

Kátia Fernanda Gobbi
Mário Takahashi
Mateus Carvalho Basílio de Azevedo
Jones Fidalski
Simony Marta Bernardo Lugão

**PLANTIO DIRETO
DE MANDIOCA EM
SISTEMAS INTEGRADOS
DE PRODUÇÃO
AGROPECUÁRIA NO
NOROESTE DO PARANÁ**

**PLANTIO DIRETO DE MANDIOCA
EM SISTEMAS INTEGRADOS DE
PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA
NO NOROESTE DO PARANÁ**



Governador do Estado do Paraná

Carlos Massa Ratinho Júnior

Secretário da Agricultura e do Abastecimento

Norberto Anacleto Ortigara



Diretor-Presidente

Natalino Avance de Souza

Diretora de Pesquisa e Inovação

Vania Moda Cirino

Diretor de Extensão Rural

Diniz Dias Doliveira

Diretor de Integração Institucional

Rafael Fuentes Llanillo

Diretora de Gestão Institucional

Solange Maria da Rosa Coelho

Diretor de Gestão de Negócios

Altair Sebastião Dorigo

CONSELHO EDITORIAL

Vania Moda Cirino – Coordenadora

Diniz Dias Doliveira

Rafael Fuentes Llanillo

Milton Satoshi Matsushita

Álison Néri

PLANTIO DIRETO DE MANDIOCA EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA NO NOROESTE DO PARANÁ

Kátia Fernanda Gobbi

Mário Takahashi

Mateus Carvalho Basílio de Azevedo

Jonez Fidalski

Simony Marta Bernardo Lugão



IDR-Paraná

Londrina
2023

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

P714 Plantio direto de mandioca em sistemas integrados de produção agropecuária no noroeste do Paraná [livro eletrônico] / Kátia Fernanda Gobbi... [et al.]. – Londrina, PR: IDR-Paraná, 2023. 44 p. (Boletim técnico; n. 104)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISSN 0100-3054

1. Mandioca – Cultivo. I. Gobbi, Kátia Fernanda. II. Takahashi, Mário. III. Azevedo, Mateus Carvalho Basílio de. IV. Fidalski, Jonez. V. Lugão, Simony Marta Bernardo. VI. Título. VII. Série.

CDD 633.682

AUTORES

Kátia Fernanda Gobbi

Zootecnista

M. Sc. em Zootecnia

Dra. em Zootecnia

Pesquisadora da Área Técnica de Produção Animal

Mário Takahashi

Engenheiro-agrônomo

M. Sc. em Agronomia

Dr. em Agronomia

Pesquisador da Área Técnica de Fitotecnia

IDR-Paraná

Mateus Carvalho Basílio de Azevedo

Engenheiro-agrônomo

M. Sc. em Agronomia

Dr. em Agronomia

Pesquisador da Área Técnica de Fitotecnia

IDR-Paraná

Jonez Fidalski

Engenheiro-agrônomo

M. Sc. Agronomia

Dr. em Agronomia

Pesquisador da Área Técnica de Solos

IDR-Paraná

Simony Marta Bernardo Lugão

Engenheira-agrônoma

M. Sc. em Fitotecnia

Dra. em Zootecnia

Pesquisadora da Área Técnica de Produção Animal

IDR-Paraná

AGRADECIMENTOS

À FINEP e à Fundação Agrisus, pelo apoio financeiro que contribuiu para a operacionalização dos projetos de pesquisa.

Aos Profissionais Especialistas do IDR-Paraná, da Estação de Pesquisa de Paranaíba, Aparecido Antônio Kooji Tacaiama, Paulo Henrique de Oliveira Parpinelli, Renan Tiago Lunas Costa e Renato Campolino Biancatto, pela supervisão e execução das atividades de pesquisa nos ensaios experimentais.

Aos Profissionais Auxiliares do IDR-Paraná, da Estação de Pesquisa de Paranaíba, em especial ao senhor Rubens Ferreira, pela realização das atividades operacionais de apoio à pesquisa.

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	9
1.INTRODUÇÃO.....	11
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	12
2.1. Local e Implantação das Áreas Experimentais	12
2.2. Avaliações Químicas e Físicas do Solo	14
2.3. Manejo do Pastejo e Desempenho Animal.....	15
2.4. Produtividade de Mandioca e Decomposição de Palhada	16
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
3.1. Avaliações Químicas e Físicas do Solo	17
3.2. Manejo do Pastejo e Desempenho Animal.....	32
3.3. Produtividade de Mandioca e Decomposição de Palhada	33
4. CONCLUSÕES	40
5. REFERÊNCIAS	41

RESUMO

A região Noroeste do Paraná, área de ocorrência do Arenito Caiuá, destaca-se como a maior produtora de bovinos de corte e de mandioca do Estado. Contudo, a exploração extensiva das pastagens e o uso do plantio convencional no cultivo da mandioca contribuem para a erosão, compactação e perda de nutrientes do solo. Com o objetivo de avaliar opções para o manejo sustentável das culturas em sistema integrado de produção agropecuária (SIPA), em comparação com o pasto perene, foram realizados dois ensaios experimentais na Estação de Pesquisa do IDR-Paraná localizada no município de Paranavaí - PR. No primeiro ensaio avaliou-se a produtividade de mandioca, a umidade, a densidade e o teor de carbono do solo, em plantio direto e convencional, e o desempenho animal em sistema de pastejo sob lotação rotacionada em capim-marandu. Os tratamentos consistiram de mandioca em cultivo convencional seguida de dois anos de pasto (MC-2P), mandioca em plantio direto seguida de dois anos de pastejo (MPD-2P), mandioca em cultivo convencional seguida de quatro anos de pasto (MC-4P), mandioca em plantio direto seguida de quatro anos de pastejo (MPD-4P) e pastagem perene de capim-marandu (PP). O MC-2P apresentou maior produtividade de mandioca no ano-safra 2016/2017 ($63,29 \text{ Mg ha}^{-1}$) em comparação ao MPD-2P ($47,85 \text{ Mg ha}^{-1}$). Em 2018/2019, o MC-4P ($60,95 \text{ Mg ha}^{-1}$) e o MPD-4P ($60,68 \text{ Mg ha}^{-1}$) não diferiram na produção. O teor de carbono do solo (0-10 cm) diminuiu em MC-2P entre 2012 e 2019. Em 2019, MPD-4P teve estoque de carbono maior que MC-4P e MC-2P. O estoque de carbono do solo aumentou em MPD-4P entre 2012 ($16,41 \text{ Mg ha}^{-1}$) e 2019 ($21,46 \text{ Mg ha}^{-1}$). O ganho médio diário (GMD) dos animais no pasto perene de capim-marandu foi de $0,624 \text{ kg}$ no verão e de $0,387 \text{ kg}$ no inverno. Já no SIPA Mandioca os ganhos foram de $0,561$ e de $0,390 \text{ kg}$ no verão e inverno, respectivamente. Estes ganhos permitiram uma produção de arrobas de carcaça significativamente superior no pasto perene em relação ao SIPA, no período de verão. No inverno, a produção entre o SIPA e o pasto perene não diferiu. No segundo ensaio experimental foram avaliadas a produtividade de mandioca em plantio convencional ou plantio direto, sobre palhadas de capim-marandu, em pasto anual e perene, bem como a decomposição da palhada e os atributos físicos e químicos do solo. Os tratamentos avaliados foram plantio direto de mandioca (PD 0% - pasto sem pastejo; PD 25%, PD 50%, PD 75% - intensidade de pastejo para consumo de 25%; 50% e 75% da massa de forragem disponível) e plantio convencional (PC 50% - intensidade de pastejo para consumo de 50% da massa de forragem disponível). Na avaliação sobre pasto anual de capim-marandu, a massa fresca e seca das raízes de mandioca não diferiram entre os tratamentos avaliados, com médias de $31,84$ e $10,88 \text{ Mg ha}^{-1}$, respectivamente. Observou-se melhor qualidade física do solo para o tratamento PD 50%, quando comparado ao PC 50%. Quando se avaliou o cultivo de mandioca sobre o pasto perene de capim-marandu, observou-se que o preparo do solo interferiu na produtividade de raízes frescas, com superioridade significativa do preparo convencional ($32,0 \text{ t ha}^{-1}$) em relação aos tratamentos com plantio direto, que não diferiram entre si ($19,6 \text{ t ha}^{-1}$). O plantio convencional de mandioca em pasto perene promoveu a redução da densidade do solo na camada de 0-10 cm de profundidade após o cultivo de mandioca sobre 50% da massa de forragem. Já o plantio direto, sem ou com massa de forragem, proporcionou maior macroporosidade ao solo após o cultivo de mandioca em pasto perene na camada de 0-10 cm de profundidade. A decomposição da palhada diferiu entre os períodos de avaliação, mas não entre tratamentos. O plantio direto da mandioca é viável e sua produção comparada ao cultivo convencional é influenciada pelas condições climáticas. As pastagens

bem manejadas em SIPA com mandioca, bem como a utilização do plantio direto, contribuem para o aumento dos estoques de carbono e manutenção da qualidade física do solo. A continuidade dos estudos é necessária, para avaliação de diferentes tipos de forrageiras, variedades de mandioca, bem como o intervalo entre a dessecação do pasto e o plantio direto da mandioca, para correlacionar com a plantabilidade, desenvolvimento e produtividade da cultura e atributos físicos do solo. Os resultados permitirão recomendações técnicas mais assertivas aos agricultores, aumentando a produtividade, rentabilidade, estabilidade e sustentabilidade dos principais sistemas agrícolas da região.

ABSTRACT

The Northwest region of Paraná, area of occurrence of Caiuá Sandstone, stands out as the largest producer of beef cattle and cassava in the State. However, extensive exploitation of pastures and the use of conventional planting in the cultivation of cassava contribute to erosion, compaction and loss of soil nutrients. With the purpose of evaluating options for sustainable management of crops in an integrated crop-livestock system (ICLS), compared to perennial pasture, two experimental trials were carried out at IDR-Paraná, Research Station of Paranavaí, municipality of Paranavaí/PR. In the first trial, cassava productivity, soil moisture, density and carbon content were evaluated under no-tillage and conventional tillage, as well as animal performance in a grazing system under rotational stocking in marandu grass. The treatments consisted of cassava in conventional cultivation followed by two years of pasture (MC-2P), cassava in no-till farming followed by two years of grazing (MPD-2P), cassava in conventional cultivation followed by four years of pasture (MC-4P), cassava under no-till farming followed by four years of grazing (MPD-4P) and perennial palisade grass pasture (PP). MC-2P showed higher cassava yield in the 2016/2017 crop year (63.29 Mg ha^{-1}) compared to MPD-2P (47.85 Mg ha^{-1}). In 2018/2019, MC-4P (60.95 Mg ha^{-1}) and MPD-4P (60.68 Mg ha^{-1}) did not differ in production. Soil carbon content (0-10 cm) decreased in MC-2P between 2012 and 2019. In 2019, MPD-4P had a higher carbon stock than MC-4P and MC-2P. Soil carbon stock increased in MPD-4P between 2012 (16.41 Mg ha^{-1}) and 2019 (21.46 Mg ha^{-1}). The daily medium gain (DMG) of animals in the perennial pasture of marandu grass was 0.624 kg in the summer, and 0.387 kg in the winter. As for cassava ICLS, gains were 0.561 and 0.390 kg in summer and winter, respectively. These gains allowed a significantly higher production of carcass arrobas in the perennial pasture in relation to ICLS, in the summer period. In winter, production between ICLS and perennial pasture did not differ. In the second experimental trial, the yield of cassava in conventional or no-till farming was evaluated on marandu grass straw, in annual and perennial pasture, as well as the decomposition of straw and the physical and chemical attributes of soil. The treatments evaluated were no-till farming of cassava (PD 0% - pasture without grazing; PD 25%, PD 50%, PD 75% - grazing intensity for consumption of 25%; 50% and 75% of the available forage mass) and conventional planting (PC 50% - grazing intensity for consumption of 50% of the available forage mass). In the evaluation of annual pasture of marandu grass, the fresh and dry mass of cassava roots did not differ between the evaluated treatments, with averages of 31.84 and 10.88 Mg ha^{-1} , respectively. Better physical soil quality was observed for the PD 50% treatment, when compared to PC 50%. When cassava cultivation was evaluated on the perennial pasture of marandu grass, it was observed that the soil preparation interfered in the productivity of fresh roots, with significant superiority of the conventional tillage (32.0 t ha^{-1}) in relation to the treatments with no-till farming, which did not differ among themselves (19.6 t ha^{-1}). Conventional planting of cassava in perennial pasture promoted the reduction of soil density in the layer of 0-10 cm of depth after cassava cultivation on 50% of the forage mass. As for no-till planting, with or without forage mass, it provided greater macroporosity to the soil after cultivation of cassava in perennial pasture in the layer of 0-10 cm of depth. No-tillage cassava is feasible and its production compared to conventional tillage is influenced by climatic conditions. Well-managed pastures in SIPA with cassava, as well as the use of no-tillage, contribute to increasing carbon stocks and maintaining the physical quality of the soil. The continuity of the studies is necessary, for the

evaluation of different types of forages, varieties of cassava, as well as the interval between the desiccation of the pasture and the cassava no-tillage, to correlate with the plantability, development and productivity of cassava and physical attributes of the soil. The results will allow more assertive technical recommendations for farmers, enhancing the productivity, profitability, stability and sustainability of the major farming systems of the region.

1. INTRODUÇÃO

A região Noroeste do Paraná é área de ocorrência do Arenito Caiuá, com cerca de 49,5% de sua área ocupada por pastagens. Na área de agricultura anual (31,1%) destacam-se as culturas de cana-de-açúcar, soja e mandioca (CUNICO; PRIM, 2018).

A área ocupada por pastagens na mesorregião Noroeste teve uma redução de 43% nos últimos vinte anos, ocupando atualmente cerca de 837.870 hectares. Parte das áreas antes ocupadas por pastagens foi substituída por lavouras, como a cana-de-açúcar e a soja, cujas áreas tiveram um aumento significativo neste mesmo período (MAPBIOMAS, 2022). A região também concentra cerca de 64% da área cultivada com mandioca no Estado, que se mantém relativamente estável nos últimos vinte anos, em torno de 96.000 hectares (DERAL-SEAB, 2021).

Na atual área de pastagens do Noroeste Paranaense, cerca de 48% apresenta grau de degradação severa, 43% de degradação moderada e 8% são classificadas como sem degradação (MAPBIOMAS, 2022), demonstrando a grande importância e necessidade de recuperação dos pastos e a adoção de sistemas de manejo mais intensivos.

A região é a principal produtora de bovinos de corte do Estado, e desde o ano 2000 apresentou uma redução de 23% em seu rebanho, sendo que a taxa de lotação nas pastagens aumentou de 1,6 para aproximadamente 2,2 cabeças por hectare (IBGE-SIDRA, 2020; MAPBIOMAS, 2021). Usualmente a cultura da mandioca ocupa áreas de pasto degradado, sem condições de atender às necessidades para uma pecuária de corte rentável e sustentável. Contudo, a mandioca tradicionalmente é produzida em cultivo convencional com grande revolvimento do solo no preparo para plantio, potencializando a erosão (MERTEN et al., 2016; THOMAZ; FIDALSKI, 2020), a compactação (MARUN, 1996) e a perda de nutrientes.

Apesar de a região ser caracterizada pela predominância de solos de boa aptidão e alto potencial agropecuário, é importante considerar a fragilidade dos solos do Arenito Caiuá e adotar práticas para o uso sustentável das áreas utilizando-se o sistema de plantio direto com práticas de controle do escoamento superficial das águas pluviais e sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA), que permitem a incorporação de matéria orgânica no solo (CUNICO; PRIM, 2018).

Para a pecuária de corte e a mandiocultura, os SIPA são potenciais alternativas na busca da sustentabilidade, incluindo o desenvolvimento do plantio direto da mandioca sobre a palhada do pasto. Os benefícios dos SIPA, particularmente ao adotar-se o plantio direto sobre palhada de gramíneas, relacionam-se com a melhoria dos atributos do solo em áreas degradadas, como a matéria orgânica do solo, maior taxa de infiltração e armazenamento de água e sequestro de carbono (CECAGNO et al., 2018) em relação a monocultivos (SALTON et al. (2011). Nos solos arenosos outro grande benefício da cobertura constante dos solos é a redução do processo erosivo. Assim, a redução da área ocupada por pastagens não precisa ser vista como um problema para a região, uma vez que a adoção de práticas adequadas de manejo do solo e do pastejo, podem aumentar a eficiência produtiva das lavouras e da pecuária.

O Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná - IAPAR-EMATER (IDR-Paraná) desenvolve pesquisas com SIPA na Estação de Pesquisa Paranavaí desde 2012, sendo um dos principais focos das pesquisas os SIPA com mandioca e bovinocultura de corte, em função da importância destas culturas para a região. A presente publicação tem como objetivo apresentar os resultados destes trabalhos de pesquisa no Arenito Caiuá, na região Noroeste do Paraná.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Local e Implantação das Áreas Experimentais

Os experimentos foram executados na Estação de Pesquisa Paranaíba (23°5' S, 52°26' W; 480 m de altitude), em áreas com solos correspondentes ao Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2018) a Latossolo Vermelho distrófico típico (FIDALSKI et al., 2008), Argissolo Vermelho distrófico latossólico (MERTEN et al., 2016) e Latossolo Vermelho distrófico típico (FASOLO et al., 1988;). Todos estes solos apresentam horizonte A com textura arenosa (< 150 g kg⁻¹ de argila) e horizonte Bw ou Bt com textura média (150 a 350 g kg⁻¹ de argila). O clima é subtropical – Cfa (Köppen) subtropical (mesotérmico), com temperatura média anual de 22,1°C e precipitação acumulada de 1.500 mm (Tabela 1) (NITSCHKE et al., 2019) e baixa capacidade de armazenamento de água (FIDALSKI; HELBEL JUNIOR, 2020).

Em 2012, foi estabelecido um experimento para avaliar sistemas integrados com mandioca e capim-marandu sob pastejo. Utilizou-se delineamento em blocos, com cinco tratamentos e quatro repetições, totalizando 20 parcelas com área média de 800 m².

Antes do estabelecimento dos sistemas integrados, o capim-marandu foi semeado em 22 de fevereiro de 2012, após calagem, preparo do solo com grade aradora, arado de aiveca, grade niveladora e adubação, utilizando-se semeadora de plantio direto com espaçamento de 17 cm entre linhas e regulada para 4 kg ha⁻¹ de sementes puras viáveis, a 3 cm de profundidade. Após o estabelecimento e formação do pasto, este foi dessecado com herbicida glifosato em 3 de julho de 2012, após coleta de amostras de pasto para determinação da palhada residual, para posterior plantio da mandioca.

Os tratamentos avaliados neste ensaio foram:

- MC-2P: mandioca em cultivo convencional (preparo do solo com grade aradora, arado de aiveca e grade niveladora) seguida de dois anos de pasto;
- MPD-2P: mandioca em plantio direto em palhada de capim-marandu (sem preparo do solo) seguida de dois anos de pasto;
- MC-4P: mandioca em cultivo convencional seguida de quatro anos de pasto;
- MPD-4P: mandioca em plantio direto seguida de quatro anos de pasto; e,
- PP: pasto perene de capim-marandu.

De 2017 a 2021 foram conduzidos dois experimentos para avaliação de diferentes quantidades de palhada residual do capim-marandu, anual e perene, sobre a produtividade da mandioca em plantio direto e convencional. As palhadas residuais foram determinadas pelos seguintes tratamentos:

- PD 0%: pasto sem pastejo; plantio direto da mandioca.
- PD 25%: intensidade de pastejo para consumo de 25% da massa de forragem disponível; plantio direto da mandioca.
- PD 50%: intensidade de pastejo para consumo de 50% da massa de forragem disponível; plantio direto da mandioca.
- PD 75%: intensidade de pastejo para consumo de 75% da massa de forragem disponível; plantio direto da mandioca.

Em janeiro de 2017 foi estabelecida a área de pasto anual de capim-marandu e, em março de 2019, a área de pasto perene. Em ambos os casos o solo foi preparado de forma convencional, com uma gradagem aradora e duas gradagens niveladoras, realizando-se a correção e a adubação em função da análise do solo. Na sequência, foi feita a semeadura do capim-marandu, utilizando semeadora hidráulica.

Após o estabelecimento do capim-marandu, na área de pasto anual, realizou-se um pastejo de uniformização em março de 2017. Já na área de pasto perene, após pleno estabelecimento, o capim-marandu foi mantido sob pastejo até o estabelecimento dos tratamentos experimentais.

Tabela 1. Precipitação total mensal e temperatura média mensal durante o período experimental (2012-2021) e suas médias históricas (MH) de 1975 a 2020.

Mês	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	MH
	Precipitação (mm)										
Janeiro	120,6	71,9	176,7	181,6	276,1	101,8	347,8	142,8	97	341,4	186,5
Fevereiro	92,7	385,1	110,2	258,7	242,0	207,3	151,0	104,0	84,8	20,8	168,3
Março	53,4	184,9	203,2	137,7	72,9	134,6	150,7	197,2	91,8	90,2	129,7
Abril	161,1	177,8	90,2	71,9	85,2	137,1	7,4	33,2	42,2	17,6	97,6
Mai	112,0	134,1	129,5	156,9	154,3	221,1	60,6	43,0	42,3	84,8	113,5
Junho	310,5	244,4	49,6	11,6	112,5	145,5	66,5	61,1	2,9	43,0	96,9
Julho	22,6	67,2	99,2	314,8	61,1	0,0	0,5	42,4	159,4	24,5	65,5
Agosto	0,0	1,6	29,0	31,1	127,9	139,5	165,4	1,4	8,3	10,7	59,8
Setembro	94,7	75,4	153,6	231,9	52,4	3,8	44,6	58,4	74,9	70,6	120,8
Outubro	40,1	104,6	45,1	298,6	100,0	279,1	219,8	116,6	26,1	43,0	156,5
Novembro	143,8	62,8	255,8	518,1	21,3	141,4	118,5	108,7	107,6	38,8	136,7
Dezembro	225,8	164,7	94,1	228,5	184,9	233,3	84,7	256,0	97,0	341,4	175,4
Total	1.377	1.675	1.436	2.441	1.491	1.745	1.418	1.165	737	785	1.507
	Temperatura média (°C)										
Janeiro	24,3	24,4	25,7	26,0	25,5	25,0	24,6	27,1	25,5	24,3	25,2
Fevereiro	26,2	24,3	26,0	24,9	25,3	26,3	24,1	26,1	25,4	24,8	25,0
Março	24,5	23,6	24,1	24,4	24,3	24,7	25,4	24,8	25,1	25,7	24,6
Abril	22,3	21,5	22,5	23,2	25,1	21,8	24,0	24,1	21,7	22,9	22,7
Mai	19,5	20,1	19,4	19,5	18,4	21,1	20,8	21,7	19,7	21,0	19,4
Junho	18,3	18,8	19,2	19,8	16,6	18,3	19,1	21,1	21,0	18,7	18,3
Julho	18,3	17,5	18,2	18,4	19,4	18,6	20,9	19,1	20,4	23,8	18,4
Agosto	21,6	18,8	21,4	22,3	20,2	21,1	18,4	21,2	26,0	25,5	20,2
Setembro	23,4	21,8	22,8	23,1	20,8	26,3	20,8	24,4	26,0	22,2	21,4
Outubro	24,9	23,0	25,5	24,6	23,1	23,1	23,5	26,1	25,5	25,6	23,4
Novembro	24,6	24,7	24,2	24,1	25,0	23,5	24,5	26,0	25,4	27,1	24,2
Dezembro	26,3	25,9	25,4	24,7	24,8	25,0	26,2	24,9	25,5	24,3	25,0

Fonte: Adaptado de SIMEPAR (2022).

Em julho de 2017 (pasto anual) e agosto de 2021 (pasto perene), após delimitação da área das parcelas experimentais com cerca elétrica, os tratamentos foram estabelecidos com animais cruzados, utilizando-se diferentes intensidades de pastejo, para posterior plantio da mandioca. Cinco lotes de animais, sendo um lote por tratamento, entraram nas parcelas experimentais ao mesmo tempo, apenas para consumo do pasto, tendo acesso também à água e sal mineral.

2.2. Avaliações Químicas e Físicas do Solo

2.2.1. Experimento SIPA

As amostras de solo deformadas destinadas à fertilidade foram coletadas seis subamostras para constituírem amostras compostas nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm de profundidade. Estas amostras foram submetidas às determinações analíticas no Laboratório de Solos do IDR-Paraná em Londrina - PR, seguindo as determinações propostas por Pavan et al. (1992).

Na Tabela 2 são apresentados os resultados da fertilidade do solo em três camadas da área experimental antes do estabelecimento dos tratamentos em 2011.

Tabela 2. Fertilidade do solo na área experimental, em três camadas, antes do estabelecimento dos tratamentos em 2011.

Camada (cm)	pH	Al ³⁺	H ⁺ +Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	SB	CTC	V	M	P	C
	CaCl ₂	cmol _c dm ⁻³							%	mg dm ⁻³		g dm ⁻³
0-10	4,7	0,07	3,76	1,12	0,61	0,15	1,87	5,63	33	4	11,5	7,0
10-20	4,7	0,10	3,50	0,90	0,49	0,13	1,51	5,01	30	7	5,8	4,5
20-40	4,6	0,16	3,50	0,79	0,52	0,13	1,44	4,93	29	11	2,5	3,8

As avaliações físicas foram realizadas por meio da extração de amostras de solo indeformadas por meio de cilindros volumétricos de aço inox com 5 cm de altura e 5 cm de diâmetro, correspondendo a uma amostra por parcela experimental no centro das camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm de profundidade. Estas amostras foram secas em estufa a 105°C por 48 horas e pesadas para a determinação da massa de sólidos e cálculo da densidade do solo (TEIXEIRA et al., 2017).

Para determinar o carbono total do solo pelo método Walkley e Black (TEIXEIRA et al., 2017), foram coletadas amostras deformadas em outubro de 2012 e outubro de 2019. Para o cálculo dos estoques de carbono armazenados no solo considerou-se as alterações da densidade aparente e espessura da camada estudada, sendo os resultados expressos por unidade de área (FERNANDES; FERNANDES, 2013). A umidade do solo foi obtida por meio de um medidor portátil, com 4 hastes metálicas de 10 cm de comprimento (KIM et al., 2020), confirmada pela calibração prévia das leituras no solo da área experimental para umidade volumétrica (0,01 m³ m⁻³ corresponde a 1% de água no solo). As leituras foram realizadas na camada de 0-10 cm de profundidade, em triplicatas por parcela experimental, nas entrelinhas da cultura de mandioca, durante 221 dias entre 15/06/2016 e 29/01/2018 e 53 dias entre 06/08/2018 e 09/12/2019, respectivamente, para as safras de 2016/2017 e 2018/2019.

2.2.2. Experimento intensidades de pastejo

O resultado da análise química do solo antes da implantação do experimento, em outubro de 2016, a 20 cm de profundidade, apresentou valores de 24,00 mg dm⁻³ de fósforo (P); 0,12 cmol_c dm⁻³ de potássio (K⁺) (Extrator Mehlich-1); 1,43 cmol_c dm⁻³ de cálcio (Ca²⁺); 0,36 cmol_c dm⁻³ de magnésio (Mg²⁺) (Extrator KCl 1 mol L⁻¹); 12,07 g dm⁻³ de matéria orgânica

(Walkley-Black); pH em CaCl_2 de 4,30 [0,01 mol L^{-1} de solução de cloreto de cálcio (CaCl_2)] e 5,60 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de CTC (pH = 7,0).

Para avaliar a qualidade física do solo foram coletadas amostras: 1) após o pastejo; 2) antes da dessecação do pasto; e, 3) antes da colheita da mandioca. Amostras de solo indeformadas foram coletadas com cilindros metálicos (5 cm de diâmetro e 5 cm de altura), nas camadas intermediárias de 0-10, 10-20 e 20-40 cm de profundidade.

Em laboratório, as amostras foram saturadas em bandejas mantendo-se uma lâmina de água acima de dois terços da altura dos cilindros. As amostras foram submetidas ao potencial mátrico de -6 kPa em uma mesa de tensão e secas em estufa a 105°C por 24 h para obter a massa de água e solo e assim calcular a densidade, macro e microporosidade e porosidade total do solo, por meio da densidade de partículas sólidas do solo. Uma coleta de amostras deformadas de solo com seis subamostras para compor uma amostra composta foi realizada antes da colheita de mandioca, nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm de profundidade, e utilizadas para determinar o carbono orgânico total, por meio do método Walkley-Black (TEIXEIRA et al., 2017).

2.3. Manejo do Pastejo e Desempenho Animal

2.3.1. Experimento SIPA

Na área de pasto perene e durante os períodos em que o capim-marandu esteve no sistema integrado com mandioca adotou-se o sistema de pastejo com lotação rotacionada, com ajuste do número de animais à oferta de forragem. Em cada piquete (parcela), separados por cerca elétrica, foram mantidos quatro animais testadores e um número variável de animais reguladores, de acordo com a disponibilidade de forragem. Os animais utilizados foram tourinhos mestiços (Purunã x Nelore e Purunã x Red Angus) na fase de recria, com peso médio inicial de 220 kg. A taxa de lotação foi calculada dividindo-se a carga animal (kg/ha/dia) por 450 kg de peso corporal (1 Unidade Animal). A carga animal foi obtida somando-se o peso médio dos animais e, multiplicando-se pelo número de dias que permaneceram no pasto. O resultado foi dividido pelos dias de ocupação do piquete e multiplicado pela área dos piquetes. Para avaliação do desempenho animal (ganho médio diário – GMD; kg/dia) e da produção de arrobas de carcaça por área (@/ha), os animais foram pesados no início e no final de cada rotação, durante todo o período experimental, sendo a primeira e a última pesagem realizadas com jejum total de 16 horas.

Durante o período que o capim-marandu permaneceu no sistema, sob pastejo, por dois ou quatro anos, foram avaliadas seis rotações de pastejo no período de verão e duas no período de inverno. Nos anos em que a cultura da mandioca entrou no sistema, os animais permaneceram nos piquetes até março, após cinco rotações de pastejo de verão, sendo então retirados do sistema para permitir o acúmulo de matéria seca do capim-marandu para formação de palhada. A quantidade de matéria seca do capim-marandu foi estimada antes da dessecação para implantação da mandioca, por meio de pesagem de amostras secas em estufa a 65°C por 72 h, sendo quatro amostras de 1 m² por parcela.

2.3.2. Experimento intensidades de pastejo

Nos dois ensaios experimentais para avaliação de diferentes quantidades de palhada residual do capim-marandu foram utilizadas novilhas cruzadas, que fizeram o pastejo de acordo com as intensidades preconizadas em cada tratamento. Cinco lotes de animais, sendo um lote por tratamento, entraram nas parcelas experimentais ao mesmo tempo, para consumo do pasto. Nestes ensaios o desempenho animal não foi avaliado.

2.4. Produtividade de Mandioca e Decomposição de Palhada

2.4.1. Experimento SIPA

Os plantios das ramas de mandioca foram realizados mecanicamente na posição horizontal utilizando-se a cultivar IPR B36, a 5-10 cm de profundidade, utilizando-se uma plantadora de duas linhas, composta de um disco de corte, haste sulcadora, dois discos para abertura do sulco, roda compactadora e disco de cobertura, no espaçamento de 90 cm entre as linhas e 60 cm entre as plantas, compondo uma população de 18.519 plantas ha⁻¹.

A área amostral da mandioca em todas as avaliações foi de 54 m² em cada parcela (6 linhas de 10 m de comprimento). Na colheita das raízes foi utilizado o afoador, implemento que afrouxa as raízes no solo, facilitando a operação.

As avaliações realizadas na colheita da cultura da mandioca foram o estande em relação ao percentual previsto de 18.519 plantas ha⁻¹, o número de raízes tuberosas por planta determinado pelo número de raízes totais divididos pelo número de plantas da amostra, produtividades de raízes frescas e secas das raízes tuberosas e matéria seca das raízes (estufa a 65°C até peso constante). A produtividade das raízes secas foi obtida por meio da correção da produtividade das raízes frescas pelo seu percentual de matéria seca. O percentual de raízes podres foi calculado com relação ao número de plantas com pelo menos uma raiz podre na amostra. A renda – rendimento industrial ou peso específico, determinação realizada rotineiramente nas indústrias processadoras para pagamento aos agricultores – foi obtida em balança hidrostática considerando-se uma amostra de 5 kg de raízes mergulhadas na água.

Na safra 2016/2017, o plantio da mandioca ocorreu em 20 de julho de 2016 nas áreas anteriormente ocupadas por dois anos com pasto (MC-2P e MPD-2P), passando por poda em 12 de julho de 2017 e colheita em 23 de janeiro de 2018. As condições climáticas observadas nesta safra ficaram dentro da média histórica para a região em 2016, mas apresentaram precipitação 21% acima da média (320 mm) em 2017 (Tabela 1).

Na safra 2018/2019 a mandioca foi plantada em 7 de agosto de 2018, nas áreas anteriormente ocupadas por quatro anos de pasto (MC-4P e MPD-4P), a poda realizada em 9 de julho de 2019 e as raízes colhidas em 9 de dezembro de 2019. As médias de precipitação observadas nesta safra ficaram 6,5% (2018) e 23% (2019) abaixo da média histórica para a região (Tabela 1).

Para avaliar a decomposição de palhada de capim-marandu nas parcelas de mandioca em plantio direto adotou-se a técnica dos sacos de decomposição ou *litter bags*. Antes da dessecação do capim-marandu com herbicida glifosato, avaliou-se a produção de matéria seca nas parcelas e as amostras secas em estufa foram colocadas em sacos de *nylon* (30 cm x 30 cm), com malha de 2 mm. A quantidade de amostra colocada em cada saco foi proporcional à massa seca de pasto produzida por área. Os sacos foram distribuídos nas parcelas no dia do plantio da mandioca. Foram avaliados 8 períodos de coleta (aos 7, 14, 28, 56, 112, 224 e 448 dias após a distribuição no campo).

A determinação da decomposição da palhada foi feita por diferença de peso, calculando-se a porcentagem do material remanescente no saco com base na quantidade total inicial. Determinou-se a constante de decomposição (k), obtida pela equação de primeira ordem: $A_t = A_0 e^{-kt}$, em que A_t é a concentração do substrato remanescente em qualquer tempo t , e o cálculo da meia vida ($t_{1/2}$) da palhada pela seguinte equação: $\ln [(A_{0/2})/A_0] = -Kt_{1/2}$, em que $t_{1/2} = 0,693 k^{-1}$ (PAUL; CLARK, 1989).

2.4.2. Experimento intensidades de pastejo

Na avaliação das diferentes quantidades de palhada residual do capim-marandu, anual e perene, também em sistema convencional e direto, o plantio da primeira safra de avaliação (2017/2019) foi realizado em 15 de agosto de 2017, em julho de 2018 foi feita a poda da mandioca e a colheita ocorreu em 16 de janeiro de 2019. Na segunda safra de avaliação (2020/2021) das diferentes quantidades de palhada residual, o plantio foi realizado em 15 de outubro de 2020, com atraso em relação ao previsto em função da grave seca que atingiu a região. A poda e a colheita foram realizadas em julho e outubro de 2021.

A correção do solo e as adubações foram feitas em função de análise de solo, seguindo as recomendações preconizadas por IAPAR (2003) e as fontes de N, P e K adotadas foram superfosfato simples, aplicado no sulco de plantio, e sulfato de amônio e cloreto de potássio, aplicados em cobertura.

A decomposição da palhada de capim-marandu no pasto anual e perene utilizou a mesma técnica dos sacos de decomposição descrita anteriormente para o experimento SIPA.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Avaliações Químicas e Físicas do Solo

3.1.1. Experimento SIPA

Na camada de 0-10 cm houve interação entre anos e tratamentos para o atributo pH do solo (CaCl_2 0,01M), com aumento no tratamento de pasto perene e de mandioca em plantio convencional após dois anos de pasto, quando comparado o ano de 2012 e 2019 (Tabela 3). O tratamento de mandioca em plantio convencional foi favorecido pelo preparo do solo a cada dois anos, com incorporação do calcário aplicado em superfície, melhorando a reação do corretivo. Já o pasto perene, mesmo sem revolvimento, também foi eficiente em elevar o pH do solo nesta profundidade. Em relação aos tratamentos, não houve diferença entre o ano de 2012 (4,91) e 2019 (5,11). Já nas camadas de 10-20 cm e de 20-40 cm de profundidade não houve interação entre anos e tratamentos, com maiores valores de pH no ano de 2019, quando comparado com 2012, e sem diferença para os tratamentos. Para estas duas camadas mais profundas, as calagens realizadas também tiveram efeito no aumento do pH do solo, mas com valores inferiores à camada superior. O nível crítico para o pH, citado no Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná, é de 5,0 na camada de 0-20 cm (PAULETTI; MOTTA, 2017).

O teor de alumínio no solo não apresentou interação significativa entre anos e tratamentos nas três profundidades analisadas. Apenas na camada de 10-20 cm houve redução no teor de alumínio em 2019, quando comparado a 2012. Em todas as profundidades analisadas, no início e no final do período experimental, os teores estavam muito baixos, menores que $0,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (PAULETTI; MOTTA, 2017), que é característico dos solos derivados do Arenito Caiuá.

O teor de alumínio no solo não apresentou interação significativa entre anos e tratamentos nas três profundidades analisadas. Apenas na camada de 10-20 cm observou-se redução no teor de alumínio no ano de 2019, quando comparado a 2012. Em todas as profundidades analisadas, tanto no início como no final do período experimental, os teores estão na classe de interpretação muito baixo, menor que $0,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (PAULETTI; MOTTA, 2017), que é característico dos solos derivados do Arenito Caiuá. Em relação à acidez potencial do solo (H+Al) para a camada de 0-10 cm houve interação entre anos e tratamentos, com redução na acidez entre 2012 e 2019 para todos os tratamentos, com exceção do tratamento com mandioca em plantio direto após quatro anos de pasto. Em 2019 o tratamento com mandioca plantio direto

após dois anos de pasto resultou em menor acidez em relação aos tratamentos integrados com quatro anos de pasto. Esta menor acidez para os tratamentos após dois anos de pasto pode ser devida a maior frequência em incorporar parte do calcário após a colheita da mandioca, quando comparado com os tratamentos após quatro anos de pasto, criando condições para melhorar a reação do corretivo no solo. Nas camadas de 10-20 e 20-40 cm também houve redução na acidez no ano de 2019, comparado ao ano de 2012, mas sem efeitos entre os tratamentos para as duas profundidades citadas.

Tabela 3. Fertilidade do solo em três profundidades nas parcelas experimentais em 2012 e 2019.

Tratamento	pH			Al			H+Al		
	2012	2019	Média	2012	2019	Média	2012	2019	Média
Profundidade 0-10 cm									
PP	4,80Ba	5,15Aa	4,97	0,05	0,01	0,03a	3,77Aa	2,79Bab	3,28
MC-2P	4,95Ba	5,30Aa	5,12	0,03	0,00	0,02a	3,62Aa	2,69Bab	3,15
MPD-2P	5,00Aa	5,37Aa	5,19	0,04	0,02	0,03a	3,70Aa	2,54Bb	3,12
MC-4P	4,92Aa	4,85Aa	4,89	0,02	0,05	0,03a	3,48Aa	3,12Ba	3,30
MPD-4P	4,90Aa	4,85Aa	4,87	0,04	0,07	0,05a	3,62Aa	3,19Aa	3,40
Média	4,91	5,11		0,04A	0,03A		3,64	2,87	
Profundidade 10-20 cm									
PP	4,45	4,90	4,67a	0,21	0,03	0,12a	3,81	2,69	3,25a
MC-2P	4,67	4,75	4,71a	0,11	0,06	0,08a	3,56	3,01	3,28a
MPD-2P	4,60	4,97	4,79a	0,16	0,06	0,11a	3,72	2,96	3,34a
MC-4P	4,55	4,80	4,67a	0,16	0,05	0,10a	3,70	2,90	3,30a
MPD-4P	4,62	4,67	4,65a	0,12	0,13	0,12a	3,62	3,12	3,37a
Média	4,58B	4,82A		0,15A	0,07B		3,68A	2,93B	
Profundidade 20-40 cm									
PP	4,47	4,82	4,65a	0,22	0,09	0,15a	3,44	2,74	3,09a
MC-2P	4,50	4,77	4,64a	0,17	0,09	0,13a	3,48	2,69	3,09a
MPD-2P	4,45	4,55	4,50a	0,22	0,20	0,21a	3,62	2,95	3,29a
MC-4P	4,47	4,67	4,57a	0,20	0,10	0,15a	3,36	2,74	3,05a
MPD-4P	4,52	4,52	4,52a	0,20	0,17	0,18a	3,48	2,94	3,21a
Média	4,48B	4,67A		0,20A	0,13A		3,48A	2,81B	
CTC									
V									
P									
Tratamento	2012	2019	Média	2012	2019	Média	2012	2019	Média
Profundidade 0-10 cm									
PP	5,49	5,91	5,92a	36,42	52,56	44,49a	15,15	6,72	10,94b
MC-2P	6,18	5,86	6,02a	41,30	54,01	47,65a	13,67	13,45	13,56ab
MPD-2P	6,37	5,90	6,14a	41,63	56,09	48,86a	19,50	15,85	17,67a
MC-4P	5,87	5,61	5,74a	40,60	43,50	42,05a	16,25	9,55	12,90ab
MPD-4P	6,01	5,95	5,98a	39,18	45,50	42,34a	17,00	9,30	13,15ab
Média	6,07A	5,85A		39,83B	50,33A		16,31A	10,97B	

Tabela 3. Continuação.

Tratamento	pH			Al			H+Al		
	2012	2019	Média	2012	2019	Média	2012	2019	Média
Profundidade 10-20 cm									
PP	5,14	4,44	4,79a	26,15	39,07	32,61a	6,00	4,87	5,44a
MC-2P	5,34	4,82	5,08a	32,96	37,58	35,27a	6,30	5,60	5,95a
MPD-2P	5,38	5,32	5,35a	30,56	43,26	36,91a	10,55	9,77	10,16a
MC-4P	5,16	4,74	4,95a	28,42	38,38	33,40a	6,60	4,77	5,67a
MPD-4P	5,20	5,15	5,17a	29,69	36,92	33,30a	10,35	5,77	8,06a
Média	5,24A	4,89A		29,56B	39,04A		7,96A	6,16A	
Profundidade 20-40 cm									
PP	4,83	4,57	4,70a	28,68	39,84	34,26a	3,20	1,75	2,47a
MC-2P	5,02	4,56	4,79a	30,52	41,00	35,76a	2,07	1,52	1,80a
MPD-2P	5,01	4,68	4,84a	30,28	36,53	31,85a	2,95	1,87	2,41a
MC-4P	4,83	4,52	4,67a	27,17	39,11	34,70a	2,60	1,72	2,16a
MPD-4P	4,95	4,52	4,74a	29,07	34,77	31,92a	2,52	1,75	2,14a
Média	4,93A	4,57B		29,15B	38,25A		2,67A	1,72B	

Médias por camada, seguidas pela mesma letra maiúscula na linha, e mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey 10%. PP: pasto perene de capim-marandu; MC-2P: mandioca convencional seguida de dois anos de pasto; MPD-2P: mandioca plantio direto seguida de dois anos de pasto; MC-4P: mandioca convencional seguida de quatro anos de pasto; MPD-4P: mandioca plantio direto seguida de quatro anos de pasto.

Para a saturação por bases (V%), nas três profundidades avaliadas, não houve interação significativa entre os anos e tratamentos, mas houve diferença nas três profundidades entre os anos, com maior valor no final do período experimental. Em cada uma das profundidades analisadas para todos os tratamentos, observou-se a mesma saturação por bases, indicando que tanto o pasto perene quanto os sistemas integrados tiveram a mesma proporção de cátions básicos trocáveis. Observou-se que a saturação por bases acompanhou a elevação do pH nas três profundidades avaliadas, com maior elevação na camada de 0-10 cm. Trabalhos de outros autores, realizados no Arenito Caiuá, mostraram a mesma tendência de elevação maior do pH e Saturação por Base na camada superficial. Segundo Flores et al. (2008) a calagem superficial no sistema plantio direto pode ser efetiva em profundidade, uma vez que foram observados os seus efeitos até os 25 cm de profundidade, 24 meses após a aplicação do corretivo.

Ao se avaliar o teor de fósforo no solo, observa-se que não houve interação significativa para nenhuma das camadas analisadas. Porém, na camada de 0-10 cm o teor apresentou redução de 16,43 mg dm⁻³, em 2012, para 10,98 mg dm⁻³, em 2019. Ao se comparar as médias dos tratamentos nesta mesma camada observa-se que a mandioca em plantio direto após dois anos de pasto apresentou maior teor de fósforo do que o pasto perene. O maior teor de fósforo observado nas parcelas com cultivo de mandioca pode ser justificado pela adubação em linha a cada 2 anos, no plantio da cultura. Para a camada de 10-20 cm o teor de fósforo foi o mesmo no início e final do experimento, e o mesmo entre os tratamentos, com média de 7,07 mg dm⁻³, demonstrando que nesta camada não foi alterada a dinâmica do fósforo no solo. O nível crítico de fósforo para esse solo na camada de 0-20 cm é de 19 mg dm⁻³, de acordo com Pauletti e Motta (2017). Na camada de 20-40 cm o teor de fósforo foi maior no início do experimento (2,67 mg dm⁻³), quando comparado ao final do período experimental (1,72 mg dm⁻³), mas ambos com teor muito baixo no

solo. A dinâmica do fósforo no solo quando as adubações são realizadas em cobertura demanda mais estudos, pois este nutriente tem perdas por escoamento superficial e baixa mobilidade no solo. Segundo Souza Nunes et al. (2011), a distribuição de P extraível no solo após 14 anos de cultivo é influenciada pela fonte do fertilizante fosfatado, pelo modo de aplicação e pelo sistema de cultivo. Os autores observaram que os maiores teores de P extraível foram encontrados na camada superficial (0 a 2,5 cm), independentemente da fonte do fertilizante, do modo de aplicação e do sistema de cultivo. Entretanto, esse efeito é muito mais pronunciado no plantio direto, para aplicações de superfosfato triplo e a lanço na superfície. O sistema plantio direto apresentou maior quantidade de P extraível em relação ao sistema de preparo convencional, apesar de conter menor quantidade de P residual no solo. O rendimento de grãos de soja foi alterado basicamente pelo sistema, com superioridade no sistema plantio direto, devido a maior disponibilidade de P em relação ao preparo convencional.

Em relação ao teor de cálcio no solo (Tabela 4), para as três profundidades avaliadas, o teor de cálcio foi maior no ano de 2019 ($1,87 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) quando comparado ao ano de 2012 ($1,50 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Os teores de cálcio estão 30% e 37% maiores na camada superior após sete anos de avaliação, quando comparado com as camadas de 10-20 cm e 20-40 cm, respectivamente. Em relação aos tratamentos, nas três profundidades, não ocorreram diferenças entre os teores com valores médios de $1,68 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, $1,10 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e $0,98 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ nas camadas de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm, respectivamente. O nível crítico para o cálcio na camada de 0-20 cm é de $2,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (PAULETTI; MOTTA, 2017). Estes resultados indicam a baixa mobilidade do calcário, mesmo em solos arenosos, quando aplicado em superfície, para a profundidade abaixo de 10 cm. Nos solos do Arenito Caiuá a calagem deve ser realizada com maior frequência, pois tanto o pasto como os sistemas integrados necessitam de cálcio e magnésio como nutrientes, podendo ser associada ao gesso para aumentar o teor em camadas mais profundas, favorecendo o crescimento do sistema radicular e sua reciclagem. Para Soratto e Crusciol (2008), a aplicação de calcário em superfície juntamente com o gesso agrícola em plantio direto em solo Latossolo Vermelho distroférrico promoveram aumentos nos teores de Ca trocável e S-SO_4^{2-} e diminuição no teor de Al trocável no solo, contribuindo para que os efeitos da calagem superficial nas características químicas do solo alcançassem, de forma mais rápida, as camadas do subsolo até 60 cm.

O teor de magnésio no solo não diferiu entre o início e final do experimento para as camadas avaliadas, e nem entre tratamentos, com teor médio de $0,87 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, $0,52 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e $0,51 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para as camadas de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm de profundidade. De acordo com Pauletti e Motta (2017) o nível crítico para o teor de magnésio é de $1,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para a camada de 0-20 cm. Um dos fatores que pode ter contribuído para o não aumento do teor de magnésio, após sete anos de avaliação, foi a utilização de calcário calcítico nas correções realizadas.

No caso do potássio, a interação ano e tratamento foi significativa para a camada de 0-10 cm. Apenas o tratamento com mandioca em plantio direto após quatro anos de pasto não aumentou o teor de potássio em 2019, comparado ao ano de 2012. Em 2012 todos os tratamentos apresentaram o mesmo teor de potássio, com média de $0,10 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ mas, em 2019, o tratamento com mandioca em cultivo convencional após dois anos de pasto teve maior teor de potássio ($0,34 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), comparado aos tratamentos integrados após quatro anos de pasto ($0,13 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Este incremento pode ter ocorrido em função do revolvimento do solo durante o preparo para o plantio da mandioca, com a incorporação dos restos culturais do pasto e posterior mineralização da matéria orgânica com liberação de potássio para a solução do solo e, também, associado a maior frequência da adubação potássica realizada a cada dois anos no plantio da mandioca. Os tratamentos pasto perene e sistema integrado após dois anos de pasto apresentaram teores adequados de potássio, com média de $0,30 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. De acordo com o Pauletti e Motta (2017) o nível crítico para este elemento é de $0,22 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, para a camada de 0-20 cm de profundidade.

Tabela 4. Teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e potássio (K) em três profundidades nas parcelas experimentais em 2012 e 2019.

Tratamento	Ca			Mg			K		
	2012	2019	Média	2012	2019	Média	2012	2019	Média
Profundidade 0-10 cm									
PP	1,31	1,83	1,57a	0,75	1,00	0,88a	0,11Ba	0,32Aab	0,21
MC-2P	1,60	1,94	1,77a	0,86	0,88	0,87a	0,10Ba	0,34Aa	0,22
MPD-2P	1,65	2,13	1,89a	0,92	0,96	0,94a	0,10Ba	0,26Aabc	0,18
MC-4P	1,44	1,62	1,53a	0,85	0,72	0,79a	0,10Ba	0,14Abc	0,12
MPD-4P	1,49	1,83	1,66a	0,81	0,82	0,81a	0,09Aa	0,11Ac	0,10
Média	1,50B	1,87A		0,84A	0,88A		0,10	0,23	
Profundidade 10-20 cm									
PP	0,78	1,02	0,90a	0,41	0,48	0,45a	0,14	0,24	0,19a
MC-2P	1,06	1,22	1,14a	0,59	0,38	0,49a	0,12	0,20	0,16ab
MPD-2P	0,98	1,62	1,30a	0,57	0,54	0,56a	0,11	0,20	0,16ab
MC-4P	0,86	1,20	1,03a	0,47	0,57	0,52a	0,12	0,07	0,10b
MPD-4P	0,95	1,29	1,12a	0,50	0,64	0,57a	0,12	0,10	0,11ab
Média	0,93B	1,27A		0,51A	0,52A		0,12B	0,16A	
Profundidade 20-40 cm									
PP	0,80	1,08	0,94a	0,42	0,60	0,51a	0,16	0,14	0,15a
MC-2P	0,87	1,29	1,08a	0,55	0,51	0,53a	0,12	0,07	0,09b
MPD-2P	0,77	1,16	0,96a	0,46	0,51	0,49a	0,15	0,05	0,10ab
MC-4P	0,82	1,16	0,99a	0,50	0,51	0,50a	0,14	0,11	0,13ab
MPD-4P	0,81	1,01	0,91a	0,51	0,42	0,46a	0,14	0,14	0,14ab
Média	0,81B	1,14A		0,49A	0,51A		0,14A	0,10B	

Médias por camada, seguidas pela mesma letra maiúscula na linha, e mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey 10%. PP: pasto perene de capim-marandu; MC-2P: mandioca convencional seguida de dois anos de pasto; MPD-2P: mandioca plantio direto seguida de dois anos de pasto; MC-4P: mandioca convencional seguida de quatro anos de pasto; MPD-4P: mandioca plantio direto seguida de quatro anos de pasto.

Os sistemas Integrados e o pasto melhoraram vários atributos do solo avaliados ao final do experimento, principalmente na camada 0-10 cm de profundidade. Neste experimento a cultura da mandioca foi adubada de acordo com a recomendação (IAPAR, 2003) e o pasto perene também foi realizado o manejo da fertilidade e do pastejo em sistema de lotação rotacionada, adubado e manejado corretamente. Pastos perenes em sucessão, adubados e bem manejados, contribuem para a melhoria da fertilidade, pois grande parte dos nutrientes retornam ao solo pelas excretas e pelos resíduos pós-pastejo, devido à baixa exportação de nutrientes pelo produto animal.

Para os teores de carbono no solo houve interação entre o ano e os tratamentos avaliados apenas para a camada de 0-10 cm (Tabela 5). Nesta camada, observou-se redução significativa no teor de carbono no solo para o tratamento com mandioca em plantio convencional após dois anos de pasto, entre os anos de 2012 e 2019, mostrando que a rotação com dois anos de pasto não foi suficiente para manter o carbono no solo quando se utiliza plantio convencional

de mandioca. O revolvimento do solo provavelmente contribuiu para a perda de carbono, por mineralização e erosão. De acordo com Bayer et al (2006), o efeito mais positivo do plantio direto é a manutenção dos teores de carbono no solo, conforme observado para o pasto perene e para os tratamentos com mandioca em plantio direto após dois anos de pasto e para o plantio convencional após quatro anos de pasto.

O tratamento com mandioca em plantio direto após quatro anos de pasto, nesta mesma camada, foi o único tratamento em que o teor de carbono apresentou incremento significativo entre 2012 e 2019, mostrando ser uma opção mais sustentável para estes solos. Este maior teor de carbono pode ser devido ao efeito do sinergismo dos sistemas integrados com maior período da rotação do pasto bem manejado, associado ao incremento mais rápido do carbono resultante da dessecação do pasto para a formação de palhada, o que não ocorre no sistema de pasto perene.

O manejo intensivo dos pastos com gramíneas forrageiras tropicais, como o capim-marandu, com a aplicação de corretivos e fertilizantes, proporciona o aumento da produção de matéria seca de parte aérea e raízes, contribuindo positivamente para a dinâmica do carbono e ciclagem de nutrientes em sistemas integrados. Esse manejo correto do pasto favorece a obtenção de bons resultados econômicos e ambientais, uma vez que o pasto mais produtivo tem potencial de mitigar as emissões de gases do efeito estufa, aumentando a capacidade de sequestro de carbono do solo (SEGNINI et al., 2020; SAKAMOTO et al., 2020).

Tabela 5. Teores de carbono orgânico total do solo nos anos de 2012 e 2019, no pasto perene e nos sistemas com mandioca cultivada após dois e quatro anos de pasto, em plantio direto e convencional.

Tratamentos	Ano		Média
	2012	2019	
g kg ⁻¹			
Camada 0-10 cm			
PP	11,46Aa	11,77Aabc	11,62
MC-2P	11,44Aa	9,63Bc	10,54
MPD-2P	12,26Aa	12,15Aab	12,20
MC-4P	10,62Aa	10,93Abc	10,78
MPD-4P	11,50Ba	13,47Aa	12,49
Média	11,45	11,59	
Camada 10-20 cm			
PP	6,47	6,16	6,32a
MC-2P	6,87	6,85	6,86a
MPD-2P	6,86	6,13	6,50a
MC-4P	6,05	6,75	6,40a
MPD-4P	6,10	6,17	6,14a
Média	6,47A	6,41A	

Médias por safra, seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey 10%. PP: pasto perene de capim-marandu; MC-2P: mandioca convencional seguida de dois anos de pasto; MPD-2P: mandioca plantio direto seguida de dois anos de pasto; MC-4P: mandioca convencional seguida de quatro anos de pasto; MPD-4P: mandioca plantio direto seguida de quatro anos de pasto.

Conforme esperado, no ano de 2012 não se observou diferença no teor de carbono no solo entre os tratamentos, em função do preparo e uniformização da área experimental para implantação do ensaio. Por outro lado, em 2019, após sete anos de implantação dos tratamentos, pôde-se observar diferença significativa entre os tratamentos com mandioca em plantio direto quando comparado com os tratamentos de plantio convencional, que apresentaram maior teor de carbono no solo na camada de 0-10 cm, em função da menor taxa de mineralização da MO quando comparado com o preparo do solo convencional. Já o pasto perene não diferiu dos demais tratamentos quanto ao teor de carbono (Tabela 5).

O teor médio de carbono na camada de 10-20 cm não apresentou variação entre os anos, ou entre tratamentos com média de $6,44 \text{ g kg}^{-1}$ (Tabela 5). O carbono diminuiu com o aumento da profundidade, sendo dependente da massa raízes e sua decomposição. Outro fator que se observa nesta profundidade é o menor teor de carbono quando comparada a profundidade 0-10 cm, devido ao rápido declínio da massa de raízes com a profundidade (COSTA et al, 2012).

As pastagens acumulam grandes quantidades de carbono orgânico no solo em função de sua alocação subterrânea, renovação de raízes e rizodeposição, além da incorporação de resíduos das plantas da superfície e deposição de fezes e urina de animais em pastejo. A produção primária bruta das pastagens representa a principal entrada de carbono no solo, estimando-se cerca de $31,3 \text{ Pg C ano}^{-1}$ ($31,3 \cdot 10^9 \text{ Mg C ano}^{-1}$)¹ para as pastagens tropicais (LORENZ; LAL, 2018).

Na avaliação do teor médio de carbono na camada de 0-20 cm não se detectou diferença entre os tratamentos e entre os anos inicial e final do experimento, com teor médio de $8,96 \text{ g kg}^{-1}$ em 2012 e $9,00 \text{ g kg}^{-1}$ em 2019. De acordo com Sousa e Lobato (2004), para solos arenosos (< 15% argila), como o da área onde foi conduzido o presente estudo, o teor de carbono no solo acima de 0,87% ($8,7 \text{ g kg}^{-1}$), na camada de 0-20 cm de profundidade, é classificado como alto. Assim, de acordo com as médias, apenas o tratamento com mandioca plantio convencional após quatro anos de pasto apresentou teor de carbono considerado adequado ($8,59 \text{ g kg}^{-1}$) na camada de 0-20 cm, enquanto os demais tratamentos apresentaram teores altos.

Os estoques de carbono no solo foram calculados em função do teor de carbono e da densidade aparente nas camadas de 0-10 e 10-20 cm de profundidade, sendo detectada interação significativa entre anos e tratamentos apenas na camada de 0-10 cm (Tabela 6). O tratamento com mandioca plantio direto após quatro anos de pasto aumentou significativamente o estoque de carbono, quando se comparou o início e final do experimento.

O estoque de carbono em 2012 não diferiu entre os tratamentos, mas após 7 anos (2019), o sistema com plantio direto após quatro anos de pasto apresentou maior estoque que os sistemas com plantio convencional, não diferindo do pasto perene e do sistema com plantio direto após dois anos de pasto (Tabela 6).

Estudos têm demonstrado que as pastagens apresentam diferentes taxas de acúmulo anual de C no solo, até 1 m de profundidade, sendo que estas taxas dependem da classe e da textura do solo, uso e manejo e do tempo de estabilização, variando de $0,1$ a $1,7 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (SÁ et al., 2017; LORENZ; LAL, 2018). Sousa e Lobato (2004) definem que para solos de textura arenosa, com densidade média de $1,5 \text{ g dm}^{-3}$, o estoque de carbono entre 18 - 26 Mg ha^{-1} na camada de 0-20 cm de profundidade, é considerado adequado. Estoques de carbono acima de 26 Mg ha^{-1} são classificados como altos.

Quando se comparou o estoque médio de carbono para a camada de 0-20 cm, não se observou diferença entre tratamentos, mas o estoque médio de carbono apresentou aumento significativo no ano de 2019 ($29,54 \text{ Mg ha}^{-1}$), quando comparado ao ano de 2012 ($27,57 \text{ Mg ha}^{-1}$). No presente ensaio, o estoque médio de carbono no solo, na camada de 0-20 cm, já era classificado como alto no ano inicial (2012), e manteve este teor alto no ano final (2019), com incremento médio de $1,97 \text{ Mg ha}^{-1}$ em sete anos, com taxa de acúmulo anual de carbono no solo de $0,28 \text{ Mg ha}^{-1}$.

¹Mg: megagrama - unidade de medida de massa que denota um milhão de gramas ou uma tonelada.

Tabela 6. Estoques de carbono no solo nos anos de 2012 e 2019, no pasto perene e nos sistemas com mandioca cultivada após dois e quatro anos de pasto, em plantio direto e convencional.

Tratamentos	Ano		Média
	2012	2019	
Mg ha ⁻¹			
Camada 0-10 cm			
PP	17,09Aa	18,94Aab	17,09Aa
MC-2P	16,88Aa	16,43Ab	16,88Aa
MPD-2P	18,23Aa	19,57Aab	18,23Aa
MC-4P	16,16Aa	17,10Ab	16,16Aa
MPD-4P	16,41Ba	21,46Aa	16,41Ba
Média	16,95	18,70	16,95
Camada 10-20 cm			
PP	10,18	10,19	10,18
MC-2P	10,71	11,39	10,71
MPD-2P	11,26	10,37	11,26
MC-4P	9,41	11,12	9,41
MPD-4P	10,25	10,33	10,25
Média	10,36A	10,68A	10,36A

Médias por safra, seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey 10%. PP: pasto perene de capim-marandu; MC-2P: mandioca convencional seguida de dois anos de pasto; MPD-2P: mandioca plantio direto seguida de dois anos de pasto; MC-4P: mandioca convencional seguida de quatro anos de pasto; MPD-4P: mandioca plantio direto seguida de quatro anos de pasto.

Neste contexto, as pastagens tropicais apresentam grande potencial de acúmulo de carbono no solo, contribuindo para a mitigação da emissão de gases de efeito estufa, principalmente quando se adotam práticas adequadas de manejo do pastejo, fertilização e ILP (ALMEIDA; VILLA, 2020).

De acordo com Salton et al. (2014), avaliando experimento de ILP de longo prazo, os sistemas com pasto bem manejado, atingiram os níveis mais altos de estoque de carbono na camada de 0-20 cm do solo, seguidos pelos sistemas integrados com soja em plantio direto após dois anos de pasto (*Brachiaria decumbens* Stapf). O pasto contribuiu para o maior acúmulo de biomassa tanto da parte aérea quanto de raízes. Os autores também observaram que o cultivo contínuo, em sistema convencional de preparo do solo, resultou nos menores estoques de carbono.

As densidades do solo, nas três camadas amostradas, foram maiores em 2019 comparadas aos resultados de 2012, com incremento de 11,90%, 4,19% e 2,26% na camada de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm de profundidade, respectivamente (Tabela 7). Observou-se que não houve interação entre anos e tratamentos em nenhuma das camadas estudadas. Em relação aos tratamentos, nas duas primeiras camadas o pasto perene e os sistemas integrados não diferiam entre si, com média de 1,55 Mg m⁻³ para a camada de 0-10 cm e 1,63 Mg m⁻³ para a camada de 10-20 cm de profundidade. Já na camada mais profunda (20-40 cm) o sistema com mandioca em plantio direto após dois anos de pasto apresentou menor densidade de solo quando comparado com a mandioca com cultivo convencional após quatro anos de pasto, sendo que ambos os tratamentos não diferiram do pasto perene, do sistema de mandioca com cultivo convencional após dois anos e da mandioca em plantio direto após quatro anos.

Tabela 7. Densidade do solo, em três camadas, nos anos de 2012 e 2019, no pasto perene e nos sistemas com mandioca cultivada após dois e quatro anos de pasto, em plantio direto e convencional.

Tratamentos	Ano		Média
	2012	2019	
Densidade (Mg m^{-3})			
Camada 0-10 cm			
PP	1,50	1,61	1,55 a
MC-2P	1,48	1,71	1,59 a
MPD-2P	1,48	1,61	1,55 a
MC-4P	1,52	1,56	1,54 a
MPD-4P	1,43	1,60	1,51 a
Média	1,48 B	1,62 A	
Camada 10-20 cm			
PP	1,57	1,66	1,61 a
MC-2P	1,54	1,66	1,60 a
MPD-2P	1,64	1,69	1,67 a
MC-4P	1,56	1,65	1,60 a
MPD-4P	1,68	1,68	1,68 a
Média	1,60 B	1,67 A	
Camada 20-40 cm			
PP	1,72	1,77	1,74 ab
MC-2P	1,75	1,77	1,76 ab
MPD-2P	1,70	1,75	1,72 b
MC-4P	1,73	1,81	1,77 a
MPD-4P	1,74	1,75	1,75 ab
Média	1,73 B	1,77 A	

Médias por camada, seguidas pela mesma letra maiúscula na linha, e mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey 10%. PP: pasto perene de capim-marandu; MC-2P: mandioca convencional seguida de dois anos de pasto; MPD-2P: mandioca plantio direto seguida de dois anos de pasto; MC-4P: mandioca convencional seguida de quatro anos de pasto; MPD-4P: mandioca plantio direto seguida de quatro anos de pasto.

O manejo integrado da carga animal variável e o sistema de preparo plantio direto mantiveram densidades do solo que corresponderiam a níveis de compactação adequados para o desenvolvimento do pasto e mandioca. Considerando-se as densidades máximas de solo de referência, determinadas em amostras de solo saturadas sob pressão de 200 kPa por Fidalski e Tormena (2022), é possível inferir que os sistemas integrados com mandioca em plantio direto não comprometeram a qualidade física durante o período experimental de 2012 e 2019, em relação ao pasto perene. Reinert et al., (2008) avaliaram a qualidade física de um Argissolo Vermelho, com 73% de areia, cultivado no sistema de plantio direto, após o cultivo de plantas de cobertura. Os resultados mostraram crescimento normal das plantas de cobertura até o limite de densidade de $1,75 \text{ Mg m}^{-3}$. Entre a faixa de $1,75$ e $1,85 \text{ Mg m}^{-3}$, ocorre restrição com deformações na morfologia das raízes em grau médio e, acima de $1,85 \text{ Mg m}^{-3}$, essas deformações são significativas.

Para a macroporosidade do solo nas camadas de 0-10 e de 10-20 cm não houve interação entre anos e tratamentos (Tabela 8). Na camada de 0-10 cm a macroporosidade não diferiu após sete anos de avaliação. Ao se analisar os tratamentos, a mandioca em plantio convencional após dois anos de pasto apresentou menor macroporosidade, quando comparada com o sistema de mandioca em plantio direto após quatro anos de pasto. Para a camada de 10-20 cm de profundidade, a macroporosidade foi maior após sete anos, na média dos tratamentos.

Na média dos resultados dos tratamentos (avaliações de 2012 e 2019), o sistema de mandioca em plantio convencional após dois anos de pasto apresentou menor macroporosidade quando comparado com o pasto perene na camada de 10-20 cm de profundidade

Tabela 8. Macroporosidade do solo, em três camadas, nos anos de 2012 e 2019, no pasto perene e nos sistemas com mandioca cultivada após dois e quatro anos de pasto, em plantio direto e convencional.

Tratamentos	Ano		Média
	2012	2019	
Macroporosidade (m ³ m ⁻³)			
Camada 0-10 cm			
PP	0,20	0,21	0,21 ab
MC-2P	0,19	0,17	0,18 b
MPD-2P	0,20	0,19	0,19 ab
MC-4P	0,23	0,24	0,23 a
MPD-4P	0,23	0,23	0,22 ab
Média	0,21 A	0,21 A	
Camada 10-20 cm			
PP	0,22	0,22	0,22 a
MC-2P	0,13	0,19	0,16 b
MPD-2P	0,18	0,18	0,18 ab
MC-4P	0,19	0,21	0,20 ab
MPD-4P	0,15	0,20	0,18 ab
Média	0,17 B	0,20 A	
Camada 20-40 cm			
PP	0,17 Aa	0,10 Bb	0,13
MC-2P	0,12 Aa	0,12 Aab	0,12
MPD-2P	0,16 Aa	0,12 Aab	0,14
MC-4P	0,13 Aa	0,10 Ab	0,12
MPD-4P	0,11 Ba	0,14 Aa	0,13
Média	0,14	0,12	

Médias por camada, seguidas pela mesma letra maiúscula na linha, e mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey 10%. PP: pasto perene de capim-marandu; MC-2P: mandioca convencional seguida de dois anos de pasto; MPD-2P: mandioca plantio direto seguida de dois anos de pasto; MC-4P: mandioca convencional seguida de quatro anos de pasto; MPD-4P: mandioca plantio direto seguida de quatro anos de pasto.

Na profundidade de 20-40 cm, a interação foi significativa entre anos e tratamentos. No início do experimento a macroporosidade entre os tratamentos não apresentou diferença significativa, mas em 2019 o sistema de mandioca em plantio direto após quatro anos apresentou maior macroporosidade em relação, ao pasto perene e ao sistema de mandioca plantio convencional após quatro anos de pasto. A dinâmica dos sistemas demonstrou que o pasto perene reduziu a macroporosidade e o sistema de mandioca plantio direto após quatro anos de pasto aumentou a macroporosidade ao final do período de avaliação, não havendo diferença significativa para os demais tratamentos. Segundo Stolf et al. (2011), não há limitação física pela macroporosidade em solos arenosos quando esta for igual ou superior aos valores mínimos de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. No presente experimento não foi observado nenhum valor abaixo de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, desta forma para os sistemas analisados, não houve limitações física de macroporosidade.

A umidade média do solo na camada de 0-10 cm de profundidade variou entre os tratamentos na safra de 2016-2018 (Tabela 9). Na safra de 2016-2018, em que se cultivou a mandioca após dois anos de pasto, o tratamento com plantio convencional apresentou umidade do solo média de 11,41%, inferior aos demais tratamentos com mandioca plantio direto (MPD-2P) e pasto (PP, MC-4P e MPD-4P), respectivamente, 16,03%, 14,60%, 13,96% e 15,58% (Tabela 9). O cultivo de mandioca após quatro anos de pasto não diferenciou os tratamentos com plantio convencional e plantio direto, respectivamente, 12,70% e 14,26%, mas o tratamento MC-4P cultivado com mandioca manteve o solo com umidade inferior aos tratamentos com pasto à época (PP, MC-2P e MPD-4P, respectivamente, 15,61%, 14,83% e 15,80%). No presente estudo, os resultados das duas safras possibilitaram inferir que o cultivo de mandioca por meio do preparo convencional do solo diminuiu a umidade da camada superficial deste solo arenoso em relação aos tratamentos com pasto e em relação ao plantio direto de mandioca. Já Figueiredo et al. (2017) não observaram diferença no teor de água no solo entre os tratamentos com preparo mínimo (PM), preparo convencional (PC) e plantio direto (PD) de mandioca, mas o PD apresentou alta umidade nas camadas superiores do solo.

Tabela 9. Umidade do solo, base volume 1% ($0,01 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) a 0-10 cm de profundidade, com cultivos de mandiocas nas safras de 2016-2018 (MC-2P e MPD-2P) e 2018-2019 (MC-4P e MPD-4P).

Tratamentos	Safra	
	2016-2018	2018-2019
	(%)	
PP	14,60 ab	15,61 a
MC-2P	11,41 c	14,83 a
MPD-2P	16,03 a	15,80 a
MC-4P	13,96 b	12,70 b
MPD-4P	15,58 a	14,26 ab

Médias por safra, seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey 10%. PP: pasto perene de capim-marandu; MC-2P: mandioca convencional seguida de dois anos de pasto; MPD-2P: mandioca plantio direto seguida de dois anos de pasto; MC-4P: mandioca convencional seguida de quatro anos de pasto; MPD-4P: mandioca plantio direto seguida de quatro anos de pasto.

3.1.2. Experimento intensidades de pastejo

No cultivo da mandioca sobre pasto anual de capim-marandu, houve interação significativa entre os anos e tratamentos nas camadas de 0-10 e 10- 20 cm de profundidade para a densidade do solo e nenhuma influência na densidade do solo para a camada de 20-40 cm de profundidade

(Tabela 10). Na camada de 0-10 cm de profundidade, a densidade do solo reduziu significativamente de $1,70 \text{ Mg m}^{-3}$ em PC 50% após o preparo convencional do solo antes do plantio em 2017, para $1,62 \text{ Mg m}^{-3}$ verificado antes da colheita de mandioca em 2019. Nesta camada do solo, após o cultivo da mandioca (2019) a densidade do solo foi estatisticamente semelhante entre todos os tratamentos, onde anteriormente (2017) houve diferença entre os tratamentos PC 50% e PD 0%.

Na camada de 10-20 cm de profundidade, em 2017, o tratamento PD 25% apresentou menor densidade em relação ao PD 75%, sem interações entre os demais sistemas. Ao final do período, em 2019, houve tendência de o PC 50% ter maior densidade do solo ($1,76 \text{ Mg m}^{-3}$) em relação aos sistemas em que se adotou o PD, sendo significativamente superior ao PD 50% ($1,68 \text{ Mg m}^{-3}$). Na média dos tratamentos, comparando-se 2017 e 2019, houve semelhança nos resultados.

Na profundidade de 20-40 cm, o cultivo de mandioca sobre o pasto anual não influenciou a densidade média do solo ($1,77 \text{ Mg dm}^{-3}$) entre os anos e os tratamentos.

Tabela 10. Densidade do solo, em três camadas de solo, para os tratamentos em plantio convencional e plantio direto, sob diferentes intensidades de pastejo em pasto anual de capim-marandu, em 2017 e 2019.

Tratamentos	Ano		Média
	2017	2019	
Densidade (Mg m^{-3})			
Camada 0-10 cm			
PC 50%	1,70 Aa	1,62 Ba	1,66
PD 0%	1,59 Ab	1,64 Aa	1,62
PD 25%	1,65 Aab	1,64 Aa	1,64
PD 50%	1,66 Aab	1,57 Aa	1,62
PD 75%	1,67 Aab	1,62 Aa	1,65
Média	1,65	1,62	
Camada 10-20 cm			
PC 50%	1,72 Aab	1,76 Aa	1,74
PD 0%	1,72 Bab	1,74 Aab	1,73
PD 25%	1,69 Bb	1,75 Aab	1,72
PD 50%	1,73 Aab	1,68 Ab	1,71
PD 75%	1,76 Aa	1,75 Aab	1,76
Média	1,72	1,74	
Camada 20-40 cm			
PC 50%	1,76	1,79	1,78a
PD 0%	1,79	1,78	1,78a
PD 25%	1,78	1,76	1,77a
PD 50%	1,77	1,76	1,77a
PD 75%	1,73	1,78	1,76a
Média	1,77 A	1,77 A	

Médias por camada, seguidas pela mesma letra maiúscula na linha, e mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey 10%. PC 50%: plantio convencional; PD 0%: pasto sem pastejo; PD 25%, PD 50% e PD 75%: intensidade de pastejo para consumo de 25%, 50% e 75% da massa de forragem, respectivamente.

A macroporosidade do solo foi influenciada pela interação significativa entre anos e tratamentos nas camadas de 0-10 e 20-40 cm de profundidade (Tabela 11). O preparo convencional do solo (PC 50%) reduziu a macroporosidade na camada de 0-10 cm de profundidade antes do plantio de mandioca em 2017 comparada ao plantio direto (PD 0%), respectivamente, 0,20 e 0,26 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$. Na camada de 10-20 cm de profundidade, na média dos tratamentos, a macroporosidade do solo diminuiu de 2017 (0,19 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) para 2019 (0,15 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), sem interação entre os tratamentos.

Na camada de 20-40 cm de profundidade, a macroporosidade diminuiu entre 2017 e 2019, nos tratamentos PD 0% (0,14 para 0,09), PC 50% (0,13 para 0,10) e PC 75% (0,15 para 0,10 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), mas sem diferenças entre os tratamentos nos dois anos avaliados.

Tabela 11. Macroporosidade do solo, em três camadas de solo, para os tratamentos em plantio convencional e plantio direto, sob diferentes intensidades de pastejo em pasto anual de capim-marandu, em 2017 e 2019.

Tratamentos	Ano		Média
	2017	2019	
Macroporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)			
Camada 0-10 cm			
PC 50%	0,20 Ab	0,22 Aa	0,21
PD 0%	0,26 Aa	0,22 Ba	0,24
PD 25%	0,23 Aab	0,23 Aa	0,23
PD 50%	0,21 Aab	0,25 Aa	0,23
PD 75%	0,22 Aab	0,22 Aa	0,22
Média	0,22	0,23	
Camada 10-20 cm			
PC 50%	0,18	0,13	0,16 ab
PD 0%	0,20	0,15	0,17 ab
PD 25%	0,21	0,16	0,18 ab
PD 50%	0,20	0,19	0,19 a
PD 75%	0,16	0,13	0,15 b
Média	0,19 A	0,15 B	
Camada 20-40 cm			
PC 50%	0,14 Aa	0,09 Ba	0,12
PD 0%	0,11 Aa	0,11 Aa	0,11
PD 25%	0,12 Aa	0,11 Aa	0,12
PD 50%	0,13 Aa	0,10 Ba	0,12
PD 75%	0,15 Aa	0,10 Ba	0,12
Média	0,13	0,10	

Médias por camada, seguidas pela mesma letra maiúscula na linha, e mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey 10%. PC 50%: plantio convencional; PD 0%: pasto sem pastejo; PD 25%, PD 50% e PD 75%: intensidade de pastejo para consumo de 25%, 50% e 75% da massa de forragem, respectivamente.

Quando a mandioca foi cultivada sobre pasto perene de capim-marandu, a interação entre os anos e tratamentos na camada de 0-10 cm de profundidade reduziu a densidade do solo entre os anos de 2020 e 2021 para o tratamento PC 50%, respectivamente, 1,64 e 1,42 Mg m⁻³ (Tabela 12). Neste período, a densidade do solo na camada de 10-20 cm de profundidade não houve efeito de tratamento e de ano. Isso evidenciou que os tratamentos não afetaram essa camada subsuperficial do solo.

De 20 a 40 cm de profundidade, não existiu efeito de tratamento, mas a densidade média do solo diferiu significativamente entre os anos avaliados, sendo 1,70 Mg m⁻³ em 2020 e 1,73 Mg m⁻³ em 2021.

Portanto, a dinâmica da integração de sistemas com cultivo de uma safra de mandioca após pasto perene de capim-marandu resultou em efeito na camada superficial do solo no plantio convencional da tuberosa, possivelmente em função de haver a incorporação da massa de forragem e suas raízes pelo preparo do solo. Avaliações em longo prazo são necessárias para concluir o efeito do revolvimento promovido pelo preparo do solo sobre este atributo.

Tabela 12. Densidade do solo, em três camadas de solo, para os tratamentos em plantio convencional e plantio direto, sob diferentes intensidades de pastejo em pasto perene de capim-marandu, em 2020 e 2021.

Tratamento	Ano		Média
	2020	2021	
Densidade (Mg m ⁻³)			
Camada 0-10 cm			
PC 50%	1,64 Aa	1,42 Bb	1,53
PD 0%	1,66 Aa	1,58 Aa	1,62
PD 25%	1,56 Aa	1,64 Aa	1,60
PD 50%	1,59 Aa	1,56 Aa	1,58
PD 75%	1,59 Aa	1,63 Aa	1,61
Média	1,61	1,57	
Camada 10-20 cm			
PC 50%	1,64	1,59	1,61 a
PD 0%	1,69	1,66	1,67 a
PD 25%	1,61	1,64	1,63 a
PD 50%	1,61	1,64	1,63 a
PD 75%	1,65	1,59	1,62 a
Média	1,64 A	1,63 A	
Camada 20-40 cm			
PC 50%	1,70	1,71	1,71 a
PD 0%	1,71	1,74	1,73 a
PD 25%	1,68	1,74	1,71 a
PD 50%	1,72	1,75	1,73 a
PD 75%	1,67	1,70	1,69 a
Média	1,70 B	1,73 A	

Médias por camada, seguidas pela mesma letra maiúscula na linha, e mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey 10%. PC 50%: plantio convencional; PD 0%: pasto sem pastejo; PD 25%, PD 50% e PD 75%: intensidade de pastejo para consumo de 25%, 50% e 75% da massa de forragem, respectivamente.

A macroporosidade do solo foi influenciada pela interação entre os anos e tratamentos na camada de 0-10 de profundidade (Tabela 13). Os tratamentos PC 50% e PD 50% proporcionaram o aumento da macroporosidade do solo entre 2020 e 2021. Em 2021, observou-se maior macroporosidade do solo no tratamento PC 50% ($0,30 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), assim como foi para a densidade do solo (Tabela 12), em relação aos tratamentos PD 25% e PD 75%. Nas camadas de 10-20 e 20-40 cm de profundidade, a macroporosidade do solo se manteve inalterada durante o cultivo de mandioca sob as massas de forragem em plantio convencional e direto entre 2020 e 2021. Figueiredo et al. (2017) avaliaram os efeitos do preparo mínimo (PM), preparo convencional (PC) e plantio direto (PD) de mandioca nas características físicas do solo. Os maiores valores de macroporosidade do solo ocorreram no PD na camada de 10-20 cm. Nas camadas de 0-10 cm e 20-30 m, o PC apresentou os maiores valores de macroporosidade.

Tabela 13. Macroporosidade do solo, em três camadas de solo, para os tratamentos em plantio convencional e plantio direto, sob diferentes intensidades de pastejo em pasto perene de capim-marandu, em 2020 e 2021.

Tratamento	Ano		Média
	2020	2021	
Macroporosidade ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)			
Camada 0-10 cm			
PC 50%	0,18 Ba	0,30 Aa	0,24
PD 0%	0,19 Aa	0,24 Aab	0,22
PD 25%	0,22 Aa	0,22 Ab	0,22
PD 50%	0,19 Ba	0,25 Aab	0,22
PD 75%	0,19 Aa	0,21 Ab	0,20
Média	0,20	0,24	
Camada 10-20 cm			
PC 50%	0,21	0,22	0,23 a
PD 0%	0,19	0,19	0,19 a
PD 25%	0,20	0,18	0,19 a
PD 50%	0,21	0,21	0,21 a
PD 75%	0,19	0,21	0,20 a
Média	0,20 A	0,20 A	
Camada 20-40 cm			
PC 50%	0,17	0,16	0,17 a
PD 0%	0,16	0,17	0,17 a
PD 25%	0,18	0,15	0,17 a
PD 50%	0,16	0,16	0,16 a
PD 75%	0,19	0,19	0,19 a
Média	0,17 A	0,17 A	

Médias por camada, seguidas pela mesma letra maiúscula na linha, e mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey 10%. PC 50%: plantio convencional; PD 0%: pasto sem pastejo; PD 25%, PD 50% e PD 75%: intensidade de pastejo para consumo de 25%, 50% e 75% da massa de forragem, respectivamente.

3.2. Manejo do Pastejo e Desempenho Animal

3.2.1. Experimento SIPA

No período que antecedeu o primeiro cultivo de mandioca nas parcelas experimentais, não foi realizado pastejo no capim-marandu, estabelecido em fevereiro de 2012, obtendo-se uma produção de 4.518 kg MS ha⁻¹, que foi dessecada antes do plantio da mandioca para formação de palhada de cobertura.

Nos dois anos que se seguiram, após a colheita da primeira lavoura de mandioca, até a safra de mandioca 2016/2017 (MC-2P e MPD-2P), a produção média de forragem antes da dessecação foi de 7.970 kg MS ha⁻¹. No período de quatro anos de pasto antes da safra de mandioca 2018/2019 (MC-4P e MPD-4P) obteve-se acúmulo de forragem de 2.093 kg MS ha⁻¹. Antes do plantio da mandioca, nas duas safras avaliadas no SIPA, os animais foram retirados das parcelas em média 30 dias antes do final do período de verão. Isso resultou em cinco rotações de pastejo no SIPA, permitindo o acúmulo de massa de forragem para a formação de palhada. No pasto perene de capim-marandu foram realizadas seis rotações de pastejo no período de verão destas mesmas safras.

Ao longo das sete safras avaliadas, a taxa de lotação média obtida no período de verão não diferiu entre as áreas de pasto perene e SIPA, mas no inverno ela foi maior no pasto perene (Tabela 14).

Tabela 14. Taxa de lotação e produção de arrobas de carcaça por hectare nas áreas de pasto perene e SIPA mandioca, nos períodos de verão e inverno, entre 2013 e 2019.

Safras	Verão		Inverno	
	Pasto perene	SIPA	Pasto perene	SIPA
Taxa lotação (Unidades animais ha ⁻¹)				
2013/2014	7,40	7,63	1,90	1,10
2014/2015	10,00	8,40	4,30	3,25
2015/2016	7,90	6,80	2,20	2,02
2016/2017	7,10	6,80	3,00	3,00
2017/2018	8,30	8,30	3,90	2,40
2018/2019	9,20	8,20	2,60	2,40
2019/2020	7,20	7,30	3,10	2,40
Média	8,16A	7,63A	3,00A	2,37B
Produção de carne (Arrobas de carcaça ha ⁻¹)				
2013/2014	39,80	30,36	6,80	3,30
2014/2015	43,90	30,50	10,90	7,70
2015/2016	46,40	34,45	6,10	5,70
2016/2017	39,70	28,50	3,50	2,90
2017/2018	27,40	19,20	5,30	4,47
2018/2019	43,00	44,30	4,00	4,00
2019/2020	29,50	25,20	3,20	3,20
Média	38,50A	30,40B	5,68A	4,46A

Médias seguidas pela mesma letra na linha, dentro de cada período, não diferem entre si pelo teste Tukey 5%.

O ganho médio diário (GMD) dos animais no pasto perene de capim-marandu foi de 0,624 kg no verão e 0,387 kg no inverno. Já no SIPA os ganhos foram de 0,561 kg e 0,390 kg no verão e inverno, respectivamente. No pasto perene o ganho de peso corporal (GPC) por área foi de 1.156 kg ha⁻¹ no verão, e de 170 kg ha⁻¹ no inverno. No SIPA o GPC foi de 911 e 122 kg ha⁻¹, respectivamente, no verão e no inverno. Estes ganhos permitiram uma produção de arrobas de carcaça significativamente superior no pasto perene em relação ao SIPA, no período de verão. No inverno esta produção não diferiu entre o SIPA e o pasto perene (Tabela 14). Os fatores que mais contribuem para a menor produção de carcaça na área de SIPA são os períodos em que os animais precisam ser retirados do sistema para acúmulo de massa para formação de palhada antes do plantio da mandioca, bem como o período sem pastejo até a formação do pasto, após a semeadura pós-colheita da mandioca. Contudo, o desempenho animal em pasto perene de capim-marandu foi similar ao observado em outros ensaios com a forrageira, sob lotação rotacionada (GIMENES et al., 2011; EUCLIDES et al., 2018).

Gimenes et al., (2011) avaliaram duas frequências de pastejo (altura pré-pastejo de 25 e 35 cm) e duas doses de fertilizante nitrogenado (50 e 200 kg ha⁻¹ por ano) para o capim-marandu submetido a pastejo rotativo. O ganho de peso corporal médio foi de 890 kg ha⁻¹ por unidade de área nos pastos manejados com altura pré-pastejo de 25 e 35 cm. Houve maiores GMD por animal (0,629 e 0,511 kg dia⁻¹) nos pastos manejados com altura pré-pastejo de 25 cm. Em avaliação realizada no município de Campo Grande - MS, o capim-marandu manejado sob lotação rotacionada permitiu um GMD de 0,580 kg animal⁻¹ por ano, com ganho de peso corporal médio por área de 1.170 kg ha⁻¹ por ano (EUCLIDES et al., 2018).

3.2.2. Experimento intensidades de pastejo

Nestes ensaios os animais foram utilizados apenas para estabelecimento dos tratamentos, em função das diferentes intensidades de pastejo preconizadas, não sendo avaliado o desempenho animal nas áreas.

3.3. Produtividade de Mandioca e Decomposição de Palhada

3.3.1. Experimento SIPA

Na safra 2016/2017 na rotação com dois anos de pasto (MC-2P e MPD-2P), as médias gerais dos tratamentos para as produtividades de raízes frescas e secas foram de 55,57 e 20,58 t ha⁻¹. O número de raízes por planta e as produtividades de raízes frescas e secas foram significativamente superiores no plantio convencional em relação ao plantio direto (Tabela 15). Os percentuais dos estandes não apresentaram diferenças significativas entre o plantio convencional e direto e indicaram boa adequação da plantadora nos dois sistemas. Trabalho realizado por Pequeno et al. (2007) em Araruna - PR, também na região Noroeste do Estado, em quatro anos agrícolas utilizando aveia-preta e nabo forrageiro nos dois primeiros anos e milho nos anos seguintes, também propiciou maior produtividade de raízes tuberosas de mandioca no sistema de preparo convencional do solo (24,7 t ha⁻¹) em relação ao preparo mínimo (20,5 t ha⁻¹) e ao plantio direto (18,2 t ha⁻¹). A produtividade no plantio direto sobre resíduos das culturas de sorgo, crotalária, coquetel (sorgo + crotalária), *Brachiaria decumbens* e *B. ruziziensis*, mediante roçada, de 23,9 t ha⁻¹, foi 7,0 t ha⁻¹ inferior ao plantio convencional para Devede et al. (2017). Contudo, os autores ressaltam que o índice de colheita foi similar entre os tratamentos e o plantio direto permitiu economia de energia na mecanização, bem como o acúmulo de alta quantidade de resíduos essenciais para a conservação do solo. Para Lamidi (2016) a maior produtividade de mandioca foi observada no plantio convencional, com 11,2 t ha⁻¹ e a menor no plantio direto, com 9,8 t ha⁻¹ em avaliações efetuadas na Nigéria.

Tabela 15. Estande, número de raízes por planta (N.º), produtividade de raízes frescas e secas, matéria seca (MS), renda e podridão das raízes de mandioca em plantio convencional e plantio direto, safra 2016/2017.

Tratamentos	Estande (%)	Raízes					
		N.º	Fresca (t ha ⁻¹)	Seca (t ha ⁻¹)	MS (%)	Renda (g)	Podres (%)
MC-2P	91,25 a	5,02 a	63,29 a	23,59 a	37,27 a	636,00 a	31,75 a
MPD-2P	91,25 a	3,41 b	47,85 b	17,58 b	36,62 a	616,84 a	53,76 a
CV (%)	6,29	8,05	7,25	7,89	1,61	2,80	33,02

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey 5%. MC-2P: mandioca convencional seguida de dois anos de pasto; MPD-2P: mandioca plantio direto seguida de dois anos de pasto.

Embora sem diferenças no percentual de raízes podres entre os tratamentos, ocorreu correlação significativa com a produtividade de raízes frescas ($p = -0,77^*$), com interferência nos resultados. O número de raízes por planta correlacionou-se diretamente com a produtividade de raízes frescas ($p = 0,92^{**}$) e indica a influência direta dos sistemas de plantio sobre as duas variáveis.

Na análise foliar efetuada em novembro de 2016 nos dois sistemas (Tabela 16) foram detectadas diferenças nos nutrientes Mg e Mn, que foram significativamente superiores no plantio convencional. Os níveis de N, P, K e B encontravam-se adequados, os de Ca, Mg baixos e os de Mn, Cu e Zn elevados, segundo Borges et al. (2022). A adubação efetuada mostrou-se eficaz na manutenção dos níveis adequados dos nutrientes nas folhas.

Na rotação com quatro anos de pasto (MC-4P e MPD-4P), na safra 2018/2019, não houve diferença entre os plantios convencional e direto em todas as variáveis analisadas (Tabela 17). A média dos sistemas convencional e direto foi de 60,81 t ha⁻¹ para as raízes frescas, considerada elevada se comparada à média estadual de 22,3 t ha⁻¹ (SEAB, 2022). A produção de raízes secas foi de 20,19 t ha⁻¹, em média. Resultados semelhantes foram obtidos por Otsubo et al. (2012) na avaliação do efeito de diferentes preparos de solo de textura arenosa, pois também não observaram diferenças significativas para a produção de raízes frescas entre o plantio convencional e o plantio direto sobre palhada de aveia, com média de 52,1 t ha⁻¹. Porém, observaram maior número de raízes ha⁻¹ em plantio direto, comparada ao plantio convencional.

As falhas observadas no estande ocorreram provavelmente em função das condições climáticas após o plantio (Tabela 1), mas com valores sem diferenças significativas em relação aos sistemas convencional e direto. Diferentemente da avaliação anterior antecedida de dois anos de pasto, não foram constatadas podridões radiculares nos dois sistemas, possivelmente em função da baixa precipitação do período.

Tabela 16. Macro e micronutrientes nas folhas de mandioca coletadas em novembro 2016.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S	Mn	Cu	Zn	B
	----- (g kg ⁻¹) -----					----- (mg kg ⁻¹) -----				
MC-2P	59,35 a	3,45 a	16,02 a	5,75 a	2,32 a	1,92 a	218,00 a	50,00 a	77,75 a	63,00 a
MPD-2P	43,52 a	3,15 a	14,40 a	4,32 a	1,80 b	2,67 a	148,00 b	42,75 a	72,25 a	56,25 a
CV (%)	35,09	12,97	27,86	28,24	10,97	15,37	14,01	24,05	8,23	17,35

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey 5%.

Tabela 17. Estande, número de raízes por planta (N.º), produtividade de raízes frescas e secas, matéria seca (MS), renda e podridão das raízes de mandioca em plantio convencional e plantio direto, safra 2018/2019.

Tratamentos	Estande (%)	Raízes				
		N.º	Fresca (t ha ⁻¹),	Seca (t ha ⁻¹),	MS (%)	Renda (g)
MC-4P	85,00 a	6,63 a	60,95 a	19,93 a	32,71 a	501,25 a
MPD-4P	87,71 a	6,03 a	60,68 a	20,46 a	33,75 a	531,92 a
CV (%)	3,62	14,70	4,42	5,46	1,55	2,93

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas, não diferem entre si pelo teste Tukey 5%. MC-4P: mandioca convencional seguida de quatro anos de pasto; MPD-4P: mandioca plantio direto seguida de quatro anos de pasto.

A massa média de forragem de capim-marandu acumulada antes do plantio da mandioca na safra 2016/2016 (7.969 kg MS ha⁻¹), nas parcelas de plantio direto, pode ser considerada adequada para implantação e manejo eficiente do plantio direto (Tabela 18). Segundo Cruz et al., (2002), o sistema plantio direto requer que a quantidade mínima de palha seja mantida permanentemente em torno de 6.000 kg MS ha⁻¹ para cobrir o solo.

Para a cultura da mandioca, que é plantada no inverno, a decomposição da palha do capim-marandu nos períodos iniciais (7,14, 28 e 56 dias), geralmente é menor do que a observada para o mesmo período no verão. Temperaturas e chuvas mais elevadas contribuem para elevar as taxas de decomposição dos resíduos vegetais (HAAG, 1985). Neste estudo a taxa de decomposição de 29,35% observada aos 56 dias após o plantio da mandioca, no período de inverno, foi ligeiramente menor que a observada por Gobbi et al. (2017). Estes autores relataram um percentual médio de decomposição da palha do capim-marandu (pasto perene) de 31% após 56 dias, em sistema integrado com soja, no período de verão. A alta decomposição da palha observada mesmo no período de inverno pode estar relacionada à maior precipitação observada principalmente em agosto, que ficou 100 mm acima da média histórica (Tabela 1). Como a mandioca é uma cultura de ciclo longo, a decomposição dos resíduos aumenta com o tempo e pode variar em função da composição químico-bromatológica da palha. Aos 448 dias após o plantio da mandioca, a decomposição da palha atingiu 76,23%, deixando 1.894 kg ha⁻¹ de palha residual. Após a determinação da constante de decomposição (k) da palha residual do capim-marandu, foi calculado o tempo de meia-vida (t1/2) desta palha, que é o tempo necessário para que 50% da biomassa seja decomposta. Foram necessários 164 dias para que 50% da palhada do capim-marandu fosse decomposta no plantio direto da mandioca.

Tabela 18. Decomposição da palhada de capim-marandu e matéria seca (MS) de palhada residual em oito períodos de coleta no SIPA mandioca, após dois anos de pasto, em plantio direto.

Período de coleta (dias)	Decomposição (%)	Palhada Residual (kg MS ha ⁻¹)
0	0,00	7.969,28
7	6,07	7.485,54
14	6,94	7.416,21
28	11,73	7.034,48
56	29,35	5.630,29
112	39,55	4.817,43
224	61,41	3.075,34
336	74,48	1.910,31
448	76,23	1.894,30

3.3.2. Experimento Intensidades de Pastejo

Na avaliação do cultivo de mandioca sobre diferentes quantidades de palhada residual de capim-marandu anual, na safra 2017/2019, as produtividades das raízes de mandioca fresca e seca não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos avaliados, obtendo-se médias de 31,84 t ha⁻¹ e 10,88 t ha⁻¹ (Tabela 19). Embora a competição, principalmente por luz, no início da brotação da mandioca tenha sido bastante distinta entre os tratamentos, devido à altura dos pastos residuais, tal aspecto não influenciou a produtividade das raízes tuberosas.

Tabela 19. Número de raízes por planta, produtividade de raízes frescas e secas, matéria seca (MS) e renda para os tratamentos em plantio convencional e plantio direto, sob diferentes intensidades de pastejo, safra 2017/2019.

Raízes	Tratamentos					CV (%)
	PC 50%	PD 0%	PD 25%	PD 50%	PD 75%	
N.º planta ⁻¹	4,20 A	4,04 A	3,94 A	4,25 A	3,80 A	14,90
Frescas (t ha ⁻¹)	33,05 A	33,88 A	32,23 A	31,33 A	28,69 A	19,83
Secas (t ha ⁻¹)	11,21 A	11,52 A	10,81 A	10,83 A	10,05 A	20,97
MS (%)	33,74 B	33,95 B	33,55 B	34,52 AB	35,02 A	2,05
Renda (g)	531,88 B	537,92 B	526,00 B	554,62 AB	569,59 A	3,80

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste Tukey 5%. CV - coeficiente de variação. PC 50%: plantio convencional; PD 0%: pasto sem pastejo; PD 25%, PD 50% e PD 75%: intensidade de pastejo para consumo de 25, 50 e 75% da massa de forragem, respectivamente.

O número de raízes por planta também não foi afetado pelos tratamentos avaliados, corroborando os resultados de Figueiredo et al. (2014), que não detectaram diferenças significativas quando a mandioca foi cultivada sob plantio convencional, cultivo mínimo e plantio direto.

A menor quantidade de palha obtida no tratamento com maior intensidade de pastejo (PD 75%) influenciou significativamente o acúmulo de matéria seca e a renda das raízes de mandioca, com valores maiores em relação aos demais tratamentos. Estes resultados divergem dos obtidos por Pequeno et al (2007), que não verificaram diferenças significativas nos teores de matéria seca das raízes de mandioca entre os tratamentos de preparo convencional do solo, cultivo mínimo e plantio direto.

Quando se considerou as intensidades de pastejo nos tratamentos com plantio direto, a produção de raízes secas decresceu significativamente com o aumento da intensidade de pastejo de 0% para 75%, com significância de 1% do coeficiente de determinação r^2 de 0,96. (Figura 1). Observou-se que quanto maior a palhada residual, maior foi a produtividade.

As diferentes quantidades de palhada, obtidas após o pastejo do capim-marandu anual, não comprometeram a produtividade da mandioca em plantio direto, quando comparada ao plantio convencional, ao mesmo tempo que teve efeitos benéficos sobre a qualidade física do solo.

Na safra 2020/2021, quando a mandioca foi cultivada sobre pasto perene de capim-marandu, a produtividade das raízes frescas e secas foi significativamente superior para o tratamento com plantio convencional (PC 50%) em relação a todos os tratamentos em plantio direto com diferentes quantidades de palhada residual (Tabela 20). Não foram observadas diferenças em relação à matéria seca e renda das raízes. Porém, ao se considerar somente as intensidades de pastejo de 0% a 75%, ocorreram efeitos significativos na matéria seca das raízes (Figura 2).

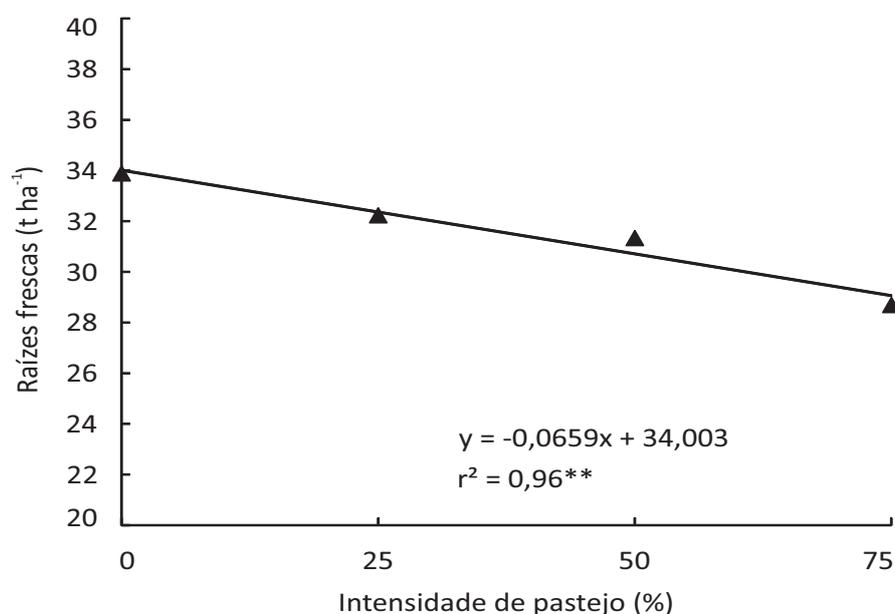


Figura 1. Produtividade de raízes frescas em função da intensidade de pastejo, safra 2017/2019.

Tabela 20. Número de raízes por planta, produtividade de raízes frescas e secas, matéria seca (MS) e renda para os tratamentos em plantio convencional e plantio direto, sob diferentes intensidades de pastejo, safra 2020/2021.

Variáveis	Tratamentos					CV (%)
	PC 50%	PD 0%	PD 25%	PD 50%	PD 75%	
Raízes						
Frescas (t ha ⁻¹)	32,02 A	18,72 B	20,56 B	18,99 B	20,04 B	9,09
Secas (t ha ⁻¹)	11,43 A	6,63 B	7,39 B	6,85 B	7,26 B	9,78
MS (%)	35,70 A	35,42 A	35,80 A	36,07 A	36,18 A	2,08
Renda (%)	508,50 A	501,38 A	511,00 A	518,00 A	520,75 A	3,72

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste Tukey 5%. CV - Coeficiente de variação. PC 50%: plantio convencional; PD 0%: pasto sem pastejo; PD 25%, PD 50% e PD 75%: intensidade de pastejo para consumo de 25, 50 e 75% da massa de forragem, respectivamente.

Além do reduzido número de trabalhos nos quais se avaliou a produtividade de mandioca sob diferentes preparos do solo, os resultados são variados. Alguns estudos mostram que o plantio direto pode diminuir a produtividade da mandioca (PEQUENO et al., 2007; LAMIDI, 2016), outros que não houve diferença entre plantio direto e convencional (OTSUBO et al., 2012), e alguns que o plantio direto promoveu maior produção que o convencional (OTSUBO et al., 2008). No trabalho de Figueiredo et al (2017), o plantio direto de mandioca aumentou a resistência à penetração do solo quando comparado ao cultivo mínimo e convencional, resultando em maior acúmulo de matéria seca na cepa e no caule, em relação às raízes. Os autores concluíram que o aumento da resistência à penetração do solo pode reduzir o crescimento das raízes de mandioca e induzir o caule e a cepa a servirem como órgãos de armazenamento. A diminuição da produção de raízes tuberosas pode estar associada à morfologia e fisiologia das raízes fibrosas, afetadas pela porosidade e resistência do solo à penetração. No presente estudo, quando a mandioca foi cultivada sobre pasto perene de capim-marandu, na safra 2020-2021, o tratamento com plantio convencional (PC 50%) promoveu redução na densidade (Tabela 12) e na macroporosidade (Tabela 13) do solo na camada de 0-10 cm, o que pode ter influenciado o desenvolvimento inicial de raízes e contribuído para a maior produtividade de raízes tuberosas.

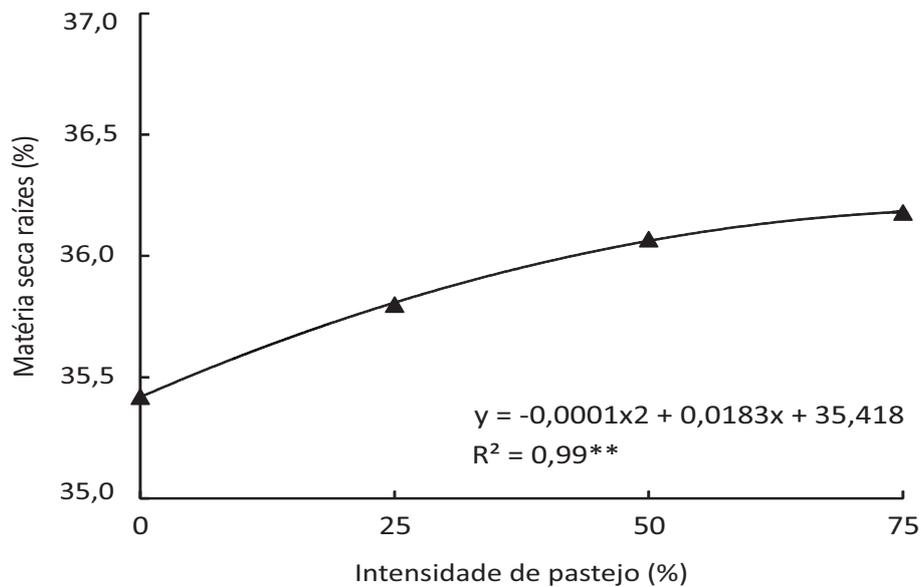


Figura 2. Matéria seca das raízes em função da intensidade de pastejo, safra 2020/2021.

Os resultados divergentes obtidos em estudos sobre o cultivo de mandioca em plantio direto demonstram que dúvidas persistem em relação aos efeitos do preparo do solo sobre a produtividade da mandioca. Isto influencia a tomada de decisão dos produtores com relação ao sistema de plantio a ser adotado. A diferença de produtividade de mandioca em plantio direto pode estar relacionada com a variação das condições edafoclimáticas onde as avaliações foram realizadas. Da mesma forma o tipo de forrageira, idade, hábito de crescimento, manejo com ou sem presença de animais em pastejo, influencia a formação de palhada antes do plantio da mandioca. Podemos supor que a idade do pasto (anual ou perene) utilizado para formação de palhada também irá afetar o desenvolvimento e produtividade da mandioca em plantio direto. Neste caso não só pelas diferenças na quantidade e qualidade da parte aérea produzida, que afeta a decomposição da palhada residual, mas também pela quantidade de biomassa subterrânea formada pelas raízes das gramíneas.

A decomposição da palhada do pasto anual de capim-marandu, avaliada no plantio direto de mandioca, apresentou diferenças significativas entre os tratamentos para alguns períodos de avaliação. Contudo, os altos coeficientes de variação observados para as amostras coletadas em alguns dos períodos estudados, contribuiu para a não detecção de diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 21). O ciclo longo da cultura da mandioca, de 12 a 18 meses, pode interferir na variabilidade das amostras, uma vez que os sacos utilizados para avaliação da decomposição da palhada, ficam alocados em diferentes pontos das parcelas, sofrendo efeitos distintos das intempéries.

Com base na porcentagem de decomposição da palhada, observou-se que após 224 dias a decomposição média da palhada foi de 38,77%. A massa residual de palhada presente nas parcelas experimentais não diferiu de forma significativa entre os tratamentos, com médias de 5.003, 4.754, 3.811 e 4.295 kg ha⁻¹ de palhada residual por hectare, para os tratamentos PD 0%, PD 25%, PD 50% e PD 75%, respectivamente. Considerando estes valores semelhantes de palhada residual e a não alteração da produtividade de mandioca entre os diferentes tratamentos avaliados, é possível afirmar que o pasto anual de capim-marandu pode ser parcialmente utilizado para o pastejo e alimentação animal, antes da dessecação e plantio da mandioca, dependendo da produção de matéria seca inicial.

Tabela 21. Decomposição da palhada de capim-marandu anual para os tratamentos em plantio direto (PD) de mandioca, sob diferentes intensidades de pastejo, safra 2017/2019.

Período (dias)	Tratamentos				CV (%)
	PD 0%	PD 25%	PD 50%	PD 75%	
	Decomposição (%)				
7	05,61 A	06,18 A	08,77 A	06,94 A	32,76
14	07,96 A	07,92 A	08,11 A	07,02 A	19,49
28	06,58 B	08,88 A	07,90 AB	07,46 AB	16,14
56	17,22 A	17,04 A	14,25 A	11,36 A	40,56
112	43,18 A	32,28 AB	34,45 AB	30,48 B	20,09
224	46,07 A	39,92 A	37,63 A	31,96 A	23,09

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste Tukey 5%. CV - Coeficiente de variação. PC 50%: plantio convencional; PD 0%: pasto sem pastejo; PD 25%, PD 50% e PD 75%: intensidade de pastejo para consumo de 25, 50 e 75% da massa de forragem, respectivamente.

Especificamente neste ensaio, levando-se em consideração a quantidade de palhada residual recomendada de 6.000 kg ha⁻¹ para o plantio direto (CRUZ et al., 2002) e a produção inicial de matéria seca do capim-marandu, em torno de 9.000 kg ha⁻¹, poderiam ser utilizados cerca de 3.000 kg ha⁻¹ de matéria seca do pasto pelos animais, antes da dessecação para o plantio da mandioca. Os tratamentos PD 25% (7.913 kg ha⁻¹), PD 50% (6.110 kg ha⁻¹) e PD 75% (6.312 kg ha⁻¹) permitiram a obtenção da quantidade adequada de palhada residual, após o pastejo pelos animais.

O tempo de meia-vida da palhada foi de 221, 218, 263 e 321 dias para que 50% da palhada fosse decomposta nos tratamentos PD 0%, PD 25%, PD 50% e PD 75%, respectivamente. O maior número de dias observado para o tempo de meia-vida da palhada do PD 75% pode estar relacionado à maior proporção de colmos e menos folhas na massa de forragem pós-pastejo. Estas diferenças morfológicas da palhada contribuem para as diferenças na porcentagem de decomposição, uma vez que os colmos do capim-marandu apresentam maior proporção de compostos fibrosos e tecidos lignificados (SANTOS et al., 2010), cuja taxa de decomposição é mais lenta (CORREIA; ANDRADE, 1999).

No pasto perene de capim-marandu, a produção inicial de matéria seca do capim-marandu, após o pastejo, foi menor que no pasto anual (3.540, 3.107, 2.612 e 2.584 kg MS ha⁻¹ para os tratamentos PD 0%, PD 25%, PD 50% e PD 75%, respectivamente). A menor produção de matéria seca do pasto perene está relacionada à longa estiagem ocorrida na região Noroeste do Paraná no ano de 2020 (Tabela 1), que reduziu a produtividade do pasto. Não foi observada diferença significativa na decomposição de palhada entre os tratamentos (Tabela 22), com média de 41,03% aos 224 dias.

A maior porcentagem de decomposição da palhada de pasto perene, em relação ao pasto anual, pode ter sido influenciada pela variação na época de plantio da mandioca, que ocorreu em outubro, no início da estação mais quente e chuvosa. No caso da cultura da mandioca, cuja implantação geralmente ocorre no período de inverno, a decomposição da palhada de capim-marandu, nos períodos iniciais, é menor do que o observado no verão, quando a maior temperatura e a maior precipitação (Tabela 1) contribuem para a maior taxa de decomposição dos resíduos vegetais.

Tabela 22. Decomposição da palhada de capim-marandu perene para os tratamentos em plantio direto (PD) de mandioca, sob diferentes intensidades de pastejo, safra 2020/2021.

Período (dias)	Tratamentos				CV (%)
	PD 0%	PD 25%	PD 50%	PD 75%	
	Decomposição (%)				
7	4,08A	3,73A	4,62A	4,24A	28,57
14	11,67A	12,50A	10,49A	11,35A	14,36
28	15,18A	15,31A	13,78A	11,56A	17,31
56	23,72A	26,78A	21,72A	18,32A	25,11
112	40,62A	42,30A	43,36A	37,85A	18,84
224	42,06A	42,30A	37,15A	42,59A	26,13

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste Tukey 5%. CV - coeficiente de variação. PD 0%: pasto sem pastejo; PD 25%, PD 50% e PD 75%: intensidade de pastejo para consumo de 25, 50 e 75% da massa de forragem, respectivamente.

A altura de manejo do pasto, determinada pela maior ou menor intensidade de pastejo para consumo da forragem também afeta a quantidade e a qualidade da palhada residual, podendo influenciar o estabelecimento de culturas em sucessão (BALBINOT JÚNIOR; VEIGA, 2010). Como a mandioca é uma cultura de ciclo longo, a decomposição dos resíduos aumenta ao longo do tempo, e pode variar em função da composição químico-bromatológica da palhada. No PD 0%, cuja massa de forragem não foi pastejada antes da dessecação para o plantio da mandioca, a palhada residual apresenta maior proporção de folhas que o PD 75%, no qual os animais consumiram 75% da forragem disponível, resultando numa massa residual com maior proporção de colmos.

O tempo de meia-vida da palhada foi de 153,46 dias para o tratamento PD 0%, 154,21 para o PD 25%, 164,97 para PD 50%, e 177,03 para o PD 75%. Todos eles foram iguais estatisticamente com média de 162,42 dias para a decomposição de metade da palhada presente nos tratamentos.

Após 224 dias de avaliação da decomposição a quantidade de palhada de capim-marandu remanescente na lavoura foi de 1489, 1314, 970 e 1100 kg MS/ha, respectivamente para os tratamentos PD 0%, PD 25%, PD 50% e PD 75%.

4. CONCLUSÕES

Sistemas Integrados de Produção Agropecuária (SIPA) podem ser trabalhados na busca de alternativas sustentáveis para o Noroeste do Paraná, principalmente nos solos arenosos frágeis provenientes do Arenito Caiuá.

Os SIPA com mandioca resultam em dinâmica diferente nos atributos do solo, mas não geram impedimento para o cultivo da lavoura ou do pasto subsequente.

O plantio direto da mandioca é viável e sua produção comparada ao cultivo convencional depende da precipitação e umidade do solo, podendo apresentar podridão radicular com a maior umidade do solo em safras mais chuvosas.

Os resultados obtidos ao longo de 10 anos de avaliações confirmam a importância das pastagens bem manejadas em SIPA com mandioca, principalmente quando a pastagem permanece no sistema por períodos mais longos (4 anos), bem como a utilização do plantio direto, que contribui para ao aumento dos estoques de carbono no solo e à manutenção da qualidade física do solo.

A produtividade animal é maior no pasto perene do que nos sistemas integrados no verão, com tendência de ser maior também no inverno, em função do maior período de uso do pasto pelos animais.

A decomposição da palhada do pasto é um fator fundamental para a sustentabilidade de solos arenosos onde se implantam lavouras em SIPA, devendo ser observada a quantidade de palha para garantir a cobertura e potenciais benefícios da matéria seca sobre o solo. Recomenda-se o uso do pasto sob pastejo antes da dessecação para formação da palhada, respeitando-se a altura de entrada recomendada para cada espécie forrageira, com o consumo de aproximadamente 50% da massa de forragem disponível pelos animais.

A continuidade dos estudos é necessária, para avaliação de diferentes tipos de pasto, com diferentes idades, bem como o intervalo entre a dessecação do pasto e o plantio direto da mandioca, para correlacionar com a plantabilidade, desenvolvimento e produtividade de mandioca e atributos físicos do solo, permitindo assim uma recomendação mais assertiva para os produtores.

5. REFERÊNCIAS

- BALBINOT JUNIOR, A. A.; VEIGA, M. DA. *Fundamentos do sistema integração lavoura-pecuária*. Agropecuária Catarinense, Florianópolis, v. 23, p. 43-45, 2010.
- BORGES, A. L.; SILVA, J.; SOUZA, L. S.; GOMES, J. C. Exigências nutricionais, calagem e adubação. In: PEQUENO, M. G. et al. org. *Mandioca: do plantio a colheita*. São Paulo: Oficina de Textos, 2022. p. 147-69.
- CECAGNO, D. et al. Soil organic carbon in an integrated crop-livestock system under different grazing intensities. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 13, e5553, 2018. DOI: 10.5039/agraria.v13i3a5553.
- CORREIA, M. E. F.; ANDRADE, A. G. Formação de serrapilheira e ciclagem de nutrientes. In: *Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre, RS, ed. SANTOS, G. A. CAMARGO, F. A. O., Porto Alegre, RS: Gênese, 1999. p. 197-225.
- CRUZ, J. C. et al. Cultivo do milho - sistema plantio direto. Sete Lagoas, MG: EMBRAPA-CNPMS, 2002. 7 p. (EMBRAPA-CNPMS. *Comunicado Técnico*, 51).
- CUNICO, C.; PRIM, D. (org.). *Zoneamento ecológico - econômico do Estado do Paraná*. Camila. Curitiba: ITCG, 2018. 296 p.
- DERAL/SEAB. *Prognóstico agropecuário - mandioca 2021-2022*. Disponível em: https://www.agricultura.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2022-01/vol_13_n_34_2021_prognostico_agropecuaria_mandioca_0.pdf. Acesso: 05 mai. 2023.
- DEVIDE, A. C. P.; CASTRO, C. M.; VALLE, T. L.; FELTRAN, J. C.; ALMEIDA, J. C. A. Cultivo de mandioca de mesa em plantio direto e convencional sobre diferentes culturas de cobertura. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, Curitiba, v. 6, n. 2, p. 274-285, 2017.

- EUCLIDES, V. P. B.; NANTES, N. N.; MONTAGNER, D. B.; ARAUJO, A. R.; BARBOSA, R. A.; ZIMMER, A. H.; DO VALLE, C. B. Beef cattle performance in response to Ipyporã and Marandu brachiariagrass cultivars under rotational stocking management. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 47:e20180018, 2018. DOI: 10.1590/rbz4720180018.
- FASOLO, P. J. et al. Erosão: Inventário de áreas críticas no Noroeste do Paraná. Londrina: IAPAR, 1988. 20 p. *Boletim Técnico*, 23.
- FERNANDES, F. A.; FERNANDES, A. H. B. M. Atualização dos métodos de cálculo dos estoques de carbono do solo sob diferentes condições de manejo. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2013. 5 p. *Embrapa Pantanal. Comunicado técnico*, 95. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/98578/1/COT95.pdf>>. Acesso: 17 jun. 2022.
- FIDALSKI, J. Qualidade física de Latossolo Vermelho em sistema de integração lavoura-pecuária após cultivo de soja e pastejo em braquiária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 50, p. 1097-1104, 2015. DOI: 10.1590/S0100-204X2015001100013.
- FIDALSKI, J. et al. Qualidade física do solo sob sistemas de preparo e cobertura morta em pomar de laranja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 44, p. 76-83, 2009. DOI: 10.1590/S0100-204X2009000100011.
- FIDALSKI, J. et al. Available water content for the management of irrigated crops in the Northwestern Region of Parana State. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v. 14, n. 2, p. 3976-3986, 2020. DOI: 10.7127/rbai.v14n101152.
- FIDALSKI, J. et al. Qualidade física do solo em pastagem adubada e sob o pastejo contínuo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 43: 1583-1590, 2008.
- FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A. Physical quality of sandy soils under orange orchards in Southern Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 46:e0220006, 2022. DOI: 10.36783/18069657rbcs20220006>.
- FIGUEIREDO, P. G. et al. Effects of tillage options on soil physical properties and cassava-dry-matter partitioning. *Field Crops Research*, v. 204, p. 191-198, 2017. DOI: 10.1016/j.fcr.2016.11.012.
- FIGUEIREDO, P. G. et al. Componentes de produção e morfologia de raízes de mandioca sob diferentes preparos do solo. *Bragantia*, Campinas, v. 73, n. 4, p. 357-364, 2014.
- FLORES, J. P. C. et al. Atributos químicos do solo em função da aplicação superficial de calcário em sistema de integração lavoura pecuária submetido a pressões de pastejo em plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 2385-2396, 2008.
- GIMESSES, F. M. A.; DA SILVA, S. C.; FIALHO, C. A.; GOMES, M. B.; BERNDT, A.; GERDES, L.; COLOZZA, M. T. Ganho de peso e produtividade animal em capim-marandu sob pastejo rotativo e adubação nitrogenada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.46, n.7, p.751-759, 2011. DOI: 10.1590/S0100-204X2011000700011.

- GOBBI, K. F.; AZEVEDO, M. C. B.; LUGÃO, S. M.; ABRAHÃO, J. J. S.; BETT, V.; TAKAHASHI, M.; TACAIAMA, A. A. K.; BIANCATTO, R. C. Decomposição da palhada de capim-marandu em sistema de integração com soja, implantada sobre pasto anual ou perene. In: *V Reunião Paranaense de Ciência do Solo e II Simpósio Brasileiro de Solos Arenosos*, 2017, Maringá, PR. Solos do Arenito: usos, desafios e sustentabilidade. Maringá, PR: ed. Antônio Carlos Saraiva da Costa; Antônio Saraiva Muniz; Cássio Antônio Tormena et. al., 2017.
- HAAG, H. P. *Ciclagem de nutrientes em florestas tropicais*. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 144 p.
- IAPAR - Instituto Agrônômico do Paraná. Sugestão de adubação e calagem para culturas de interesse econômico no Estado do Paraná. OLIVEIRA, E. L. (coord.). Londrina: IAPAR, 2003. 30 p. (IAPAR. *Circular Técnica*, n. 128).
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo Agropecuário 2020*. In: IBGE. Sidra: sistema IBGE de recuperação automática. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3939>. Acesso: 10 out. 2021.
- KIM, MICHAEL H.; COSH, M. H.; BINDLISH, R.; LAKSHMI, V. 2020. Field evaluation of portable soil water content sensors in a sandy loam. *Vadose Zone Journal*. DOI: 10.1002/vzj2.20033.
- LAMIDI, W. A. Effect of different tillage practices on cassava production in Osun state of Nigeria. *Research Journal of Agriculture and Environmental Management*, Nepal, v. 5, p. 114-121, 2016.
- MARUN, F. Propriedades físicas e biológicas de um latossolo vermelho escuro do arenito Caiuá sob pastagem e culturas anuais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 31, n. 8, p. 593-597, 1996.
- MERTEN, G. H.; ARAÚJO, A. G. de; BARBOSA, G. M. de C. *Erosão no Estado do Paraná: fundamentos, estudos experimentais e desafios*. Londrina: IAPAR, 2016. 115 p.
- NITSCHKE, P. R. et al. *Atlas climático do estado do Paraná*. Londrina: Instituto Agrônômico do Paraná, 2019. 210 p. Disponível em: <http://www.idrparana.pr.gov.br/system/files/publico/agrometeorologia/atlas>>. Acesso: 12 jul. 2022.
- OTSUBO, A. A. et al. Formas de preparo de solo e controle de plantas daninhas nos fatores agrônômicos e de produção da mandioca. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 33, n. 6, p. 2241-2246, 2012.
- PAUL, E. A.; CLARK, F. E. *Soil microbiology and biochemistry*. San Diego: Academic Press, 1989. 275 p.
- PAULETTI, V.; MOTTA, A. C. V. *Manual de calagem e adubação para o estado do Paraná*. 1. ed. Curitiba: Núcleo Estadual Paraná da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – NEPAR-SBCS, 2017. 482 p.
- PAVAN, M. A. et al. Manual de análise química de solo e controle de qualidade. Londrina: IAPAR, 1992. 40 p. (IAPAR. *Circular Técnica*, 76).

PEQUENO, M. G. et al. Efeito do sistema de preparo do solo sobre características agronômicas da mandioca (*Manihot eculenta* Crantz). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 11, n. 5, p. 476-481, 2007.

PROJETO MAPBIOMAS. *Mapeamento Anual de Cobertura e Uso da Terra do Brasil - Coleção 6*. Disponível em: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org>. Acesso: 07 jan. 2023.

REINERT, D. J. et al. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em argissolo vermelho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, n. 5, p. 1805-1816, 2008.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, n. 10, p. 1349-1356, 2011. DOI: 10.1590/S0100-204X2011001000031.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. Á.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 5. ed., Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

SANTOS, M. E. R.; FONSECA, D. M.; BALBINO, E. M.; GOMES, V. M.; SILVA, S. P. Correlações entre características estruturais e valor nutritivo de perfilhos em pastos de capim-braquiária diferidos e adubados com nitrogênio. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, Salvador, v. 11, p. 595-605, 2010.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Chemical soil attributes as affected by lime and phosphogypsum surface application in a recently established no-tillage system. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 675-688, 2008. DOI:10.1590/S0100-06832008000200022.

SOUZA NUNES, R., SOUZA, D. M. G.; GOEDERT, W. J.; VIVALDI, L. J. Distribuição de fósforo no solo em razão do sistema de cultivo e manejo da adubação fosfatada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, p. 877-88, 2011. DOI: 10.1590/S0100-06832011000300022.

STOLF, R.; THURLER, Á. de M.; BACCHI, O. O. S.; REICHARDT, K. Method to estimate soil macroporosity and microporosity based on sand content and bulk density. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, p. 447-459, 2011. DOI: 10.1590/S0100-06832011000200014.

TEIXEIRA, P. C. DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. *Manual de métodos de análise de solo*. 3 ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p. <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1085209>.

THOMAZ, E. L.; FIDALSKI, J. Interrill erodibility of different sandy soils increases along a catena in the Caiuá Sandstone Formation. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 44 (e0190064), p. 1-13, 2020. DOI: 10.36783/18069657rbc20190064.

