et al. 2018).

Nesse contexto, promover a funcionalidade é interessante para pastagens com finalidade agrônômica e/ou pecuária, já que busca utilizar plantas com características complementares com o propósito de gerar serviços ecológicos. Como exemplos desses serviços, a utilização de pastagens multiespecíficas pode contribuir para diminuição da influência de fatores antropogênicos, edafoclimáticos e bióticos sobre a produção (Haughey et al. 2018) e favorece o fornecimento eficiente e sustentável de alimentos provenientes de animais alimentados com forragem pastejada (Tilman et al. 2006). Dessa maneira, em ambiente pastoril multiespecífico, pode ocorrer elevada produção de forragem (Küchenmeister et al. 2012; Haughey et al. 2018; Grace et al. 2018; Sonkoly et al. 2019), maior estabilidade produtiva (Gross et al. 2014; Duchini et al. 2019), maior valor nutritivo da forragem produzida (Deak et al. 2009; Nobilly et al. 2013), maior massa, profundidade de raízes e sequestro de carbono (Bresciano et al. 2018; Yang et al. 2019), melhoria da qualidade física, química e biológica do solo (Zak et al. 2003; Lange et al. 2015; Yang et al. 2019), menor incidência de plantas daninhas (Finn et al. 2013), mitigação de impactos ambientais (Cardinale et al. 2006; Lange et al. 2015; Yang et al. 2019) e melhoria do desempenho animal (Jonker et al. 2018; Dillard et al. 2018; Nieman et al. 2019). Todos esses serviços são extremamente visados segundo o contexto atual de produção, já que aderem conceitos de produtividade e de sustentabilidade simultaneamente.

A habilidade de comunidades com maior diversidade de plantas forrageiras em adquirir e converter recursos prontamente disponíveis em forragem é de grande relevância para sistemas agrários (Mason et al. 2020). Em vista disso, é possível que pastagens multiespecíficas diminuam a dependência dos sistemas produtivos à aplicação de insumos externos. Segundo Mommer et al (2010), pastos multiespecíficos apresentam mais matéria orgânica no solo devido a maior produção e complexidade da massa de raízes, como também geram incrementos no processo de mineralização e disponibilização de nitrogênio (estoque de nutrientes). De forma complementar, Chiavegato et al (2015) também identificaram maior ciclagem de nutrientes a partir da maior diversidade de espécies nas pastagens. Todos esses fatores em conjunto podem fazer com que o ambiente pastoril multiespecífico seja menos dependente de adubos químicos,

caracterizando um sistema mais eficiente e econômico na utilização de seus recursos (Weigelt et al. 2009). Nesse sentido, a diversificação de espécies, além de promover a sustentabilidade no ambiente pastoril (O'Mara 2012), também apresenta potencial para diminuir emissões de gases do efeito estufa em comparação às pastagens monoespecíficas (Hammond et al. 2014).

No entanto, apesar dos serviços gerados a partir da maior diversidade em pastagens, é importante ter em mente que, com o incremento do número de espécies, ocorre também aumento da dificuldade de manejo. Nesse sentido, interações interespecíficas (entre plantas de diferentes espécies) e intraespecíficas (entre plantas de mesma espécie) agem em conjunto e desencadeiam uma série de processos (competição, alelopatia, facilitação, complementariedade) que são relativamente mais simplificados em condições de monocultivo (Swift e Anderson 1994; Mahaut et al. 2020). Como consequência, as respostas agronômicas da associação de plantas forrageiras em pastagens podem ser influenciadas por mecanismos únicos atrelados à diversidade de espécies, o que potencialmente aumenta a dificuldade de entendimento das relações de causa e efeito nesses sistemas. Além disso, a maioria dos estudos relacionados aos efeitos benéficos da diversidade de espécies é de escopo estritamente ecológico, marginalizando as consequências e singularidades do uso desses sistemas em cenários agropecuários.

Entendimento aprofundado sobre os efeitos e mecanismos que controlam a diversidade de espécies é central e ponto de partida para formulação de estratégias que visem a sustentabilidade ambiental e produtiva (Borer et al. 2014). Tal contextualização traz à tona a importância de estudos que visem avaliar o efeito da diversidade de espécies em pastagens. Via de regra, para que uma nova estratégia seja adotada dentro desse contexto produtivo, é preciso que sua utilização seja atrativa por sua viabilidade operacional e econômica. Assim, mesmo que biodiversidade possa gerar benefícios claros dentro do escopo da sustentabilidade, se faz importante que esses sistemas se enquadrem dentro de certos padrões produtivos para que possam ser adotados. Sendo assim, em um primeiro momento, entender o potencial produtivo de pastagens multiespecíficas por meio de suas características agronômicas é um primeiro indicador importante de sua viabilidade, ainda mais quando considerada a escassez de informações relacionadas à associação de gramíneas forrageiras de clima tropical.

2.2. Respostas agrônômicas em sistemas multiespecíficos

Sistemas agrários são essencialmente diferentes de sistemas naturais, pois seu objetivo é comumente direcionado à produção vegetal passiva de colheita ou consumo animal (Swift e Anderson 1994). Nesse sentido, com frequência prioriza-se a maximização da produtividade por meio do monocultivo com uma espécie altamente produtiva e com elevadas doses de adubação (Carvalho et al. 2007), o que diminui o número de características presentes na pastagem. Este efeito da diminuição de características não é interessante para o sistema, pois limita e simplifica demais as interações entre plantas (Naeem et al. 1994). De forma contrária, pastagens com maior diversidade de espécies apresentarão, inevitavelmente, uma maior quantidade de características, abrindo espaço para os benefícios da multifuncionalidade. Nesse contexto, as comunidades são formadas por indivíduos, e os indivíduos caracterizados por seus traços. Os traços, ou características de determinada espécie, são quaisquer características morfológicas, fisiológicas ou fenológicas, seja em escala celular ou até mesmo em nível de organismo inteiro (Garnier e Navas 2011). Já o conjunto desses traços (em uma espécie) é que define sua estrutura, estratégia de aquisição por recursos e estratégia reprodutiva (Garnier e Navas 2011; Yang et al. 2021). Ou seja, o conjunto de características (traços) da planta representa o cerne das interações que ocorrem em uma comunidade plantas, influenciando, por sua vez, os processos populacionais, comunitários e ecossistêmicos da própria associação (Tilman 1999).

Dessa forma, por meio das características dos indivíduos e de suas interações, a diversidade de espécies gera mecanismos que modificam a funcionalidade da pastagem multiespecífica e, por consequência, suas respostas agrônômicas (Loreau e Hector 2001; Tilman et al. 2014). Dentre os principais mecanismos da diversidade de espécies que modificam a produção de biomassa em pastagens, destacam-se: (1) *diferenciação de nichos* e (2) “*efeito de seleção*” (Loreau e Hector 2001; Yan et al. 2021). Na diferenciação de nichos entende-se que 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). Assim, a funcionalidade do sistema é produto de um grande conjunto de diferentes funcionalidades vegetais (Tilman et al. 2014). Normalmente, a diferenciação de nichos é comumente relacionada ao termo complementariedade entre espécies, conotando a presença de benefícios entre plantas convivendo na comunidade. Já o “efeito de seleção” ocorre quando interações de ordem competitiva resultam em domínio de uma ou poucas espécies sobre as demais na associação, sendo a funcionalidade da associação fortemente influenciada pela

funcionalidade das espécies dominantes (Tilman 1999; Yang et al. 2021). Além destes dois mecanismos, Fridley (2001) destaca o efeito de facilitação entre plantas. Nele, as características de desenvolvimento das plantas podem resultar em modificações do ambiente de forma a favorecer o acesso a recursos do meio para uma ou mais plantas associadas. No entanto, esse mecanismo apresenta maior impacto quando há presença de espécies fixadoras de nitrogênio na comunidade.

Apesar de apresentarem naturezas conceitualmente divergentes (competição e coexistência, respectivamente), atualmente é reconhecido que ambos “efeitos de seleção” e “diferenciação de nichos” afetam simultaneamente a funcionalidade de comunidades multiespecíficas (Cardinale et al. 2006; Tilman et al. 2014; Mahaut et al. 2020), representando, também, os principais agentes determinantes de suas respostas e serviços ecossistêmicos (Loreau e Hector 2001). Primeiro, é importante destacar que a complementariedade entre plantas não é um mecanismo, mas sim uma propriedade que existe quando indivíduos de uma comunidade apresentam características que são diferentes entre si (Petchey 2003). Como as propriedades dos indivíduos (traços) conduzem às propriedades da comunidade de plantas (complementariedade), surgem então os mecanismos capazes de afetar os processos do ecossistema e, dessa forma, sua produtividade primária (Petchey 2003). O principal mecanismo de valor agrônômico em pastagens multiespecíficas que é fruto da complementariedade é a diferenciação de nichos (Sonkoly et al. 2019). A partir dele, as espécies podem conviver e modificar o ambiente devido às suas características estruturais distintas (Bachmann et al. 2018), diferentes estratégias na aquisição e requerimento por recursos (Duchini et al. 2019) ou por meio da assincronia de seus ciclos fenológicos (Anten e Hirose 1999), gerando benefícios para pastagem.

Sendo assim, levando em consideração o aspecto estrutural, a diferenciação de nichos promove melhor ocupação tridimensional do dossel forrageiro (Tracy et al. 2018), otimizando a captura e utilização da luz incidente (Naeem et al. 1994; Bachmann et al. 2018). Segundo Spehn et al. (2000), tal ocupação tridimensional é produto de um dossel mais complexo, que é gerado a partir da complementariedade entre plantas. Portanto, plantas com características estruturais distintas geram uma rede de componentes morfológicos composta por folhas e caules de diferentes tamanhos, formas, e estruturas e que podem estar presentes em diferentes estratos verticais do dossel forrageiro (Wang et al. 2021). Dessa forma, a comunidade vegetal multiespecífica não só estrutura seu índice de área foliar, mas também melhora sua distribuição ao longo do perfil vertical do dossel forrageiro, proporcionando captação eficiente da luz (Naeem et al. 1994). A assincronia entre o desenvolvimento de espécies na comunidade também

pode ser interessante em pastagens multiespecíficas. De acordo com Spehn (2000), a fenologia de plantas terrestres propicia diferenças na estrutura do dossel forrageiro em função da sazonalidade das condições ambientais. Isso faz com que pastagens formadas por uma ou poucas espécies não complementares possam apresentar fenologias mais sincronizadas, causando intervalos de baixa produtividade e menor cobertura do solo (Anten e Hirose 1999). A assincronia do desenvolvimento vegetal é importante, pois, além de garantir um dossel forrageiro mais fechado ao longo do ano (manutenção do índice de área foliar), também resulta em melhor utilização da luz incidente em diferentes condições de crescimento e estações do ano (Bachmann et al. 2018; Yan et al. 2021).

Dessa forma, a diferenciação de nichos é mecanismo importante na manutenção e estruturação do índice de área foliar de pastagens multiespecíficas, gerando oportunidade para melhores índices vegetais e animais. Nesse contexto, do ponto de vista agrônomo, a manutenção do índice de área foliar do pasto tem impacto determinante nas respostas de plantas, uma vez que é a característica estrutural central do dossel forrageiro que possui elevada correlação positiva com captura de luz, fotossíntese, crescimento e acúmulo de forragem (Da Silva et al. 2015). Como pastagens multiespecíficas podem ser altamente eficientes em interceptar a luz incidente por meio de dosséis complexos (manutenção e estruturação do índice de área foliar), é esperado que uma associação de gramíneas forrageiras apresente elevado potencial para produção de forragem quando comparada ao monocultivo. Por parte dos animais em pastejo, o índice de área foliar é positivamente correlacionado com o tamanho do bocado, taxa de consumo, ingestão de nutrientes e desempenho animal (Da Silva et al. 2015), fatores esses determinantes para elevada produtividade na geração de serviços de origem animal (produção de carne, leite, lã, por exemplo).

Os efeitos da diferenciação de nichos também podem ocorrer abaixo do solo por meio do sistema radicular da pastagem, seguindo padrão de desenvolvimento e estruturação análogo ao que acontece no dossel forrageiro acima do nível do solo (Wang et al. 2021). Desse modo, a forma e dispersão das raízes de plantas distintas em um pasto formado por um maior número de espécies pode levar a exploração mais eficiente dos recursos no solo (água e nutrientes), agregando maiores massas radiculares em camadas de maior e de menor profundidade (Mueller et al. 2013; Yoshihara et al. 2020). A manutenção de um sistema radicular complexo e eficiente é essencial para rebrotação rápida, sendo comumente relacionada a maiores taxas de crescimento após corte ou pastejo (Da Silva et al. 2015). Isso ocorre devido a abundância de carboidratos não estruturais (carboidratos de reserva) prontamente utilizáveis que são

armazenados nas raízes e que, após desfolhação, são direcionados para reestruturação do índice de área foliar da pastagem (Gastal e Lemaire 2015).

Além de afetar a eficiência de utilização de recursos e a produtividade primária por meio do controle da produção de biomassa acima e abaixo do solo, a diferenciação de nichos distribui de maneira mais uniforme os fatores de produção (aquisição ou retenção dos recursos do ambiente) (Teixeira et al. 2020). Como resultado, é possível a manutenção da produtividade mesmo na presença de distúrbios (desfolhações) e estresses (restrições de fatores de crescimento) no ambiente de pastejo (Tracy et al. 2018), contribuindo para aumentar a resistência e resiliência da pastagem (Tracy et al. 2018; Grace et al. 2018). Segundo Tilman e Downing (1994), pastagens multiespecíficas são mais estáveis devido a possibilidade de que, com maior número de espécies, maior a probabilidade de a comunidade conter uma planta resistente à determinado distúrbio (veranicos e alagamentos, por exemplo), compensando pelas espécies que foram reduzidas ou que desapareceram por completo. Dentro do contexto de produção agrícola, em que a produção vegetal é altamente dependente das condições ambientais e, dessa forma, de sua variabilidade, é importante que sistemas pastoris apresentem mecanismos capazes de manter a produção vegetal em condições desafiadoras. Nesse sentido, a diferenciação de nichos pode auxiliar para que a produtividade média seja mais estável às variações de ambiente ao longo do tempo e/ou espaço (Haughey et al. 2018).

O outro mecanismo da diversidade de espécies atua de forma contrastante à diferenciação de nichos. Segundo Loreau e Hector (2001), a partir do “efeito de seleção”, o domínio da comunidade por espécies afeta sua produção de biomassa. Como observado por Hector et al (2002), tal definição originou-se das primeiras pesquisas que buscaram explicar o funcionamento e a influência desse mecanismo em comunidades biodiversas, concluindo que quatro processos eram comumente destacados nesses trabalhos: (1) A dominância em abundância ocorre por meio da competição por recursos no ambiente; (2) A comunidade multiespecífica tende ao monocultivo (diminuição gradativa da diversidade), pois a espécie dominante inevitavelmente excluirá os outros indivíduos; (3) A dominância da espécie tem relação positiva com seu potencial produtivo; e (4), A produtividade de uma comunidade afetada pelo “efeito de seleção” terá, no máximo, a mesma produtividade que a do monocultivo da espécie que a domina (Aarssen 1997; Tilman 1999).

Apesar desses quatro processos terem surgido como as primeiras tentativas de se compreender as respostas atreladas ao “efeito de seleção”, Hector et al (2002) destacaram que eles, por si só, não são suficientes para explicar por completo o funcionamento desse mecanismo nas comunidades multiespecíficas. Como justificativa, os autores apontaram que,

primeiramente, a dominância de uma espécie na comunidade pode ocorrer por vários processos além da competição por recursos, podendo acontecer por meio de diferentes taxas de crescimento, partição por recursos e por meio de interações positivas (facilitação) e negativas (liberação de substâncias químicas) entre plantas. Em segundo lugar, pode ocorrer dominância parcial na comunidade, havendo a persistência de mais de uma espécie, o que contradiz a noção de que a mistura se tornará um monocultivo. Terceiro, a dominância não precisa ser positivamente correlacionada com o potencial produtivo da espécie dominante, sendo que tal processo pode ocorrer por meio da melhor adaptabilidade da planta às condições do ambiente (como exemplo plantas conservadoras por recursos se desenvolvendo melhor em ambientes pobres em nutrientes, em comparação às plantas de desenvolvimento mais rápido que são mais produtivas). Finalmente, o efeito de seleção também pode estar relacionado às respostas negativas na produtividade da comunidade (Hector et al. 2002). Nesse sentido, apesar de ser amplamente relatado na literatura científica, ainda não é entendido por completo como “o efeito de seleção” modifica o funcionamento de sistemas biodiversos. No entanto, converge a conceituação de que tais efeitos realmente se originem de impactos específicos de certa ou poucas espécies na comunidade por meio do processo de dominância por competição (Cardinale et al. 2007).

Os efeitos da diferenciação de nichos, “efeito de seleção” e facilitação não são mutuamente excludentes, de forma que o efeito líquido da biodiversidade na produção de biomassa vegetal é resultante da atuação conjunta desses mecanismos (Fridley 2001; Sonkoly et al. 2019). Como discutido, a facilitação entre plantas é mais pronunciada quando ocorre a associação entre espécies fixadoras de nitrogênio e gramíneas (Sonkoly et al. 2019). Para uma comunidade composta apenas por gramíneas forrageiras, Pontes et al. (2011) concluíram que os principais mecanismos que afetaram a produção de biomassa surgiram a partir da diferenciação de nichos (complementariedade) e do “efeito de seleção”. Apesar disso, a importância relativa do impacto desses mecanismos (ou seja, o nível de intensidade e influência do mecanismo) na comunidade é dependente do ambiente produtivo. Nesse sentido, Fridley (2001) apontou que a importância da complementariedade é dependente da heterogeneidade temporal e espacial dos recursos no ambiente. Ou seja, o papel da diferenciação de nichos na produção de forragem seria cada vez mais relevante com o aumento gradativo da heterogeneidade, distúrbios (pragas e doenças) e estresses (veranicos, escassez de nutrientes, por exemplo) no ambiente de pastejo (Fridley 2001; Tilman et al. 2014). De forma contrária, “o efeito de seleção” se tornaria cada vez mais forte na funcionalidade da comunidade em

ambientes de maior estabilidade (menor presença de distúrbios e estresses) e ricos em nutrientes (Pontes et al. 2011; Sonkoly et al. 2019; Mason et al. 2020).

Dessa forma, ambos os efeitos de seleção e de diferenciação de nichos podem ocorrer de forma simultânea em uma associação composta por gramíneas forrageiras tropicais (Pontes et al. 2011). Os efeitos da diversidade de plantas na produção vegetal foram amplamente constatados a partir desses dois mecanismos (Loreau e Hector 2001; Tilman et al. 2014; Yang et al. 2021) e em pastagens de clima temperado e subtropical. Agora, entender as respostas agronômicas e os processos da diversidade de espécies em pastagens formadas por gramíneas de clima tropical em associação tornam-se relevantes para a formulação e adoção de estratégias de manejo que promovam a sustentabilidade de sistemas pecuários localizados nos trópicos.

2.3. Modelo conceitual da diversidade de espécies em pastagens

Com base no exposto, um modelo conceitual (Figura 1) foi idealizado com o objetivo de integrar os principais efeitos da diversidade de plantas forrageiras no sistema da pastagem, assim como seus serviços ecológicos (caixa em azul) e agronômicos (caixa em laranja).

A diversidade vegetal aumenta a complexidade da comunidade a partir da adição de plantas com diferentes características (traços), causando incremento na funcionalidade da pastagem. A interação entre as espécies coexistindo na comunidade é base para que os mecanismos da biodiversidade (facilitação, diferenciação de nichos e “efeitos de seleção”) possam agir no sistema, gerando, desta forma, serviços ecossistêmicos de forma sustentável e produtiva. Como os fatores abióticos caracterizam o ambiente produtivo, ocorre modificação da composição botânica do pasto (aumento ou diminuição de espécies a partir de sua adaptabilidade ao meio produtivo), o que, por sua vez, modifica a dinâmica dos mecanismos de biodiversidade. Os mecanismos da biodiversidade, juntamente às condições do ambiente, afetam os processos morfogênicos das plantas forrageiras. A morfogênese na pastagem é definidora e formadora de suas principais características estruturais e, dessa forma, modulam as características agronômicas e produtivas do sistema. Já o manejo da desfolhação, por meio do controle de sua severidade e frequência, definem o nível de distúrbio no sistema, modificando os processos morfogênicos e a composição botânica da pastagem, assim como todas suas variáveis dependentes.

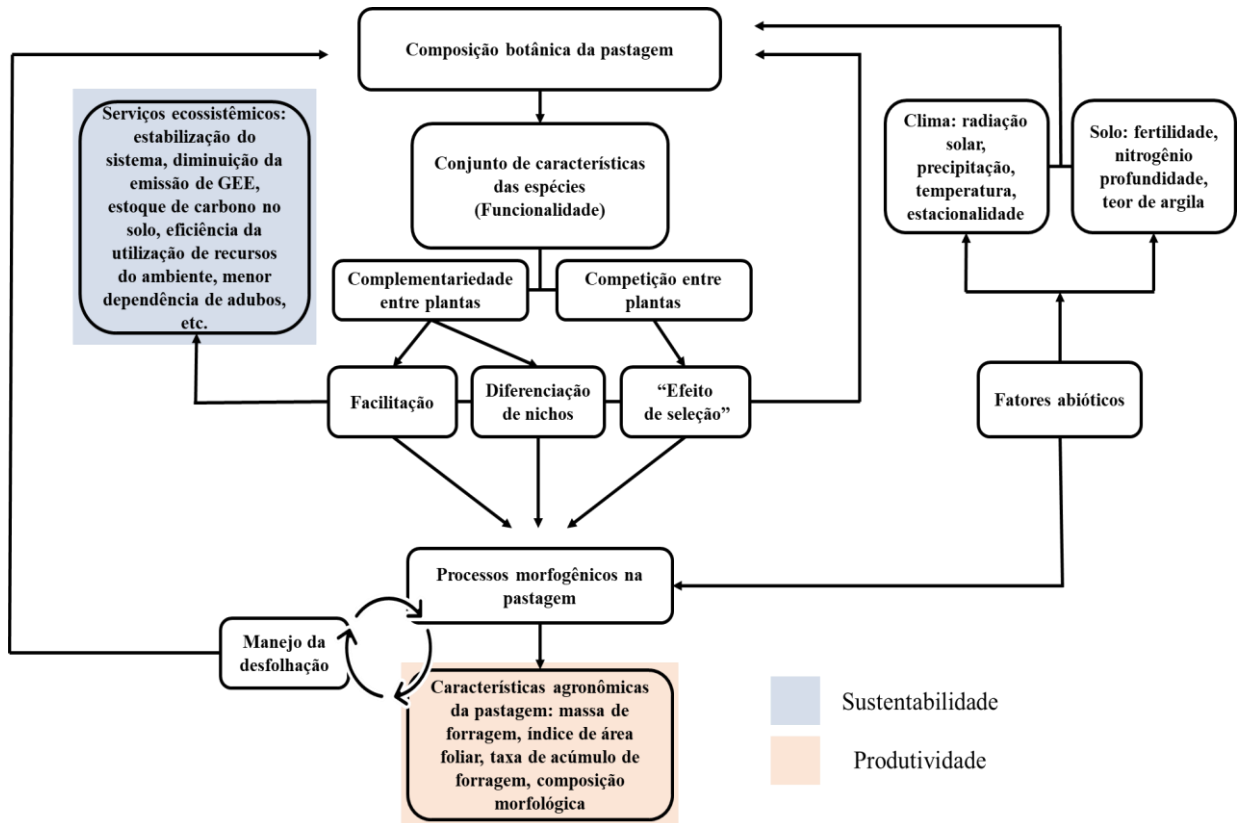


Figura 1. Modelo conceitual

2.4. Hipótese

Pastagens multiespecíficas compostas apenas por gramíneas de clima tropical apresentam o mesmo potencial produtivo que pastagens monoespecíficas desde que o manejo da desfolhação e escolha das espécies que formarão a associação sejam devidamente idealizados de forma a assegurar baixos níveis de perturbação e estresse.

2.5. Objetivo

O objetivo deste estudo foi avaliar as respostas agrônômicas de uma associação composta por três gramíneas forrageiras tropicais (*Andropogon gayanus* cv. Planaltina, *Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã e *Panicum maximum* cv. Massai), caracterizando uma pastagem multiespecífica. A partir disso, o potencial produtivo da associação foi comparado com a produção das três gramíneas forrageiras em monocultivo e as respostas analisadas e interpretadas com a finalidade de compreender como potenciais mecanismos de diversidade de espécies influenciam as características estruturais e produtivas da comunidade de plantas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização e implantação da área experimental

O experimento foi conduzido de janeiro/2020 a março/2021 em área experimental do Departamento de Zootecnia da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP), localizada em Piracicaba, Estado de São Paulo, com coordenadas geográficas aproximadas de 22°42’ latitude Sul, 47°38’ de longitude Oeste e 546 m de altitude. O clima da região é classificado como mesotérmico úmido subtropical de inverno seco (Köppen: Cwa), com pluviosidade média de 1328 mm (Alvares et al. 2013). Os dados climáticos históricos e referentes ao período experimental (Figura 2) foram coletados no Posto Meteorológico do Departamento de Engenharia de Biossistemas da ESALQ/USP localizado a cerca de 2.000 m da área experimental e utilizados para calcular o balanço hídrico decencial considerando-se uma CAD de 50 mm (Figura 3).

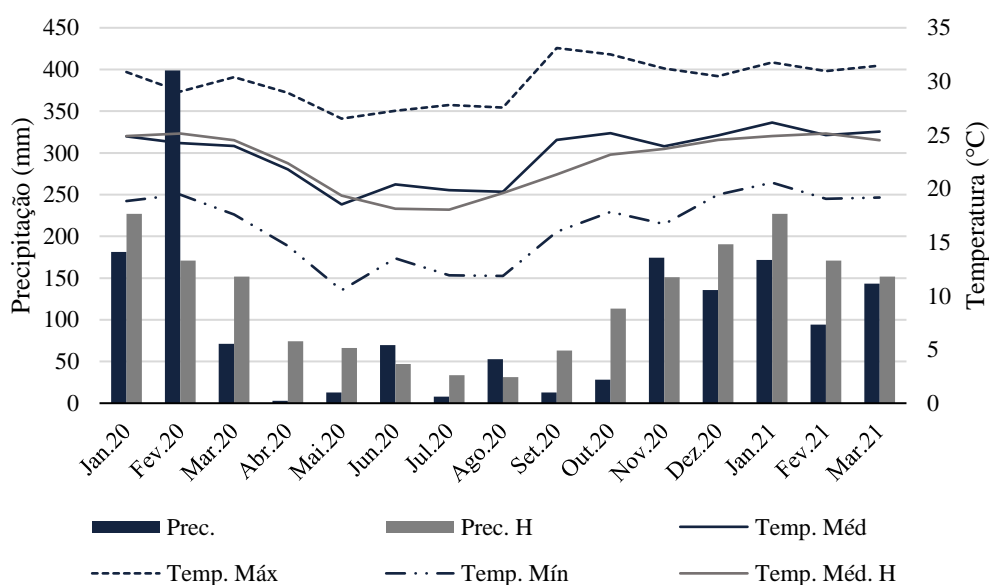


Figura 2. Precipitação (mm), temperatura máxima, média e mínima (°C) do período experimental (Prec., Temp. Máx., Temp. Méd, Temp. Mín, respectivamente) e histórico pluviométrico (mm) e temperatura média (°C) dos últimos 50 anos (Prec. H e Temp. Méd. H, respectivamente). Dados de Posto meteorológico “Professor Jesus Marden dos Santos” ESALQ/USP

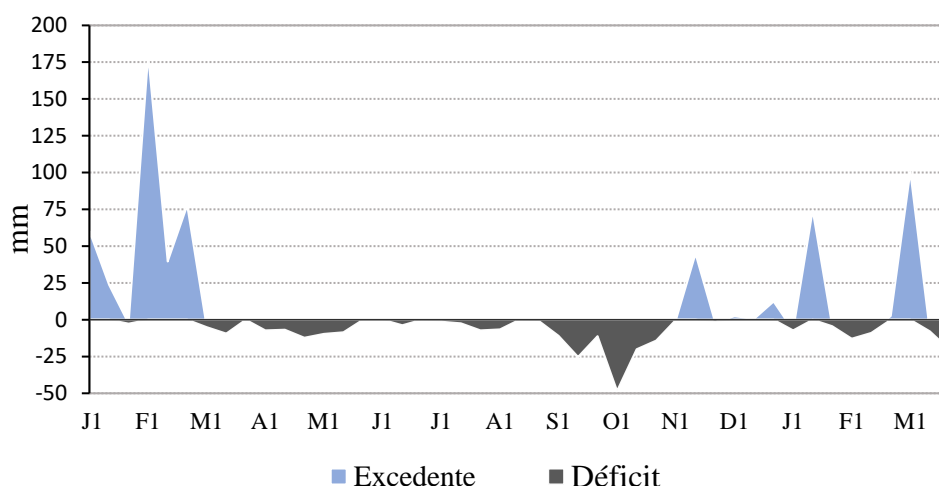


Figura 3. Extrato do balanço hídrico decenal do período experimental de janeiro/2020 a março/2021. Dados de Posto meteorológico “Professor Jesus Marden dos Santos” ESALQ/USP. O balanço hídrico decenal foi calculado considerando-se a capacidade de armazenamento de água do solo (CAD) de 50 mm

O solo é um Nitossolo Vermelho Eutroférico com textura argilosa de fertilidade elevada. Antes da implantação do experimento foram colhidas amostras de terra para avaliação da fertilidade na profundidade de 0-20 cm (Tabela 1). Os resultados indicaram necessidade de elevação da saturação por bases do solo, o que foi feito utilizando-se calcário dolomítico e meta de 70% (Rajj et al. 1996).

Tabela 1. Características químicas do solo na camada 0-20 cm

pH	M.O	P	S	K	Ca	Mg	Al	H + Al	SB	CTC	V	m
CaCl ₂	g.dm ⁻³	mg.dm ⁻³		mmolc.dm ⁻³							%	
4,50	33,8	49,5	25,8	3,45	30,3	12,5	1,50	72,5	46,0	119,0	39,0	3,5

Antes da implantação das espécies forrageiras, a área experimental era composta por *Cynodon* spp. em estado de degradação. O preparo da área foi iniciado em junho de 2019, sendo necessária a limpeza de toda vegetação. Para o preparo do solo, em julho de 2019, foi realizada uma gradagem pesada em área total seguida de aplicação de calcário na dose de 4,5 t/ha. Após a calagem, para incorporação do calcário, optou-se por gradagem leve em área total.

Em janeiro de 2020 foi feita a semeadura das espécies em monocultivo e em associação. A semeadura foi à lanço em todas as unidades experimentais (piquetes com aproximadamente 180 m² – 12 x 15m) utilizando-se densidade de semeadura de 300 sementes puras viáveis por m². Para a associação, as espécies foram semeadas em proporções iguais, com 100 sementes puras viáveis por m² de cada espécie forrageira. Após a semeadura foi realizado o procedimento de compactação utilizando-se rolo compactador com peso médio de 100 kg (Figura 4 e Figura

5). As sementes dos capins piatã e massai foram certificadas e as do capim-andropogon recebidas por meio de doação de parceiro da Embrapa Gado de Corte, sementes de varredura e sem certificação. Antes da semeadura, as sementes foram submetidas a teste de pureza e germinação no Departamento de Produção Vegetal para determinação de seu valor cultural (VC) efetivo, cujos valores corresponderam a 76,3%, 69,4% e 5,1% para os capins piatã, massai e andropogon, respectivamente.



Figura 4. Semeadura à lanço das espécies forrageiras (A). Distribuição das sementes na unidade experimental (B). Compactação das sementes no solo com rolo compactador (C)

Enquanto as plântulas se estabeleciam, foi necessária a catação manual de plantas invasoras que emergiram nos piquetes de forma a propiciar condições adequadas de estabelecimento homogêneo em toda a área experimental. Após germinação e limpeza da área, aos 20 dias de crescimento das plantas, foi realizada adubação de cobertura com nitrogênio nos piquetes por meio da aplicação de 40 kg de N.ha⁻¹ na forma de Nitrato de Amônio (33% N).



Figura 5. Área experimental após a semeadura e compactação (A) e forrageiras já estabelecidas (B)

3.2. Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos corresponderam ao monocultivo de três espécies de gramíneas forrageiras tropicais, sendo elas: capim-piatã (*Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã), capim-massai (*Panicum maximum* cv. Massai), capim-andropogon (*Andropogon gayanus* cv. Planaltina) mais a associação entre elas formada por meio de quantidades idênticas de sementes puras e viáveis no momento da semeadura. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos completos casualizados, com quatro repetições (Figura 6).

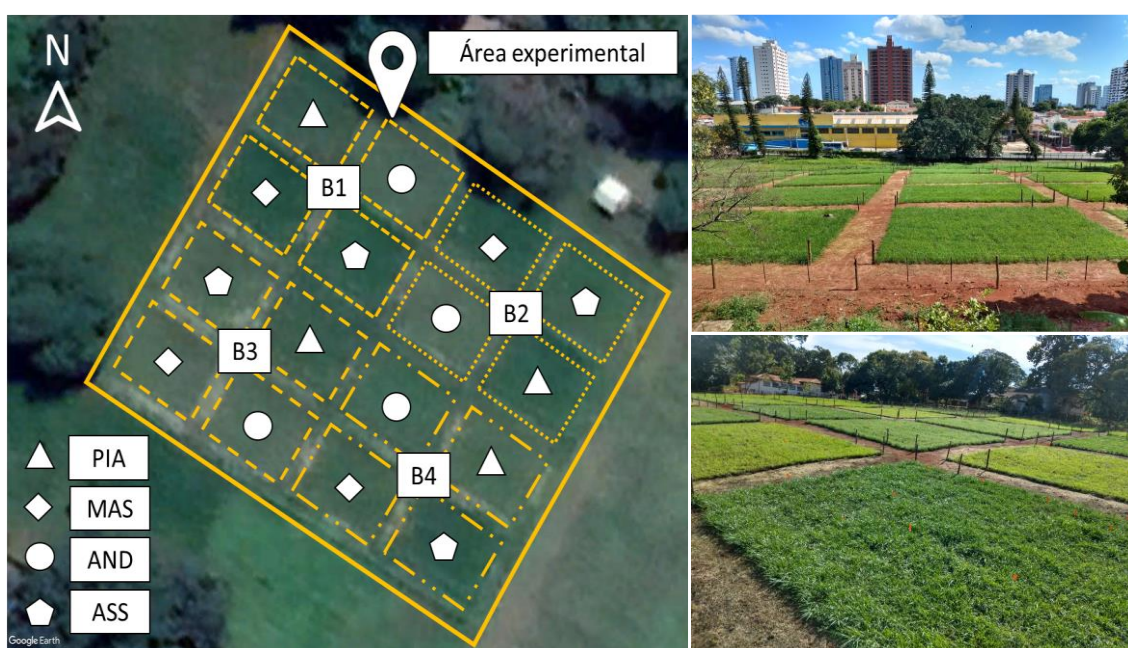


Figura 6. Croqui da área experimental e arranjo dos tratamentos entre os blocos: PIA (*Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã), MAS (*Panicum maximum* cv. Massai), AND (*Andropogon gayanus* cv. Planaltina) e ASS (Associação entre espécies). Foto aérea por Google Earth/2021

O critério de escolha das espécies forrageiras foi o de diferenças entre estratégias de crescimento das plantas (captura e conservação de recursos), associado a diferenças em arquitetura e hábito de crescimento (Loreau e Hector 2001; Pontes et al. 2011), utilizando protocolo análogo ao relatado por Duchini et al. (2019). O *Andropogon gayanus* cv. Planaltina foi utilizado como representante de planta conservadora de recursos (menor 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 utilizada 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 relativamente ao capim piatã e crescimento semiereto). Além disso, são espécies que apresentam alta tolerância à seca e boa capacidade produtiva quando manejadas de forma intensiva (Fonseca 2010).

3.3. Monitoramento e controle das condições experimentais

O regime de desfolhação foi comum para todos os tratamentos e correspondeu a cortes realizados de conformidade com duas metas de manejo: altura pré-corte de 35 cm e pós-corte de 17,5 cm. A altura máxima em pré-corte/pastejo para os capins andropogon, massai e piatã, segundo o critério de interceptação luminosa de 95% (Da Silva et al. 2015), é de 50, 55 e 35 cm, respectivamente (Barbosa et al. 2010; Sousa et al. 2010; Crestani et al. 2017; Silva et al. 2018). Contudo, considerando a amplitude de flexibilidade de 40% abaixo da altura máxima em que não ocorre prejuízo da produção de forragem (Sbrissia et al. 2018; Gomes 2019), a altura limite para o capim-andropogon seria 30 cm e para o capim-massai seria 33 cm de altura pré-corte. Dessa forma, a meta comum de altura pré-corte utilizada de 35 cm foi compatível para as três espécies avaliadas (Tabela 2).

A meta pós-corte utilizada foi a altura 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; Martins et al. 2021), contribuindo para que as desfolhações possam ser feitas de forma frequente e não severas, 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).

Tabela 2. Altura de corte para o critério de 95% de interceptação luminosa e amplitude de manejo permitida para as espécies estudadas

Espécie	Altura	Amplitude
	cm	
<i>Brachiaria brizantha</i> cv. BRS Piatã	35 ¹	35 - 21
<i>Panicum maximum</i> cv. Massai	55 ²	55 - 33
<i>Andropogon gayanus</i> cv. Planaltina	50 ³	50 - 30

¹(Sousa et al. 2010); ²(Barbosa et al. 2010); ³(Crestani et al. 2017).

Após a implantação, 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 definição da altura pós-corte de 17,5 cm. As avaliações do experimento foram iniciadas em fevereiro/2020, quando todos os piquetes haviam recebido pelo menos um corte, dando início ao

acompanhamento dos ciclos de rebrotação, período que se estendeu até março/2021. Após todas as avaliações pré-corte, a forragem nos piquetes foi cortada utilizando uma roçadora manual da marca Stihl modelo FS 160, sendo o material cortado retirado dos piquetes por meio de rastelos.

O monitoramento das alturas de pré- e pós- corte foi realizado durante todo o período experimental utilizando-se régua graduada em milímetros. Foram tomadas leituras em 40 pontos ao longo de quatro linhas transectas por piquete.

Durante o período quente e chuvoso (outubro a março) foram realizadas adubações nitrogenadas após cada corte. Um total de $200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ de N foi aplicado de forma fracionada ao longo da estação de crescimento (taxa diária de aplicação de $1,11 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$). As quantidades aplicadas após cada corte foram proporcionais ao intervalo entre cortes ocorrido em cada piquete. Desta forma, no final de cada estação de crescimento todos os piquetes receberam a mesma quantidade de nitrogênio. Todas as adubações nitrogenadas ao longo do experimento foram feitas utilizando nitrato de amônio. Adubações potássicas foram realizadas entre os dias 02/01/2021 e 29/01/2021 e calculadas de forma a adequar os níveis de potássio entre 2,5 a 3% da CTC do solo.

A ocorrência de pragas e plantas invasoras foi constantemente monitorada durante o período experimental e o controle realizado sempre que necessário. As pragas mais importantes foram as cigarrinhas *Deois flavopicta*, *Notozulia entreriana*, *Mahanarva fimbriolata* e a lagarta *Spodoptera frugiperda*. Dentre as plantas invasoras destaca-se a *Althernanthera spp.* (apaga fogo), *Sida spp.* (Guanxuma), *Eleusine indica* (Pé-de-galinha), *Panicum maximum* (Capim-colonião) e *Setaria geniculata* (Rabo-de-gato). Nos piquetes de capim-andropogon em monocultivo houve necessidade de catação manual de plantas invasoras devido à maior presença delas.

3.4. Avaliações

3.4.1. Intercepção luminosa

As avaliações de intercepção luminosa foram realizadas de forma concomitante às avaliações de altura em pré- e pós-corte utilizando aparelho analisador de dossel marca LICOR modelo LAI 2000 (LI-COR, Nebraska, EUA) (Figura 7, A). As medidas foram feitas ao entardecer ou amanhecer em condições de luz difusa contando com 40 pontos representativos (uma medida acima do dossel e cinco abaixo), caracterizando oito estações por piquete. As

estações foram escolhidas como sendo locais representativos da condição do dossel forrageiro no momento da amostragem (avaliação visual de altura e massa de forragem).

3.4.2. Acúmulo de forragem

Para determinação do acúmulo de forragem, foi coletada a massa de forragem acima da altura meta pós-corte de 17,5 cm utilizando-se moldura metálica de 100 x 25 cm (Figura 7, B). Foram coletadas duas amostras por piquete em pontos representativos da condição do dossel forrageiro no momento da amostragem (avaliação visual de altura e massa de forragem). As coletas foram realizadas em todos os ciclos de rebrotação, com exceção à um período de 15 dias em abril de 2020, devido às restrições iniciais impostas de acesso ao campus pela COVID- 19. A separação botânica das amostras foi realizada no momento da amostragem nos piquetes contendo a associação de espécies como forma de facilitar a identificação das mesmas. Posteriormente, as amostras foram levadas ao laboratório onde foram separados os componentes morfológicos: folhas (lâminas foliares), colmos (colmo verdadeiro + bainhas foliares + inflorescências) e material morto. O material morto presente nas amostras da associação não foi designado por espécie, pois não foi possível sua identificação na amostra. Após separação, os componentes morfológicos foram colocados para secar em estufa de circulação forçada de ar a 65° C até peso constante. A taxa de acúmulo foi calculada dividindo-se o peso seco das amostras pelo número de dias do intervalo entre cortes e o resultado transformado para $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$.

3.4.3. Massa de forragem, composição morfológica e botânica

Para a obtenção da massa de forragem em pré- e pós-corte foram feitas avaliações a cada época do ano: verão 2019/2020 (Ver1), outono 2020 (Out), inverno/início da primavera 2020 (Invpr), final de primavera 2020 (Pri) e verão 2020/2021 (Ver2). Foi utilizado armação metálica de 100 x 25 cm e corte no nível do solo (Figura 7, C). Foram coletadas duas amostras por piquete em pontos representativos da condição do dossel forrageiro no momento da amostragem (avaliação visual de altura e massa de forragem). As amostras foram levadas para laboratório, onde realizou-se a contagem dos perfilhos para a determinação da densidade populacional de perfilhos (DPP). Em seguida, realizou-se a separação botânica e morfológica (folha, colmo e material morto) das amostras. O material morto presente nas amostras da associação não foi designado por espécie, pois não foi possível sua identificação na amostra. Posteriormente, as

amostras foram submetidas à secagem em estufa de ventilação forçada a 65 °C até peso constante. A massa de forragem ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) foi estimada a partir da relação entre o valor total da massa seca da amostra e área da moldura utilizada para amostragem. A composição botânica foi descrita como porcentagem das espécies dentro do material verde amostrado, desconsiderando-se o material morto das amostras. A composição morfológica foi calculada como o peso dos componentes expresso como porcentagem na massa de forragem desconsiderando-se a massa de plantas invasoras.



Figura 7. Avaliação da interceptação luminosa com aparelho LICOR-2000 (A). Amostragem da forragem acumulada, coletando-se a forragem acima da altura de 17,5 cm do solo (B). Amostragem da massa de forragem, coletando-se todo material forrageiro dentro da armação até a altura do solo

3.4.4. Área foliar específica, índice de área foliar (IAF) e relação $\text{IAF}_{\text{pós}}/\text{IAF}_{\text{pré}}$

Para obtenção da área foliar específica ($\text{cm}^2\cdot\text{g}^{-1}$) dividiu-se a área foliar e a massa seca de folhas em subamostra obtida a partir das amostras colhidas para avaliação de massa de forragem. A partir da mesma subamostra, a área foliar das lâminas verdes foi medida em aparelho integrador de área foliar da marca LI-COR, modelo LI-3100. O índice de área foliar foi obtido pela divisão da área foliar presente na amostra pela área da moldura utilizada para amostragem. A relação $\text{IAF}_{\text{pós}}/\text{IAF}_{\text{pré}}$ foi calculada dividindo-se o índice de área foliar na condição pós-corte pelo índice de área foliar na condição pré-corte.

3.5. Análise dos dados

As avaliações foram iniciadas em fevereiro de 2020 e finalizadas em março de 2021. Com base na distribuição da precipitação e balanço hídrico do solo (Figura 2 e Figura 3), foram definidas cinco épocas de avaliação: verão 2019/2020 (Ver1), outono 2020 (Out),

inverno/início da primavera 2020 (Invpr), final de primavera 2020 (Pri) e verão 2020/2021 (Ver2). Os valores das variáveis- resposta foram ponderados de forma a representarem as cinco épocas do ano. Para comparação das médias na proporção de material morto na massa de forragem foi necessário a transformação dos dados para a escala logarítmica.

A análise estatística dos dados foi realizada utilizando o PROC MIXED do pacote estatístico SAS® (Statistical Analysis System) versão 9.4. A escolha da matriz de variância-covariância foi feita com base no critério Bayesiano de Schwarz (SBC). A análise foi realizada considerando tratamento, época do ano e suas interações como efeitos fixos e blocos como efeito aleatório (Littell et al. 2005). A época do ano foi considerada como medida repetida no tempo. As médias dos tratamentos foram calculadas utilizando-se o procedimento “LSMEANS” e as comparações, quando apropriadas, feitas por meio do teste “t” de Student com $P < 0,05$. Para análise da composição botânica na associação, a época do ano foi considerada como efeito fixo e blocos como efeito aleatório, utilizando-se o mesmo procedimento estatístico do SAS.

Como forma de integrar os resultados entre as variáveis-resposta avaliadas, foi realizada análise de Cluster utilizando o método de ligação completa (*complete linkage*) do Pacote “Factoextra” do software R em grupo de dados composto pelas seguintes variáveis: interceptação luminosa, massa de forragem, percentagem de componentes morfológicos (folhas, colmos e material morto) todos em ambas condições de pré- e de pós-corte. Também fizeram parte do banco de dados as taxas de acúmulo de forragem (total) e taxas de acúmulo de folhas, de colmos e de material morto. A análise de Cluster foi realizada individualmente para cada época do ano (Ver1, Out, Invpr, Pri e Ver2) e também para o período total do experimento.

4. RESULTADOS

4.1. Controle e manutenção das condições experimentais

4.1.1. Altura de corte

Ao longo do período experimental as metas de altura pré- e pós-corte de 35 e 17,5 cm foram mantidas muito próximas do planejado (Figura 8 a Figura 11). No final da estação outono 2020, em função do estabelecimento de restrições de acesso ao campus por causa da epidemia de COVID-19, houve a necessidade de realizar alguns cortes com alturas pré-corte inferiores a 35 cm para evitar problemas com potencial perda de informações.

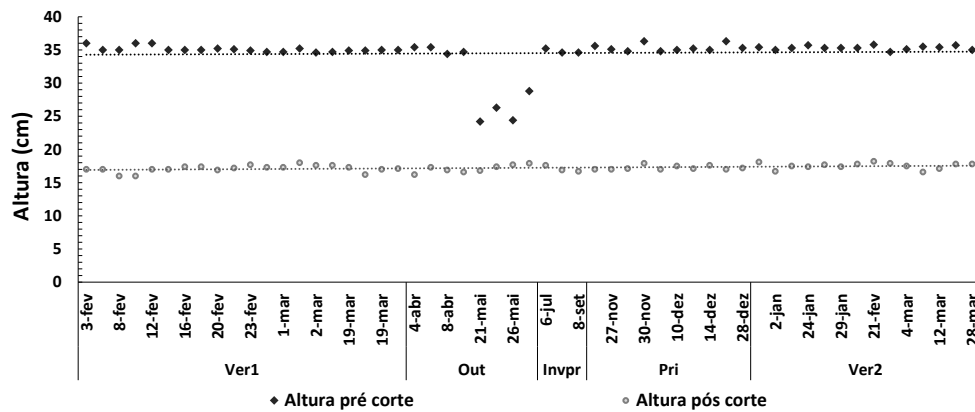


Figura 8. Alturas (cm) em pré e pós-corte para o capim piatã ao longo do período experimental

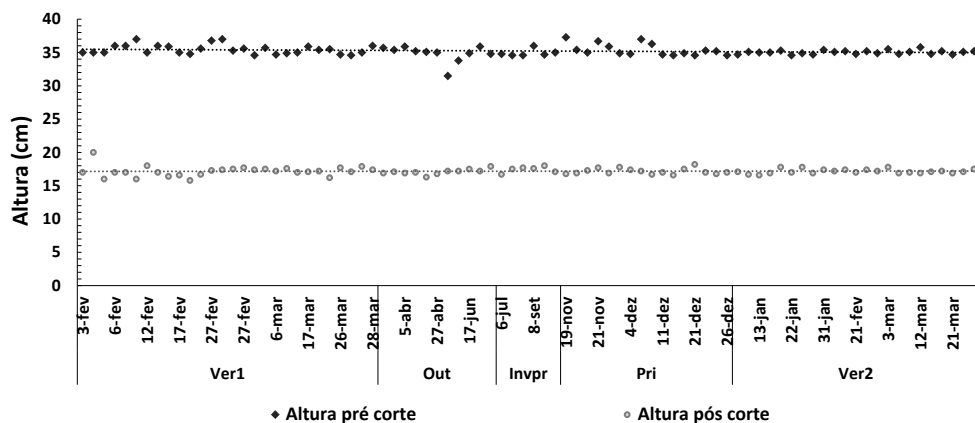


Figura 9. Alturas (cm) em pré e pós-corte para o capim massai ao longo do período experimental

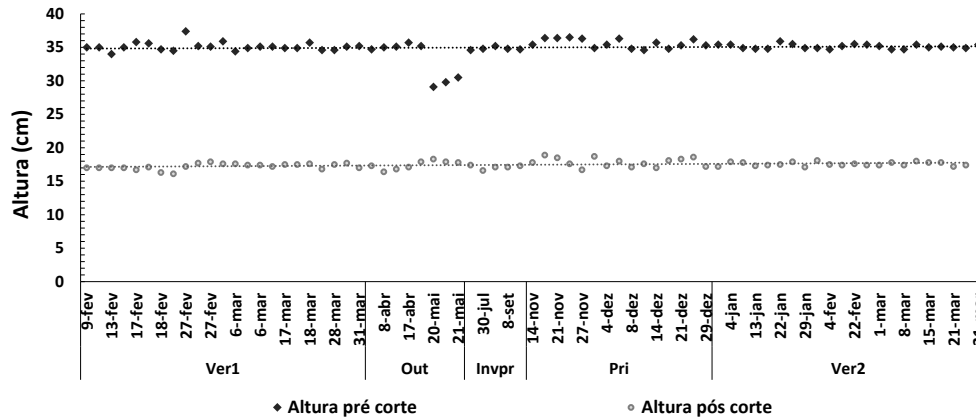


Figura 10. Alturas (cm) em pré e pós-corte para o capim andropogon ao longo do período experimental

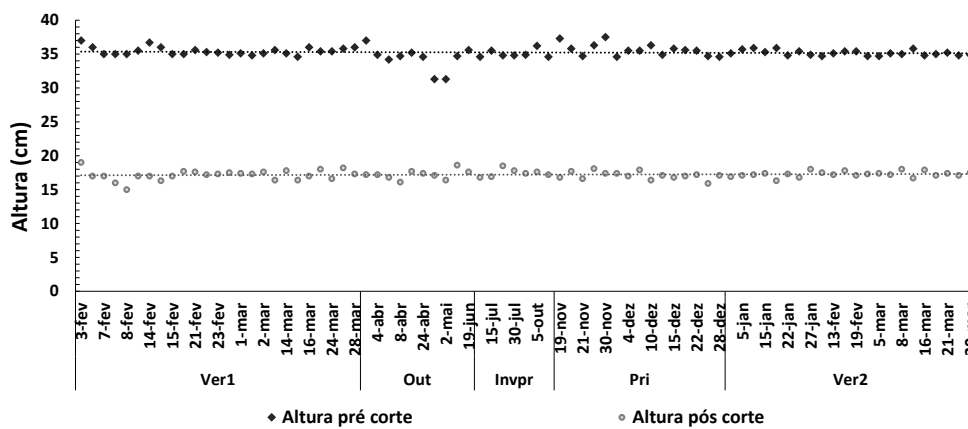


Figura 11. Alturas (cm) em pré e pós-corte para a associação ao longo do período experimental

4.1.2. Intervalo entre cortes

Os intervalos entre cortes para os tratamentos são mostrados na (Figura 12). De forma geral, os maiores valores de intervalo entre cortes foram registrados durante o Out e Invpr.

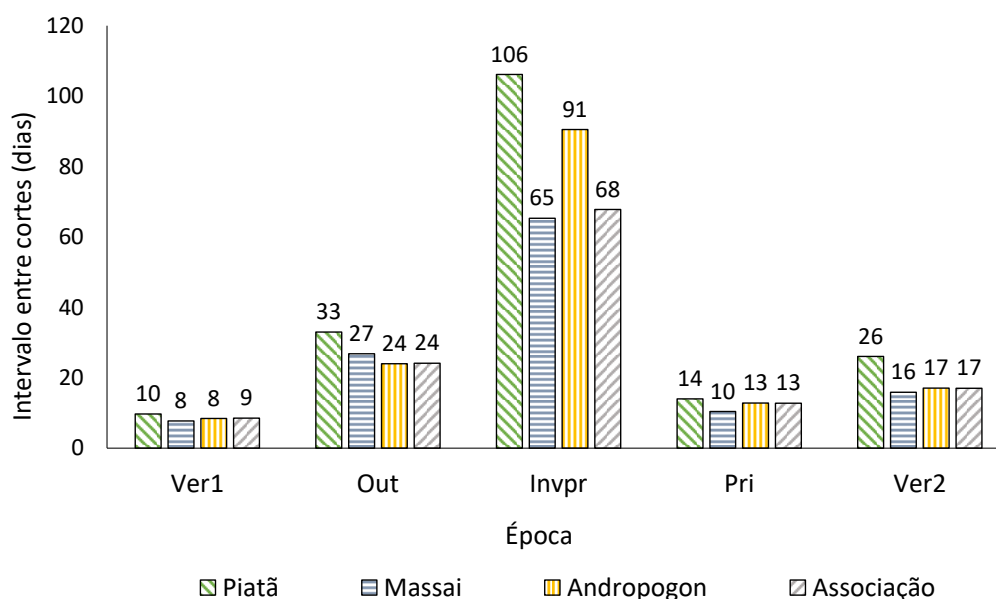


Figura 12. Intervalo entre cortes para os monocultivos e a associação durante o período experimental 2020/2021

4.2. Produção de forragem

4.2.1. Taxa de acúmulo de forragem

A taxa de acúmulo de forragem variou com os tratamentos ($P = 0,0115$) e com a época do ano ($P < 0,0001$). Não houve diferença entre a associação, capim massai e piatã, que apresentaram valores 31,3 % superiores ao andropogon (Figura 13, A). Todas as épocas do ano diferiram entre si (Figura 13, B). Os maiores valores foram registrados no Ver1 e Ver2, seguido da Pri, Out e Invpr, respectivamente.

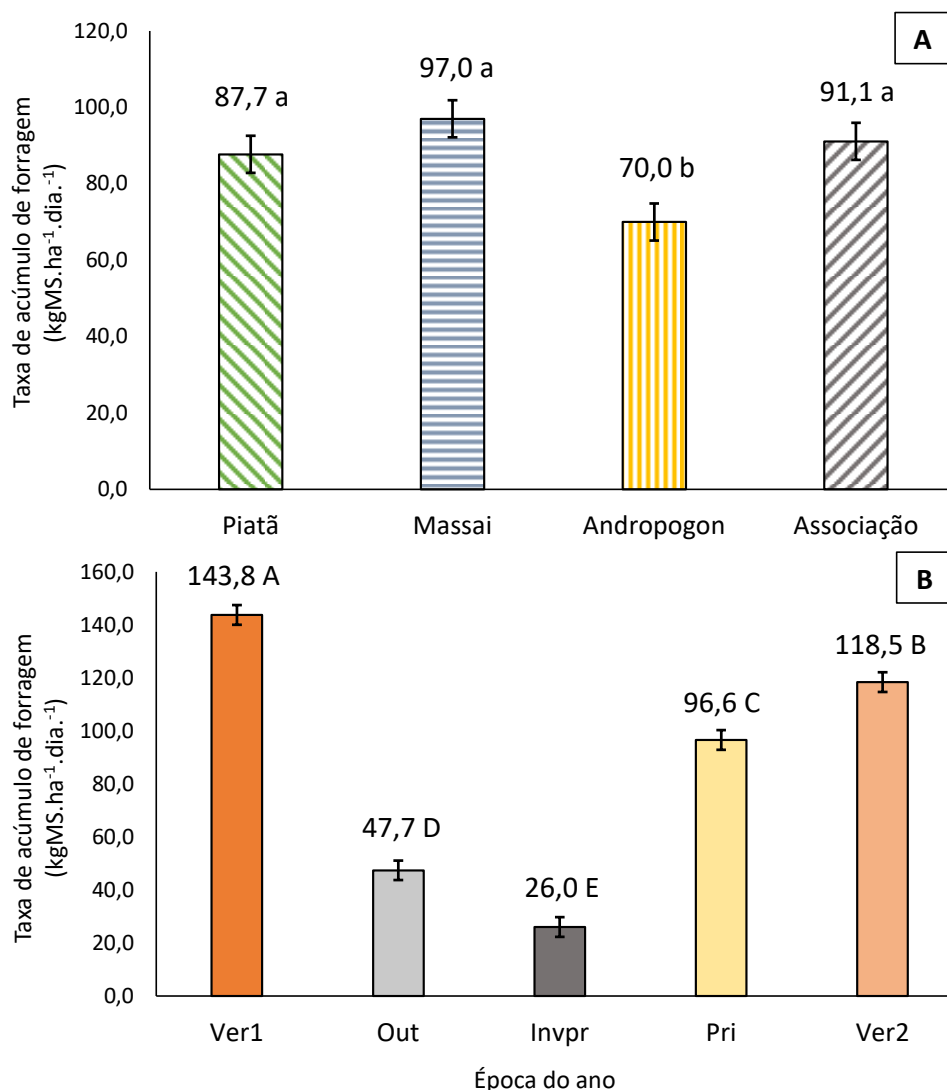


Figura 13. Taxa de acúmulo de forragem ($\text{kg.ha}^{-1}.\text{dia}^{-1}$) para os monocultivos e associação (A) e épocas do ano (B) durante o período experimental 2020/2021

4.2.2. Taxa de acúmulo de folhas

A taxa de acúmulo de folhas variou com os tratamentos ($P = 0,0009$), época do ano ($P < 0,0001$) e com a interação época do ano x tratamento ($P = 0,0155$). De forma geral, maiores valores foram registrados para o capim massai, que não diferiram da associação, e menores para o capim andropogon, com valores intermediários para o capim piatã. Ao longo do período experimental, a TAcF para a associação foi semelhante ao maior valor registrado para os monocultivos (Tabela 3). Houve distribuição sazonal do acúmulo de folhas, sendo que o acúmulo do Invpr relativamente à média de Ver1 e Ver2 representou 16,8%; 19,3%; 14,9% e 20,2% para os capins piatã, massai, andropogon e a associação, respectivamente.

Tabela 3. Taxa de acúmulo de folhas para os monocultivos e associação durante o período experimental 2020/2021

Época	Tratamento				Média	EPM
	Piatã	Massai	Andropogon	Associação		
	kgMS.ha ⁻¹ .dia. ⁻¹					
Ver1	136,2 Aab	161,5 Aa	105,5 Ac	137,0 Ab	135,0 A	(8,08)
Out	32,7 Ca	31,8 Dab	19,9 Cb	31,9 Dab	29,1 D	(4,34)
Invpr	19,0 Dab	27,4 Da	13,6 Cb	25,5 Dab	21,4 E	(4,64)
Pri	72,8 Bc	93,5 Ca	75,2 Bbc	91,2 Cab	83,2 C	(6,02)
Ver2	89,4 Bb	122,5 Ba	77,5 Bb	114,8 Ba	101,0 B	(6,99)
Média	70,0 b	87,3 a	58,3 c	80,1 ab		
EPM	(5,96)	(5,96)	(5,96)	(5,96)		

Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si (P<0,05). Letras maiúsculas nas colunas comparam épocas, letras minúsculas nas linhas comparam tratamentos. Valores em parênteses correspondem ao erro padrão da média (EPM).

4.2.3. Taxa de acúmulo de colmos

A taxa de acúmulo de colmos variou com os tratamentos (P< 0,0001), época do ano (P< 0,0001) e com a interação época do ano x tratamento (P< 0,0001). De forma geral, houve maior acúmulo de colmos durante o Out, menor durante a Invpr e intermediário durante Pri e Ver2. Com exceção do Out, o capim piatã foi o que apresentou a maior TAcC relativamente aos demais tratamentos. No Out os maiores valores foram registrados para o capim massai e a associação (Tabela 4).

Tabela 4. Taxa de acúmulo de colmos para os monocultivos e associação durante o período experimental 2020/2021

Época	Tratamento				Média	EPM
	Piatã	Massai	Andropogon	Associação		
	kgMS.ha ⁻¹ .dia. ⁻¹					
Ver1	21,0 Aa	2,4 BCc	6,9 Ab	3,1 CDbc	8,4 C	(1,32)
Out	8,3 Cb	21,9 Aa	6,9 Ab	22,4 Aa	14,8 A	(1,88)
Invpr	3,5 Da	1,1 Cbc	1,9 Bb	0,6 Dc	1,8 E	(0,56)
Pri	15,4 Ba	2,3 BCb	4,9 ABb	4,7 BCb	6,8 D	(1,63)
Ver2	23,2 Aa	5,3 Bb	8,9 Ab	8,2 Bb	11,4 B	(1,57)
Média	14,3 a	6,6 b	5,9 b	7,8 b		
EPM	(1,39)	(1,39)	(1,39)	(1,39)		

Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si (P<0,05). Letras maiúsculas nas colunas comparam épocas, letras minúsculas nas linhas comparam tratamentos. Valores em parênteses correspondem ao erro padrão da média (EPM).

4.3. Interceptação luminosa

A interceptação luminosa tanto em pré como em pós-corte variou com a época do ano ($P < 0,0001$, para ambos) e com a interação época do ano x tratamento ($P = 0,0043$ e $P = 0,0359$, respectivamente). De forma geral, com exceção do Ver1, todos os tratamentos interceptaram valores próximos a 95% em pré-corte (Tabela 5). Para a condição pré-corte, maiores valores foram registrados nas épocas de Out (94,8%) e Invpr (95,6%). No Ver1 maiores valores foram registrados para o capim massai e a associação e menores para os capins andropogon e piatã. Adicionalmente, não houve diferenças em $IL_{pré}$ para o capim piatã do Out até o Ver2 (média de 95,5%). Desde o início do experimento não houve diferença entre épocas do ano para $IL_{pré}$ na associação, que interceptou em média 94,8% da luz incidente.

Para a condição pós-corte, houve pouca variação entre tratamentos. Os menores valores de $IL_{pós}$ foram registrados no Ver1 e os maiores no Invpr. Após o Ver1, ao longo do período experimental, não houve variação em $IL_{pós}$ para o capim piatã e para a associação. Para massai e andropogon, os valores de $IL_{pós}$ aumentaram ligeiramente do Ver1 para Out e Invpr quando passaram a diminuir até o Ver2.

Tabela 5. Interceptação luminosa em pré e pós-corte para os monocultivos e a associação durante o período experimental 2020/2021

Época	Tratamento				Média	EPM
	Pré-corte					
	Piatã	Massai	Andropogon	Associação		
			(%)			
Ver1	92,1 Bb	93,8 ABa	91,8 Cb	94,3 Aa	93,0 C	(0,55)
Out	94,8 Aab	95,2 ABab	93,5 BCb	95,8 Aa	94,8 AB	(0,71)
Invpr	96,3 Aa	94,8 Ab	96,1 Aab	95,1 Aab	95,6 A	(0,47)
Pri	95,4 Aa	92,7 Ba	93,9 BCa	94,2 Aa	94,1 BC	(1,07)
Ver2	95,7 Aa	94,1 ABbc	93,5 Bc	94,8 Aab	94,5 B	(0,33)
Média	94,9	94,1	93,8	94,8		
EPM	(0,63)	(0,63)	(0,63)	(0,63)		
			(%)			
	Pós-corte					
	Piatã	Massai	Andropogon	Associação	Média	EPM
			(%)			
Ver1	76,7 Cbc	79,3 Cab	76,1 Cc	80,1 Ca	78,0 D	(1,02)
Out	91,6 Aa	88,8 Aa	89,4 Aa	90,6 Aa	90,1 A	(1,19)
Invpr	91,5 Aa	88,2 ABb	90,2 Aab	90,3 Aa	90,1 A	(0,75)
Pri	90,3 Aa	86,7 Bb	88,4 Aab	88,9 Aab	88,6 B	(0,97)
Ver2	87,0 Ba	87,3 ABa	83,9 Ba	86,4 Ba	86,2 C	(1,20)
Média	87,4	86,1	85,6	87,3		
EPM	(1,02)	(1,02)	(1,02)	(1,02)		

Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si ($P < 0,05$). Letras maiúsculas nas colunas comparam épocas, letras minúsculas nas linhas comparam tratamentos. Valores em parênteses correspondem ao erro padrão da média (EPM).

4.4. Características estruturais do dossel forrageiro

4.4.1. Índice de área foliar

Na condição pré-corte, o índice de área foliar ($IAF_{pré}$) variou com os tratamentos ($P < 0,0001$) e com a época do ano ($P < 0,0001$). Não houve diferença entre a associação e o capim massai, que apresentaram valores 10,5% inferiores ao piatã e 52,0% superiores ao andropogon (Figura 14, A). Com exceção de Ver2, época em que foram registrados os maiores valores de $IAF_{pré}$, não houve diferença entre as estações anteriores (Figura 14, B).

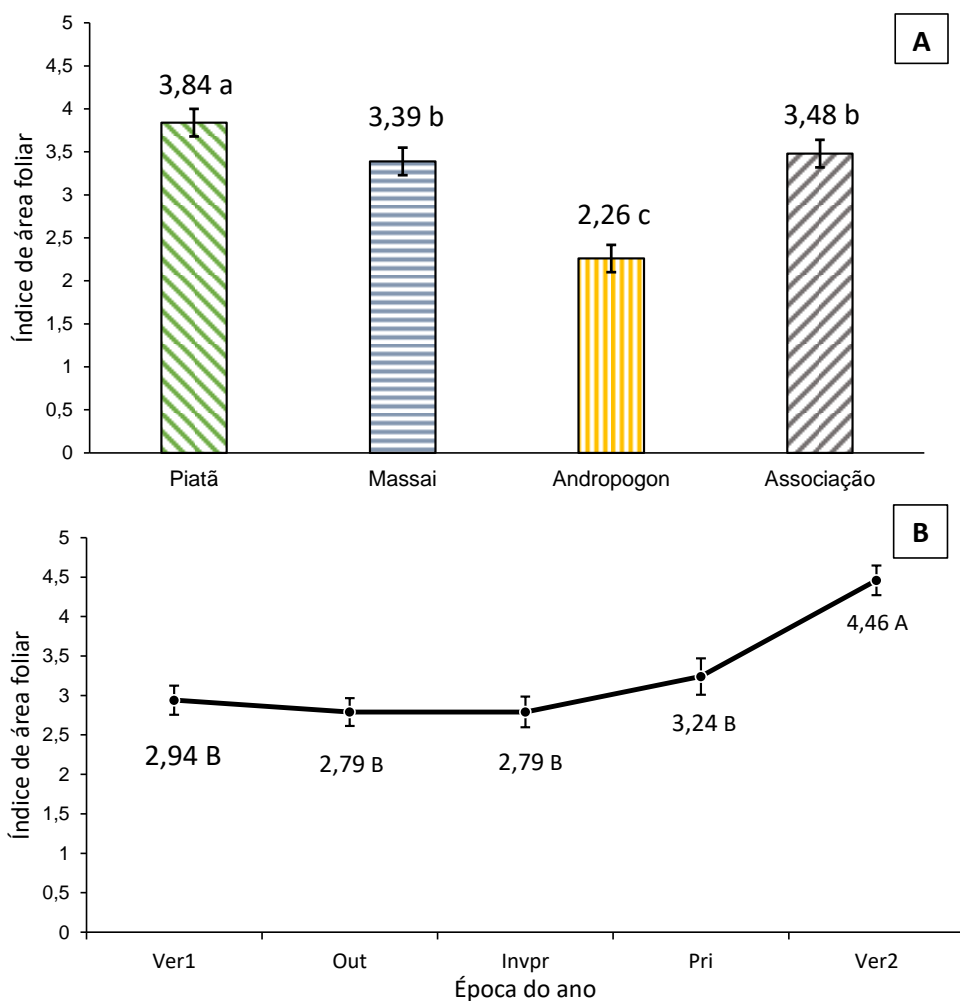


Figura 14. Índice de área foliar pré-corte para os monocultivos e associação (A) e épocas do ano (B) durante o período experimental 2020/2021

Na condição pós-corte, o $IAF_{pós}$ variou com os tratamentos ($P = 0,0088$), época do ano ($P < 0,0001$) e com a interação época do ano x tratamento ($P = 0,0162$). De forma geral, maiores valores foram registrados para o capim piatã e menores para o capim andropogon (Tabela 6). Com exceção do Invpr, não houve diferença entre a associação e o massai. Em média, o $IAF_{pós}$ do capim-piatã (1,40) foi 145,6% maior que o do andropogon (0,57) e 30,8% maior que o do massai (1,07). O $IAF_{pós}$ da associação (1,20) foi semelhante ao dos capins piatã e massai (1,30) ao longo do experimento.

Tabela 6. Índice de área foliar pós-corte para os monocultivos e associação durante o período experimental 2020/2021

Época	Tratamento				Média	EPM
	Piatã	Massai	Andropogon	Associação		
Ver1	0,95 Cab	1,27 Aa	0,56 Ab	1,17 ABa	0,99 BC	(0,171)
Out	2,03 Aa	1,28 Ab	0,61 Ac	1,24 ABb	1,29 A	(0,166)
Invpr	1,21 BCab	0,78 Bbc	0,69 Ac	1,30 ABa	0,99 BC	(0,166)
Pri	1,31 BCa	0,90 ABab	0,51 Ab	0,89 Bab	0,90 C	(0,166)
Ver2	1,52 Ba	1,12 ABa	0,48 Ab	1,40 Aa	1,13 AB	(0,166)
Média	1,40 a	1,07 b	0,57 c	1,20 ab		
EPM	(0,166)	(0,171)	(0,166)	(0,166)		

Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si ($P < 0,05$). Letras maiúsculas nas colunas comparam épocas, letras minúsculas nas linhas comparam tratamentos. Valores em parênteses correspondem ao erro padrão da média (EPM).

4.4.2. Relação $IAF_{pós}/IAF_{pré}$

A relação $IAF_{pós}/IAF_{pré}$ variou com os tratamentos ($P = 0,0199$), época do ano ($P < 0,0001$) e com a interação época do ano x tratamento ($P = 0,0474$). De forma geral, não houve diferença entre os capins massai, piatã e a associação, exceto durante o Invpr, época em que maior valor foi registrado para a associação, e durante o Out, quando o maior valor foi registrado para o piatã (Tabela 7). Em média, o capim andropogon apresentou a menor relação $IAF_{pós}/IAF_{pré}$.

Tabela 7. Relação $IAF_{pós}/IAF_{pré}$ para os monocultivos e associação durante o período experimental 2020/2021

Época	Tratamento				Média	EPM
	Piatã	Massai	Andropogon	Associação		
Ver1	0,25 Ba	0,40 Aa	0,30 Aa	0,41 ABa	0,34 B	(0,053)
Out	0,68 Aa	0,41 Ab	0,33 Ab	0,40 ABCb	0,46 A	(0,064)
Invpr	0,29 Bb	0,37 ABab	0,31 Ab	0,49 Aa	0,37 AB	(0,057)
Pri	0,36 Ba	0,33 ABa	0,24 ABa	0,26 BCa	0,30 BC	(0,083)
Ver2	0,31 Ba	0,24 Ba	0,15 Bb	0,27 Ca	0,25 C	(0,027)
Média	0,38 a	0,35 a	0,27 b	0,36 a		
EPM	(0,057)	(0,057)	(0,057)	(0,057)		

Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si ($P < 0,05$). Letras maiúsculas nas colunas comparam épocas, letras minúsculas nas linhas comparam tratamentos. Valores em parênteses correspondem ao erro padrão da média (EPM).

4.4.3. Densidade populacional de perfilhos

A densidade populacional de perfilhos variou com os tratamentos ($P < 0,0001$), época do ano ($P = 0,0001$) e com a interação época do ano x tratamento ($P < 0,0001$). De forma geral, maiores valores foram registrados no Invpr e menores no Ver1 e Pri. O capim piatã apresentou os menores valores de DPP relativamente aos demais tratamentos ao longo de todo o período experimental (Tabela 8). Para o capim andropogon, houve um aumento de 79% em DPP do Out para o Invpr, seguido de queda acentuada durante a Pri e Ver2. Para o capim massai e a associação, as variações em DPP ao longo das estações do ano foram mais modestas.

Tabela 8. Densidade populacional de perfilhos para os monocultivos e associação durante o período experimental 2020/2021

Época	Tratamento				Média	EPM
	Piatã	Massai	Andropogon	Associação		
	(Perfilhos.m ⁻²)					
Ver1	640 Cb	1360 BCa	1320 Ba	1180 Ca	1120 C	(108)
Out	950 Bc	1740 Aa	1510 Bb	1670 Aab	1470 B	(66)
Invpr	1130 Abc	1630 ABCb	2700 Aa	1580 ABb	1760 A	(125)
Pri	1010 Bb	1340 Ca	1380 Ba	1320 BCa	1260 C	(84)
Ver2	1370 Ab	1600 ABa	900 Cc	1640 Aa	1380 B	(64)
Média	1120 b	1530 a	1560 a	1480 a		
EPM	(88)	(74)	(88)	(74)		

Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si ($P < 0,05$). Letras maiúsculas nas colunas comparam épocas, letras minúsculas nas linhas comparam tratamentos. Valores em parênteses correspondem ao erro padrão da média (EPM).

4.4.4. Composição botânica da população de plantas na associação

Não houve variação no percentual dos capins massai (79,9%) e piatã (10,2%) na densidade populacional de perfilhos ao longo do período experimental. Para o capim andropogon ($P = 0,0018$) a maior participação ocorreu no Ver1 (Tabela 9), seguido das estações Invpr e Pri.

Tabela 9. Composição botânica da densidade populacional de perfilhos na associação durante o período experimental 2020/2021

Época	Tratamentos		
	Piatã	Pré-corte Massai	Andropogon
		(%)	
Ver1	5,7	78,0	24,7 A
Out	4,6	88,3	7,0 B
Invpr	8,6	77,9	13,5 AB
Pri	14,9	74,9	10,2 AB
Ver2	17,3	80,8	1,91 C
Média	10,2	79,9	11,5
EPM	(3,27)	(6,90)	(5,26)

Letras maiúsculas nas colunas comparam épocas. Valores em parênteses correspondem ao erro padrão da média (EPM).

4.4.5. Massa de Forragem

A massa de forragem tanto pré como pós-corte variou com os tratamentos ($P < 0,0001$ e $P = 0,0003$, respectivamente), época do ano ($P < 0,0001$, para ambos) e com a interação época do ano x tratamento ($P = 0,0014$ e $P = 0,0006$, respectivamente). Na condição pré-corte, de forma geral, menores valores foram registrados no Ver1 para todos os tratamentos e maiores valores foram registrados para os monocultivos no Invpr e Ver2. Para a associação os valores permaneceram relativamente estáveis do Out ao Ver2. O capim piatã foi o que apresentou maior massa de forragem e o andropogon a menor massa de forragem (Tabela 10).

Na condição pós-corte, o padrão de variação da massa de forragem foi semelhante ao descrito para pré-corte, exceto que não houve diferença entre os capins massai, piatã e a associação, cujos valores foram superiores ao do capim andropogon. Adicionalmente, para o capim piatã, não houve variação nos valores de massa de forragem após o Ver1 (Tabela 10).

Tabela 10. Massa de forragem em pré e pós-corte para os monocultivos e associação durante o período experimental 2020/2021

Época	Tratamento				Média	EPM
	Pré-corte					
	Piatã	Massai	Andropogon	Associação		
	(kg MS.ha ⁻¹)					
Ver1	5100 Da	5140 Ca	3290 Cb	4580 Ba	4530 C	(429)
Out	6840 Cb	6730 Bb	5110 Bc	8170 Aa	6710 B	(429)
Invpr	9870 Aa	6950 ABb	6760 Ab	7290 Ab	7720 A	(445)
Pri	7830 BCa	6900 Bab	6080 ABb	8030 Aa	7210 AB	(429)
Ver2	8350 Ba	8220 Aa	6210 ABb	8150 Aa	7730 A	
Média	7600 a	6790 b	5490 c	7240 ab		
EPM	(429)	(442)	(429)	(429)		
	Pós-corte					
	Piatã	Massai	Andropogon	Associação	Média	EPM
	(kg MS.ha ⁻¹)					
Ver1	2650 Bbc	3290 Dab	2500 Dc	3720 Ca	3040 C	(429)
Out	6420 Aa	5180 Cb	4120 BCc	5480 Bb	5300 B	(429)
Invpr	6450 Aa	5120 BCbc	4930 ABc	6150 ABab	5660 B	(445)
Pri	6790 Aa	6230 ABa	5950 Aa	6340 ABa	6330 A	(429)
Ver2	5740 Aa	6340 Aa	3930 Cb	6350 Aa	5590 B	
Média	5610 a	5230 a	4290 b	5610 a		
EPM	(360)	(369)	(360)	(360)		

Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si ($P < 0,05$). Letras maiúsculas nas colunas comparam épocas, letras minúsculas nas linhas comparam tratamentos. Valores em parênteses correspondem ao erro padrão da média (EPM).

4.4.5.1. Porcentagem de folhas

A porcentagem de folhas na massa de forragem tanto pré como pós-corte variou com os tratamentos ($P = 0,0015$ e $P < 0,0001$, respectivamente), época do ano ($P < 0,0001$, para ambos) e com a interação época do ano x tratamento ($P = 0,0396$ e $P = 0,0155$, respectivamente). Na condição pré-corte, de forma geral, houve redução da $PF_{pré}$ do Ver1 até Pri, com valores voltando a aumentar no Ver2. Do Ver1 ao Invpr o capim andropogon apresentou valores menores que os demais tratamentos, sendo que no Invpr o maior valor de $PF_{pré}$ foi registrado para a associação. Durante a Pri e Ver2 não houve diferença entre tratamentos (Tabela 11). Os menores valores foram registrados para o capim andropogon, em média 11,4% menor que para os demais tratamentos.

Na condição pós-corte, o padrão de variação da porcentagem de folhas na massa de forragem foi semelhante ao descrito para pré-corte (Tabela 11). A $PF_{pós}$ dos capins piatã, massai e da associação foram semelhantes, com exceção de maiores valores do piatã no Out e da associação no Invpr. Não houve diferença entre os tratamentos no Ver2. Novamente, os menores valores foram registrados para o capim andropogon, que foram, em média, 27,5% menores que os demais tratamentos.

Tabela 11. Porcentagem de folhas na massa de forragem em pré e pós corte entre os diferentes tratamentos durante o período experimental 2020/2021

Época	Tratamento				Média	EPM
	Pré-corte					
	Piatã	Massai	Andropogon	Associação		
	(%)					
Ver1	51,4 Aa	48,2 Aa	42,8 Ab	49,8 Aa	48,0 A	(1,44)
Out	39,0 Ba	30,6 Cb	30,9 BCb	28,6 Cb	32,1 CD	(1,44)
Invpr	35,8 BCab	33,3 BCab	31,5 BCb	40,2 Ba	35,2 BC	(2,74)
Pri	29,7 Ca	32,6 BCa	26,6 Ca	29,6 Ca	29,6 D	(2,37)
Ver2	37,7 Ba	37,1 Ba	34,2 Ba	38,6 Ba	36,9 D	(2,36)
Média	38,7 a	36,4 a	33,2 b	37,4 a		
EPM	(2,07)	(2,07)	(2,07)	(2,07)		
	Pós-corte					
	Piatã	Massai	Andropogon	Associação	Média	EPM
	(%)					
Ver1	24,3 Aab	29,5 Aa	18,2 Ab	27,9 Aa	24,9 A	(2,33)
Out	27,3 Aa	18,4 Bb	17,2 Ab	18,9 Bb	20,4 B	(0,93)
Invpr	16,2 Bab	17,0 BCab	14,6 ABb	21,4 Ba	17,3 C	(2,03)
Pri	13,4 Ba	11,5 Cab	7,0 Cb	14,2 Ca	11,5 D	(1,65)
Ver2	14,8 Ba	11,7 Ca	11,2 BCa	14,9 Ca	13,2 D	(1,60)
Média	19,2 a	17,6 a	13,6 b	19,5 a		
EPM	(1,71)	(1,71)	(1,71)	(1,71)		

Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si ($P < 0,05$). Letras maiúsculas nas colunas comparam épocas, letras minúsculas nas linhas comparam tratamentos. Valores em parênteses correspondem ao erro padrão da média (EPM).

4.4.5.2. Porcentagem de colmos

A porcentagem de colmos na massa de forragem tanto pré como pós-corte variou com os tratamentos ($P < 0,0001$, para ambos), época do ano ($P < 0,0001$, para ambos) e com a interação época do ano x tratamento ($P = 0,0155$ e $P = 0,0051$, respectivamente). Na condição

pré-corte, exceto durante o Invpr, não houve diferença entre os capins piatã, massai e a associação (Tabela 12). De forma geral, menores valores foram registrados para o capim andropogon (24,0%), cerca de 28,5% inferiores aos registrados para os demais tratamentos (33,6%). Para a condição pós-corte, os menores valores registrados continuaram sendo do capim andropogon (Tabela 12). Diferentemente do ocorrido no pré-corte, maiores valores foram registrados para o piatã no Ver1, Out e Invpr. Nas estações de Pri e Ver2 não houve diferença entre piatã, massai e associação.

Tabela 12. Porcentagem de colmos na massa de forragem em pré e pós corte entre os diferentes tratamentos durante o período experimental 2020/2021

Época	Tratamento				Média	EPM
	Pré-corte					
	Piatã	Massai	Andropogon	Associação		
	(%)					
Ver1	37,5 Ba	35,5 ABa	29,6 Ab	34,8 ABa	34,4 A	(1,36)
Out	40,9 Aa	38,2 Aa	25,9 Bb	37,6 Aa	35,6 A	(1,30)
Invpr	34,7 BCa	28,8 BCab	26,9 ABab	26,2 Cb	29,2 BC	(2,12)
Pri	29,8 Ca	31,2 Ca	16,2 Cb	29,9 Ca	26,8 C	(1,56)
Ver2	34,8 Ba	32,0 BCa	21,7 Bb	31,5 BCa	30,0 B	(1,80)
Média	35,6 a	33,1 ab	24,0 c	32,0 b		
EPM	(1,71)	(1,79)	(1,71)	(1,71)		
	Pós-corte					
	Piatã	Massai	Andropogon	Associação	Média	EPM
	(%)					
Ver1	53,9 Aa	48,5 Abc	44,7 Ac	49,7 Aab	49,3 A	(1,79)
Out	45,2 Ba	37,3 Cb	25,1 Bc	38,2 Bb	36,5 C	(1,57)
Invpr	43,4 BCa	33,2 Cb	28,1 Bb	28,1 Cb	33,3 CD	(2,60)
Pri	38,3 Ca	39,0 BCa	17,4 Cb	37,0 BCa	32,9 D	(2,96)
Ver2	41,8 BCa	44,4 ABa	27,0 Bb	42,2 Ba	38,8 B	(2,05)
Média	44,6 a	40,5 b	28,5 c	39,0 b		
EPM	(2,18)	(2,22)	(2,18)	(2,18)		

Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si ($P < 0,05$). Letras maiúsculas nas colunas comparam épocas, letras minúsculas nas linhas comparam tratamentos. Valores em parênteses correspondem ao erro padrão da média (EPM).

4.4.5.3. Porcentagem de morto

A porcentagem de material morto na massa de forragem tanto pré como pós-corte variou com os tratamentos ($P < 0,0001$, para ambos), época do ano ($P < 0,0001$, para ambos) e com a

interação época do ano x tratamento ($P = 0,0051$ e $P = 0,0026$, respectivamente). O padrão de variação observado foi semelhante para pré e pós-corte. De forma geral, menores valores foram registrados no Ver1 e maiores na Pri (Tabela 13). Maiores valores foram registrados no capim andropogon e menores no massai. Não houve diferença entre massai e a associação ao longo de todo o período experimental.

Tabela 13. Porcentagem de material morto na massa de forragem em pré e pós corte entre os diferentes tratamentos durante o período experimental 2020/2021

Época	Tratamento				Média	EPM
	Pré-corte					
	Piatã	Massai	Andropogon	Associação		
	(%)					
Ver1	11,0 Dc	16,3 Bb	27,6 Ca	15,4 Cb	17,6 C	(1,73)
Out	20,0 Cc	31,2 Ab	43,1 Ba	33,8 Ab	32,0 B	(1,34)
Invpr	29,4 ABb	38,5 Aab	41,5 Aba	33,6 ABab	35,8 B	(3,69)
Pri	40,4 Ab	36,1 Ab	57,2 Aa	44,4 Ab	43,5 A	(3,44)
Ver2	27,4 Bb	30,7 Ab	44,0 Ba	29,8 Bb	33,0 B	(1,99)
Média	25,6 c	30,6 b	42,7 a	30,6 b		
EPM	(2,41)	(2,52)	(2,41)	(2,41)		
	Pós-corte					
	Piatã	Massai	Andropogon	Associação	Média	EPM
	(%)					
Ver1	21,7 Bb	21,9 Bb	37,0 Ca	22,3 Bb	25,7 D	(2,11)
Out	27,5 Bc	44,3 Ab	57,7 Ba	42,8 Ab	43,0 C	(1,83)
Invpr	40,3 Ab	49,6 Aab	57,2 Ba	50,4 Aa	49,4 B	(3,31)
Pri	48,2 Ab	49,5 Ab	75,5 Aa	48,7 Ab	55,5 A	(2,62)
Ver2	43,3 Ab	43,9 Ab	61,7 Ba	42,7 Ab	47,9 B	(3,00)
Média	36,2 c	41,8 b	57,8 a	41,4 b		
EPM	(2,56)	(2,63)	(2,56)	(2,56)		

Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si ($P < 0,05$). Letras maiúsculas nas colunas comparam épocas, letras minúsculas nas linhas comparam tratamentos. Valores em parênteses correspondem ao erro padrão da média (EPM). Para a PMpr, os valores apresentados na tabela foram obtidas a partir dos dados originais. As comparações entre médias foram feitas a partir da escala logarítmica de base dez.

4.4.5.4. Composição botânica da massa de forragem da associação

Na condição pré-corte, não houve variação no percentual dos capins piatã, massai e de invasoras na massa de forragem, ao longo do período experimental. Contudo, para o capim andropogon, houve redução de sua participação na massa de forragem após o Ver1 ($P = 0,0008$),

sem diferença entre as demais épocas do ano. De forma geral, a maior participação foi do capim massai (75,1%), seguido do capim piatã (13,7%) e pelo capim andropogon (3,2%).

Na condição pós-corte, houve aumento da participação do capim piatã ($P = 0,0180$) e redução do capim andropogon ($P = 0,0207$), sem variação na participação do capim massai na massa de forragem dos pastos ao longo do período experimental. A maior participação foi do capim massai (65,3%), seguido do capim piatã (17,7%) e pelo capim andropogon (4,2%).

Tabela 14. Composição botânica da massa de forragem na associação em pré e pós-corte durante o período experimental 2020/2021

Época	Tratamento			
	Pré-corte			
	Piatã	Massai	Andropogon	Invasora
	(%)			
Ver1	7,9	74,0	7,4 A	6,8
Out	7,6	82,7	2,6 B	7,1
Invpr	19,5	72,2	2,5 B	5,8
Pri	17,9	67,6	2,5 B	4,5
Ver2	15,8	79,2	1,1 B	3,8
Média	13,7	75,1	3,2	5,6
EPM	(4,39)	(8,20)	(0,99)	(2,32)
	Pós-corte			
	Piatã	Massai	Andropogon	Invasora
	(%)			
Ver1	5,1 C	74,6	7,3 A	13,0
Out	13,3 BC	69,0	5,0 AB	12,7
Invpr	22,5 AB	55,0	2,6 BC	13,7
Pri	21,7 AB	64,2	4,5 ABC	9,6
Ver2	25,8 A	63,6	1,6 C	9,0
Média	17,7	65,3	4,2	11,6
EPM	(4,56)	(6,28)	(1,08)	(4,40)

Letras maiúsculas nas colunas comparam épocas. Valores em parênteses correspondem ao erro padrão da média (EPM).

5. DISCUSSÃO

As condições experimentais foram mantidas muito próximas das metas planejadas (Figura 8 a Figura 11), indicando que o controle experimental foi efetivo. De forma geral, as respostas agronômicas da associação foram próximas às daquelas dos capins massai e piatã, que estiveram presentes em maior porcentagem tanto na população (Tabela 9) como na massa de forragem (Tabela 14). A produção de forragem da associação foi semelhante à máxima produção dos monocultivos ao longo de todo o período experimental (Figura 13, A). Adicionalmente, a estacionalidade de produção de folhas da associação também foi ligeiramente inferior aos monocultivos, de forma que a época de menor produção (Invpr) produziu cerca de 20,2% das épocas com melhor condição de crescimento (média do Ver1 e Ver2) (Tabela 3). Do total de matéria seca produzida, folhas foram o principal componente morfológico acumulado. Apesar da semelhança em massa de forragem (com exceção ao andropogon), a massa de forragem pré-corte da associação permaneceu relativamente estável ao longo de todo o período experimental. Houve predominância do capim massai na composição botânica da associação, seguido do capim piatã e do andropogon. A dinâmica entre as espécies provavelmente foi determinada por interações de ordem competitiva e de coexistência, direcionadas por efeitos de “seleção” e de “complementariedade” entre espécies, respectivamente.

O potencial de produção de forragem foi similar entre a associação e os monocultivos dos capins massai e piatã, de maior produtividade (Figura 13, A). Desta forma, destacam-se similaridades em características importantes para o potencial produtivo da pastagem como, por exemplo, índice de área foliar (IAF), relação $IAF_{pós}/IAF_{pré}$, interceptação luminosa (IL), e porcentagem de folhas na massa de forragem (PF). Primeiramente, o IAF do pasto é característica estrutural de extrema importância, definindo a área disponível de folhas em uma pastagem para que os processos fotossintéticos produzam a energia e fotoassimilados necessários para o desenvolvimento vegetal (Martins et al. 2021). Nesse contexto, o IAF em pré e em pós-corte foi semelhante para os monocultivos de piatã, massai e a associação (Figura 14, A e Tabela 6), assim como a relação $IAF_{pós}/IAF_{pré}$. Mesmo que na média o capim piatã tenha apresentado valores ligeiramente superiores de IAF, não foram registrados valores superiores de TAcT e IL (Figura 13, A e Tabela 5, respectivamente). De forma complementar, em relação à IL (Tabela 5), todos os tratamentos interceptaram valores semelhantes da luz incidente, sendo comum valores próximos à 95% em pré-corte e 86% em pós-corte (com exceção ao capim andropogon, com valores ligeiramente inferiores). No entanto, para que a luz

interceptada seja aproveitada para crescimento e desenvolvimento da pastagem, é preciso que a massa de forragem apresente majoritariamente o componente morfológico folha em sua estrutura (Hodgson 1990), maior responsável pela fotossíntese do dossel forrageiro (Taiz et al. 2014). Nesse contexto, a PF tanto em pré como em pós-corte (Tabela 11) dos capins piatã e massai e a associação também foi semelhante, corroborando com as similaridades entre o potencial de produção da comunidade multiespecífica e dos monocultivos de maior taxa de acúmulo de forragem.

Adicionalmente, conforme planejado quando da escolha da meta pré-corte utilizada, o principal componente morfológico acumulado foi “folhas” (Figura 15). Neste aspecto, cortes frequentes e lenientes (50% de severidade), seguindo o critério de 95% de interceptação luminosa durante a rebrotação (Da Silva et al. 2015; Martins et al. 2021), estimulam a produção de folhas e controlam o desenvolvimento de tecidos de sustentação (colmos + pseudocolmos) e material morto (Gastal e Lemaire 2015). Portanto, o maior crescimento de colmos registrado no Out (Figura 15) ocorreu devido ao florescimento dos capins massai e piatã. Assim como para a TAcT, o potencial de produção de folhas (TAcF) da associação seguiu padrão semelhante ao dos monocultivos de capim massai e piatã. Nesse contexto, mesmo que o monocultivo de capim massai tenha apresentado TAcF 24,7% superior ao monocultivo de piatã (Tabela 3), não foi registrada diferença estatística entre TAcF da associação e ambos monocultivos. Tal padrão de resposta é indicativo de que ambos os capins afetaram simultaneamente a TAcF da associação.

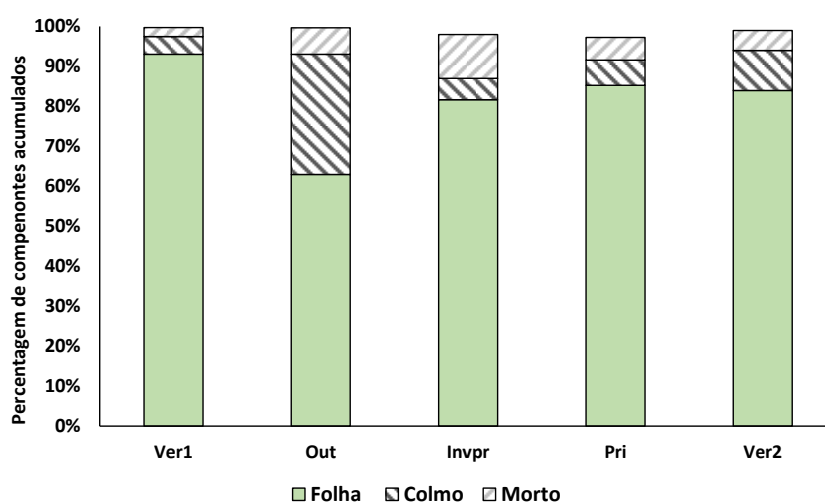


Figura 15. Média dos principais componentes morfológicos acumulados durante o período experimental 2020/2021

Em comparação aos outros capins, foi registrado que a produção de forragem no monocultivo de andropogon foi a mais baixa. Nesse sentido, a TAcT foi 31,3% inferior à média dos demais tratamentos (Figura 13, A), juntamente à uma menor TAcF (Tabela 3). Essa resposta pode ser explicada pelos menores valores de IAF (Figura 14, A e Tabela 6) nas condições de pré e pós-corte, juntamente à uma menor proporção de $IAF_{pós}/IAF_{pré}$ (Tabela 7) (Martins et al. 2021). No entanto, mesmo com menores valores de IAF, o monocultivo de andropogon foi capaz de interceptar a luz incidente em níveis próximos aos demais tratamentos (Tabela 5). Nesse aspecto, é plausível que uma parcela da luz incidente tenha sido interceptada por plantas infestantes nos piquetes devido ao seu elevado nível de infestação, consequência do baixo valor cultural das sementes de capim andropogon utilizadas ($VC = 5\%$). Adicionalmente, não é possível quantificar a real quantidade de luz que foi interceptada pelo andropogon devido às limitações na metodologia utilizada, já que o aparelho medidor utilizado na amostragem não é capaz de distinguir diferentes espécies no dossel. Outra possibilidade para os menores índices de produção pode ser simplesmente relacionado à estratégia de captura e utilização de recursos do capim andropogon, que se assemelha à uma planta conservadora de recursos. Portanto, são espécies que apresentam, por natureza, menor potencial de produção quando comparadas às plantas mais competidoras por recursos em ambientes férteis ou adubados (Hobbie 1992; Cruz et al. 2002; Duchini et al. 2019).

Mesmo que a produção de forragem da associação e dos monocultivos tenha sido satisfatória, ainda foi observado efeito sobre a variação intra-anual da produção. Portanto, quanto à sazonalidade de produção, as maiores taxas de acúmulo de forragem ocorreram nas estações Ver1, Pri e Ver2, com queda acentuada no Out e Invpr para todos os tratamentos (Figura 13, B). Esse nível de resposta é relacionado às reduções de temperatura e precipitação nos meses de abril a outubro na região, definindo condições desafiadoras para o crescimento de gramíneas tropicais (Figura 2 e Figura 3). Apesar disso, a distribuição sazonal do acúmulo de folhas na associação foi ligeiramente menos afetada em relação aos monocultivos, indicando possível maior estabilidade produtiva. Assim, a produção de folhas no Invpr relativamente à média entre Ver1 e Ver2 representou 16,8%; 19,3%; 14,9% e 20,2% para os capins piatã, massai, andropogon e a associação, respectivamente (Tabela 3).

Ambos o potencial produtivo e a sazonalidade de produção são dependentes do processo de acúmulo de forragem na pastagem (Sbrissia et al. 2020). Nesse sentido, tal processo ocorre em dois níveis principais, que são em nível individual de perfilhos (resultado líquido do aparecimento, crescimento e morte de folhas e/ou colmos) e de população de perfilhos (resultado líquido do aparecimento e morte de perfilhos) (Da Silva et al. 2015). De forma geral,

não houve grande diferença em densidade populacional de perfilhos entre épocas do ano que justificassem as diferenças observadas em produção de forragem ou estacionalidade (Figura 16). Portanto, isso significa que as diferenças registradas devem ter sido consequência de maiores variações em crescimento dos perfilhos.

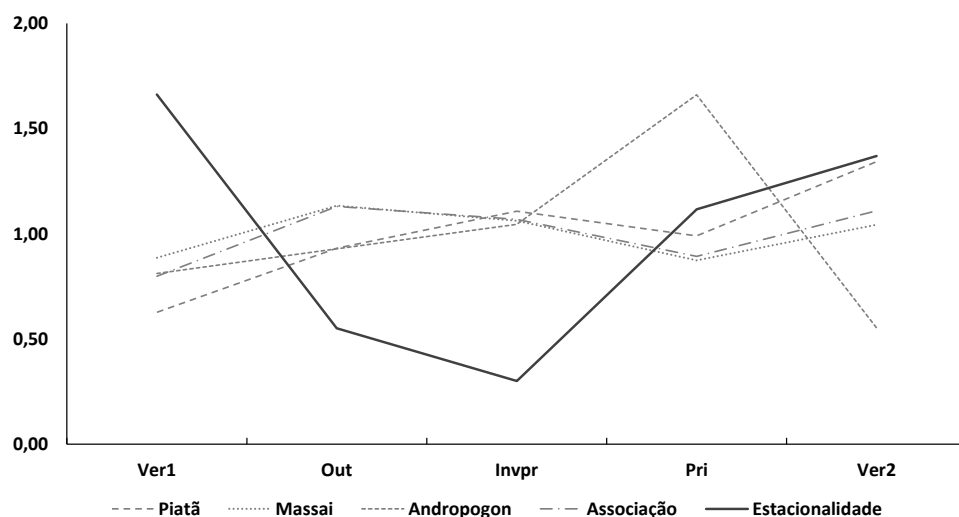


Figura 16. Variações em densidade populacional de perfilhos (piatã, massai, andropogon e associação) e estacionalidade da produção em relação às suas respectivas médias. O padrão de variação da população de perfilhos, de relativa estabilidade, segue comportamento distinto da estacionalidade de produção nas épocas de Out e Invpr, indicando que a o comprometimento de produção ocorreu em escala individual no desenvolvimento do perfilho

As características do dossel forrageiro apresentam relação próxima com o potencial produtivo da pastagem (Hodgson 1990). Geralmente, pastos com maior quantidade de componentes vivos juntamente a uma quantidade satisfatória de folhas são considerados de melhor qualidade, já que favorecem maior desempenho animal (maior consumo animal e valor nutritivo da forragem) e melhores taxas de rebrotação da pastagem (Da Silva et al. 2015). Nesse contexto, a proporção dos componentes folha, colmo e material morto na massa de forragem pré-corte esteve próxima a 1/3 (Tabela 11 a Tabela 13), enquanto no pós-corte foi registrado aumento nas proporções de colmo e de material morto, tendo em vista que a metade inferior do dossel é composta principalmente por esses componentes morfológicos (Geremia et al. 2018). Novamente as respostas do andropogon foram distintas, que apresentou menor porcentagem de colmo e a maior porcentagem de material morto tanto em pré como em pós-corte, provavelmente por estar sendo manejada com uma altura pré-corte que correspondeu ao uso muito intenso da amplitude de flexibilidade de manejo.

Além da composição morfológica da massa de forragem também é importante sua quantificação, já que representa o total de biomassa vegetal presente na pastagem. Nesse

sentido, foram registrados maiores valores de massa de forragem em pré-corte ($MF_{pré}$) no monocultivo de capim piatã ($7600 \text{ kgMS.ha}^{-1}$) seguido do massai ($6790 \text{ kgMS.ha}^{-1}$) e andropogon ($5490 \text{ kg MS.ha}^{-1}$), respectivamente (Tabela 10). Já para a associação, a $MF_{pré}$ registrada não diferiu daquela dos monocultivos de massai e piatã ($7240 \text{ kgMS.ha}^{-1}$), indicando, novamente, a influência desses dois capins em outra característica agrônômica da associação. Apesar das diferenças em massa de forragem entre os monocultivos de massai, piatã e associação, as variações nos intervalos de corte (Figura 12) fizeram com que a TAcT registrada fosse similar para os três tratamentos. Quanto à variação em massa de forragem, é possível que a maior diversidade de espécies tenha resultado em maior estabilização da $MF_{pré}$ na associação. Neste caso, após o período de estabelecimento da pastagem (Ver1), não foi registrada mudança de $MF_{pré}$ da associação ao longo das demais estações avaliadas (Out, Invpr, Pri e Ver2). De forma contrária, esse padrão de resposta não foi registrado para os monocultivos (Tabela 10). Segundo Tilman et al. (2014), a menor variabilidade da biomassa vegetal ocorre quando, em uma mesma comunidade, estão presentes plantas com diferentes fenologias (estratégia de crescimento ou resposta de crescimento ao ambiente) e/ou requerimentos (captura ou conservação de recursos). Dessa forma, a comunidade se torna mais estável como um todo, já que o desaparecimento ou supressão de uma espécie pode ser compensada por outra com diferentes características. De forma similar, Anten e Hirose (1999) observaram experimentalmente em comunidade multiespecífica que a interceptação luminosa do dossel forrageiro foi mantida ao longo de diferentes estações do ano devido à compensação gerada por espécies subordinadas. Nesse sentido, quando as condições de crescimento não foram ideais para o desenvolvimento das plantas dominantes, outras espécies iniciaram seu desenvolvimento e ocuparam o espaço por elas deixado. Segundo os autores, esse resultado foi um forte indicativo de complementariedade entre as espécies estudadas, já que vegetação foi capaz de compensar seu IAF por meio de plantas com diferentes nichos de crescimento. De forma análoga, o mecanismo que compensa variações em massa de forragem atua de forma semelhante (Tilman 1999; Tilman et al. 2006; Loreau e Mazancourt 2013; Haughey et al. 2018; Yan et al. 2021).

Além da maior estabilidade na $MF_{pré}$ com o incremento da diversidade de espécies na pastagem (Tabela 10), também não houve variação em interceptação luminosa na condição pré-corte em todas as épocas do ano avaliadas da associação, que interceptou, em média, 94,8% da luz incidente (Tabela 5). Novamente, é possível a ocorrência do efeito compensatório entre espécies possa ter sido responsável pela maior estabilidade de luz interceptada na comunidade multiespecífica (Loreau e Mazancourt 2013; Yan et al. 2021), que criou condição contínua de

nem de excesso (elevado sombreamento) ou falta (falhas no dossel) em $IL_{pré}$ ao longo do experimento.

Em uma associação de gramíneas a proporção de espécies na comunidade apresenta o mesmo nível de importância que as próprias características estruturais do dossel forrageiro. Nesse contexto, agora serão discutidos os efeitos da composição botânica nas respostas agronômicas da associação, já que é fator determinante dos mecanismos de diversidade de espécies e funcionalidade do sistema de produção (Pontes et al. 2011; Mahaut et al. 2020). De forma geral, foi registrada a dominância do capim massai em diversas respostas da associação como, por exemplo, na massa de forragem (Tabela 14) e na população de plantas (Tabela 9). Portanto, no contexto da biomassa vegetal, o capim massai compôs aproximadamente 3/4 e 3/5 da MF nas condições pré e pós-corte, respectivamente (Tabela 14), seguido do capim piatã (13,7% em pré-corte e 17,7% em pós-corte) e andropogon (3,2% em pré corte e 4,2% em pós- corte). Para a população de plantas, foi registrado que na densidade populacional de perfilhos (DPP) (Tabela 9) também houve predominância do capim massai (80% da população), seguido do capim andropogon (11,5%) e piatã (10,2%), respectivamente. Os perfilhos de menor tamanho e peso do capim andropogon podem ser uma explicação para sua maior participação em DPP e menor participação na massa de forragem da associação.

Mesmo que o massai tenha se sobressaído na comunidade, a participação do piatã e andropogon nas respostas agronômicas da associação não são negligenciáveis. Portanto, com o objetivo de observar um quadro geral da influência desses dois capins, foi desenvolvida uma tabela descritiva contendo a participação das três gramíneas principais em quatro respostas agronômicas importantes da associação (Tabela 15). Nessa tabela, são registradas as participações apenas na condição pré-corte e as porcentagens não consideram a presença de plantas invasoras. Dados brutos foram utilizados para que a porcentagem de espécies sempre atingisse a somatória de 100%. Por meio dessas condições é possível observar que, no geral, o capim massai é responsável por cerca de 70 a 80% de participação dentro das quatro respostas analisadas (MF, IAF, DPP e TAcT). O restante, cerca de 20 a 30%, são dos capins piatã e andropogon. Nesse contexto além da MF e DPP (como descrito anteriormente), em média, IAF da associação foi composto por 21,6% de piatã e 6,7% de andropogon. Já para a TAcT, 15,3% foi de piatã e 11,2% de andropogon.

Tabela 15. Participação das espécies piatã, massai e andropogon nas respostas agronômicas da associação durante o período experimental 2020/2021

Espécie	Resposta agronômica			
	Pré-corte			
	MF	IAF	DPP	TAcT
			(%)	
Capim-Piatã	16,6	21,6	10,2	15,3
Capim-Massai	78,0	71,8	78,3	73,5
Capim-Andropogon	5,4	6,7	11,5	11,2

A percentagens representam a massa de forragem, índice de área foliar, densidade populacional de perfilhos e taxa de acúmulo de forragem total (MF, IAF, DPP e TAcT, respectivamente) das espécies na associação.

Nesse contexto, o padrão de resposta observado na composição botânica do presente experimento é recorrente em estudos que avaliam comunidades multiespecíficas (Cardinale et al. 2006, 2007), em que a composição da vegetação pode ser dominada (alta abundância relativa) por um número pequeno de espécies em relação à sua diversidade. O mecanismo de dominância em abundância dentro de uma comunidade multiespecífica é comumente denominado de “efeito de seleção” (Hector et al. 2002; Yang et al. 2021). A partir dele, é proposto que a dominância ocorra devido à maior adaptabilidade relativa de certas plantas ao ambiente em que estão inseridas, permitindo que elas se sobressaiam nas respostas comunidade (Loreau e Hector 2001). Como consequência, e de extrema importância funcional, o padrão de resposta da comunidade e os processos do próprio ecossistema produtivo são condicionados pelas características particulares das espécies predominantes (Fridley 2001; Loreau e Hector 2001). Em razão disso, levando em consideração as similaridades das respostas agronômicas da associação e do monocultivo contendo a espécie de maior abundância em sua composição (massai), é muito provável que o “efeito de seleção” tenha sido o mecanismo responsável por grande parte pela dinâmica de respostas da comunidade deste presente experimento (Figura 17).

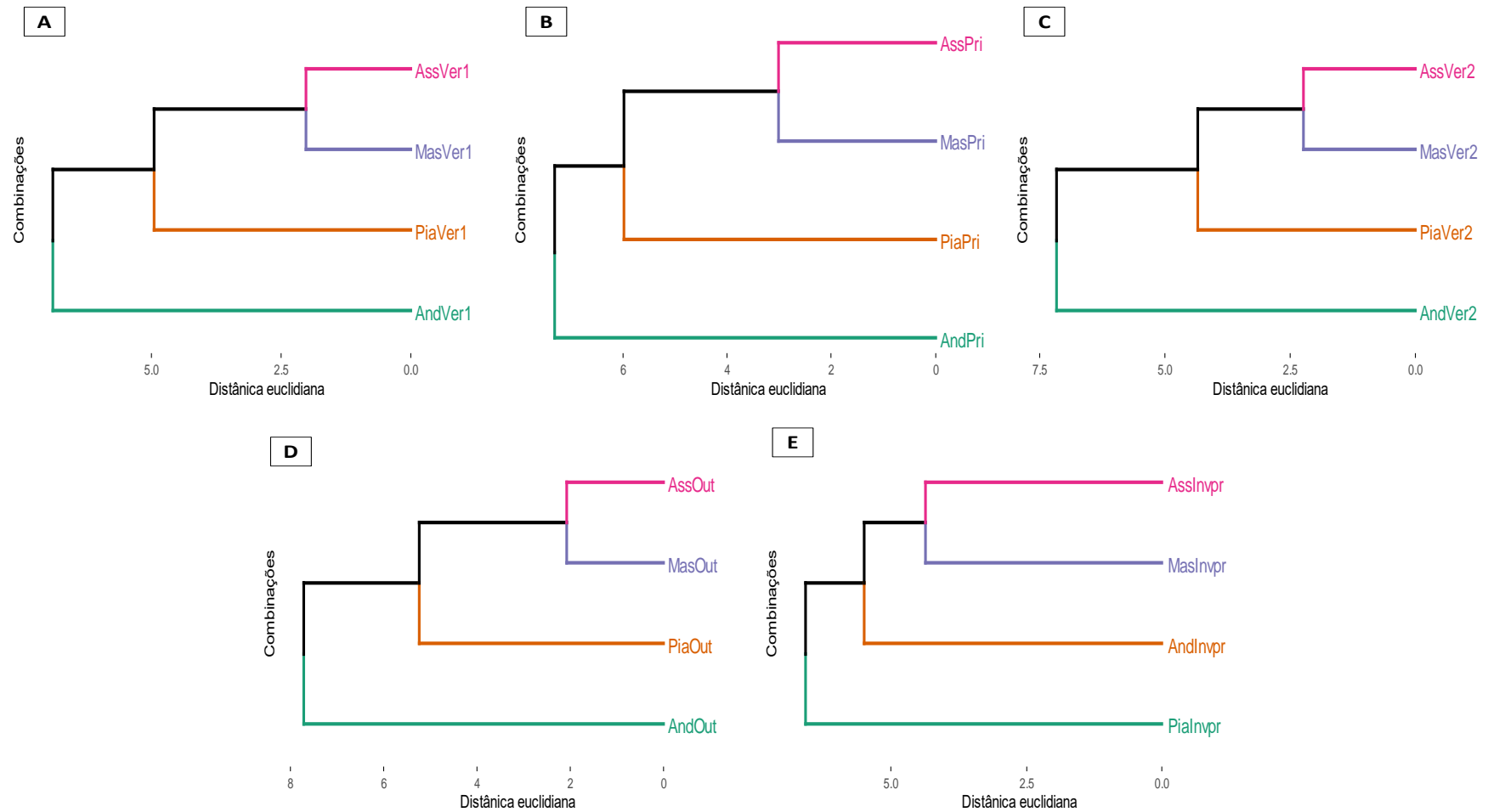


Figura 17. Dendrograma de agrupamento das respostas agrônômicas entre os monocultivos e a associação para as épocas do ano avaliadas pelo método de ligação completo. A relação entre respostas agrônômicas foram registradas para as épocas Ve1, Pri e Ver2 (Figuras 17, A, B e C, respectivamente) e Out e Invpr (Figuras 17, D e E, respectivamente). Em todas as épocas do ano avaliadas, a maior similaridade entre respostas foram entre o monocultivo do capim massai e a associação. Corroborando com o “efeito de seleção”, o capim massai é a espécie de maior proporção na associação

Normalmente, a dominância por uma espécie é mais intensa em sistemas produtivos mais intensivos. Nesse contexto, a adição de nutrientes ao solo por meio de fertilização tende a diminuir a diversidade de espécies como consequência de competição mais intensa das plantas mais responsivas à adubação (Rajaniemi 2002; Borer et al. 2014). Apesar disso, resultados mais drásticos em sistemas não adubados também podem ser observados como, por exemplo, em experimento conduzido por Anten e Hirose (1999). Nele, das dez espécies que compunham a comunidade avaliada, apenas metade foi responsável por 99% da massa de forragem e índice de área foliar do dossel forrageiro. Entretanto, o mais interessante foi a notável participação de 84% na massa de forragem, 70-78% no IAF e 85% da interceptação luminosa por uma única espécie. Portanto, é comum que comunidades não adubadas ou até mesmo naturais também sejam dominadas por poucas espécies, de forma que a funcionalidade da comunidade seja comumente relacionada, mesmo quem em níveis variados, ao “efeito de seleção” (Loreau e Hector 2001; Wang et al. 2021; Yan et al. 2021).

Nesse sentido, é reconhecido que os “efeitos de seleção” e “diferenciação de nichos” afetam em conjunto a produção de biomassa de comunidades multiespecíficas (Tilman et al. 2014). Como não houve dominância completa do capim massai na composição botânica da associação (Tabela 9, Tabela 14 e Tabela 15), é possível considerar a coexistência entre as gramíneas da comunidade. Essa coexistência entre as três espécies forrageiras escolhidas é forte indicativo da ocorrência do mecanismo “diferenciação de nichos” como resultado da complementariedade funcional na pastagem, principalmente entre os capins massai e piatã. Ou seja, a mera coexistência entre espécies em uma mesma comunidade implica no princípio de que elas exploram nichos suficientemente diferentes (Fridley 2001; Petchey 2003; Barry et al. 2019), fator este que impediu que a associação atingisse uma condição de monocultivo. Desta forma, é possível desconsiderar que o “efeito de seleção” seja o único mecanismo atuante na produção de forragem da associação neste experimento. Analisando as respostas ao longo das estações do ano, o capim piatã se manteve estável em porcentagem da $MF_{pré}$ e aumentou em porcentagem na $MF_{pós}$ (Tabela 14). Adicionalmente, mesmo que o capim andropogon tenha diminuído em porcentagem na $MF_{pré}$ e $MF_{pós}$ (Tabela 14) e DPP (Tabela 9), ainda não é possível afirmar que ele esteja desaparecendo da associação. Nesse sentido, ainda é plausível o aumento de sua participação na comunidade, sendo necessária oportunidade para seu desenvolvimento por meio de limitações impostas aos demais capins piatã e massai. Isso é perfeitamente possível pois, diferentemente das outras espécies, o capim andropogon se apresenta como uma planta conservadora de recursos, por isso mais tolerante a distúrbios e estresses do ambiente em relação às plantas mais competidoras por recursos (Cruz et al. 2002). Ou seja, em caso de

veranicos acentuados, geadas, encharcamentos ou falta de nutrientes no solo, é possível o aumento de sua participação na composição botânica da associação.

Com o objetivo de correlacionar as respostas agronômicas entre tratamentos em todas as épocas do ano, outro dendrograma de agrupamentos foi realizado (Figura 18), sintetizando os resultados obtidos no presente experimento. De modo geral, três grandes *clusters* se destacaram. Primeiramente, o conjunto das respostas agronômicas no monocultivo do capim andropogon foi diferente dos demais tratamentos. Esses resultados podem ter sido reflexo da maior presença de plantas invasoras nos piquetes desse capim (ver material e métodos), consequência do baixíssimo valor cultural das sementes utilizadas (VC = 5%) ou de seu menor potencial produtivo relacionado à sua estratégia de captura e utilização de recursos. O segundo *cluster* de maior destaque distingue as respostas agronômicas ocorridas na primeira estação avaliada. Como o Ver1 foi o período de implantação das pastagens é normal que suas respostas sejam diferentes a de uma pastagem já estabelecida. Finalmente, o terceiro *cluster* separa os padrões de resposta dos demais tratamentos dentro das épocas restantes. Neste grupamento, é possível identificar o efeito da sazonalidade de produção nas respostas agronômicas dos tratamentos. Também é possível observar que o capim piatã apresentou respostas particulares no Out, Pri e Ver2, tendo mais similaridades com as respostas do capim massai e da associação no Invpr. De forma geral, os maiores níveis de similaridade sempre são entre o monocultivo do capim massai e a associação, indicando, novamente, que o “efeito de seleção” foi o principal mecanismo da diversidade entre espécies responsável pelas respostas agronômicas registradas para a associação. No entanto, como descrito anteriormente, não foi o único, já que a convivência entre gramíneas só é possível caso haja “diferenciação de nichos” entre plantas em coexistência.

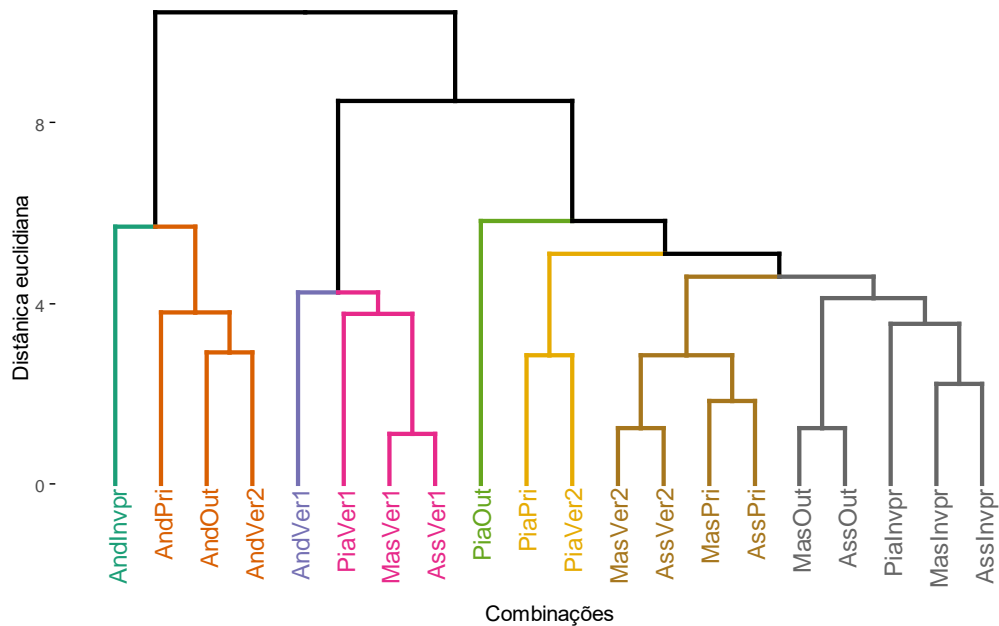


Figura 18. Dendrograma de agrupamento das respostas agrônômicas entre os monocultivos e a associação durante o período experimental 2020/2021 pelo método de ligação completo. As respostas agrônômicas mais discrepantes foram as do monocultivo do capim andropogon e entre tratamentos no Ver1. Os maiores níveis de proximidade das respostas foram entre o monocultivo de capim massai e a associação em todas as épocas do ano avaliadas

Levando em consideração os serviços ecológicos que comunidades multiespecíficas podem vir a oferecer para os sistemas agropecuários (sustentabilidade e funcionalidade ecológica), foi interessante registrar que o potencial produtivo do sistema não foi comprometido com o aumento da diversidade de espécies. Isso comprova a viabilidade agrônômica das pastagens multiespecíficas compostas por gramíneas forrageiras tropicais, sendo um primeiro passo para sua possível utilização em pastagens comerciais. Adicionalmente, a comunidade de gramíneas foi mantida por meio da coexistência entre as três espécies escolhidas, indicando existência de complementariedade funcional que permitiu a “diferenciação de nichos” entre elas. A diferença entre nichos explorados é um requerimento essencial para uma melhor exploração e utilização dos recursos (Tilman et al. 2014; Grace et al. 2018; Barry et al. 2019) e maior estabilidade e resiliência das pastagens (Tilman et al. 2006; Haughey et al. 2018), o que aumenta a importância de estudos que avaliem comunidades de gramíneas cada vez mais complexas a partir de uma maior diversidade de espécies.

6. CONCLUSÃO

Uma associação composta pelas gramíneas *Andropogon gayanus* cv. Planaltina, *Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã e *Panicum maximum* cv. Massai manejada com alturas de 35 cm e desfolhadas em 50% da altura inicial apresentou produção similar aos seus respectivos monocultivos. De forma geral, não houve evidência de transição da associação para condição de monocultivo (desaparecimento de espécies), o que permite continuidade da multifuncionalidade ao longo do tempo. Essas características apontam para possível viabilidade da estratégia adotada e pode ser uma alternativa para diversificação de pastos em ambientes tropicais.

REFERÊNCIAS

- Aarssen LW (1997) High productivity in grassland ecosystems: effected by species diversity or productive species? *Oikos* 80:183–184. <https://doi.org/10.2307/3546531>
- Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, et al (2013) Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 22:711–728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Anten NPR, Hirose T (1999) Interspecific differences in above-ground growth patterns result in spatial and temporal partitioning of light among species in a tall-grass meadow. *Journal of Ecology* 87:583–597. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.1999.00365.x>
- Bachmann D, Roscher C, Buchmann N (2018) How do leaf trait values change spatially and temporally with light availability in a grassland diversity experiment? *Oikos* 127:935–948. <https://doi.org/10.1111/oik.04533>
- Barbosa RA, Rosa PR, Lima GO (2010) Capim-massai manejado em diferentes combinações de intensidade e frequência de corte. In: 55^o Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. Empreendedorismo e progresso científicos na zootecnia brasileira de vanguarda: anais, Salvador, pp 1–4
- Barry K, Mommer L, van Ruijven J, et al (2019) The future of complementarity: disentangling causes from consequences. *Trends in Ecology & Evolution* 34:167–180. <https://doi.org/10.1016/J.TREE.2018.10.013>
- Borer ET, Seabloom EW, Gruner DS, et al (2014) Herbivores and nutrients control grassland plant diversity via light limitation. *Nature* 508:517–520. <https://doi.org/10.1038/nature13144>
- Boval M, Dixon RM (2012) The importance of grasslands for animal production and other functions: a review on management and methodological progress in the tropics. *Animal* 6:748–762. <https://doi.org/10.1017/S1751731112000304>
- Bresciano D, del Pino A, Borges A, et al (2018) Perennial C4 grasses increase root biomass and carbon in sown temperate pastures. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 62:332–342. <https://doi.org/10.1080/00288233.2018.1504089>
- Cardinale BJ, Srivastava DS, Duffy JE, et al (2006) Effects of biodiversity on the functioning of trophic groups and ecosystems. *Nature* 443:989–992. <https://doi.org/10.1038/nature05202>
- Cardinale BJ, Wright JP, Cadotte MW, et al (2007) Impacts of plant diversity on biomass production increase through time because of species complementarity. *Proceedings of*

the National Academy of Sciences 104:18123–18128.

<https://doi.org/10.1073/PNAS.0709069104>

- Carvalho PDF, Trindade JK da, Macari S, Fischer V (2007) Consumo de forragens por bovinos em pastejo. In: *Produção de Ruminantes em Pastagens*. FEALQ, Piracicaba, pp 177–218
- Chiavegato MB, Powers WJ, Carmichael D, Rowntree JE (2015) Pasture-derived greenhouse gas emissions in cow-calf production systems. *Journal of Animal Science* 93:1350–1364. <https://doi.org/10.2527/JAS.2014-8134>
- Congio GFS, Chiavegato MB, Batalha CDA, et al (2019) Strategic grazing management and nitrous oxide fluxes from pasture soils in tropical dairy systems. *Science of The Total Environment* 676:493–500. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2019.04.186>
- Crestani S, Mascheroni JDC, Vera Geremia E, et al (2017) Sward structural characteristics and herbage accumulation of Piatã palisade grass (*Brachiaria brizantha*) in a crop-livestock-forest integration area. *Crop and Pasture Science* 68:859–871. <https://doi.org/10.1071/CP16341>
- Cruz P, Duru M, Therond O, et al (2002) Une nouvelle approche pour caractériser les prairies naturelles et leur valeur d’usage. *Fourrages* 335–354
- da Silva SC, Sbrissia AF, Pereira LET (2015) Ecophysiology of C4 forage grasses—Understanding plant growth for optimising their use and management. *Agriculture* 5:598–625. <https://doi.org/10.3390/AGRICULTURE5030598>
- Deak A, Hall MH, Sanderson MA (2009) Grazing schedule effect on forage production and nutritive value of diverse forage mixtures. *Agronomy Journal* 101:408–414. <https://doi.org/10.2134/AGRONJ2007.0365>
- Dillard SL, Hancock DW, Harmon DD, et al (2018) Animal performance and environmental efficiency of cool- and warm-season annual grazing systems. *Journal of Animal Science* 96:3491–3502. <https://doi.org/10.1093/JAS/SKY025>
- Duchini PG, Guzatti GC, Echeverria JR, et al (2019) Can a mixture of perennial grasses with contrasting growth strategies compose productive and stable swards? *Agronomy Journal* 111:224–232. <https://doi.org/10.2134/agronj2018.03.0218>
- Fargione J, Tilman D (2005) Niche differences in phenology and rooting depth promote coexistence with a dominant C4 bunchgrass. *Oecologia* 143:598–606. <https://doi.org/10.1007/S00442-005-0010-Y/FIGURES/3>
- Finn JA, Kirwan L, Connolly J, et al (2013) Ecosystem function enhanced by combining four functional types of plant species in intensively managed grassland mixtures: a 3-year

- continental-scale field experiment. *Journal of Applied Ecology* 50:365–375.
<https://doi.org/10.1111/1365-2664.12041>
- Fonseca DM (2010) *Plantas Forrageiras*, 2nd edn. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa
- Fridley JD (2001) The influence of species diversity on ecosystem productivity: how, where, and why? *Oikos* 93:514–526. <https://doi.org/10.1034/J.1600-0706.2001.930318.X>
- Garnier E, Navas M-L (2011) A trait-based approach to comparative functional plant ecology: concepts, methods and applications for agroecology. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 32:365–399. <https://doi.org/10.1007/S13593-011-0036-Y>
- Gastal F, Lemaire G (2015) Defoliation, shoot plasticity, sward structure and herbage utilization in pasture: review of the underlying ecophysiological processes. *Agriculture* 5:1146–1171. <https://doi.org/10.3390/agriculture5041146>
- Geremia EV, Crestani S, Mascheroni JDC, et al (2018) Sward structure and herbage intake of *Brachiaria brizantha* cv. Piatã in a crop-livestock-forestry integration area. *Livestock Science* 212:83–92. <https://doi.org/10.1016/J.LIVSCI.2018.03.020>
- Giacomini AA, da Silva SC, Sarmento DOL, et al (2009) Components of the leaf area index of marandu palisadegrass swards subjected to strategies of intermittent stocking. *Scientia Agricola* 66:721–732. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162009000600002>
- Gomes CM (2019) Oportunidade para flexibilização das metas pré-pastejo do manejo rotativo do capim-marandu. *Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da Universidade de São Paulo*
- Grace C, Boland TM, Sheridan H, et al (2018) The effect of increasing pasture species on herbage production, chemical composition and utilization under intensive sheep grazing. *Grass and Forage Science* 73:852–864. <https://doi.org/10.1111/GFS.12379>
- Gross K, Cardinale BJ, Fox JW, et al (2014) Species richness and the temporal stability of biomass production: a new analysis of recent biodiversity experiments. *The American Naturalist* 183:1–12. <https://doi.org/10.5061/dryad.787rm>
- Hammond KJ, Humphries DJ, Westbury DB, et al (2014) The inclusion of forage mixtures in the diet of growing dairy heifers: impacts on digestion, energy utilisation, and methane emissions. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 197:88–95.
<https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2014.07.016>
- Haughey E, Suter M, Hofer D, et al (2018) Higher species richness enhances yield stability in intensively managed grasslands with experimental disturbance. *Scientific Reports* 8:1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-33262-9>

- Hector A, Bazeley-White E, Loreau M, et al (2002) Overyielding in grassland communities: testing the sampling effect hypothesis with replicated biodiversity experiments. *Ecology Letters* 5:502–511. <https://doi.org/10.1046/J.1461-0248.2002.00337.X>
- Hobbie SE (1992) Effects of plant species on nutrient cycling. *Trends in Ecology & Evolution* 7:336–339. [https://doi.org/10.1016/0169-5347\(92\)90126-V](https://doi.org/10.1016/0169-5347(92)90126-V)
- Hodgson J (1990) *Grazing management: science into practice*, 1st edn. Longman Scientific and Technical
- Hooper DU, Chapin FS, Ewel JJ, et al (2005) Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecological Monographs* 75:3–35. <https://doi.org/10.1890/04-0922>
- Jochum M, Barnes AD, Brose U, et al (2021) For flux's sake: General considerations for energy-flux calculations in ecological communities. *Ecology and Evolution* 11:12948–12969. <https://doi.org/10.1002/ECE3.8060>
- Jonker A, Farrell L, Scobie D, et al (2018) Methane and carbon dioxide emissions from lactating dairy cows grazing mature ryegrass/white clover or a diverse pasture comprising ryegrass, legumes and herbs. *Animal Production Science* 59:1063–1069. <https://doi.org/10.1071/AN18019>
- Küchenmeister F, Küchenmeister K, Wrage N, et al (2012) Yield and yield stability in mixtures of productive grassland species: Does species number or functional group composition matter? *Grassland Science* 58:94–100. <https://doi.org/10.1111/J.1744-697X.2012.00242.X>
- Lange M, Eisenhauer N, Sierra CA, et al (2015) Plant diversity increases soil microbial activity and soil carbon storage. *Nature Communications* 6:1–8. <https://doi.org/10.1038/ncomms7707>
- Littell RC, Pendergast J, Natarajan R (2005) Mixed models: modelling covariance structure in the analysis of repeated measures data. In: *Tutorials in Biostatistics*. pp 159–185
- Loreau M, Hector A (2001) Partitioning selection and complementarity in biodiversity experiments. *Nature* 412:72–76. <https://doi.org/10.1038/35083573>
- Loreau M, Mazancourt C de (2013) Biodiversity and ecosystem stability: a synthesis of underlying mechanisms. *Ecology Letters* 16:106–115. <https://doi.org/10.1111/ELE.12073>
- Mahaut L, Fort F, Violle C, Freschet GT (2020) Multiple facets of diversity effects on plant productivity: species richness, functional diversity, species identity and intraspecific

- competition. *Functional Ecology* 34:287–298. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.13473/SUPPINFO>
- Martins CDM, Schmitt D, Duchini PG, et al (2021) Defoliation intensity and leaf area index recovery in defoliated swards: implications for forage accumulation. *Scientia Agricola* 78:1–8. <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2019-0095>
- Mason NWH, Orwin KH, Lambie S, et al (2020) Resource-use efficiency drives overyielding via enhanced complementarity. *Oecologia* 193:995–1010. <https://doi.org/10.1007/s00442-020-04732-7>
- Mommer L, van Ruijven J, de Caluwe H, et al (2010) Unveiling below-ground species abundance in a biodiversity experiment: a test of vertical niche differentiation among grassland species. *Journal of Ecology* 98:1117–1127. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2745.2010.01702.X>
- Mueller KE, Tilman D, Fornara DA, Hobbie SE (2013) Root depth distribution and the diversity–productivity relationship in a long-term grassland experiment. *Ecology* 94:787–793. <https://doi.org/10.1890/12-1399.1>
- Naeem S, Thompson LJ, Lawler SP, et al (1994) Declining biodiversity can alter the performance of ecosystems. *Nature* 368:734–737. <https://doi.org/10.1038/368734a0>
- Nieman CC, Albrecht KA, Schaefer DM (2019) Temporal composition of alfalfa–grass pastures and productivity response of holstein steers. *Agronomy Journal* 111:686–693. <https://doi.org/10.2134/AGRONJ2018.06.0375>
- Nobilly F, Bryant RH, McKenzie BA, Edwards GR (2013) Productivity of rotationally grazed simple and diverse pasture mixtures under irrigation in Canterbury. In: Nobilly F, Bryant BA, McKenzie B., Edwards GR (eds) *Proceedings of the New Zealand Grassland. Tauranga*, pp 165–172
- Oliveira VS, Morais JAS, Fagundes JL, et al (2016) Efeito da irrigação na produção e qualidade de pastagens durante o período da seca. *Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária* 26:1–10
- O'Mara FP (2012) The role of grasslands in food security and climate change. *Annals of botany* 110:1263–1270. <https://doi.org/10.1093/AOB/MCS209>
- Petchey OL (2003) Integrating methods that investigate how complementarity influences ecosystem functioning. *Oikos* 101:323–330. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2003.11828.x>
- Pires AV (2010) *Bovinocultura de corte*, 1st edn. Fealq, Piracicaba

- Pontes LS, Maire V, Louault F, et al (2011) Impacts of species interactions on grass community productivity under contrasting management regimes. *Oecologia* 168:761–771. <https://doi.org/10.1007/S00442-011-2129-3>
- Raij B van, Cantarella H, Quaggio JA, Furlani ÂMCF (1996) *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*, 2nd edn. Instituto Agronômico de Campinas, Campinas
- Rajaniemi T (2002) Why does fertilization reduce plant species diversity? Testing three competition-based hypotheses. *Journal of Ecology* 90:316–324. <https://doi.org/10.1046/J.1365-2745.2001.00662.X>
- Sanderson MA, Corson MS, Rotz CA, Soder KJ (2006) Economic analysis of forage mixture productivity in pastures grazed by dairy cattle. *Forage & Grazinglands* 4:1–8. <https://doi.org/10.1094/FG-2006-0929-01-RS>
- Sbrissia AF, Duchini PG, Zanini GD, et al (2018) Defoliation strategies in pastures submitted to intermittent stocking method: underlying mechanisms buffering forage accumulation over a range of grazing heights. *Crop Science* 58:945–954. <https://doi.org/10.2135/cropsci2017.07.0447>
- Sbrissia AF, Schmitt D, Duchini PG, da Silva SC (2020) Unravelling the relationship between a seasonal environment and the dynamics of forage growth in grazed swards. *Journal of Agronomy and Crop Science* 206:630–639. <https://doi.org/10.1111/JAC.12402>
- Silva AB, Carvalho CAB, Morenz DA, et al (2018) Agricultural answers and chemical composition of Massai grass under different nitrogen doses and urea sources. *Ciências Agrárias* 39:1225–1238. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2018v39n3p1225>
- Silveira MCT, da Silva SC, Souza Júnior SJ, et al (2013) Herbage accumulation and grazing losses on Mulato grass subjected to strategies of rotational stocking management. *Scientia Agricola* 70:242–249. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162013000400004>
- Sonkoly J, Kelemen A, Valkó O, et al (2019) Both mass ratio effects and community diversity drive biomass production in a grassland experiment. *Scientific Reports* 9:1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-37190-6>
- Sousa BML, Júnior DN, da Silva SC, et al (2010) Características morfogênicas e estruturais do capim-andropógon submetido a diferentes alturas de corte. *Revista Brasileira de Zootecnia* 39:2141–2147. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010001000006>
- Souza Filho W, Nunes PAA, Barro RS, et al (2019) Mitigation of enteric methane emissions through pasture management in integrated crop-livestock systems: Trade-offs between

- animal performance and environmental impacts. *Journal of Cleaner Production* 213:968–975. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2018.12.245>
- Spehn EM, Joshi J, Schmid B, et al (2000) Above-ground resource use increases with plant species richness in experimental grassland ecosystems. *Functional Ecology* 14:326–337. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2435.2000.00437.x>
- Swift MJ, Anderson JM (1994) Biodiversity and ecosystem function in agricultural systems. In: Schulze E-D, Mooney HA (eds) *Biodiversity and Ecosystem Function*, 1st edn. Springer, Berlin, Heidelberg, pp 15–41
- Taiz L, Zeiger E, Møller I, Murphy A (2014) *Plant physiology and development*, 6th edn. Sinauer Associates.
- Teixeira LH, Yannelli FA, Ganade G, Kollmann J (2020) Functional diversity and invasive species influence soil fertility in experimental grasslands. *Plants* 9:1–22. <https://doi.org/10.3390/plants9010053>
- Tilman D (1999) The ecological consequences of changes in biodiversity: A search for general principles. In: *Ecology*. pp 1455–1474
- Tilman D, Downing JA (1994) Biodiversity and stability in grasslands. *Nature* 367:363–365. <https://doi.org/10.1038/367363a0>
- Tilman D, Isbell F, Cowles JM (2014) Biodiversity and ecosystem functioning. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 45:471–493. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-120213-091917>
- Tilman D, Reich PB, Knops JMH (2006) Biodiversity and ecosystem stability in a decade long grassland experiment. *Nature* 441:629–632. <https://doi.org/10.1038/nature04742>
- Tracy BF, Foster JL, Butler TJ, et al (2018) Resilience in forage and grazinglands. *Crop Science* 58:31–42. <https://doi.org/10.2135/CROPSCI2017.05.0317>
- Wagg C, Ebeling A, Roscher C, et al (2017) Functional trait dissimilarity drives both species complementarity and competitive disparity. *Functional Ecology* 31:2320–2329. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12945>
- Wandrag EM, Catford JA, Duncan RP (2019) Quantifying niche availability, niche overlap and competition for recruitment sites in plant populations without explicit knowledge of niche axes. *Journal of Ecology* 107:1791–1803. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13137>
- Wang C, Zhang W, Li X, et al (2021) A global meta-analysis of the effects of plant diversity on biomass partitioning in grasslands. *Environmental Research Letters* 16:064083. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/AC0747>

- Weigelt A, Weisser WW, Buchmann N, Scherer-Lorenzen M (2009) Biodiversity for multifunctional grasslands: equal productivity in high-diversity low-input and low-diversity high-input systems. *Biogeosciences* 6:1695–1706. <https://doi.org/10.5194/BG-6-1695-2009>
- Yan Y, Connolly J, Liang M, et al (2021) Mechanistic links between biodiversity effects on ecosystem functioning and stability in a multi-site grassland experiment. *Journal of Ecology* 109:3370–3378. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13725>
- Yang X, Xu Y, Jiang M, et al (2021) 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. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.147505>
- Yang Y, Tilman D, Furey G, Lehman C (2019) Soil carbon sequestration accelerated by restoration of grassland biodiversity. *Nature Communications* 10:1–7. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-08636-w>
- Yoshihara Y, Tatsuno Y, Miyasaka K, Sasaki T (2020) Can complementarity in water use help explain diversity-productivity relationships in semi-arid grasslands? *Journal of Arid Environments* 173:1–4. <https://doi.org/10.1016/J.JARIDENV.2019.103994>
- Zak DR, Holmes WE, White DC, et al (2003) Plant diversity, soil microbial communities, and ecosystem function: are there any links? *Ecology* 84:2042–2050. <https://doi.org/10.1890/02-0433>