

Cruz das Almas, BA / Janeiro, 2026

Estratégias de manejo do capim-marandu no consórcio mandioca-braquiária

Marcelo Ribeiro Romano⁽¹⁾, Roberta Aparecida Carnevalli Monteiro⁽²⁾, Alexandre Magno Brighenti dos Santos⁽³⁾, Heraldo Takao Hashiguti⁽⁴⁾ e Diego Henrique Lauro Sousa⁽⁵⁾

⁽¹⁾ Pesquisador, Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA, ⁽²⁾ Pesquisadora, Embrapa Soja, Londrina, PR, ⁽³⁾ Pesquisador, Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora, MG, ⁽⁴⁾ Professor, Centro Universitário Unifatecie, Paranavaí, PR, ⁽⁵⁾ Estudante, Centro Universitário Unifatecie, Paranavaí, PR.

Resumo – A mandioca é cultivada em solos arenosos no Centro-Sul do Brasil, onde o uso contínuo tem contribuído para a erosão, aumento dos custos de manejo e estagnação da produtividade. Diante das mudanças climáticas e da necessidade de sistemas mais sustentáveis, o consórcio mandioca-braquiária surge como alternativa promissora. Este estudo avaliou estratégias de manejo para o consórcio, utilizando o capim-marandu (*Urochloa brizantha* [Syn. *Brachiaria brizantha*] cv. Marandu). O experimento foi conduzido na fazenda da Unifatecie, em Paranavaí/PR, na safra 2020/21, por 12 meses, em delineamento de blocos ao acaso, com seis tratamentos e quatro repetições. Foram testadas combinações de plantio simultâneo e defasado entre mandioca e capim-marandu, com controle do capim por roçadas ou herbicida, além de dois estandes de mandioca em monocultura. Avaliaram-se características agrônômicas da cultura e da pastagem. Os consórcios defasados apresentaram melhor desempenho em comparação aos simultâneos, embora tenham registrado redução de 23% na produtividade de raízes em relação às monoculturas. O desenvolvimento da mandioca foi severamente comprometido nos consórcios simultâneos, exceto quanto ao teor de matéria seca nas raízes. A pastagem obteve bom acúmulo de massa seca, suficiente para suporte ao pastoreio. O consórcio mostra potencial como alternativa viável para integração lavoura-pecuária, embora estratégias que minimizem perdas na produtividade da mandioca ainda sejam necessárias.

Termos para indexação: *Manihot esculenta*, *Urochloa brizantha*, integração lavoura-pecuária, arenito Caiuá, arranjo de plantas, BRS 420.

Management strategies for marandu palisadegrass in the cassava-brachiaria intercropping system

Abstract – Cassava is cultivated in sandy soils in the South-Central region of Brazil, where continuous use has contributed to soil erosion, increased management costs, and stagnant productivity. In light of climate change and the need for more sustainable systems, intercropping cassava with brachiaria grass emerges as a promising alternative. This study evaluated management strategies for cassava-brachiaria intercropping, using Marandu grass

Embrapa Mandioca e Fruticultura

Rua Embrapa - s/n,
Caixa Postal 007
44380-000, Cruz das Almas, BA
www.embrapa.br/mandioca-e-fruticultura
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações

Presidente

Eduardo Chumbinho de Andradel

Secretária-executiva

Maria da Conceição Pereira da Silva

Membros

Alecio Souza Moreira, Áurea Fabiana Apolinário de Albuquerque Gerum, Domingo Haroldo Rudolfo Conrado Reinhardt, Fabiana Fumi Cerqueira Sasaki, Ildos Parizotto, Marcelo do Amaral Santana, Marilene Fancelli, Paulo Ernesto Meissner Filho, Tatiana Góes Junghans

Edição executiva

Ronielli Cardoso Reis

Revisão de texto

Maroly Cristina Vieira

Normalização bibliográfica

Lucidalva Ribeiro Gonçalves Pinheiro Perrone (CRB-5/1161)

Projeto gráfico

Leandro Sousa Fazio

Diagramação

Anapaula Rosário Lopes

Publicação digital: PDF

Todos os direitos reservados à Embrapa.

(*Urochloa brizantha* [Syn. *Brachiaria brizantha*] cv. Marandu). The experiment was conducted on the UniFatecie farm in Paranavaí-PR during the 2020/21 growing season, lasting 12 months, in a randomized block design with six treatments and four replications. The study tested combinations of simultaneous and staggered planting between cassava and Marandu grass, with grass control through mowing or herbicide application, in addition to two cassava monoculture stands. Agronomic characteristics of both the crop and the pasture were evaluated. Staggered intercropping showed better performance compared to simultaneous planting, although it resulted in a 23% reduction in root yield compared to monocultures. Cassava development was severely compromised in simultaneous intercropping systems, except for root dry matter content. The pasture showed good dry matter accumulation, sufficient to support grazing. The intercropping system demonstrates potential as a viable crop-livestock integration strategy, although further strategies are needed to minimize cassava yield losses.

Index terms: *Manihot esculenta*, *Urochloa brizantha*, crop-livestock integration, Caiuá sandstone, plant arrangement, BRS 420.

Introdução

Os estados do Paraná, São Paulo e Mato Grosso do Sul, localizados na região Centro-Sul do Brasil, juntos representam 30% da produção nacional de raízes de mandioca (Embrapa, 2024). Nessa região, a mandiocultura é amplamente direcionada ao fornecimento de matéria-prima para indústrias de farinha e, especialmente, de fécula de mandioca. A produção ocorre em pequenas até as grandes áreas de cultivo. Com uma produtividade média de raízes em torno de 23 t ha⁻¹, embora aquém do potencial máximo da cultura, esses estados alcançam as maiores produtividades do país, fruto da implementação de práticas de manejo e da adoção de tecnologias como a mecanização agrícola, cultivares melhoradas, fertilizantes e defensivos agrícolas.

Uma característica comum no Centro-Sul é que os solos destinados ao cultivo de mandioca para uso industrial são derivados da formação arenito Caiuá, do grupo Bauru, uma rocha sedimentar formada pela deposição de areia devido à ação dos ventos. Esses solos são arenosos, pobres em matéria orgânica e nutrientes e altamente suscetíveis à erosão (Fidalski, 1997). A baixa aptidão agrícola e o manejo intensivo do solo, caracterizado pela intensa

movimentação, têm contribuído para a estagnação da produtividade de raízes na última década, para a ocorrência de erosão hídrica nas lavouras e para o aumento dos custos no controle de plantas daninhas. Nessas condições ambientais restritivas, o crescimento inicial da mandioca é ainda mais lento, expondo o solo à degradação por períodos mais longos. A prática da monocultura de mandioca, adotada há pelo menos quatro décadas na região, juntamente ao aumento da frequência de eventos climáticos adversos, como a combinação de seca e temperaturas extremas, representam ameaças significativas ao sistema agroalimentar da mandioca no Centro-Sul.

Os sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) são considerados pela pesquisa agropecuária como modelos sustentáveis e mais resilientes às condições climáticas adversas. Entre esses modelos, a integração lavoura-pecuária (ILP) se destaca por integrar mais facilmente às atividades de lavoura e pecuária, seja em consórcio, sucessão ou rotação, na mesma área (Balbino et al., 2011). Nos últimos anos, os consórcios de culturas (*"intercropping"*) têm ganhado relevância na pesquisa agrícola. De acordo com Willey (1979), o consórcio é definido como o cultivo simultâneo de duas ou mais culturas em uma mesma área. As culturas não precisam ser implantadas exatamente ao mesmo tempo, e seus períodos de colheita podem variar, mas, em geral, compartilham parte significativa de seus períodos de crescimento. O cultivo consorciado é uma técnica importante para o desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis, pois contribui para o aumento de matéria orgânica no solo, reduz a erosão, melhora a eficiência do uso de fertilizantes, promove a diversidade microbiana e amplia a disponibilidade de nutrientes (Toker et al., 2024).

O consórcio milho-braquiária é o sistema ILP mais adotado, utilizado em regiões com invernos menos rigorosos, onde é viável o cultivo consorciado do milho safrinha (outono-inverno) para produção de grãos e da braquiária para produção de forragem ou palha para o plantio direto de soja em sucessão (Cecoon, 2013). Esse sistema é considerado conservacionista, pois mantém o solo permanentemente coberto por vegetação. No entanto, o consórcio milho-braquiária não é uma opção viável para os solos arenosos do Centro-Sul, devido ao elevado risco climático para a cultura do milho. Nessa região, as pastagens para pecuária de corte e a mandioca são interdependentes, pois a mandioca não é cultivada em sequência na mesma área, e as pastagens com baixa capacidade de suporte animal necessitam de renovação constante. Um sistema integrado

baseado no consórcio mandioca-braquiária para os solos arenosos do Centro-Sul poderia oferecer uma alternativa sustentável ao modelo convencional de monocultura, proporcionando maior resiliência às condições climáticas adversas. Um dos principais desafios para desenvolver essa integração é alcançar a viabilidade econômica, que depende de produtividade de raízes iguais ou superiores às da monocultura. A competição interespecífica por recursos de crescimento (água, luz, nutrientes) é o principal fator limitante nos consórcios. Assim, o foco inicial da pesquisa para o sistema integrado deve ser encontrar estratégias de manejo que minimizem a interferência negativa da braquiária na produtividade das raízes de mandioca.

O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos de diferentes estratégias de manejo do capim-marandu em consórcio com a mandioca sobre os desempenhos agrônômicos de ambas as culturas.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental do Centro Universitário UniFatecie, em Paranavaí/PR (23°00'52.0"S; 52°31'17.0"O; 467 m de altitude), durante a safra de 2020/21, com duração de 12 meses. O plantio e a colheita da mandioca ocorreram no mês de agosto, período típico para essas operações na Região Centro-Sul do Brasil, e de baixa oferta de forragem nas pastagens cultivadas. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho distrófico, e o clima da região é Subtropical Úmido (Cfa), com verões quentes, geadas pouco frequentes e chuvas com tendência de concentração entre novembro e março (Nitsche et al., 2019). Os resultados das análises químicas e físicas do solo estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Resultado das análises química e física do solo da área experimental. Amostras coletadas na profundidade de 0–20 cm.

Atributo químico	Unidade	0–20 cm
pH CaCl_2		5,2
Matéria orgânica	g dm ⁻³	8,5
Carbono orgânico	g dm ⁻³	4,9
Fósforo (P)	mg dm ⁻³	19,1
Enxofre (S-SO ₄)	mg dm ⁻³	7,7
Potássio (K ⁺)	mmolc dm ⁻³	1,7
Cálcio (Ca ²⁺)	mmolc dm ⁻³	13,7
Magnésio (Mg ²⁺)	mmolc dm ⁻³	7,1

Continua...

Tabela 1. Continuação.

Atributo químico	Unidade	0–20 cm
Alumínio (Al ³⁺)	mmolc dm ⁻³	0,0
Acidez potencial (H+Al)	mmolc dm ⁻³	21,9
CTC	mmolc dm ⁻³	37,4
V	%	51
Boro (B)	mg dm ⁻³	0,05
Cobre (Cu)	mg dm ⁻³	8,4
Ferro (Fe)	mg dm ⁻³	119,7
Manganês (Mn)	mg dm ⁻³	80,7
Zinco (Zn)	mg dm ⁻³	1,5
Textura		
Areia	%	86,0
Silte	%	2,0
Argila	%	11,8

Mehlich 1 - P e K; KCl 1 mol L⁻¹ - Ca, Mg e Al.

O estudo utilizou o modelo de consorciação em faixas para o cultivo de mandioca e braquiária. A disposição das plantas de mandioca seguiu o arranjo de fileiras duplas (FD), com espaçamento de 0,5 m entre as linhas simples, 0,45 m entre plantas na linha e 2,70 m entre as fileiras duplas. Entre as fileiras duplas de mandioca, foi semeada a braquiária em consórcio. A braquiária utilizada na avaliação foi o capim-marandu (*Urochloa brizantha* [Syn. *Brachiaria brizantha*] cv. Marandu). A densidade populacional da cultivar de mandioca BRS 420 foi de 13.888 plantas por hectare.

As variáveis independentes foram duas épocas de semeadura do capim-marandu: simultânea ao plantio das manivas (S) e defasado em seis meses em relação ao plantio da mandioca (D), coincidindo com o final da estação chuvosa. Também foram testadas duas formas de controle do crescimento do capim-marandu: mecânico, por roçada (R), e químico, por herbicida (H). Assim, os quatro tratamentos consorciados com arranjo em fileiras duplas foram: FD/SH (plantio simultâneo das espécies com controle por herbicida), FD/SR (plantio simultâneo com controle por roçada), FD/DH (plantio defasado com controle por herbicida), FD/DR (plantio defasado com controle por roçada). Como tratamento de controle, foram utilizadas duas monoculturas com arranjo em fileiras simples (FS): FS/86, com espaçamento de 0,86 × 0,86 m e densidade de 13.520 plantas ha⁻¹, e FS/64, com espaçamento de 0,86 × 0,64 m

e densidade de 18.168 plantas ha^{-1} . O delineamento experimental foi em blocos inteiramente casualizados, com seis tratamentos (FD/SH, FD/SR, FD/DH, FD/DR, FS/86 e FS/64) e quatro repetições. As parcelas dos tratamentos consorciados foram compostas por três fileiras duplas de 4,05 m de comprimento, totalizando uma área de 36,85 m^2 . As parcelas das monoculturas consistiram de nove linhas, com comprimentos e áreas específicas: 5,16 m e 39,96 m^2 para FS/86 e 3,84 m e 29,72 m^2 para FS/64.

O preparo do solo foi realizado com uma aração seguida de duas gradagens niveladoras. Os sulcos foram abertos com um microtrator a uma profundidade de 10 cm, e o plantio das manivas foi feito manualmente, posicionando-as de forma horizontal no fundo do sulco (Figura 1). A semeadura do capim-marandu foi realizada manualmente em sulcos com 3 cm de profundidade e espaçados a cada 20 cm, utilizando uma dose de 4 kg ha^{-1} de sementes puras viáveis (SPV).



Figura 1. Preparo do solo com aração e grade niveladora (A). Medição e marcação das parcelas experimentais (B). Plantio das manivas em fileira dupla de mandioca com espaçamento de 0,5 m entre linhas e 0,45 m entre plantas (C). Manivas contendo de 5 a 7 gemas depositadas em posição horizontal no fundo de sulcos de 10 cm de profundidade.

O capim foi mantido a uma distância de 35 cm da linha externa da mandioca até os 120 dias após o plantio (DAP), sendo a distância aumentada para 60 cm a partir desse período, devido à interferência significativa no desenvolvimento da mandioca (Figura 2). A correção do solo, assim como as adubações de plantio e cobertura para a mandioca e o capim-marandu, foram realizadas com base nos resultados da análise de solo (Tabela 1)

e nas recomendações do manual de adubação e calagem para o estado do Paraná (Pauletti e Motta, 2019). O manejo das plantas daninhas foi feito com herbicidas pré-emergentes aplicados logo após o plantio (para a mandioca: Clo-mazone, 1,0 kg i.a. ha⁻¹ + S-metolachlor, 1,92 kg i.a. ha⁻¹; para o capim: flumioxazin, 45 g i.a. ha⁻¹), complementados com capinas manuais a partir de 45 DAP.



Fotos: Marcelo Ribeiro Romano

Figura 2. Capim-marandu mantido a uma distância de 35 cm da linha externa da mandioca até os 120 dias após o plantio (A). Parcela retratando a ampliação da distância para 60 cm entre o capim e a linha do plantio da mandioca (B).

O manejo do crescimento do capim-marandu com herbicida foi iniciado aos 35 dias após a semeadura, aplicando-se uma subdose de fluazifop-p-butyl (55 g i.a. ha⁻¹) e repetindo a aplicação sempre que o capim atingia 20 cm de altura. Foram realizadas três aplicações no tratamento FD/SH e uma aplicação no tratamento FD/DH. O controle mecânico do crescimento do capim, por meio de roçadas, foi realizado aos 90, 120, 150, 180, 210 e 260 dias após o plantio (DAP) no tratamento FD/SR. As roçadas foram feitas com roçadeira costal manual, rebaixando o capim a uma altura de 10 cm. No tratamento FD/DR, o capim não atingiu altura suficiente para o corte, de modo que não foi necessário realizar controle do crescimento durante a fase do consórcio. Após cada roçada, a produtividade de massa seca do capim foi avaliada. As amostras foram secas em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C. Para o cálculo da massa seca, foi considerada a massa fresca total cortada em cada parcela e o teor médio de matéria seca, obtido de quatro amostras representativas, uma de cada repetição.

O crescimento da mandioca foi avaliado por meio de coletas de dados referentes à altura das plantas e ao diâmetro do caule de 14 plantas consecutivas em cada parcela, realizadas aos 120, 180, 240, 300 e 360 dias após o plantio (DAP). A altura das plantas (cm) foi determinada medindo-se a distância entre a base da planta e a extremidade da ramificação mais alta com o uso de uma régua. O diâmetro do caule (mm) foi coletado a 5 cm de altura em relação à superfície do solo utilizando-se um paquímetro.

A colheita das raízes de mandioca foi realizada 12 meses após o plantio, por meio de arranquio manual. Foram colhidas 14 plantas da fileira dupla central nas parcelas dos tratamentos de consórcio, descartando-se as plantas das extremidades das linhas. Nas parcelas dos tratamentos em monocultura, a colheita também envolveu 14 plantas, coletadas das linhas mais centrais, com o descarte das plantas das extremidades (Figura 3).



Figura 3. Parcela com arranjo de fileiras simples no momento da colheita (A). Observa-se o solo ausente de plantas. Parcela com 14 plantas arrancadas e amontoadas para o início da avaliação de produção (B). Observa-se uma planta da extremidade da linha deixada na parcela sem colher.

As características agrônômicas da mandioca avaliadas incluíram: número de raízes por planta (NR, $n\ pl^{-1}$), massa fresca de raízes por planta (MFR, $kg\ pl^{-1}$), estimativa da produtividade de raízes (Praiz, $t\ ha^{-1}$), massa fresca da parte aérea (MFPA, $kg\ pl^{-1}$), massa fresca total (MFT, $kg\ pl^{-1}$), índice de colheita (IC), teor de matéria seca nas raízes (MSR, %) e estimativa da produtividade de amido (Pamido, $t\ ha^{-1}$). A MFPA foi determinada pela soma das massas dos diferentes órgãos da parte aérea (cepa, caule e ramificações apicais). A MFT foi obtida pela soma da MFPA com a MFR. O IC foi calculado dividindo-se a MFR pela MFT. O teor de matéria seca nas raízes foi determinado pelo método da balança hidrostática com amostras de 5 kg. A Pamido foi calculada a partir dos valores de Praiz e do teor de amido (%), obtido aplicando-se uma constante na fórmula de determinação do teor

de matéria seca, conforme a metodologia proposta por Kawano et al. (1987).

Na colheita das raízes de mandioca, foram avaliadas as características agrônômicas do capim-marandu para a estimativa de produtividade de massa seca ($g\ m^{-2}$), cobertura do solo (%) e ocupação da área pela pastagem (%). A massa seca foi calculada a partir dos dados de massa fresca obtidos pelo método do quadro amostrador ($0,5\ x\ 0,5\ m$), com três lançamentos aleatórios por parcela, e o teor de matéria seca das amostras secas em estufa. A cobertura do solo pelo capim-marandu na faixa semeada foi estimada por meio da média de notas (0 a 5) atribuídas por dois avaliadores. A ocupação da área pela pastagem foi estimada nas parcelas com base na distância entre as bordas do capim no transecto capim-mandioca-capim (Figura 4).



Foto: Marcelo Ribeiro Romano

Figura 4. Medida da distância entre as bordas do capim no transecto capim – mandioca – capim logo após a colheita das raízes. A medida foi usada para o cálculo da ocupação da área pela pastagem em cada tratamento no momento da colheita.

Dois meses após a colheita (outubro/2021), o pasto nas parcelas foi reavaliado para estimativa da produtividade de massa seca. A metodologia utilizada baseou-se na relação entre a altura do pasto e a massa seca da forragem. Cada parcela foi dividida transversalmente em três seções: inicial, média e final. Em cada seção, foi traçada uma linha de transecto capim-mandioca-capim. Ao longo de cada transecto, foram realizadas leituras de altura em sete pontos equidistantes usando uma régua graduada, totalizando 21 leituras por parcela. Para determinar a massa seca média da parcela, foi construída uma curva de regressão para gerar a equação que define a relação entre altura e massa seca, com base na amplitude das alturas observadas nas medidas anteriores. A produtividade de massa seca da pastagem foi então estimada em kg ha^{-1} .

Os dados foram analisados estatisticamente por meio de análise de variância, e as médias foram

comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância, utilizando o software Sisvar.

Resultados e discussão

Altura de plantas e diâmetro do caule

De modo geral, as plantas de mandioca apresentaram crescimento ativo até aproximadamente 240 DAP, período que coincidiu com as estações da primavera e verão, caracterizadas por condições ambientais favoráveis ao desenvolvimento da cultura (Figura 5). A avaliação realizada aos 240 DAP ocorreu em abril, no início do outono, estação que, no Centro-Sul do Brasil, é marcada pela redução do fotoperíodo, temperaturas amenas e menores precipitações. Essas condições desfavorecem o crescimento vegetativo da parte aérea da mandioca, o que se reflete, conforme demonstrado nas Figuras 6A e 6B, na redução dos incrementos de altura e diâmetro do caule das plantas a partir desse período.

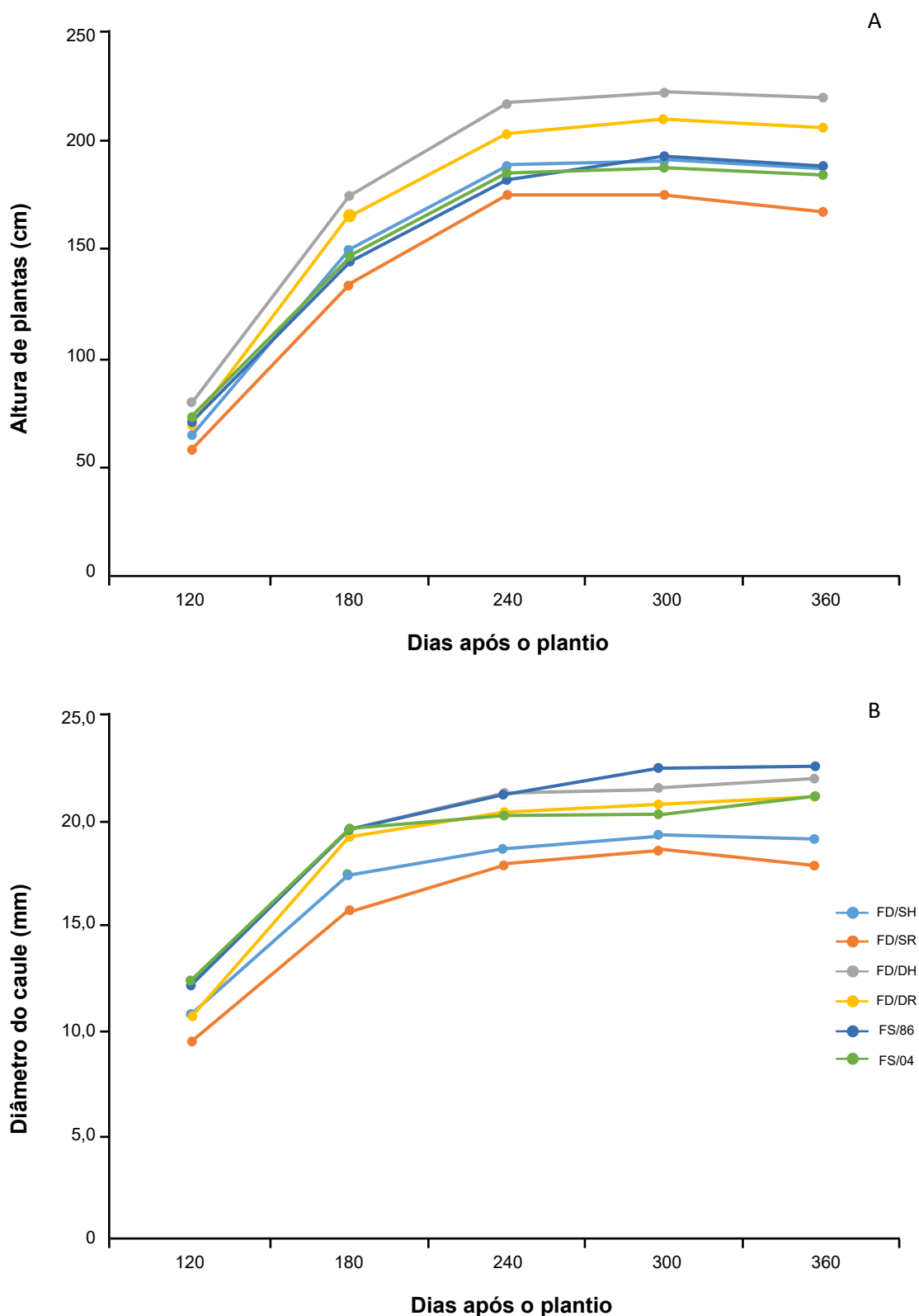


Figura 5. Altura de plantas (A) e diâmetro do caule (B) da mandioca ao longo do ciclo de 12 meses sob arranjos de fileiras simples e duplas e sob efeito de diferentes formas de manejo do consórcio mandioca-braquiária. FD/SH: arranjo de plantio em fileiras duplas, semeadura simultânea do capim, manejo do crescimento com herbicida; FD/SR: arranjo de plantio em fileiras duplas, semeadura simultânea do capim, manejo do crescimento com roçadeira; FD/DH: arranjo de plantio em fileiras duplas, semeadura defasada do capim, manejo do crescimento com herbicida; FD/DR: arranjo de plantio em fileiras duplas, semeadura defasada do capim, manejo do crescimento com roçadeira; FS/86: arranjo de plantio em fileiras simples com espaçamento entre plantas de 86 cm; FS/64: arranjo de plantio em fileiras simples com espaçamento entre plantas de 64 cm.

As alturas e diâmetros das plantas obtidos na primeira avaliação, aos 120 DAP, indicam que os diferentes tratamentos já haviam exercido alguma influência sobre o crescimento inicial da mandioca, com médias variando de 58,4 a 80 cm e de 9,4 a 12,4 mm para a altura e diâmetro, respectivamente, apesar da não significativa diferença estatística ($p < 0,05$). A altura atingida em FD/SR indica que a semeadura simultânea do capim-marandu ao plantio das manivas, sob manejo mecânico, resultou em uma forte competição entre as espécies. Importante ressaltar que o capim-marandu foi mantido a uma distância de 35 cm das linhas externas da mandioca até os 120 DAP, sendo, a partir dessa época, a distância ampliada para 60 cm. Essa alteração pareceu determinante para que o incremento médio em altura entre 120 e 240 dias observados no referido tratamento (117 cm) se assemelhassem em números aos auferidos pelos tratamentos em monocultura (112 cm) e FD/SH (123 cm), e resultando em médias sem diferença significativa entre si aos 240 DAP, evidenciando que a redução da competição pelo capim contribuiu para um crescimento mais equilibrado da planta.

No tratamento FD/SH, a altura das plantas de mandioca apresentou menor interferência do capim-marandu, descrevendo uma curva de crescimento semelhante à observada nas monoculturas em fileiras simples (Figura 5A). Esse resultado sugere que o manejo com subdose de herbicida foi mais eficiente em atenuar a competição imposta pelo capim-marandu do que o manejo mecânico por roçada. Entre 120 e 180 DAP, os tratamentos com semeadura defasada do capim (FD/DH e FD/DR) destacaram-se pelos maiores incrementos na altura das plantas, diferindo estatisticamente de outros tratamentos ($p < 0,05$). Tal desempenho pode ser atribuído à ausência inicial do capim-marandu no consórcio até os 180 DAP, em contraste com os consórcios implantados de forma simultânea, além da maior penetração de radiação solar lateral proporcionada pelo arranjo de fileiras duplas, em comparação aos de fileiras simples.

A hipótese de que o incremento na altura das plantas estaria associado a um processo de estiolamento foi descartada. Essa exclusão se fundamenta na pequena diferença observada entre as médias do diâmetro dos caules das plantas em consórcio sob fileiras duplas e aquelas em monoculturas com fileiras simples (Figura 5B). Ademais, a típica resposta fisiológica de estiolamento, caracterizada pelo aumento desproporcional da altura em detrimento do engrossamento do caule, não foi constatada no tratamento de monocultura com alta densidade

populacional (FS/64; 18.168 plantas ha^{-1}). Nesse tratamento, as alturas permaneceram muito semelhantes às observadas nos arranjos FS/86 (13.520 plantas ha^{-1}) e FD/SH (13.520 plantas ha^{-1}) ao longo de todo o ciclo de cultivo (Figura 5A).

O diâmetro do caule das plantas de mandioca apresentou incrementos significativos até os 240 dias após o plantio (DAP). Embora a taxa de crescimento tenha se reduzido com o avanço do ciclo, o engrossamento do caule manteve-se ativo até 360 DAP, em contraste com a altura, cujo crescimento cessou completamente aos 300 DAP (Figuras 5A e 5B). Essa resposta fisiológica pode ser atribuída à translocação basípeta de fotoassimilados, direcionada pela força de dreno exercida pelas raízes tuberosas (Ruiz-Vera et al., 2021). Segundo Alves. (2002), a partir de 180 DAP das manivas, as raízes tuberosas passam a constituir o principal dreno dos carboidratos produzidos pela fotossíntese, bem como dos derivados da remobilização de folhas em senescência. Nesse processo de translocação, que ocorre das folhas (fonte) até as raízes (dreno), o caule exerce papel central ao viabilizar o transporte por meio de sua densa rede vascular. Parte dos açúcares conduzidos pelo caule pode ser metabolizada para a formação de novas estruturas vasculares ou armazenada, servindo de reserva energética para o desenvolvimento de ramos e folhas no início da estação subsequente de crescimento. Esse mecanismo contínuo de transporte e acúmulo de reservas explica os incrementos progressivos no diâmetro do caule observados até períodos próximos à colheita.

Os tratamentos em consórcio simultâneo apresentaram as menores médias de diâmetro do caule das plantas de mandioca ao longo de todo o ciclo de desenvolvimento, diferindo significativamente ($p < 0,05$) dos demais tratamentos na última avaliação. Dentre eles, o tratamento FD/SR apresentou o menor crescimento, resultado possivelmente associado à competição mais intensa com o capim-marandu, sobretudo até os 180 DAP, e à menor eficiência do manejo mecânico na contenção do crescimento dessa gramínea (Figura 5B).

Após a introdução do capim, o tratamento FD/DR apresentou incrementos no diâmetro do caule inferiores aos observados em FD/DH e semelhantes aos registrados em FS/64 (Figura 5B). No tratamento FD/DH, os aumentos no diâmetro foram comparáveis aos de FS/86 até aproximadamente 240 DAP. Entretanto, entre 240 e 360 DAP, o tratamento FS/86 manteve ligeira vantagem no incremento do diâmetro do caule em relação à FD/SH (Figura 5B).

Componentes de rendimento, produtividade e índice de colheita

Os tratamentos FS/64 e FS/86 apresentaram as maiores médias de número de raízes (NR) por planta, com valores de 8,1 e 9,6 raízes, respectivamente, embora esses resultados não tenham diferido significativamente ($p < 0,05$) do tratamento

em consórcio FD/DR (Tabela 2). Além disso, FS/64 não mostrou diferença estatística em relação aos demais tratamentos em consórcio, com exceção de FD/SH. Observou-se que a época de semeadura do capim-marandu nos consórcios não teve influência significativa sobre o número de raízes por planta.

Tabela 2. Médias do número de raízes por planta (NR), massa fresca de raiz por planta (MFR), estimativa da produtividade de raízes (Praiz), massa fresca da parte aérea da planta (MFPA), massa fresca total da planta (MFT), índice de colheita (IC), teor de matéria seca na raiz (MSR) e estimativa da produtividade de amido (Pamido) da mandioca cv. BRS 420 sob diferentes estratégias de estabelecimento e manejo do consórcio mandioca-braquiária.

Manejo	NR (n pl ⁻¹)	MFR (kg pl ⁻¹)	PRAIZ (t ha ⁻¹)	MFPA (kg pl ⁻¹)	MFT (kg pl ⁻¹)	IC (kg kg ⁻¹)	MSR (%)	PAMIDO (t ha ⁻¹)
FD/SH	5,5 c	0,92 c	12,8 d	1,14 bc	2,06 cd	0,45 c	39,8 a	4,50 cd
FD/SR	6,8 bc	0,93 c	12,9 d	0,90 c	1,83 d	0,51 bc	39,1 ab	4,45 d
FD/DH	6,4 bc	1,54 b	21,3 bc	1,55 a	3,09 ab	0,50 bc	37,5 abc	7,00 b
FD/DR	7,0 ab	1,44 b	20,0 c	1,43 ab	2,87 b	0,50 bc	36,2 c	6,25 bc
FS/86	9,6 a	2,06 a	27,8 a	1,47 ab	3,53 a	0,59 a	37,3 bc	9,10 a
FS/64	8,1 ab	1,44 b	26,2 ab	1,23 abc	2,67 bc	0,54 ab	38,2 abc	8,80 a
CV%	12,7	11,2	11,0	13,7	10,6	6,5	2,8	11,4

FD/SH: arranjo de plantio em fileiras duplas, semeadura simultânea do capim, manejo do crescimento com herbicida; FD/SR: arranjo de plantio em fileiras duplas, semeadura simultânea do capim, manejo do crescimento com roçadeira; FD/DH: arranjo de plantio em fileiras duplas, semeadura defasada do capim, manejo do crescimento com herbicida; FD/DR: arranjo de plantio em fileiras duplas, semeadura defasada do capim, manejo do crescimento com roçadeira; FS/86: arranjo de plantio em fileiras simples com espaçamento entre plantas de 86 cm; FS/64: arranjo de plantio em fileiras simples com espaçamento entre plantas de 64 cm.

* Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); CV%: coeficiente de variação.

As médias do número de raízes observadas entre os tratamentos sugerem que a competição intraespecífica contribuiu para a definição do número de raízes tuberosas. Esse aumento na competição pode estar relacionado à redução na distância entre plantas na linha de plantio, conforme os diferentes arranjos. A ordem decrescente das médias de raízes, 9,6; 8,1 e 6,4 raízes por planta, correspondeu à ordem decrescente das distâncias entre plantas: 0,86 m, 0,64 m e 0,45 m para os arranjos FS/86, FS/64 e FD, respectivamente (Tabela 2).

Além disso, a água do solo provavelmente foi o recurso em maior concorrência entre as plantas de mandioca, especialmente considerando a baixa capacidade de retenção de água, característica do solo arenoso no local de estudo.

A massa fresca de raízes por planta (MFR) foi influenciada pelos arranjos de plantas e pela época de semeadura do capim-marandu no consórcio (Tabela 2). O maior espaçamento entre plantas, observado na monocultura em fileiras simples (FS/86),

resultou na maior média de MFR (2,06 kg por planta), superando em 30% as médias dos tratamentos FD/DR, FD/DH e FS/64 e em mais de 50% as médias dos tratamentos FD/SR e FD/SH. Os tratamentos com plantio defasado do capim apresentaram médias de MFR semelhantes ao tratamento FS/64, sugerindo que o grau de competição entre plantas nesses tratamentos foi similar. Em contrapartida, os tratamentos com plantio em fileiras duplas e simultâneo ao do capim mostraram as menores médias de MFR, sem diferenças significativas entre eles, evidenciando que as competições intra e interespecífica se somaram na determinação da massa fresca de raízes. Observou-se ainda que as formas de manejo da braquiária, seja mecânico (R) ou químico (H), não tiveram impacto significativo sobre a MFR, sendo a época de implantação do consórcio (S ou D) um fator mais determinante para esse componente de rendimento (Tabela 2).

A produtividade de raízes (Praiz) não seguiu o mesmo padrão estatístico da MFR devido à variação

nos estandes de plantas entre os diferentes arranjos (Tabela 2). Os tratamentos em monocultura não apresentaram diferenças significativas entre si, com uma média aproximada de 27 t ha^{-1} . Esse resultado é relevante para a nova cultivar BRS 420, pois evidencia a sua plasticidade em responder a uma ampla faixa de densidade populacional. Dessa forma, o agricultor pode optar por espaçamentos menores, visando uma cobertura mais rápida do solo e os benefícios associados, como proteção contra erosão e supressão de plantas daninhas. Alternativamente, espaçamentos maiores podem ser preferidos em função do custo elevado e da disponibilidade limitada de material propagativo dessa nova cultivar. A média de Praiz do tratamento FD/DH não diferiu estatisticamente da observada no tratamento FS/64. Nos consórcios com semeadura defasada do capim-marandu, a produtividade média foi de aproximadamente 21 t ha^{-1} , diferindo significativamente dos consórcios com semeadura simultânea das espécies, que apresentaram uma produtividade média reduzida ($12,8 \text{ t ha}^{-1}$). Os resultados de Praiz sugerem que o espaçamento utilizado no arranjo de fileiras duplas — que apresentou densidade populacional próxima à do tratamento FS/86 — gerou maior competição entre plantas, não apenas pela presença da braquiária, mas também pela maior proximidade entre plantas de mandioca. A redução dessas perdas em arranjos consorciados poderá ser alcançada por meio da seleção de cultivares com características morfofisiológicas mais adequadas ao arranjo em fileiras duplas, bem como pelo ajuste do espaçamento tanto entre plantas na linha quanto entre as linhas que compõem a fileira dupla.

As médias de massa fresca da parte aérea (MFPA) das plantas nos consórcios defasados e nas monoculturas não apresentaram diferença estatística significativa, indicando que o investimento em recursos para formar o aparato fotossintético de cada planta foi semelhante entre esses tratamentos (Tabela 2). Os resultados da massa fresca total da planta (MFT) mostraram que os consórcios com plantio defasado de mandioca com capim-marandu apresentaram média de produtividade biológica semelhante à das monoculturas em fileiras simples (Tabela 2).

O índice de colheita (IC) revelou uma variação na destinação dos fotoassimilados em função da disposição das plantas em fileiras simples ou duplas. No arranjo em fileira simples, a maior parte dos fotoassimilados foi direcionada para o crescimento das raízes, enquanto nas fileiras duplas, os

recursos foram divididos de forma equilibrada entre o crescimento da parte aérea e o das raízes (Tabela 2). Esses padrões de alocação dos fotoassimilados contribuíram para os resultados de produtividade de raízes observados entre os tratamentos. Os maiores valores de IC foram obtidos nos tratamentos em fileiras simples, com média de 0,56; ao passo que, os tratamentos em consórcio alcançaram menores índices com média de 0,49 (Tabela 2).

O teor de matéria seca nas raízes (MSR) foi elevado para todos os tratamentos, variando de 36,2 a 39,8%. Destaca-se o elevado enriquecimento de amido nas raízes dos tratamentos de consórcio simultâneo (Tabela 2). Esse é um importante indicativo de que a presença da braquiária em consórcio desde o início do desenvolvimento da mandioca não interfere no ganho de matéria seca pela raiz ou ainda pode favorecer esse enriquecimento. Os resultados indicam uma relação inversa entre o número de raízes e MSR, ou seja, quanto maior o número de drenos para o armazenamento da substância de reserva, maior será o efeito de diluição da substância no órgão de reserva. As produtividades de amido (Pamido) pelos tratamentos seguiram o mesmo ranqueamento das médias de produtividade de raízes. As monoculturas se destacaram com Pamido em torno de 9 t ha^{-1} , os consórcios defasados com média em torno de $6,5 \text{ t ha}^{-1}$ e os consórcios simultâneos apresentaram as menores médias, em torno de $4,5 \text{ t ha}^{-1}$ (Tabela 2).

Desempenho agrônômico do capim-marandu

A massa seca produzida pelo capim-marandu em cada uma das seis roçadas de manejo de crescimento no tratamento FD/SR está apresentada na Figura 6. O maior acúmulo de massa seca entre duas roçadas sucessivas, realizadas em intervalos de 30 dias, ocorreu entre 120 e 150 DAP, coincidindo com os meses de dezembro e janeiro. Após esse período, a produção de massa seca do capim foi mais limitada, sendo influenciada principalmente pela disponibilidade de radiação solar. Ao final das seis roçadas, o acúmulo total de massa seca do capim-marandu nas parcelas superou 300 g m^{-2} .

Além de contribuir com o aporte de carbono ao solo e a reciclagem de nutrientes, a massa seca das roçadas do capim-marandu poderá ser explorada como uma alternativa rentável para a produção de feno ou pré-secado nas faixas intercalares do cultivo de mandioca, à medida que o consórcio avance com o apoio de novos estudos.

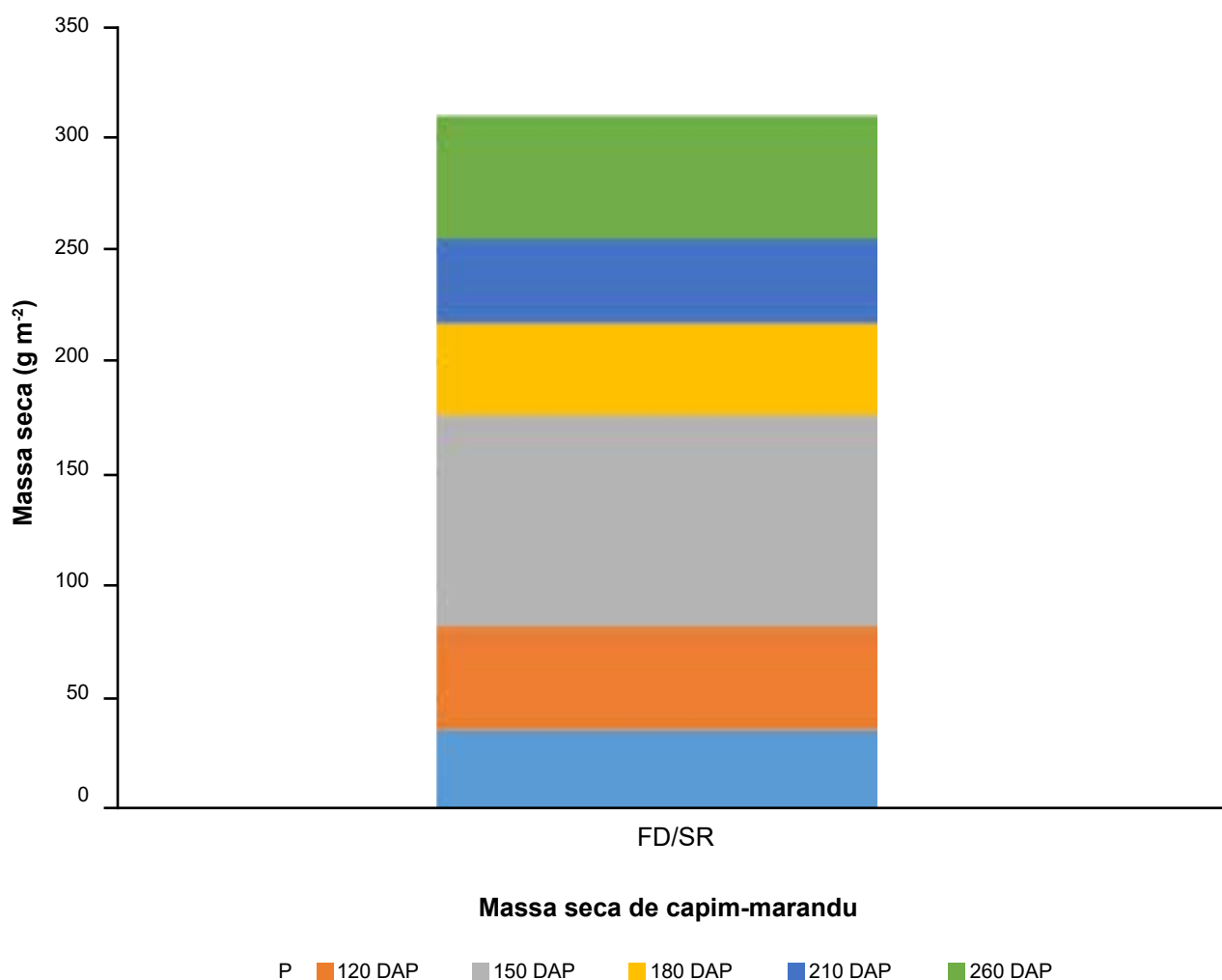


Figura 6. Massa seca de capim-marandu roçado em seis épocas para manejo do crescimento no consórcio simultâneo de mandioca-braquiária, ao longo de 1 ciclo de cultivo da mandioca.

A ocupação da área pela pastagem de capim-marandu no momento da colheita da mandioca foi de aproximadamente 60% nos tratamentos FD/SH, FD/SR e FD/DR, e de 50% no tratamento com consórcio defasado sob manejo de crescimento do capim com herbicida (FD/DH) (Tabela 3). Esses três consórcios também apresentaram elevada cobertura do solo, com médias entre 74 e 87%. Apesar das dificuldades de estabelecimento causadas pelo sombreamento da faixa intercalar e pelas condições ambientais desfavoráveis do outono e inverno para o crescimento de uma gramínea tropical, o capim do tratamento FD/DR alcançou uma boa cobertura

do solo. Esse nível de cobertura pela braquiária no momento da colheita indica que o ambiente dos consórcios foi adequado para o estabelecimento do capim-marandu.

Uma maior taxa de cobertura pela pastagem ao final do inverno proporciona maior proteção do solo contra erosão e garante uma alta produção de forragem na entrada da primavera. A maior média de estimativa de massa seca foi obtida por FD/SH, o que destaca a capacidade de recuperação do capim após o fim do efeito fitotóxico causado pela última aplicação da subdose do herbicida fluazifop-p-butyl. Apesar de o tratamento FD/SR apresentar menor

estimativa de massa seca na colheita (279 g m^{-2}), ao longo do ciclo de cultivo da mandioca, obteve maior produção acumulada nos cortes (309 g m^{-2} ; Figura 6). Esse valor resultou em um rendimento total de 588 g m^{-2} , superando a média do tratamento FD/SH (444 g m^{-2}), que não foi submetido a cortes até a colheita. A média de FD/DR foi de 140 g m^{-2} de massa seca, o dobro da obtida por FD/DH, embora ainda bem abaixo das médias dos consórcios simultâneos. Esses resultados sugerem que, apesar do estabelecimento do capim-marandu e da boa cobertura do solo, as condições ambientais da faixa intercalar nos últimos seis meses da cultura (outono-inverno) não foram ideais para o crescimento da gramínea.

No tratamento FD/DR, o capim-marandu não atingiu a altura necessária para manejo com roçadas. Já FD/DH apresentou as menores médias de ocupação de área, cobertura do solo e estimativa de massa seca na colheita. Além das condições limitantes de crescimento no outono-inverno, a aplicação da subdose de herbicida retardou ainda mais o desenvolvimento do capim. Em contrapartida, FD/DH foi o tratamento com melhor desempenho agrônomo para a mandioca (Tabela 2).

Esses resultados reforçam a competitividade da braquiária e o fato de que as produtividades individuais das culturas consorciadas tendem a ser menores do que no cultivo em monocultura. Assim, a viabilidade do consórcio mandioca-braquiária dependerá da soma dos ganhos econômicos das culturas (mandioca e capim) em consórcio e dos benefícios ambientais proporcionados a curto, médio e longo prazos.

Tabela 3. Médias da ocupação da área pela pastagem, cobertura do solo pela pastagem e produtividade de massa seca do capim-marandu sob diferentes manejos do consórcio mandioca/braquiária, no momento da colheita das raízes de mandioca.

Manejo	Ocupação (%)	Cobertura (%)	Massa seca (g m^{-2})
FD/SH	60	82	444
FD/SR	59	87	279
FD/DH	52	31	70
FD/DR	58	74	140

FD/SH: arranjo de plantio em fileiras duplas, semeadura simultânea do capim, manejo do crescimento com herbicida; FD/SR: arranjo de plantio em fileiras duplas, semeadura simultânea do capim, manejo do crescimento com roçadeira; FD/DH: arranjo de plantio em fileiras duplas, semeadura defasada do capim, manejo do crescimento com herbicida; FD/DR: arranjo de plantio em fileiras duplas, semeadura defasada do capim, manejo do crescimento com roçadeira.

Avaliação da pastagem

Após a colheita, as condições ambientais favoráveis da primavera e a ausência de competição com a mandioca permitiram um crescimento vigoroso do capim-marandu nos dois meses que antecederam a avaliação do pasto. As produtividades de massa seca de forragem da pastagem de capim-marandu, obtidas nas quatro estratégias de consorciação mandioca-braquiária, refletem as condições ideais de crescimento da gramínea na primavera (Tabela 4).

Os sistemas FD/SH e FD/SR se destacaram, alcançando produtividades de massa seca de forragem em torno de 7 t ha^{-1} . O consórcio defasado com manejo de crescimento do capim por roçadas (FD/DR) obteve uma produtividade intermediária, com média de 5 t ha^{-1} . O consórcio defasado com aplicação de subdose de herbicida para limitar o crescimento do capim (FD/DH) apresentou a menor média, com produtividade de $3,5 \text{ t ha}^{-1}$. Na colheita, a produtividade de massa seca média de FD/DH foi 50% da média de FD/DR (Tabela 3). Após dois meses, essa proporção reduziu para 27%, demonstrando a grande capacidade de recuperação do consórcio FD/DH.

Tabela 4. Produtividade de massa seca de forragem de pastagem de capim-marandu sob diferentes manejos do consórcio mandioca/braquiária, após dois meses da colheita das raízes de mandioca.

Manejo	Massa seca (kg ha^{-1})
FD/SH	7427 a*
FD/SR	6611 a
FD/DH	3651 c
FD/DR	5021 b
CV (%)	12,5
Valor-p	0,0002

FD/SH: arranjo de plantio em fileiras duplas, semeadura simultânea do capim, manejo do crescimento com herbicida; FD/SR: arranjo de plantio em fileiras duplas, semeadura simultânea do capim, manejo do crescimento com roçadeira; FD/DH: arranjo de plantio em fileiras duplas, semeadura defasada do capim, manejo do crescimento com herbicida; FD/DR: arranjo de plantio em fileiras duplas, semeadura defasada do capim, manejo do crescimento com roçadeira. *Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); CV%: coeficiente de variação; Valor-p: probabilidade de significância.

Na avaliação realizada em outubro, todas as áreas consorciadas apresentaram pastagens com massa seca suficiente para permitir o ingresso do gado em pastoreio, adequando-se para cada uma delas a capacidade de suporte de carga animal (Figura 7).



Figura 7. Área experimental dois meses após a colheita da mandioca (outubro) (A). Detalhe do capim-marandu em uma das parcelas do consórcio mandioca-braquiária (B).

Conclusões

1. O capim-marandu, quando semeado simultaneamente ao plantio da mandioca, exerce intensa competição por recursos ambientais nos primeiros 120 dias de crescimento. Manter uma distância de 60 cm entre o capim e as linhas externas de mandioca, até o início do repouso fisiológico da mandioca, minimiza essa competição.
2. As estratégias de manejo para controle do crescimento do capim, utilizando subdoses de herbicida ou roçada mecânica, apresentam desempenhos equivalentes em termos de produtividade de raízes. Assim, a escolha da técnica de manejo deve priorizar outros benefícios potenciais ao sistema, como a sustentabilidade ambiental, a conservação do solo, a viabilidade econômica e operacional, além de impactos positivos no manejo integrado e na resiliência do agroecossistema.
3. O arranjo em fileiras duplas intensifica a competição intraespecífica entre as plantas

- de mandioca, devido à proximidade entre elas, o que pode reduzir a disponibilidade de água para cada planta.
4. O arranjo em fileiras duplas não limita o crescimento da planta, o acúmulo de fitomassa ou o enriquecimento de amido nas raízes; no entanto, a partição de fotoassimilados é mais suscetível a alterações em comparação ao arranjo de fileiras simples.
 5. É viável a aplicação da dose reduzida de fluazifop-p-butyl e da roçagem para supressão do capim-marandu a fim de minimizar a interferência do capim sobre a cultura da mandioca.
 6. O consórcio mandioca/braquiária, com plantios defasados, proporciona melhor desempenho agrônomo da cultura da mandioca, ao passo que, os plantios simultâneos proporcionam maiores produtividades de matéria seca do capim-marandu.
 7. No consórcio mandioca/braquiária em plantios defasados, o manejo do crescimento do capim-marandu pode ser dispensado, uma vez que a planta não atinge altura suficiente para justificar a roçagem, e não foram observadas diferenças no desempenho agrônomo quando comparado ao manejo realizado com aplicação única de fluazifop-p-butyl.
 8. Todas as estratégias de consórcio entre mandioca e braquiária resultaram em pastagens na primavera com boa produção de massa seca e capazes de suportar pastoreio pelo gado.

Referências

- ALVES, A. A. C. Cassava botany and physiology. In: R. J. Hillocks, J. M. Tresh, & A. C. Belloti (Ed.), **Cassava: biology, production and utilization**. New York: CABI Publishing. Cap. 5, p. 67-89, 2002.
- EMBRAPA MANDIOCA E FRUTICULTURA. **Base de dados**. 2024. Disponível em: https://www.cnpmf.embrapa.br/Base_de_Dados/index_xls/brasil/mandioca/mandioca_brasil.htm. Acesso em: 29 ago. 2024.
- CECCON, G. **Consórcio milho-braquiária**. Brasília: Embrapa Agropecuária Oeste, 2013. 175p.
- BALBINO, L. C.; BARCELLOS, A. O.; STONE, F. L. **Marco referencial: integração lavoura-pecuária floresta (ILPF)**. Brasília, DF: Embrapa, 2011. 130 p.
- FIDALSKI, J. Fertilidade do solo sob pastagens, lavouras anuais e permanentes na região noroeste do Paraná. **R. Unimar**, v.19, p.853-861, 1997.
- KAWANO, K.; FUKUDA, W. M. G.; CENPUKDEE, U. Genetic and environmental effects on dry matter content of cassava root. **Crop Science**, v. 26, p. 69-74, 1987.
- NITSCHKE, P. R.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. da S.; PINTO, L. F. D. **Atlas climático do Estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2019.
- PAULETTI, V.; MOTTA, A. C. V. (Coord.) **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. 2. ed., Curitiba: Núcleo Estadual Paraná da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; NEPAR-SBCS, 2019. 289 p.
- RUIZ-VERA, U. M.; DE SOUZA, A. P.; AMENT, M. R.; GLEADOW, R. M.; ORT, D. R. High sink strength prevents photosynthetic down-regulation in cassava grown at elevated CO₂ concentration. **Journal of Experimental Botany**, 72 n.2, p. 542-560, 2021. Disponível em : <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa459> Acesso em: 01 set. 2024.
- TOKER, P.; CANCI, H.; TURHAN, I.; ISCI, A.; SCHERZINGER, M.; KORDROSTAMI, M.; YOL, E. The advantages of intercropping to improve productivity in food and forage production – a review. **Plant Production Science**, v.2, n.3, 155-169, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/1343943X.2024.2372878>. Acesso em: 30 ago. 2024.
- WILLEY, R. W. Intercropping- its importance and research needs. Part 1: competition and yield advantages. **Field Crop Research**, v.32, p.1-10. 1979.