

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CÂMPUS RIO VERDE, PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS - AGRONOMIA

**FORRAGEIRAS DOS GÊNEROS *Brachiaria* e *Panicum*
maximum NA INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA**

Autora: Mariana Borges de Castro Dias
Orientadora: Prof^a. Dr^a. Kátia Aparecida de Pinho Costa
Coorientador: Prof. Dr^o. Eduardo da Costa Severiano

RIO VERDE-GO
Julho, 2020

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CÂMPUS RIO VERDE, PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS - AGRONOMIA

**FORRAGEIRAS DOS GÊNEROS *Brachiaria* e *Panicum*
maximum NA INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA**

Autora: Mariana Borges de Castro Dias
Orientadora: Prof^a. Dr^a. Kátia Aparecida de Pinho Costa
Coorientador: Prof. Dr^o. Eduardo da Costa Severiano

Tese apresentada como parte das exigências para
obtenção do título de DOUTORA EM CIÊNCIAS
AGRÁRIAS - AGRONOMIA no Programa de
Pós-Graduação em Ciências Agrárias -
Agronomia, do Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde.

RIO VERDE-GO
Julho, 2020

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

Df Dias, Mariana Borges de Castro
 Forrageiras dos gêneros Brachiaria e Panicum
 maximum na integração lavoura-pecuária. / Mariana
 Borges de Castro Dias; orientadora Kátia Aparecida de
 Pinho Costa; co-orientador Eduardo da Costa
 Severiano . -- Rio Verde, 2020.
 87 p.

 Tese (em Programa de Pós-Graduação em Ciências
 Agrárias) -- Instituto Federal Goiano, Campus Rio
 Verde, 2020.

 1. Biomassa. 2. Ciclagem de nutrientes. 3.
 Desempenho animal. 4. Produção de forragem. 5.
 Sustentabilidade. I. Costa, Kátia Aparecida de Pinho
 , orient. II. , Eduardo da Costa Severiano, co-
 orient. III. Título.



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO**

Documentos 22/2020 - NREPG-RV/CPG-RV/DPGPI-RV/DG-RV/CMPRV/IFGOIANO

**FORRAGEIRAS DOS GÊNEROS *Brachiaria* e *Panicum maximum* NA
INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA**

Autora: Mariana Borges de Castro Dias
Orientadora: Prof.^a Dr.^a. Kátia Aparecida de Pinho Costa

TITULAÇÃO: Doutora em Ciências Agrárias - Agronomia - Área de Concentração Produção Vegetal
Sustentável no Cerrado

APROVADA em 29 de julho de 2020.

Prof. Dr. Eduardo da Costa Severiano
Avaliador interno
IF Goiano / Rio Verde

Prof.^a Dr.^a. Karen Martins Leão
Avaliadora externa
IF Goiano / Rio Verde

Prof. Dr. Roberto Giolo de Almeida
Avaliador externo
Embrapa Gado de Corte

Prof.^a Dr.^a. Kátia Aparecida de Pinho Costa
Presidente da Banca
IF Goiano / Rio Verde

Documento assinado eletronicamente por:

- Karen Martins Leao, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 04/08/2020 21:22:49.
- Eduardo da Costa Severiano, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 04/08/2020 14:17:08.
- Roberto Giolo de Almeida, Roberto Giolo de Almeida - Professor Avaliador de Banca - Centro Nacional de Pesquisa do Gado de Corte - Embrapa (00348003004612), em 03/08/2020 18:15:34.
- Katia Aparecida de Pinho Costa, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 03/08/2020 16:36:37.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 23/07/2020. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 165845
Código de Autenticação: b4f65d066d



AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Pai maior e os benfeitores espirituais, pela proteção e amparo durante a minha caminhada.

À minha família, em especial aos meus pais e irmã, que sempre me apoiaram e me deram forças para seguir em frente.

Ao meu noivo que juntamente com minha família estiveram ao meu lado em todos os momentos de alegria e também de grandes desafios para mim.

À minha orientadora Kátia Aparecida de Pinho Costa, pela orientação, amizade, confiança e, acima de tudo, por ter acreditado na minha capacidade, me ajudando nos meus momentos mais difíceis.

Ao meu co-orientador, Dr^o. Eduardo da Costa Severiano, pelos conhecimentos transmitidos e por todo apoio ao longo do desenvolvimento do trabalho.

Ao meu co-orientador, Dr^o. Wender Ferreira de Souza, pelo apoio durante o desenvolvimento trabalho, sempre disposto a colaborar com o meu sucesso.

Agradeço a parceria com o Instituto Tecnológico Comigo, por ter cedido a área e toda estrutura para o desenvolvimento da pesquisa. Aos pesquisadores Dr^o. Ubirajara, Dr^a. Simone e Dr^o. Dieimisson pelos conhecimentos compartilhados.

Agradeço aos meus amigos e colegas de laboratório, pois sem colaboração deles o sucesso deste trabalho não seria possível.

Ao Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, que me acolheu como aluna de graduação, mestrado e doutorado, a quem devo minha formação profissional, dando-me o devido apoio e suporte para condução das disciplinas e do experimento. Além disto, agradeço a todos os professores do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, pelos ensinamentos e orientações no decorrer dos cursos.

A Fundação de Amparo e Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG), pela concessão da bolsa para a execução do projeto.

Agradeço a todos aqueles que não citei, mas pelos quais cultivo grande apreço.

Enfim, a todos que contribuíram e torceram pela realização desse sonho...

BIOGRAFIA DO AUTOR

MARIANA BORGES DE CASTRO DIAS – nascida em Campinas / SP em 02 de abril de 1993, filha de Arildo Neves Dias e Fabrícia Borges de Castro Dias.

No dia 25 de Janeiro de 2011, iniciou no Curso de Zootecnia no Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, graduando-se em 17 de março de 2016.

No mesmo ano, 2016, ingressou no Programa de Pós-Graduação, nível Mestrado, em Zootecnia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, atuando na área de Produção e qualidade leiteira, defendendo em junho de 2017 a dissertação intitulada: Efeitos do sombreamento sobre as respostas fisiológicas e sanguíneas, produção e qualidade do leite de vacas girolando.

No segundo semestre de 2017, ingressou no Doutorado pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias-Agronomia do Instituto Federal Goiano Campus Rio Verde, finalizando em julho de 2020.

ÍNDICE GERAL

| | Páginas |
|---|---------|
| ÍNDICE DE TABELAS | viii |
| ÍNDICE DE FIGURAS | ix |
| LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES | xii |
| RESUMO | xiv |
| ABSTRACT | xvi |
| 1. INTRODUÇÃO | 01 |
| 2. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 04 |
| 3. OBJETIVOS | 08 |
| 4. CAPÍTULO I | 09 |
| PRODUÇÃO, QUALIDADE DE FORRAGEM E DESEMPENHO DE BOVINOS EM FORRAGEIRAS DE <i>Brachiaria</i> e <i>Panicum maximum</i> APÓS O CONSÓRCIO COM A SOJA NA INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA ... | 09 |
| 4.1 Introdução | 10 |
| 4.2 Material e Métodos | 12 |
| 4.3 Resultado | 16 |
| 4.4 Discussão | 22 |
| 4.5 Conclusões | 30 |
| 4.6 Referências | 30 |
| 5. CAPÍTULO II | 41 |
| <i>Brachiaria</i> AND <i>Panicum maximum</i> IN AN INTEGRATED CROP- LIVESTOCK SYSTEMS AND A SECOND-CROP MAIZE SYSTEMS IN SUCCESSION WITH SOYBEAN | 41 |
| 5.1 Introduction | 42 |
| 5.2 Materials and Methods | 43 |
| 5.3 Results | 48 |
| 5.4 Discussion | 54 |
| 5.5 Conclusion | 61 |

| | |
|--------------------------|----|
| 5.6 References | 62 |
| 6. CONCLUSÃO GERAL | 69 |

ÍNDICE DE TABELAS

CAPÍTULO I

| | Páginas |
|----------|--|
| Tabela 1 | Altura do dossel, produção de massa seca e relação lâmina foliar:colmo dos capins Mombaça, Tamani, Xaraés e Ruziziensis nos diferentes ciclos de pastejo..... 17 |
| Tabela 2 | Teores de proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e digestibilidade <i>in vitro</i> da matéria seca (DIVMS) dos capins Mombaça, Tamani, Xaraés e Ruziziensis nos diferentes ciclos de pastejo..... 18 |
| Tabela 3 | Concentração de fosforo, potássio e ganho médio diário dos animais em pastagens dos capins Mombaça, Tamani, Xaraés e Ruziziensis nos diferentes ciclos de pastejo..... 20 |
| Tabela 4 | Valores dos pesos inicial e final dos animais e ganho total em arrobas (@) em cada sistema forrageiro, nos 141 dias de pastejo..... 21 |
| Tabela 5 | Correlação entre as características produtivas e nutritivas das forrageiras com o ganho médio diário dos animais..... 22 |

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I

| | Páginas |
|--|---------|
| Figura 1 Precipitação mensal e temperaturas mínima, média e máxima registradas de outubro de 2016 a setembro de 2017 em Rio Verde-GO, Brasil | 12 |
| Figura 2 Esquema do sistema de integração lavoura-pecuária, abrangendo todas as etapas da avaliação | 14 |

ÍNDICE DE TABELAS

CAPÍTULO II

| | Páginas |
|---------|--|
| Table 1 | Dry matter production (kg/ha) of forage in different grazing cycles 45 |
| Table 2 | Biomass production and total nutrients in biomass of different cropping systems 50 |
| Table 3 | The N, P ₂ O ₅ and K ₂ O equivalent contents in the biomass of different cropping systems 52 |
| Table 4 | Plant and insertion of the first pod height, number of pods per plant and number of grains per pods, thousand-grain weight and soybean yield on the biomass of different cropping systems 54 |

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO II

| | Páginas |
|---|---------|
| Figure 1 Monthly rainfall and mean daily temperatures recorded from October 2016 to February 2018 in Rio Verde-GO, Brazil | 43 |
| Figure 2 Diagram of the cropping systems comprising <i>Brachiaria</i> spp. and <i>Panicum</i> forage species in an integrated crop-livestock system and a system with maize in succession to soybean, covering all evaluation stages | 44 |
| Figure 3 Remaining mulch biomass (a) and C/N ratio (b) of forages for the <i>Brachiaria</i> and <i>Panicum</i> genera and maize during soybean cultivation (0 to 120 days) | 49 |
| Figure 4 Nitrogen (a), phosphorus (b), potassium (c), calcium (d), magnesium (e) and sulphur (f) content in the biomass of forages in the <i>Brachiaria</i> and <i>Panicum</i> genera and maize during soybean cultivation (0 to 120 days)... | 51 |
| Figure 5 Soybean sowing uniformity at the time of stand establishment in the different cropping systems plant distribution (a) and plant population (b) on a typical Dystrophic Red Latosol | 53 |

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

| Símbolo | Legenda | |
|------------------|---|------------------|
| @ | Arroba | 15 kg de carcaça |
| C | Carbono | |
| Ca | Cálcio | |
| Cm | Centímetro | |
| C:N | Carbono/Nitrogênio | |
| CTC | Capacidade de troca de cátions | |
| °C | Graus Celsius | |
| DAS | Dias após a sementeira | |
| DIVMS | Digestibilidade <i>in vitro</i> da matéria seca | |
| FDA | Fibra em detergente ácido | |
| FDN | Fibra em detergente neutro | |
| GMD | Ganho médio diário | |
| GMT | Ganho médio total | |
| g | Gramas | |
| ha | Hectare | |
| ILP | Integração lavoura-pecuária | |
| K | Potássio | |
| kg | Quilograma | |
| K ₂ O | Óxido de potássio | |
| L | Litro | |
| M O | Matéria orgânica | |
| MS | Matéria seca | |
| Máx | Máximo | |
| Mg | Magnésio | |
| mg | Miligramas | |
| mm | Milímetro | |
| M | Mineral | |

| | | |
|-------------------------------|---------------------------|---------------------|
| m ² | Metro quadrado | |
| Mín | Mínimo | |
| mL | Mililitro | |
| N | Nitrogênio | |
| P | Fósforo | |
| P ₂ O ₅ | Pentóxido de fósforo | |
| % | Porcentagem | |
| PB | Proteína bruta | |
| S | Enxofre | |
| SPD | Sistema de Plantio Direto | |
| t _{1/2} | Tempo de meia-vida | |
| UA | Unidade Animal | 450 kg de peso vivo |
| VC | Valor cultural | |

RESUMO

DIAS, M. B. C. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Campus Rio Verde, julho de 2020. **FORAGEIRAS DOS GÊNEROS *Brachiaria* e *Panicum maximum* NA INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA.** Orientadora: Dr^a. Kátia Aparecida de Pinho Costa, Coorientador Dr. Eduardo da Costa Severiano.

O sistema de integração lavoura-pecuária promove diversificação de culturas com baixo impacto ao meio ambiente. A produção de forragem na entressafra constitui importante ferramenta para aumentar o desempenho dos animais e ainda servir de biomassa para o sistema de plantio direto. Sendo assim, objetivou-se avaliar a produção, qualidade de forragem e desempenho de bovinos em forrageiras de *Brachiaria* e *Panicum maximum* após o consórcio com a soja na integração lavoura-pecuária, bem como a produção de biomassa, acúmulo de nutrientes e produtividade da soja sobre a biomassa das forrageiras e de milho na segunda safra. Para o capítulo I, o experimento foi conduzido no delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4 x 5, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram de quatro forrageiras: capim-xaraés (*Brachiaria brizantha* cv. Xaraés), capim-ruziziensis (*Brachiaria ruziziensis*), capim-mombaça (*Panicum maximum* cv. Mombaça) e capim-tamani (*Panicum maximum* cv. BRS Tamani), implantados na sobressemeadura da soja e avaliadas em cinco ciclos de pastejos. Para o capítulo II, o delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram dos sistemas de cultivo: capim-xaraés (*Brachiaria brizantha* cv. Xaraés), capim-ruziziensis (*Brachiaria ruziziensis*), capim-mombaça (*Panicum maximum* cv. Mombaça) e capim-tamani (*Panicum maximum* cv. BRS Tamani), implantados na sobressemeadura da soja e o milho (*Zea mays*) em sucessão a soja. Os resultados mostraram que os capins Mombaça e Xaraés apresentaram maior produção de forragem, no entanto, a maior qualidade foi obtida no capim-tamani. Os capins Mombaça, Xaraés e Tamani obtiveram melhor desempenho animal a pasto. O capim-ruziziensis apresentou menor produção e qualidade da forragem no decorrer dos ciclos de pastejo, que refletiu em menor produção animal. O capim-tamani devido ao seu melhor valor nutritivo apresentou maior ganho de peso animal ao longo do período de entressafra, tornando este capim como opção vantajosa para o sistema de integração lavoura-pecuária. A formação das pastagens

através da técnica de sobressemeadura na cultura da soja, mostrou ser uma técnica eficiente para fornecimento de alimento na entressafra, promovendo bom desempenho aos animais, com redução no impacto ambiental da pecuária, em decorrência do maior aproveitamento dos nutrientes do solo, com maior sustentabilidade. O capim-ruziziensis apresentou menor produção de biomassa e acúmulo de nutrientes. Os sistemas de cultivo sobre a biomassa dos capins Xaraés e Tamani em comparação a biomassa do milho no período de entressafra, mostraram-se como técnica de cultivo promissora, com maior acúmulo de nutrientes no solo, conseqüentemente favorecendo a produtividade da soja e contribuindo para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Sendo assim, o sistema de integração lavoura-pecuária através da técnica de sobressemeadura viabiliza a produção de forragem para alimentação animal no período de entressafra e produção de biomassa para o sistema plantio direto.

Palavras-chave: Biomassa, ciclagem de nutrientes, desempenho animal, produção de forragem, sustentabilidade.

ABSTRACT

DIAS, M. B. C. Federal Institute of Education, Science and Technology of Goiás – Rio Verde Campus - GO, July 2020. ***Brachiaria* and *Panicum maximum* forages in integrated crop-livestock system.** Dr^a. Kátia Aparecida de Pinho Costa, “advisor” Dr. Eduardo da Costa Severiano.

The integrated crop-livestock system has proved efficient in diversifying crops in areas with lower environmental impact. The production of forage in the off-season is an important tool to increase the performance of the animals and still serve as biomass for the no-tillage system after this period. Therefore, the objective was to evaluate the production, fodder quality and performance of *Brachiaria* and *Panicum maximum* cattle fodder after the intercropping with soybean in integrated crop-livestock, as well as biomass production, nutrient accumulation and soybean productivity in fodder biomass and corn in the second crop. The experiment was conducted in the experimental design of randomized blocks with four repetitions. The treatments consisted of the following cropping systems: Xaraes palisadegrass (*Brachiaria brizantha* cv. Xaraes), Congo grass (*Brachiaria ruziziensis*), Mombaça guinea grass (*Panicum maximum* cv. mombaça), Tamani grass (*Panicum maximum* cv. BRS tamani), implanted in the oversowing of soybean and corn (*Zea mays*) in succession to soybean. The results showed that the Mombaça guinea grass and Xaraes palisadegrass dissipate higher forage production, however, the highest quality was obtained in the Tamani grass. The Mombaça guinea grass, Xaraes palisadegrass and Tamani grasses had better animal performance on pasture. The congo grass shows lower production and quality of forage during the grazing cycles, which reflected in lower animal production. Tamani grass, due to its better nutritional value, presented greater animal weight gain during the off-season, making this grass an advantageous option for the crop-livestock integrated system. The pastures formation through the oversowing technique in the soybean crop, shown to be an efficient technique to provide food in the off-season, promoting good performance to the animals, with reduction in the environmental impact of livestock, due to the greater use of soil nutrients, with greater sustainability. For biomass production, the results showed that the Congo grass obtained better desiccation efficiency, however, lower biomass production and nutrient accumulation. The cultivation systems on the

biomass of Xaraes palisadegrass and tamani grass compared to corn biomass in the inter-crop period, proved to be a promising cultivation technique, with greater accumulation of nutrients in the soil, consequently favoring soybean productivity and contributing to the sustainability of agricultural systems. Therefore, the adequate choice of forage crops for the integrated system promotes the success of this system, diversifying the area and increasing profitability.

Key-words: Animal performance, biomass, fodder production, nutrient cycling, sustainability.

1. INTRODUÇÃO

A intensificação dos sistemas agrícolas possibilita atender a demanda global por produção de alimentos e ainda conservar os ecossistemas (Allaoui et al., 2018). Neste sentido, o Brasil desempenha papel importante, uma vez que é o segundo maior produtor de carne bovina no mundo e que estes animais passam por áreas de pastagem em algumas ou todas etapas de produção. Pastagens manejadas de forma correta promovem rentabilidade e diminuem o desmatamento, enquanto que propriedades de baixo desempenho além de menor produção necessitam de áreas maiores para garantir o mesmo resultado (Carvalho et al., 2019).

O sistema de integração lavoura-pecuária propõe maior produção em menor área, recuperação de pastagens degradadas, oferta de forragem no período de entressafra, formação de biomassa para o sistema de plantio direto, propiciando diversificação da área e maior fonte de renda (Schuster et al., 2019).

O desempenho positivo deste sistema ocorre por meio do sinergismo entre os componentes do sistema. A cultura principal quando implantada através do sistema de plantio direto beneficia-se da biomassa das plantas forrageiras, estas por sua vez promovem proteção e manutenção da umidade do solo, ciclagem de nutrientes através matéria orgânica e melhora a atividade microbiana, com a reposição de nitrogênio e carbono no solo (Ryschawy et al., 2017). Por outro lado, as plantas forrageiras aproveitam os nutrientes residuais da cultura antecessora e fornecem alimento em quantidade e qualidade para animais no período de entressafra, o que viabiliza o ganho de peso em um período crítico do ano (Garrett et al., 2017), o que geralmente não ocorre na realidade das pastagens brasileiras e que leva os animais a manterem ou perderem peso na entressafra (Vilela et al., 2011).

Como a forrageira escolhida para o sistema será utilizada na alimentação animal e posteriormente como biomassa para a cobertura do solo para o sistema de plantio direto, faz-se necessário que a cultivar atenda a ambas demandas, sendo imprescindível para o sucesso da agricultura e pecuária (Nie et al., 2016; Sucl & Franzluebbers, 2014).

Entre as modalidades de implantação das forrageiras no sistema, a sobressemeadura é uma técnica interessante, quando o objetivo é a oferta de forragem para alimentação animal no período de entressafra e posteriormente produção de biomassa para cobertura do solo para o sistema de plantio direto (Dias et al., 2020).

Os dois principais gêneros de espécies forrageiras tropicais utilizados em sistemas integrados são as *Brachiaria* e *Panicum maximum*. De acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), as cultivares de *Brachiaria* representaram 78% do volume total de sementes comercializadas em 2019 (Carvalho et al., 2020). Essas forrageiras são largamente utilizadas nos sistemas de integração devido ao seu valor nutritivo e produção de massa seca (Oliveira et al., 2019).

A *Brachiaria ruziziensis* foi testada logo no início dos estudos com integração, em decorrência das características propícias para o consórcio, como, porte baixo, crescimento estolonífero, rápido estabelecimento com produção satisfatória de forragem e eficiente cobertura do solo (Carvalho et al., 2011). Entretanto, as espécies de *Brachiaria brizantha*, se destacam por possuir alta produção de forragem com valor nutritivo, proporcionando ganho de peso aos animais com altas taxas de lotação, como é o capim-xaraés (Moreira et al., 2015). O sistema radicular agressivo deste capim é bastante efetivo para descompactação do solo, sendo uma vantagem para os sistemas integrados (Flávio Neto et al., 2015).

Em relação aos cultivares de *Panicum maximum*, a elevada produção e qualidade da forragem promoveram o uso destas plantas nos sistemas de integração lavoura-pecuária (Almeida et al., 2017). O capim-mombaça que sempre foi muito utilizado na alimentação animal, tornou-se interessante uma vez que apresenta elevada produção de forragem devido ao porte alto (Marchi et al., 2019; Da Silva et al., 2020). No entanto, nos últimos 10 anos, as empresas privadas e instituições de pesquisa públicas nacionais disponibilizaram mais de 15 novos cultivares de gramíneas forrageiras melhorados. Entre essas forrageiras está o capim-tamani, que é de porte baixo, colmos curtos e com grande quantidade de folhas, o que resulta em melhor desempenho animal. Esse cultivar vem despertando o interesse para o sistema de integração, devido aos resultados positivos (Tesk et al., 2020, Dias et al., 2020).

Além da produção de forragem para alimentação animal o sistema de integração visa o fornecimento de biomassa sobre o solo para o sistema de plantio direto (Alves et al., 2017). A escolha e manejo correto da forrageira é fator importante para uma eficiente cobertura do solo, como a qualidade e tempo de permanência do material (Momesso et al., 2019).

O solo quando coberto por material adequado possui menor risco a erosão, supressão de plantas daninhas e maior vitalidade, uma vez que a decomposição deste material eleva o teor de matéria orgânica, que melhora a atividade microbiana e ciclagem de nutrientes sobretudo estoques de carbono e nitrogênio (Sanchez et al., 2019).

A cultura principal será a maior beneficiada por todas as vantagens que a biomassa viabiliza. Considerando a cultura de soja, uma das mais promissoras para região do Cerrado, na safra de 2020, produziu quase 120 mil toneladas (IBGE, 2020), evidenciando o potencial de produção dessa cultura no Brasil. Neste sentido, os sistemas de integração lavoura-pecuária podem ser ferramentas indispensáveis para o aumento de produção de soja sem a exploração de novas áreas, com maior sustentabilidade. A rotação de pastagem e soja promove maiores condições para a conservação de água no solo (Nepstad et al., 2019).

Entretanto, para que a sustentabilidade do sistema seja efetiva, a cobertura do solo por meio da biomassa deve ser adequada, devido principalmente a decomposição rápida dos resíduos, sendo importante manter o resíduo por mais tempo no solo, sobretudo no período de entressafra (Costa et al., 2015). Por isso, a escolha correta da planta a ser utilizada para cobertura faz parte do sucesso do sistema, e as condições climáticas de cada região são ponto fundamental para alcançar este objetivo.

Diante disso, conhecer o desempenho da forrageira para alimentação de ruminantes, bem como para a produção de biomassa se torna ponto chave para o sucesso desta técnica. Nesse sentido, com a complexidade dos sistemas de integração, novas cultivares de forrageiras e métodos de semeadura devem ser testados. E apesar de já conhecidos os benefícios da integração lavoura-pecuária e do sistema de semeadura direta, ainda são escassas informações a respeito da forma de implantação dessas culturas integradas.

2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLAOUI, H.; GUO, Y.; CHOUDHARY, A.; BLOEMHOF, J. Sustainable agro-food supply chain desing using two-stage hybrid multi-objective decision-making approach. **Computers and Operations Research**, v.89, p.269-384, 2018.

ALMEIDA, R. E. M.; GOMES, C. M.; LAGO, B. C.; OLIVEIRAS, S. M.; PIEROZAN JUNIOR, C.; FARAVIN, J. L. Corn yield, forage production and quality affected by methods of intercropping corn and *Panicum maximum*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.52, n.3, p.170-176, 2017.

ALVES, B. R.; MADARI, B. E.; BODDEY, R. M. Integrated crop-livestock-forestry systems: prospects for a sustainable agricultural intensification. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.108, p.1-4, 2017.

CARVALHO, A. M.; SOUZA, L. L. P.; GUIMARÃES JÚNIOR, R. Cover plants with potential use for crop-livestock integrated systems in the Cerrado region. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.10, p.1200-1205, 2011.

CARVALHO, M. A.; RAMOS, A. K. B.; BRAGA, G. J. O barato que sai caro: escolha do cultivar forrageiro. Embrapa Cerrados, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/cerrados/busca-de-noticias/-/noticia/54160487/artigo---o-barato-que-sai-caro-escolha-do-cultivar-forrageiro>. Acesso em Julho de 2020.

CARVALHO, P.; DOMICIANO, L. F.; MOMBACH, M. A.; NASCIMENTO, H. L. B.; CABRAL, L. S.; SOLLENBERGER, L. E.; PEREIRA, D. H.; PEDREIRA, B. C. Forage and animal production on palisadegrass pastures growing in monoculture or as a componente of integrated crop-livestock-forestry systems. **Grass and Forage Science**, v.74, n.4, p.650-660, 2019.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; ULIAN, N. A.; COSTA, B. S.; PARIZ, C. M.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Acúmulo de nutrientes e tempo de decomposição da palhada de espécies forrageiras em função de épocas de semeadura. **Bioscience Journal**, v.31, n.3, p.818-829, 2015.

DA SILVA, S. C.; BUENO, A. A. O.; CARNEVALLI, R. A.; SILVA, G. P.; CHIAVEGATO, M. B. Nutritive value and morphological characteristics of Mombaça grass managed with diferente rotational grazing strategies. **The Journal of Agricultura Science**, v.157, n.7-8, p.592-598, 2020.

DIAS, M. B. C.; COSTA, K. A. P.; SEVERIANO, E. C.; BILEGO, U.; FURTINI NETO, A. E.; ALMEIDA, D. P.; BRAND, S. C.; LOURIVAL, V. *Brachiaria* and *Panicum maximum* in an integrated crop-livestock system and a second-crop corn system in succession with soybean. **The Journal of Agricultural Science**, p.1-12, 2020.

FLÁVIO NETO, J.; SEVERIANO, E. C.; COSTA, K. A. P.; GUIMARÃES JUNNYOR, W. S.; GONÇALVES, W. G.; ANDRADE, R. Biological soil loosening by grasses from genus *Brachiaria* in crop-livestock integration. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.37, n.3, p.375-383, 2015.

GARRET, R. D.; NILES, M. T.; GIL, J. D. B.; GAUDIN, A.; CHAPLIN-KRAMER, R.; ASSMANN, A.; ASSMANN, T. S.; BREWER, K.; CARVALHO, P. C. F.; CORTNER, O.; DYNES, R.; GARBACH, K.; KEBREAB, E.; MUELLER, N.; PETERSON, C.; REIS, J. C.; SNOW, V.; VALENTIN, J. Social and ecological analysis of commercial integrated crop livestock systems: Current knowledge and remaining uncertainty. **Agricultural Systems**, v.155, n. p.136-149, 2017.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola - Junho 2020. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/home/lspa/brasil>. Acesso em julho de 2020.

MARCHI, S. R.; SOUSA, A. C.; MARQUES, R. F.; PINHEIRO, G. H.; SOUZA, R. M.; MARTINS, D. Potential of greenhouse gas production by Guinea Grass subjected to weed competition. **Journal of Agricultural Science**, v.11, n.8, p.257-272, 2019.

MOMESSO, L.; CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; VYN, T. J.; TANAKA, K. S.; COSTA, C. H. M.; COSTA, J. F. N.; CANTARELLA, H. Impacts of nitrogen management on no-till maize production following forage cover crop. **Agronomy Journal**, v.111, n.2, p.639-649, 2019.

MOREIRA, J. F. M.; COSTA, K. A. P.; SEVERIANO, E. C.; SIMON, G. A.; EPIFANIO, P. S.; CRUVINEL, W. S.; BENTO, J. C. Production and bromatological composition of cultivars of *Brachiaria brizantha* and Campo Grande Stylo monocropped and intercropped under diferente planting methods. **African Journal of Agricultural Research**, v.10, n.5, p.317-327, 2015.

NEPSTAD, L. S.; GERBER, J. S.; HILL, J. D.; DIAS, L. C. P.; COSTA, M. H.; WEST, P. C. Pathways for recent Cerrado soybean expansion: extending the soy moratorium and implementing integrated crop livestock systems with soybeans. **Environmental Research Letters**, v. 14, n. 4, p.029-044, 2019.

NIE, Z.; MCLEAN, T.; CLOUGH, A.; TOCKER, J.; CHRISTY, B.; HARRIS, R.; RIFFKIN, P.; CLARK, S.; MCCASKILL, M. Benefits, challenges and opportunities of integrated crop-livestock systems and their potential application in the high rainfall zone of southern Australia: a review. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v.235, n.4, p.17–31, 2016.

OLIVEIRA, M. S.; ALMEIDA, R. E. M.; PIEROZAN JUNIOR, C.; REIS, A. F. B.; SOUZA, L. F. N.; FAVARIN, J. L. Contribution of corn intercropped with *Brachiaria* species to nutrient cycling. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.49, ed.55018, 2019.

RYSCHAWY, J.; MARTIN, G.; MORAINÉ, M.; DURU, M.; THEROND, O. Designing crop-livestock integration at different levels: toward new agroecological models. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.108, n.1, p.5-20, 2017.

SANCHEZ, I. L.; FULTZ, L. M.; LOFTON, J.; HAGGARD, B. Soil biological response to integration of cover crops and nitrogen rates in a conservation tillage corn production sytems. **Soil Science Society of America Journal**, v.83, n.5, p.1356-1367, 2019.

SCHUSTER, M. Z.; LUSTOSA, S. B. C.; PELISSARI, A.; HARRISON, S. K.; SULC, R. M.; DEISS, L.; LANG, C. R.; CARVALHO, P. C. F.; GAZZIERO, D. L. P.; DE MORAES, A. Optimizing forage allowance for productivity and weed management in integrated crop-livestock systems. **Agronomy for Sustainable Development**, v.39, n.18, p.1-10, 2019.

SULC, R. M.; FRANZLUEBBERS, A. J. Exploring integrated crop–livestock systems in different ecoregions of the United States. **European Journal of Agronomy**, v.57, n.1, p.21–30, 2014.

TESK, C. R. M.; CAVALLI, J.; PINA, D. S.; PEREIRA, D. H.; PEDREIRA, C. G. S.; JANK, L.; SOLLENBERGER, L. E.; PEDREIRA, B. C. Herbage responses of Tamani and Quênia guineagrasses to grazing intensity. **Agronomy Journal**, v.112, n.3, p.2081-2091, 2020.

VILELA, L.; JUNIOR, G. B. M.; MACEDO, M. C. M.; MARCHÃO, R. L.; JÚNIOR, R. G.; PULROLNIK, K.; MACIEL, G. A. Sistemas integração lavoura pecuária-pecuária na região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p.1127-1138, 2011.

3. OBJETIVOS

Avaliar a produção, qualidade de forragem e desempenho de bovinos em forrageiras dos gêneros *Brachiaria* e *Panicum maximum*, após o consórcio com a soja na integração lavoura-pecuária.

Avaliar produção de biomassa, concentração, acúmulo de nutrientes e produtividade da soja sobre a biomassa de forrageiras dos gêneros *Brachiaria* e *Panicum maximum* em sistemas de integração lavoura-pecuária e milho na segunda safra.

4. CAPÍTULO I

PRODUÇÃO, QUALIDADE DE FORRAGEM E DESEMPENHO DE BOVINOS EM FORRAGEIRAS de *Brachiaria* e *Panicum maximum* APÓS O CONSÓRCIO COM A SOJA NA INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA

RESUMO: Com a demanda por alimentos para uma população cada vez maior, tornou-se necessário sistemas agropecuários com alta produtividade. Sendo assim, a integração lavoura-pecuária tem-se mostrado como técnica eficiente, que promove a semeadura de culturas e criação de animais em uma mesma área, aproveitando todos os benefícios que este sinergismo proporciona aos componentes, com maior sustentabilidade e menor impacto ambiental. Sendo assim, objetivou-se avaliar a produção, qualidade de forragem e desempenho de bovinos em forrageiras dos gêneros *Brachiaria* e *Panicum maximum* após o consórcio com a soja na integração lavoura-pecuária. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizados, em esquema fatorial 4 x 5, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram de quatro forrageiras: capim-xaraés (*Brachiaria brizantha* cv. Xaraés), capim-ruziziensis (*Brachiaria ruziziensis*), capim-mombaça (*Panicum maximum* cv. Mombaça) e capim-tamani (*Panicum maximum* cv. BRS Tamani), implantados na sobressemeadura da soja e avaliados em cinco ciclos de pastejo. Os resultados mostraram que os capins Mombaça e Xaraés apresentaram maior produção de forragem, no entanto, a maior qualidade foi obtida no capim-tamani. Os capins Mombaça, Xaraés e Tamani obtiveram melhor desempenho animal a pasto. O capim-ruziziensis apresentou menor produção e qualidade da forragem no decorrer dos ciclos de pastejo, que refletiu em menor produção animal. O capim-tamani devido ao seu melhor valor nutritivo apresentou maior ganho de peso animal ao longo do período de entressafra, tornando este capim como opção vantajosa para o sistema de integração lavoura-pecuária. A formação das pastagens através da técnica de sobressemeadura na cultura da soja, mostrou ser uma técnica eficiente para fornecimento de alimento na entressafra, promovendo bom desempenho aos animais, com redução no impacto ambiental da pecuária, em decorrência do maior aproveitamento dos nutrientes do solo, com maior sustentabilidade.

Palavras-chave: Ganho de peso animal, sistema integrado, sobressemeadura, sustentabilidade, valor nutritivo.

4.1 INTRODUÇÃO

A produção e o consumo de alimentos no mundo gera grande preocupação no que diz respeito aos impactos socioeconômicos e ambientais (Allaoui et al., 2018), sendo assim, cada vez mais é necessário o cultivo de culturas integradas de forma sustentável para atender a grande demanda populacional e conservação do meio ambiente (Costa Júnior et al., 2019).

A agricultura sustentável já faz parte do cotidiano de produtores que buscam através de tecnologias benefícios para agricultura e pecuária (Kamble et al., 2020). Os sistemas integrados são ferramentas utilizadas nessa nova tecnologia, pois além da preservação ambiental, contemplam a maior produção de alimentos em áreas cada vez menores, suprimindo as necessidades mundiais e oferecendo maior rentabilidade (Costa et al., 2018).

A integração lavoura-pecuária vem mostrando respostas promissoras, em decorrência do sinergismo dos componentes, pois promove benefícios positivos nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, que por sua vez, colaboram para conservação ao invés da degradação como ocorre nos sistemas convencionais. O sistema integrado com forrageiras tropicais, reabastecem a matéria orgânica, reciclam nutrientes em camadas mais profundas e melhoram a atividade microbiana do solo devido a seus sistemas radiculares extensivos (Lemaire et al., 2014). Além disso, sistemas com pastagens promovem maior estabilidade frente a condições climáticas adversas como períodos prolongados de estiagem, uma vez que as plantas forrageiras protegem o solo mantendo sua umidade (Peterson et al., 2020).

Dentre os sistemas integrados, destaca-se o sistema São Francisco que se caracteriza como sobressemeadura de forrageiras no estágio final da cultura da soja (R6-R7) (Dias et al., 2020). Essa técnica vem sendo utilizada com resultados positivos (Correia e Gomes, 2016; Andrade et al., 2017), devido a menor competição entre as culturas. Após a colheita da soja, ocorre o desenvolvimento das forrageiras, que são utilizadas como alimentação para animais na entressafra (período seco do ano no Brasil Central), o que possibilita a criação de bovinos em uma época de escassez de forragem devido ausência de chuvas. A utilização de culturas anuais e pastagens na mesma área promove o aproveitamento de fertilizantes residuais para o pasto, melhorando o vigor das gramíneas, proporcionando melhor produção e qualidade da forragem (Moraes et al., 2014; Guarnieri et al., 2019).

A escolha correta da planta forrageira nesse sistema, desempenha papel fundamental, uma vez que será utilizada na alimentação de ruminantes, mas também como cobertura de solo para a agricultura (Dias et al., 2020). O potencial de produção de massa seca destas plantas,

impacta de forma direta nos dois setores de produção (Nie et al., 2016; Sucl & Franzluebbers, 2014).

Neste sentido, as forrageiras do gênero *Brachiaria* são as mais utilizadas para compor os sistemas integrados. A *Brachiaria ruziziensis*, foi uma das primeiras forrageiras utilizadas nos sistemas integrados, em decorrência das características de porte baixo, crescimento estolonífero, estabelecimento rápido com boa produção de forragem e excelente cobertura do solo, tornando-se bastante popular (Carvalho et al., 2011). No entanto, apresenta desempenho animal inferior, principalmente quando comparada com as cultivares de *Brachiaria brizantha*, por não suportar altas taxas de lotação na entressafra. Sendo assim, o capim-xaraés apresenta mais vantagens, quando o propósito é proporcionar forragem para o desempenho animal, devido a sua alta produção de forragem de qualidade, com rebrota vigora principalmente no período seco do ano (Moreira et al., 2015) e possui sistema radicular agressivo contribuindo para a descompactação do solo (Flávio Neto et al., 2015).

Entretanto, os sistemas integrados possibilitaram novas espécies forrageiras adaptadas ao consórcio, como as cultivares de *Panicum maximum*, que vem sendo utilizada com resultado positivo (Almeida et al., 2017). Dentre as cultivares, destaca-se o capim-mombaça, que é de porte alto, forma touceiras, apresenta elevada produção de forragem com boa qualidade nutricional (Marchi et al., 2019; Da Silva et al., 2020). E recentemente o capim-tamani tornou-se destaque entre as forrageiras nos sistemas de produção de bovinos. Essa forrageira apresenta porte baixo, com produção relevante de folhas, vigor e valor nutritivo, com tolerância a pastejo mais intenso (Tesk et al., 2020) e recentemente tem demonstrado grande potencial para ser utilizado em sistemas integrados (Dias et al., 2020).

Nesse contexto, o conhecimento do comportamento das espécies forrageiras a serem implantadas nos sistemas integrados são de suma importância a fim de evitar queda de produtividade nas culturas de grãos e na implantação da pastagem, devido a competição por recursos de produção. Sendo assim, é necessário mais conhecimento sobre o desenvolvimento e o potencial de novas espécies forrageiras em sistemas integrados, com intuito de gerar maior desempenho dos bovinos sob pastejo na entressafra. Diante disso, objetivou-se avaliar a produção, qualidade de forragem e desempenho de bovinos em forrageiras dos gêneros *Brachiaria* e *Panicum maximum* após o consórcio com a soja na integração lavoura-pecuária.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

Descrição da área

O experimento foi conduzido no Instituto de Ciência e Tecnologia da Comigo (ITC), em Rio Verde - GO, no período de outubro de 2016 a setembro de 2017, sob as coordenadas 17° 45'48'' S e 51° 02'14'' W, com altitude de 832m.

A área utilizada tem histórico do cultivo de sistemas de integração lavoura-pecuária durante os últimos quatro anos. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico (Santos et al., 2018). A caracterização física e química do solo na camada de 0-20 cm foi realizada antes da implantação do experimento, apresentando 351 g kg⁻¹ de argila; 539 g kg⁻¹ de areia; 110 g kg⁻¹ de silte; pH em CaCl: 4.93, Ca: 1.89 cmol_c dm⁻³, Mg: 0.52 cmol_c dm⁻³, Al: 0.13 cmol_c dm⁻³, H + Al: 3.48 cmol_c dm⁻³, K: 0.18 cmol_c dm⁻³, CTC: 6.07 cmol_c dm⁻³, P (Mehlich): 7.27 mg dm⁻³, Cu: 0.86 mg dm⁻³, Zn: 3.79 mg dm⁻³, Fe: 34.54 mg dm⁻³, M O: 17.94 g kg⁻¹.

Durante a condução do experimento, foram monitorados os dados de precipitação pluvial e temperaturas mínima, média e máxima mensal (Figura 1).

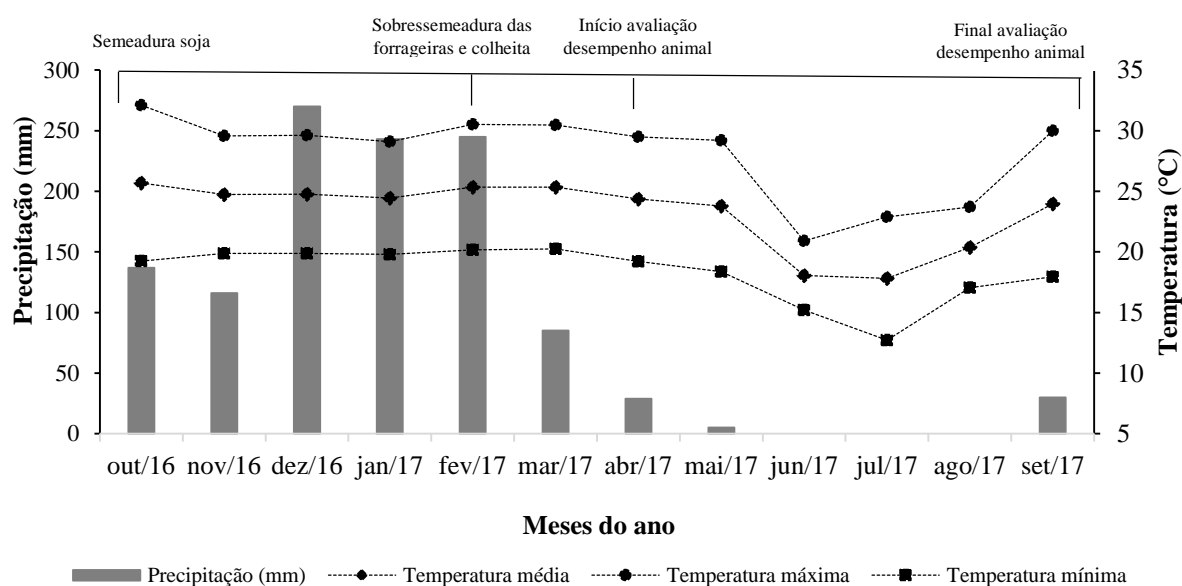


Figura 1. Precipitação mensal e temperaturas mínima, média e máxima registradas de outubro de 2016 a setembro de 2017 em Rio Verde-GO, Brasil.

Delineamento experimental e implantação das culturas

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizados, em esquema fatorial 4 x 5, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram de quatro forrageiras: capim-

xaraés (*Brachiaria brizantha* cv. Xaraés), capim-ruziziensis (*Brachiaria ruziziensis*), capim-mombaça (*Panicum maximum* cv. Mombaça) e capim-tamani (*Panicum maximum* cv. BRS Tamani), implantados na sobressemeadura da soja e avaliados em cinco ciclos de pastejo. A área de pastejo foi dividida em quatro piquetes de 2000 m², de cada forrageira correspondente, totalizando uma área com 16, piquete divididos por cerca elétrica.

A soja foi implantada em 13 de outubro de 2016, a variedade utilizada foi M7739IPRO. Para o tratamento de sementes foi utilizado 200 mL de Standak Top para cada 100 kg de sementes. Na semeadura foi aplicado 250 kg ha⁻¹ de fosfato monoamônico (MAP -- 25 e 125 kg ha⁻¹ de N e P₂O₅) respectivamente no sulco de semeadura. Os micronutrientes foram misturados em uma solução e aspergidos nos grãos de MAP, na dose equivalente à 0,38; 0,38; 0,18 e 0,18 kg ha⁻¹ de Zn, Mn, Cu e B, respectivamente. Aos 15 dias após a semeadura (DAS) foi realizada aplicação à lanço de 80 kg ha⁻¹ de K₂O, na fonte de cloreto de potássio.

Durante o desenvolvimento da soja foram realizadas aplicações de fungicida aos 40 DAS (0,3 L ha⁻¹ de Orkestra e 0,5 L ha⁻¹ de Assist), aos 60 DAS (0,2 kg ha⁻¹ de Elatus e 0,6 L ha⁻¹ de Nimbus), aos 75 DAS (0,4 L ha⁻¹ de Fox e 0,3 L ha⁻¹ de Aureo) e aos 85 DAS (0,3 L ha⁻¹ de Orkestra e 0,5 L ha⁻¹ de Assist).

A sobressemeadura das forrageiras foi realizada em 02 de fevereiro de 2017 quando a soja encontrava-se em estágio R6-R7 (Fehr & Caviness, 1977), iniciando o amarelecimento e queda das folhas. Trinta e quatro dias depois foi realizada a colheita da soja, com produção média de 4.080 kg ha⁻¹.

Para implantação das forrageiras, utilizou-se 5,0 kg de sementes puras viáveis para as espécies de *Brachiaria* e 3,5 kg para as espécies de *Panicum maximum*. As sementes foram misturadas ao fertilizante MAP, na dosagem de 100 kg ha⁻¹ e distribuídas a lanço nas respectivas áreas com auxílio do equipamento lancer. As forrageiras, permaneceram em crescimento livre até a entrada dos animais no sistema.

A Figura 2 apresenta o esquema do sistema de integração lavoura-pecuária com diversificação das atividades e maximizando o uso da área, abrangendo todas as etapas da avaliação.

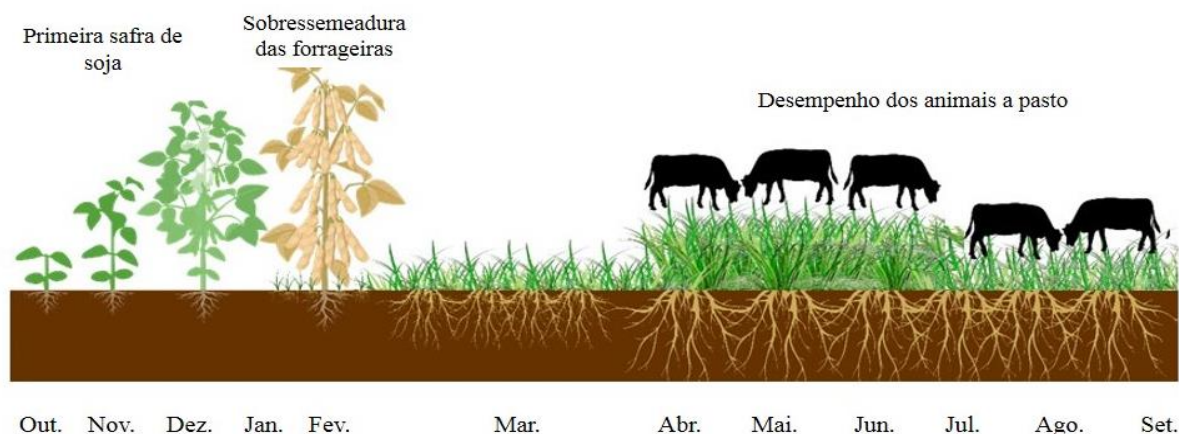


Figura 2. Esquema do sistema de integração lavoura-pecuária, abrangendo todas as etapas da avaliação.

Desempenho animal

Em 25 de abril de 2017, após o desenvolvimento das forrageiras, os animais foram inseridos no sistema. Foram utilizados 25 bovinos, machos não castrados, da raça Nelore, com idade média de 14 meses e peso médio de 232 kg. O estudo foi submetido ao comitê de ético no uso de animais com número de protocolo de aprovação (ID 000440). Os animais ficaram no sistema por 141 dias (período de entressafra), em sistema de pastejo intermitente com período fixo de ocupação de sete dias, contemplando cinco ciclos de pastejo de 28 dias cada. A cada 28 dias, os animais foram pesados após jejum de 16 h.

A taxa de lotação foi variável e ajustada, sempre que necessário, ao longo do experimento, conforme a disponibilidade de forragem. Utilizou-se da oferta de forragem de seis por cento em relação ao peso corporal dos animais, estimando a eficiência de pastejo de 50%. A taxa de lotação média foi de 2,66, 2,42, 3,20 e 2,52 unidades animal ha⁻¹ para os capins Xaraés, Ruziziensis, Mombaça e Tamani, respectivamente. Durante o período de permanência na área de integração os animais receberam suplementação mineral e água de boa qualidade *ad libitum*.

Após o período de entressafra (setembro 2017), os animais foram retirados da área e as forrageiras ficaram em descanso para rebrota, para posterior dessecação para formação de biomassa para a semeadura direta da soja (Dias et al., 2020).

Avaliação da produção e valor nutritivo da forragem

A avaliação das características produtivas e de valor nutritivo das forrageiras foram realizadas de abril a setembro de 2017, sempre antes dos animais entrarem nos piquetes. As medições de altura do dossel foram realizadas com auxílio de uma régua por meio de leituras sistemáticas, medindo 20 pontos aleatórios de cada piquete. As leituras da altura foram avaliadas do nível do solo até o “horizonte foliar” no topo do dossel como referência.

Para avaliação da produção de forragem, foram colhidas oito amostras em quadro de 0,50 x 0,50 m (0,25 m²), por piquete, cortando-se a forragem a altura de 20, 10, 30 e 10 cm para os capins Xaraés, Ruziziensis, Mombaça e Tamani, respectivamente. O material colhido foi colocado em sacos plásticos e, posteriormente, retirada uma amostra representativa de aproximadamente 200 g e colocada em sacos de papel. As amostras foram acondicionadas na estufa de ventilação forçada a 55°C, por 72 horas, para determinação da matéria seca parcial. Posteriormente, o material foi moído em moinho, com peneira de 1mm e submetido às análises bromatológicas.

Para relação lâmina foliar:colmo, as amostras foram separadas manualmente, fracionadas em lâmina foliar, pseudocolmo (colmo + bainha) e acondicionadas em sacos de papel, pesadas e depois encaminhadas para secagem em estufa de ventilação forçada (55°C) até atingirem peso constante.

As análises químico-bromatológicas foram realizadas para determinação da matéria seca (MS), proteína bruta (PB) de acordo com as metodologias descritas pela AOAC (1990); fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) pelo método descrito por Mertens (2002). Para digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS), foi adotada a técnica descrita por Tilley e Terry (1963), adaptada para o rúmen artificial, desenvolvida pela ANKON®, usando o "*Daisy incubadora*" de Ankom Technology (*in vitro true digestibility-IVTD*), os resultados foram expressos com base na MS. A determinação da concentração de fósforo (P) e potássio (K) foi realizada de acordo com a metodologia proposta Malavolta et al. (1997).

Análise Estatística

As variáveis foram submetidas à análise de variância, por meio do programa R versão R-3.1.1 (2014), utilizando-se do pacote ExpDes (Ferreira et al., 2014). As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a de 5% de probabilidade. Para avaliação das características

produtivas e nutricionais das forrageiras e desempenho animal dos diferentes ciclos de pastejo, as análises foram realizadas pelo modelo de medida repetida no tempo.

Para o estudo da associação entre as variáveis foram realizadas correlações lineares de Pearson e teste t de Student, utilizando a função `cor.test` do programa R com 5% de probabilidade.

4.3 RESULTADO

Características produtivas das forrageiras

Houve efeito da interação ($p < 0,05$) forrageiras e ciclos de pastejo nas características produtivas (altura do dossel, produção de massa seca e relação lâmina foliar:colmo) (Tabela 1). As maiores alturas de plantas e produção de massa seca foram obtidas nos capins Mombaça e Xaraés. E o capim-tamani obteve maior relação lâmina foliar:colmo, diferenciando-se das outras forrageiras, que apresentaram resultados semelhantes. Os ciclos de pastejo afetaram a altura do dossel, a produção de massa seca e a proporção de folhas para todas as forrageiras, com menores valores com o decorrer dos ciclos.

Tabela 1. Altura do dossel, produção de massa seca e relação lâmina foliar:colmo dos capins Mombaça, Tamani, Xaraés e Ruziziensis nos diferentes ciclos de pastejo.

| Forrageiras | Ciclos de pastejo | | | | |
|--|-------------------|----------|----------|----------|----------|
| | 1º ciclo | 2º ciclo | 3º ciclo | 4º ciclo | 5º ciclo |
| Altura do dossel (cm) | | | | | |
| Capim-mombaça | 1,59 Aa | 1,33 Aa | 0,98 Ab | 0,72 Abc | 0,62 Ac |
| Capim-tamani | 0,88 Ba | 0,73 Ba | 0,50 Bb | 0,38 Bb | 0,36 Bb |
| Capim-xaraés | 1,49 Aa | 1,23 Aa | 0,82 Ab | 0,64 Ab | 0,56 ABb |
| Capim-ruziziensis | 1,00 Ba | 0,78 Bb | 0,31 Bc | 0,30 Bc | 0,29 Cc |
| Erro padrão da média | | | 0,06 | | |
| Pvalor (forrageiras x ciclos) | | | 0,040 | | |
| Produção de massa seca (kg ha⁻¹) | | | | | |
| Capim-mombaça | 8687 Aa | 7330 Aa | 4921 Bb | 3586 Bb | 2760 Ac |
| Capim-tamani | 6760 Ba | 5850 Ba | 4307 Bb | 3303 Bbc | 2261 Ac |
| Capim-xaraés | 8695 Aa | 7495 Aa | 6040 Ab | 4018 Ac | 2910 Ad |
| Capim-ruziziensis | 5911 Ba | 5185 Ba | 3464 Cb | 1188 Cc | 899 Bc |
| Erro padrão da média | | | 378 | | |
| Pvalor (forrageiras x ciclos) | | | 0,002 | | |
| Relação lâmina foliar:colmo | | | | | |
| Capim-mombaça | 1,57 Ba | 1,15 Bab | 1,07 Bbc | 0,87 Bc | 0,70 Bd |
| Capim-tamani | 3,12 Aa | 2,72 Aa | 2,12 Ab | 1,55 Abc | 1,32 Ac |
| Capim-xaraés | 1,90 Ba | 1,42 Bb | 1,12 Bbc | 0,97 Bc | 0,82 Bc |
| Capim-ruziziensis | 1,60 Ba | 1,15 Bb | 0,97 Bbc | 0,75 Bc | 0,62 Cc |
| Erro padrão da média | | | 0,10 | | |
| Pvalor (forrageiras x ciclos) | | | <0,001 | | |

Médias seguidas por letras diferentes, maiúscula na coluna (forrageiras) e minúscula na linha (ciclos de pastejo), diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Composição bromatológica

Houve efeito da interação ($p < 0,05$) forrageiras e ciclos de pastejo na composição bromatológica das forrageiras. O capim-tamani apresentou maior teor de proteína bruta no primeiro, segundo e terceiro ciclo de pastejo. Entretanto no quarto e quinto ciclo, os teores foram semelhantes entre os capins Mombaça, Tamani e Xaraés, diferenciando-se apenas do capim-ruziziensis que apresentou menor valor em todos os ciclos.

Tabela 2. Teores de proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) dos capins Mombaça, Tamani, Xaraés e Ruziziensis nos diferentes ciclos de pastejo.

| Forrageiras | Ciclos de pastejo | | | | |
|-------------------------------------|-------------------|-----------|-----------|-----------|----------|
| | 1º ciclo | 2º ciclo | 3º ciclo | 4º ciclo | 5º ciclo |
| PB (g kg⁻¹ MS) | | | | | |
| Capim-mombaça | 120,0 Ba | 108,5 Bb | 103,3 Bb | 92,6 Ac | 70,7 Ad |
| Capim-tamani | 143,9 Aa | 122,3 Ab | 114,1 Ab | 97,6 Ac | 78,3 Ac |
| Capim-xaraés | 118,9 Ba | 106,1 Bab | 93,6 Bb | 90,6 Ac | 70,5 Ac |
| Capim-ruziziensis | 89,5 Ca | 88,4 Ca | 82,8 Ca | 53,1 Cb | 50,9 Bb |
| Erro padrão da média | 0,38 | | | | |
| Pvalor (forrageiras x ciclos) | 0,017 | | | | |
| FDN (g kg⁻¹ MS) | | | | | |
| Capim-mombaça | 675,5 Ac | 699,8 Abc | 721,5 Ab | 734,1 Aa | 742,5 Aa |
| Capim-tamani | 623,4 Bb | 678,1 Ba | 693,6 Ba | 700,2 Ba | 700,8 Ba |
| Capim-xaraés | 669,9 Ab | 700,6 Aa | 720,6 Aa | 728,7 Aa | 736,7 Aa |
| Capim-ruziziensis | 675,4 Ac | 700,2 Ab | 725,9 Aab | 728,7 Aa | 747,2 Aa |
| Erro padrão da média | 0,70 | | | | |
| Pvalor (forrageiras x ciclos) | 0,003 | | | | |
| FDA (g kg⁻¹ MS) | | | | | |
| Capim-mombaça | 383,6 Ab | 399,3 Ab | 430,8 Aa | 443,0 Aa | 450,6 Aa |
| Capim-tamani | 331,9 Bc | 357,1 Bbc | 384,8 Bb | 406,6 Bab | 417,0 Ba |
| Capim-xaraés | 384,8 Ab | 402,0 Aab | 422,2 Aa | 433,4 Aa | 446,6 Aa |
| Capim-ruziziensis | 374,2 Ac | 413,9 Abc | 420,2 Ab | 440,1 Aa | 463,4 Aa |
| Erro padrão da média | 0,46 | | | | |
| Pvalor (forrageiras x ciclos) | <0,001 | | | | |
| DIVMS (g kg⁻¹ MS) | | | | | |
| Capim-mombaça | 620,7 Ba | 580,7BCab | 548,1 Bb | 509,1 Bc | 522,2 Bc |
| Capim-tamani | 686,0 Aa | 657,4 Aab | 617,8 Ac | 597,5 Ac | 573,7 Ac |
| Capim-xaraés | 626,8 Ba | 594,3 Ba | 542,8 Bb | 526,1 Bb | 507,1 Bb |
| Capim-ruziziensis | 585,3 Ba | 548,2 Ca | 541,7 Ba | 454,2 Cb | 432,8 Cb |
| Erro padrão da média | 1,13 | | | | |
| Pvalor (forrageiras x ciclos) | 0,041 | | | | |

Médias seguidas por letras diferentes, maiúscula na coluna (forrageiras) e minúscula na linha (ciclos de pastejo), diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Todas as forrageiras apresentaram declínio nos teores de proteína bruta com o avanço dos ciclos de pastejo, com redução de 41, 45, 40 e 43% no último ciclo (Tabela 2).

Os menores teores de FDN e FDA e maior DIVMS foram obtidos no capim-tamani, diferenciando-se dos capins Mombaça, Xaraés e Ruziziensis. No entanto, no quarto e quinto ciclo de pastejo o capim-ruziziensis apresentou o menor valor de DIVMS. Para todas as forrageiras houve acréscimos nas frações fibrosas e redução na DIVMS com decorrer dos ciclos.

Concentração de nutrientes e ganho médio diário dos animais

Não houve diferença significativa ($p > 0,05$) na concentração de fósforo entre as forrageiras em todos os ciclos de pastejo avaliados. Já para a concentração de potássio e ganho média diários houve efeito da interação ($p < 0,05$) forrageiras e ciclos de pastejo. Do primeiro ao terceiro ciclo as forrageiras apresentaram concentração de potássio semelhantes. Entretanto, no quarto e quinto ciclos, os capins Mombaça, Tamani e Xaraés apresentaram maiores concentrações, diferenciando-se do capim-ruziziensis com menor valor. Já em relação aos ciclos, observou-se diminuição da concentração de potássio e fósforo, com o avanço dos ciclos de pastejo em todas as forrageiras.

Os capins Mombaça, Tamani e Xaraés proporcionaram aos animais maiores ganhos de peso médio diário no primeiro ciclo de pastejo, com aumento de 29,9% em relação ao pastejo no capim-ruziziensis. A partir do segundo ciclo, os capins Tamani e Xaraés apresentaram maior ganho, diferenciando-se dos capins Mombaça e Ruziziensis, que apresentaram valores semelhantes (Tabela 3).

Tabela 3. Concentração de fósforo, potássio e ganho médio diário dos animais em pastagens dos capins Mombaça, Tamani, Xaraés e Ruziziensis nos diferentes ciclos de pastejo.

| Forrageiras | Ciclos de pastejo | | | | |
|--|-------------------|-----------|----------|-----------|----------|
| | 1º ciclo | 2º ciclo | 3º ciclo | 4º ciclo | 5º ciclo |
| Fósforo (g kg⁻¹ MS) | | | | | |
| Capim-mombaça | 1,54 Aa | 1,34 Ab | 1,15 Ab | 1,02 Ac | 0,74 Abc |
| Capim-tamani | 1,56 Aa | 1,34 Ab | 1,05 Ac | 0,92 Ad | 0,80 Ad |
| Capim-xaraés | 1,52 Aa | 1,26 Aab | 1,09 Abc | 0,89 Ac | 0,77 Ac |
| Capim-ruziziensis | 1,44 Aa | 1,17 Aa | 1,07 Ab | 0,91 Ab | 0,72 Ab |
| Erro padrão da média | 0,09 | | | | |
| Pvalor (forrageiras x ciclos) | <0,001 | | | | |
| Potássio (g kg⁻¹ MS) | | | | | |
| Capim-mombaça | 15,40 Aa | 14,43 Aa | 13,53 Aa | 10,96 ABb | 9,87 Ab |
| Capim-tamani | 15,42 Aa | 14,80 Aa | 13,22 Aa | 11,39Ab | 10,15 Ab |
| Capim-xaraés | 16,11 Aa | 14,11 Ab | 12,23 Ab | 11,38 Ac | 9,07 Ad |
| Capim-ruziziensis | 14,91 Aa | 13,87 Aab | 12,61 Ab | 8,99 Bc | 7,50 Bc |
| Erro padrão da média | 0,57 | | | | |
| Pvalor (forrageiras x ciclos) | 0,020 | | | | |
| Ganho médio diário dos animais (kg) | | | | | |
| Capim-mombaça | 0,98 Aa | 0,69 Bb | 0,44 Bc | 0,47 Bc | 0,38 Bd |
| Capim-tamani | 1,04 Aa | 0,89 Ab | 0,58 Ac | 0,54 Ac | 0,51 Ac |
| Capim-xaraés | 0,93 Aa | 0,75 Ab | 0,53 Ac | 0,52 Ac | 0,46 Ac |
| Capim-ruziziensis | 0,69 Ba | 0,67 Ba | 0,41 Bb | 0,42 Bb | 0,32 Bc |
| Erro padrão da média | 1,70 | | | | |
| Pvalor (forrageiras x ciclos) | <0,001 | | | | |

Médias seguidas por letras diferentes, maiúscula na coluna (forrageiras) e minúscula na linha (ciclos de pastejo), diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

O maior ganho de peso médio final foi obtido nos animais que pastejaram os capins Tamani e Xaraés. No entanto, em relação as arrobas totais produzidas o capim-tamani obteve o maior ganho. Já o capim-ruziziensis apresentou menor ganho de arrobas totais produzidas ao longo do período de entressafra.

Tabela 4. Valores dos pesos inicial e final dos animais e ganho total em arrobas (@) em cada sistema forrageiro, nos 141 dias de pastejo.

| Forrageiras | Peso Médio (kg) | | Arroba total (@) |
|-------------------|-----------------|--------|------------------|
| | Início | Final | |
| Capim-mombaça | 237,69 | 289,75 | 11,38 |
| Capim-tamani | 230,08 | 295,75 | 14,12 |
| Capim-xaraés | 228,80 | 295,25 | 10,87 |
| Capim-ruziziensis | 230,17 | 290,25 | 7,90 |

Correlação entre características produtivas e nutritivas das forrageiras com ganho médio diário dos animais

As características produtivas e bromatológicas das forrageiras apresentaram correlações com o ganho médio diário dos animais (Tabela 5). Observou-se correlação alta entre as características produtivas das forrageiras com o ganho dos animais para os capins Mombaça e Tamani.

A qualidade da forragem refletiu diretamente no ganho médio diário dos animais. Neste sentido, observou-se correlação positiva entre os teores proteína bruta, DIVMS, fósforo e potássio (Tabela 5). O capim-tamani obteve alta correlação em todas as características exceto FDN. Já o capim-ruziziensis obteve correlação baixa entre os teores de proteína bruta e ganho médio diário.

Tabela 5. Correlação entre as características produtivas e nutritivas das forrageiras com o ganho médio diário dos animais.

| Características produtivas | Ganho médio diário | | | |
|-----------------------------------|--------------------|---------|--------|-------------|
| | Mombaça | Tamani | Xaraés | Ruziziensis |
| Altura do dossel | 0,80** | 0,93** | 0,75** | 0,75** |
| Produção de massa seca | 0,78** | 0,87** | 0,64* | 0,70** |
| Relação lâmina foliar:colmo | 0,78** | 0,91** | 0,62* | 0,59* |
| Características nutritivas | | | | |
| PB | 0,65* | 0,84** | 0,69* | 0,38 |
| FDN | -0,83** | -0,67* | -0,46* | -0,76** |
| FDA | -0,88** | -0,88** | -0,44* | -0,64* |
| DIVMS | 0,79** | 0,86** | 0,68* | -0,22 |
| Fósforo | 0,72** | 0,83** | 0,71** | 0,74** |
| Potássio | 0,66* | 0,71** | 0,60* | 0,58* |

Pearson: 0,00 a 0,39 correlação fraca (); 0,40 a 0,69 correlação moderada (*); 0,70 a 1,00 correlação forte (**), adaptado por Dancey e Reidy, (2006). PB: proteína bruta; FDN: fibra em detergente neutro; FDA: fibra em detergente ácido; DIVMS: digestibilidade *in vitro* da matéria seca.

Para as frações fibrosas (FDN e FDA) houve correlação negativa para todas as forrageiras em relação ao desempenho dos animais, ou seja, com a diminuição dos teores de fibra houve aumento do ganho médio diário. A concentração de fósforo apresentou correlação forte com o ganho médio diário, enquanto o potássio demonstrou correlação forte apenas no capim-tamani.

4.4 DISCUSSÃO

As maiores alturas do dossel obtidas nos capins Mombaça e Xaraés estão relacionadas ao porte destas forrageiras, que é considerado alto, quando comparado com os capins Tamani e Ruziziensis que são plantas de porte baixo. No primeiro ciclo de pastejo a altura média do dossel dessas forrageiras foi de 1,54 m, sendo maior que a obtida por Alvarenga et al. (2020), que observaram altura média de 1,1 m para o capim-mombaça. Essa diferença pode ter ocorrido devido ao tempo de utilização do primeiro pastejo após a formação da pastagem. Os capins Mombaça e Xaraés também apresentaram alto potencial forrageiro, com produção de massa seca média de 8691 kg ha⁻¹, sendo 27,1% superiores a produção dos capins Tamani e Ruziziensis.

A redução da altura do dossel e da produção de massa seca, no decorrer dos ciclos de pastejo, podem ser atribuídas ao crescimento limitado das forrageiras em função das condições climáticas desfavoráveis (Figura 1), o que contribuiu para diminuir a rebrota e crescimento das plantas com mais vigor. Essa menor produção de forragem com o decorrer dos ciclos já era esperada, pois o experimento foi realizado no período seco do ano, sem precipitação (Figura 1) e com consumo de forragem pelos animais durante todos os ciclos de pastejo. Vêras et al. (2020) relataram que a sobrevivência das plantas em períodos de baixa precipitação é tão importante quanto o potencial de produção de pastagens.

Decréscimo na altura do dossel nos meses frios e secos do ano também foi obtido no estudo de Terra et al. (2020), que verificaram nesse período baixo acúmulo de forragem, devido a baixas temperaturas e precipitação, bem como baixo nível de radiação solar e dias mais curtos.

Manter a altura do dossel adequada é um fator importante para o consumo da forragem pelos animais. Baixa altura do dossel afeta a profundidade de bocado, e os animais passam mais tempo procurando forragem, apesar de ainda não poderem ingerir quantidades suficientes em situações severamente restritivas. Por outro lado, pastos excessivamente altos limitam o consumo impondo maiores diferenças de formação de bocado devido à dispersão de folhas e colmos (Souza Filho et al., 2019).

Vale ressaltar da importância da utilização do sistema integrado para proporcionar forragem na estação seca do ano. Os capins Mombaça, Tamani e Xaraés produziram forragem suficiente para alimentar os animais com média no último ciclo de pastejo de 2643 kg ha⁻¹. Normalmente isso é possível em pastos formados de primeiro ano em sistema integrado, onde a forrageira tem o aproveitamento dos nutrientes do solo, em decorrência do resíduo da adubação da cultura anual. Isso faz com que a forrageira fique mais nutrida e desenvolva mais seu potencial, mesmo em períodos de baixa precipitação.

Por outro lado, o potencial da forrageira influencia muita na produção no período de inverno. Os capins Mombaça, Tamani e Xaraés mostraram grande potencial de sobrevivência na estação da seca. Entretanto, o capim-ruziziensis, demonstrou baixo potencial para o desempenho animal a pasto em condições de escassez hídrica, que apresentou redução na oferta de forragem de 65,9% em relação as outras forrageiras no último ciclo de pastejo.

O pastejo dos animais na entressafra tem grande influência no sistema. Quando as culturas anuais e o gado são integrados, com intuito de avaliar o desempenho dos animais a pasto e posteriormente a formação de biomassa para o sistema de plantio direto, o pastejo dos animais na entressafra se torna fator importante. Nesse aspecto, o desafio da integração é

manter o equilíbrio entre o consumo da forrageira e a manutenção de quantidade suficiente de biomassa para a cultura subsequente. Sendo assim, a baixa produção de forragem obtida no capim-ruziziensis, refletiu de forma direta na cobertura do solo, produção de biomassa e ciclagem de nutrientes para a semeadura da soja. Mesmo com o início da precipitação no mês de outubro, essa forrageira apresentou dificuldade de rebrota (Dias et al., 2020). Esse resultado pode atrasar a data de semeadura da próxima cultura agrícola, comprometendo a eficiência de todo sistema.

A maior relação lâmina foliar:colmo obtida no capim-tamani é decorrente da sua morfologia, que apresenta grande proporção de folhas longas e finas em detrimento aos colmos (Tesk et al., 2020). Esses resultados corroboram com o estudo de Machado et al. (2017) que ao testarem diferentes forrageiras (Tamani, Xaraés, Piatã, Aruana e Paiaguás) em consórcio com soja, verificaram que o capim-tamani destacou-se devido à grande quantidade de folhas e hastes finas e curtas. As características morfogênicas do capim-tamani foram medidas por Martuscello et al. (2019), que encontraram relação lâmina foliar:colmo de 1,8 para as plantas com 5 cm de altura e 2,5 para 15 cm de altura, sendo valores menores aos obtidos nesse estudo que foram de 3,12 para o primeiro ciclo de pastejo e de 1,32 para o último ciclo.

Todas as forrageiras apresentaram redução na relação lâmina foliar:colmo com o decorrer dos ciclos de pastejo, devido as forrageiras tropicais diminuírem a produção de lâminas foliares e aumentarem o alongamento de colmo, em razão da baixa disponibilidade de água. Essa redução foi mais acentuada no capim-ruziziensis no último ciclo de pastejo, mostrando que essa forrageira apresentou maior dificuldade de produzir novos perfilhos em período crítico da seca. A maior quantidade de colmo e material morto afeta diretamente a estrutura do dossel, a ingestão de forragem e conseqüentemente, o desempenho animal (Euclides et al., 2019). Sendo assim, a relação lâmina foliar:colmo torna-se importante indicador da facilidade de ingestão de forragem pelo animal, uma vez que a quantidade de matéria morta pode dificultar o acesso do animal a folhas verdes, o que restringiria o consumo de forragem (Geremia et al., 2018).

O maior teor de proteína bruta obtido no capim-tamani pode ser explicado devido a maior proporção de folhas que essa forrageira apresenta, chegando atingir 143 g kg⁻¹ de MS, no primeiro ciclo de pastejo. Esse valor corrobora com o obtido no estudo de Tesk et al. (2020) para o capim-tamani, que encontraram teor de 140 g kg⁻¹ de MS de proteína bruta, mostrando o alto valor nutritivo desta cultivar quando manejada corretamente.

Valores semelhantes quanto aos teores de proteína bruta entre os capins Mombaça, Tamani e Xaraés, no quarto e quinto ciclo de pastejo, podem ter ocorrido em decorrência da capacidade de perfilhamento dessas forrageiras mesmo sem precipitação, equiparando com os teores de proteína bruta do capim-tamani.

A redução nos teores de proteína bruta com o avanço dos ciclos de pastejo, está associado a maior proporção de frações fibrosas, que resultou em menor relação lâmina foliar:colmo, refletindo em menores teores de proteína bruta. Essa redução foi mais acentuada no capim-ruziziensis, que a partir do quarto ciclo de pastejo não atingiu teor igual ou superior a 70 g kg⁻¹ MS (Van Soest, 1994), que é o valor mínimo preconizado para não comprometer as bactérias celulolíticas ruminais e para o desenvolvimento satisfatório do crescimento microbiano ruminal. O nitrogênio é fundamental para a degradação de fibra de gramíneas com baixo valor nutritivo (Oliveira et al., 2020).

Por outro lado, os capins Mombaça, Tamani e Xaraés, atenderam a exigências proteicas dos novilhos avaliados, não comprometendo o desempenho destes, sendo esse fator relevante na adoção do sistema de integração para diminuir o custo de suplementação com ureia na época da seca. Esses resultados mostram a importância da escolha da forrageira adequada para o sistema integrado, com intuito de atender a demanda da pecuária na entressafra, época em que, normalmente, há baixa qualidade da forragem, em decorrência da sazonalidade de produção.

O desempenho animal também pode ser prejudicado pela menor produção de massa e remoção foliar, relação folha colmo e concentração de nitrogênio da forragem em períodos de escassez hídrica (Oliveira et al., 2019). Por isso a quantidade de nitrogênio disponível ao animal na forma de alimentação via pasto, torna-se fundamental para o desempenho dos animais (Detmann et al., 2014), principalmente em sistemas integrados onde o sinergismo entre os componentes promove qualidade e vigor as pastagens que irão contribuir para o ganho de peso dos animais.

A maior proporção de folhas do capim-tamani e menor de colmos promoveu menores teores de FDN e FDA. Além disto, os colmos deste capim são curtos e finos concentrando menor porcentagem de frações fibrosas. Já os maiores teores de FDN e FDA dos capins Mombaça e Xaraés em todos os ciclos de pastejo estão associados a morfologia dessas forrageiras que apresentam porte alto e formam grande quantidade de touceiras (Silva et al., 2015). Sendo assim, essas plantas exigem mais tecido de suporte, fator importante a ser considerado na estratégia do manejo da pastagem, devido à menor digestibilidade do colmo do que o tecido foliar (Vendramini et al., 2019).

Entretanto, em todos os ciclos a taxa de lotação animal foi alta, ou seja, houve controle do crescimento de colmo realizado pelo pastejo dos animais. Isto é favorável para os componentes estruturais da pastagem, influenciando diretamente na redução de FDN e FDA, que influenciam no valor nutritivo da forragem e refletem em melhor desempenho dos ruminantes. Anjos et al. (2016) relataram que o controle de alongamento de colmo, por meio do pastejo é o método eficiente para garantir boa estrutura do dossel e evitar perda de material e acúmulo de folhas mortas, resultando em maior valor nutritivo.

As forrageiras nos últimos ciclos apresentaram redução nos teores de PB, DIVMS e aumento nos teores de FDN e FDA. Tais fatores ocorreram devido ao menor desenvolvimento das mesmas na época crítica da seca, além disso ao decorrer dos ciclos o desempenho dos animais foi diminuindo.

Em estudos que avaliaram a produção de forragem e composição bromatológica de espécies forrageiras consorciadas com soja, Andrade et al. (2020), verificaram teores de FDA inferiores em relação aos obtidos nesse estudo de 357 g kg⁻¹ para o capim-mombaça e de 303 g kg⁻¹ para o capim-ruziziensis.

A maior proporção de folhas e menor quantidade de frações fibrosas contribuíram para melhor digestibilidade do capim-tamani em todos os ciclos de pastejo, melhorando a qualidade de forragem para os animais. Tal resultado é benéfico para o maior consumo animal, uma vez que as frações fibrosas têm correlações negativas com o consumo e a digestibilidade (Epifanio et al., 2019). A DIVMS do capim-tamani na média dos ciclos de pastejo foi de 626 g kg⁻¹ MS, sendo esse valor semelhante aos obtidos por Braga et al. (2019), que observaram 621 g kg⁻¹ MS no capim-tamani sobre o desempenho de novilhos Nelore em lotação rotativa no Cerrado brasileiro.

Conhecer as exigências nutricionais em relação aos minerais (fósforo e potássio) das plantas forrageiras é fator primordial para o manejo, porque interferem na produção e na qualidade da pastagem a ser fornecida aos animais (Moreira et al., 2013). A disponibilidade de minerais para os animais proveniente das plantas forrageiras, dependem de sua distribuição e formas químicas nas plantas (Assmann et al., 2017).

A ausência de diferença na concentração de fósforo das forrageiras em todos os ciclos de pastejo, foi devido à alta disponibilidade de fósforo no solo, ficando acima da realidade das áreas de pastagens no Brasil. Os altos teores de fósforo são explicados pelo histórico da utilização de sistema de integração lavoura-pecuária durante os últimos quatro anos, recebendo adubação fosfatada para a cultura anual. Vale destacar, que uma das vantagens dos sistemas

integrados é o aproveitamento dos nutrientes do solo, para as pastagens, que podem ser cultivadas em consórcio ou em sucessão as culturas anuais. Esse fator é relevante, porque aproximadamente metade do rebanho bovino de corte e pastagens plantadas no Brasil estão localizadas no cerrado do centro-oeste, onde o solo é caracterizado como deficiente em nutrientes importantes, como cálcio, magnésio e principalmente fósforo (Euclides et al., 2019).

Teores adequados de fósforo no solo contribuíram para aumento de raízes e perfilhamento das gramíneas, uma vez que, a adubação fosfatada é responsável por 80% do perfilhamento de espécies forrageiras, quando associada ao manejo eficiente das pastagens (Rezende et al., 2011).

A concentração de fósforo para atender à exigência de ruminantes em crescimento, pode variar de 0,5 a 2,5 g kg⁻¹ MS (NRC, 2001). Sendo assim, todas as forrageiras apresentaram concentração de fósforo adequada, até o último ciclo de pastejo, não precisando de suplementação com esse nutriente, gerando maior economia para o produtor.

A menor concentração de potássio no quarto e quinto ciclo de pastejo, pode ser explicada pela baixa produção de forragem. As forrageiras tropicais têm alta capacidade de extração de potássio pelas folhas, o que contribuiu para fornecer esse nutriente de maneira adequada para os ruminantes. Outro fator importante a ser considerado é a maturidade da forrageira, plantas no início de seu crescimento contêm maiores concentração de potássio (de 4 a 5% a mais), podendo até exceder a quantidade necessária para bovinos, no entanto gramíneas com maturidade fenológica avançada apresentam concentrações menores (Khan et al., 2010).

De acordo com Khan et al. (2009) a concentração de potássio em forrageiras geralmente encontra-se acima de 8 g kg⁻¹ MS, e para bovinos de alta produção a necessidade de potássio deve ser acima de 10 g kg⁻¹ MS (Khan et al., 2006), evidenciando que todos os animais receberam quantidades de potássio necessárias para o seu desenvolvimento.

É comum propriedades que utilizam suplementação para bovinos a pasto na época seca do ano no Brasil, devido as forrageiras muitas vezes não atenderem as exigências para os animais (Fardous et al., 2010). No entanto foi observado no presente estudo que as concentrações dos nutrientes (nitrogênio, fósforo e potássio), atenderam as exigências de desempenho animal, demonstrando a importância do sistema integrado, uma vez que há uma economia com custos de suplementação.

Além disso, a quantidade de nitrogênio, fósforo e potássio disponível no solo, após o consórcio com a cultura anual, torna-se de grande importância, principalmente em sistemas intensivos de exploração das pastagens, onde esses nutrientes encontram-se deficientes. Uma

das grandes vantagens e benefícios dos sistemas integrados é a capacidade de aumentar os níveis de fertilidade do solo de forma a aliviar custos da adubação e tem-se o aproveitamento dos nutrientes do solo para a pastagem após a colheita da cultura anual, fato importante para recuperação de pastagens degradadas, onde a adubação é a responsável pelo maior custo.

Os sistemas integrados proporcionam forragens de qualidade em plena estação da seca do ano ou inverno e, normalmente, as taxas de lotação são as mesmas das estações de verão e primavera, que têm disponibilidade de forragem. A taxa de lotação média foi de 2,66, 2,42, 3,20 e 2,52 unidades animal ha⁻¹ para os capins Xaraés, Ruziziensis, Mombaça e Tamani respectivamente, nos 141 dias de pastejo. A taxa de lotação foi considerada elevada por ser tratar do período da seca, época onde há pouca disponibilidade de água para o melhor desenvolvimento das forrageiras. Sendo assim, é possível observar a superioridade da capacidade de suporte em pastos formados sob sistema de integração lavoura-pecuária, mostrando as vantagens da utilização desse sistema. Em condições reais da pecuária brasileira a taxa de lotação é normalmente menor que 1 UA ha⁻¹ (Gléria et al., 2017), comprometendo os índices zootécnicos dos animais.

Essa disponibilidade de forragem de qualidade influenciou o ganho médio diário dos animais, como mostrado para os capins Mombaça, Tamani e Xaraés. No primeiro e segundo ciclo de pastejo o ganho médio diário foi de 0,98 e 0,78 kg, respectivamente, devido à alta disponibilidade de forragem de qualidade, sendo considerado bem superior à encontrada para essa época do ano, onde os animais mantem ou perdem peso. Entretanto, mesmo no último ciclo de pastejo os animais continuaram ganhando peso, com destaque para os capins Tamani e Xaraés.

Durante os 141 dias de pastejo a produção de arroba (@) total foi de 11,38, 14,12, 10,87 e 7,90 para os capins Mombaça, Tamani, Xaraés e Ruziziensis, respectivamente. O maior ganho em arrobas no final do período de entressafra do capim-tamani é explicado pela sua uniformidade de oferta de forragem com melhor valor nutritivo no decorrer das avaliações, o que promoveu maior taxa de lotação em todos os períodos avaliados. A persistência e qualidade da forrageiras no período seco do ano é o que garante maior conversão de peso.

Avaliando o ganho de peso de animais nelore sob pastagens do gênero *Panicum maximum* (Tamani, Massai e Zuri) no período de maio a setembro em sistema de pastejo sem integração, Maciel et al. (2018) relataram que embora as três cultivares tenham promovido ganho de peso aos animais, o capim-tamani apresentou menores restrições alimentares aos animais no período de escassez hídrica mantendo sua qualidade por mais tempo.

Os animais no pasto do capim-ruziziensis em todos os ciclos de pastejo obtiveram menor ganho de peso. Isso pode ser explicado devido a menor disponibilidade de forragem para os animais, afetando o consumo adequado. Euclides et al. (2019) explicaram que altura do dossel tem papel importante no controle da massa de bocado e, conseqüentemente, do consumo instantâneo de forragem, que reflete no ganho do peso dos animais.

Ao avaliar o ganho médio diário de animais da raça Nelore em fase de recria, sem integração lavoura-pecuária, Braga et al. (2019), verificaram ganho médio de 0,42 kg, e que mesmo durante a estação seca o capim-tamani proporcionou 0,20 kg/animal/dia proporcionando ganho de peso no período seco do ano. Esses resultados são inferiores aos observados no presente estudo para o desempenho animal no pasto de capim-tamani, que obteve ganho de 1,04 kg no primeiro ciclo (mês de maio) e 0,51 kg no último ciclo (mês de setembro). Tal diferença pode ser explicada pelo sistema utilizado, onde a integração proporciona melhor desempenho aos animais, devido a qualidade da forragem.

Vale ressaltar que o sistema de integração caracterizado como sobressemeadura de forrageiras tem intuito de antecipar a produção de forrageiras para alimentação animal e com isso obter animais ganhando peso neste período em substituição ao cultivo do milho na safrinha. Recentemente esses resultados mostraram-se promissores para os produtores, devido aos bons resultados como a disponibilidade de forragem e ganho médio diário dos animais. Após o início do período chuvoso, esses animais são retirados da área e a mesma fica em descanso para rebrota das forrageiras, para serem utilizadas como planta de cobertura para o sistema de plantio direto (Dias et al., 2020).

Os nutrientes e taxas de ciclagem de resíduos vegetais podem ser modificados nos sistemas integrados por meio do pastejo dos animais, como a forma bioquímica, distribuição espacial dentro do pasto e o período de liberação ou disponibilidade dos nutrientes para a cultura subsequente (Assmann et al., 2017). Dentro dessa perspectiva, o correto manejo dos animais dentro do sistema é fundamental para alavancar os benefícios da ciclagem de nutrientes, visto que o pastejo adequado, respeitando o resíduo pós-pastejo, eleva o teor de matéria orgânica do solo (Assmann et al. 2014), através do retorno de nutrientes oriundos da excreção de urina e esterco, em que os animais operam como agentes de reciclagem de nutrientes (Carvalho et al., 2010), colaborando com o menor uso de fertilizantes para a próxima cultura e conservação da sustentabilidade da produção a longo prazo (Costa et al., 2016).

As características produtivas das forrageiras refletiram de forma direta no desempenho animal, confirmadas pelas correlações positivas com o ganho de peso dos bovinos. O capim-

tamani demonstrou correlação alta, pois o mesmo evidenciou melhor qualidade de forragem, com maior DIVMS e menores frações fibrosas.

O aumento das frações fibrosas como FDN e FDA podem interferir no consumo e na digestibilidade do material ingerido, por isso a correlação apresentou-se negativa com o ganho de peso. Forragem com alto teor de FDN promovem redução significativa de ingestão de massa seca total, devido a limitação física do trato gástrico (Huhtanen et al., 2016). Nesse sentido, é importante reforçar o manejo das pastagens, principalmente no que diz respeito ao controle do alongamento do colmo, com a disponibilidade de carboidratos não fibrosos na alimentação de ruminantes. Em sistema integrado, devido à falta de precipitação na entressafra, que reflete na menor disponibilidade de forragem, tem que ser dada atenção especial ao manejo, para não afetar o desempenho dos animais.

Os nutrientes fósforo e o potássio também exercem papel importante no desempenho dos animais, isso porque estão envolvidos em processos fisiológicos, composição estrutural de órgãos e tecidos e são catalisadores dos sistemas enzimáticos que interferem no ganho de peso (Prados et al., 2015). O potássio e fósforo apresentaram concentrações dentro dos exigidos para bovinos de corte, o que resultou em correlação moderada com o ganho médio dos animais

Diante de todos os benefícios do sistema de integração lavoura-pecuária, nota-se a importância da intensificação sustentável do uso da terra, sem a necessidade de expansão em áreas nativas (Peterson et al., 2020) e como forma de garantir segurança alimentar a uma crescente demanda populacional (Allaoui et al., 2018). E isso só é possível, devido à combinação entre a agricultura e pecuária que juntas promovem um sinergismo complexo entre solo, plantas e animais que garantem maior produtividade em menores áreas com maior rentabilidade com sustentabilidade (Carvalho et al., 2018). Além disso, a técnica de sobressemeadura promove a antecipação da produção de forragem, garantindo alimentação de qualidade no período de escassez hídrica (Dias et al., 2020).

4.5 CONCLUSÕES

Os capins Mombaça e Xaraés apresentaram maior produção de forragem, no entanto, a maior qualidade foi obtida no capim-tamani. Os capins Mombaça, Xaraés e Tamani obtiveram melhor desempenho animal a pasto.

O capim-ruziziensis apresentou menor produção e qualidade da forragem no decorrer dos ciclos de pastejo, que refletiu em menor produção animal.

O capim-tamani devido ao seu melhor valor nutritivo apresentou maior ganho de peso animal ao longo do período de entressafra, tornando este capim como opção viável para o sistema de integração lavoura-pecuária.

A formação das pastagens através da técnica de sobressemeadura na cultura da soja, mostrou ser uma técnica eficiente para fornecimento de alimento na entressafra promovendo bom desempenho aos animais, com redução no impacto ambiental da pecuária, em decorrência do maior aproveitamento dos nutrientes do solo, com maior sustentabilidade.

4.6 REFERÊNCIAS

ALLAOUI, H.; GUO, Y.; CHOUDHARY, A.; BLOEMHOF, J. Sustainable agro-food supply chain desing using two-stage hybrid multi-objective decision-making approach. **Computers and Operations Research**, v.89, p.269-384, 2018.

ALMEIDA, R. E. M.; GOMES, C. M.; LAGO, B. C.; OLIVEIRAS, S. M.; PIEROZAN JUNIOR, C.; FARAVIN, J. L. Corn yield, forage production and quality affected by methods of intercropping corn and *Panicum maximum*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.52, n.3, p.170-176, 2017.

ALVARENGA, C. A. F.; EUCLIDES, V. P. B.; MONTAGNER, D. B.; SBRISSIA, A. F.; BARBOSA, R. A.; ARAÚJO, A. R. Animal performance and sward characteristics of Mombaça guineagrass pastures subjected to two grazing frequencies. **Tropical Grasslands – Forages Tropicales**, v.8, n.1, p.1-10, 2020.

ANDRADE, C. A. O., BORGHI, E., BORTOLON, L., BORTOLON, E. S. O., CAMARGO, F. P., AVANZI, J. C., GUARDA, V. D. A., CUNHA, M. K., SILVA, R. R., FIDELIS, R. R. Forage production and bromatological composition of forage species intercropped with soybean. **Journal of Agricultural Science**, v.12, n.1, p.84-94, 2020.

ANDRADE, C.A. O.; BORGHI, E.; BORTOLON, L.; BORTOLON, E. S. O.; CAMARGO, F. P.; AVANZI, J. C.; SIMON, J.; SILVA, R. R.; FIDELIS, R. R. Straw production and agronomic performance of soybean intercropped with forage species in no-tillage systems. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.52, n.10, p.861-868, 2017.

ANJOS, A. J.; GOMIDE, C. A. M.; RIBEIRO, K. G.; MADEIRO, A. S.; MORENZ, M. J. F.; PACIULLI, D. S. Forage mass and morphological composition of Marandu palisadegrass pasture under rest periods. **Ciência e Agrotecnologia**, v.40, n.1, p.76-86, 2016.

AOAC. **Official Methods of Analysis**. 15th Edition, Association of Official Analytical Chemist, Washington DC, 1990.

ASSMANN, J. C.; MARTINS, A. P.; ANGHINONI, I.; DENARDIN, L. G. O.; NICHEL, G. H.; COSTA, S. E. V. G. A.; SILVA, R. A. P.; BALERINI, F.; CARVALHO, P. C. F.; FRANZLUEBBERS, A. J. Phosphorus and potassium cycling in a long-term no-till integrated soybean-beef cattle production system under different grazing intensities insubtropics. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.108, p.21-33, 2017.

ASSMANN, J. M.; ANGHINONI, I.; MARTINS, A. P.; COSTA, S. E. V. G. A.; KUNRATH, T. R.; BAYER, C.; CARVALHO, P. C. F. Soil carbon and nitrogen stocks and fractions in a long-term integrated crop-livestock system under no-tillage in Southern Brazil. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v.190, n.1, p.52–59, 2014.

BRAGA, G. J., MACIEL, G. A., GUIMARÃES JR, R., RAMOS, A. K B., CARVALHO, M. A., FERNANDES, F. D., FONSECA, C. E. L., JANK, L. Performance of Young Nelore bulls on guineagrass pastures under rotational stocking in the Brazilian Cerrado. **Tropical Grasslands - Forrajes Tropicales**, v.7, n.3, p.214–222, 2019.

CARVALHO, A. M.; SOUZA, L. L. P.; GUIMARÃES JÚNIOR, R. Cover plants with potential use for crop-livestock integrated systems in the Cerrado region. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.10, p.1200-1205, 2011.

CARVALHO, P. C. F.; PETERSON, C. A.; NUNES, P. A. A.; MARTINS, A. P.; SOUZA FILHO, W.; BERTOLAZI, V. T.; KUNRATH, T. R.; MORAES, A.; ANGHINONI, I. Animal production and soil characteristics from integrated crop-livestock systems: toward sustainable intensification. **Journal of Animal Science**, v.96, n.8, p.3513-3525, 2018.

CARVALHO, P. C. F.; ANGHINONI, I.; MORAES, A.; SOUZA, E. D.; SULC, M. R.; LANG, C. R.; FLORES, J. P. C.; LOPES, M. L. T.; SILVA, J. L. S.; CONTE, O.; WESP, C. L.; LEVIEN, R.; FONTANELI, R. S.; BAYER, C. Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.88, p.259–273, 2010.

CORREIA, N. M.; GOMES, L. J. P. Soybean oversowing with *Urochloa brizantha* and *Panicum maximum* and the straw formation in a no-tillage system. **Semina: Ciências Agrárias**, v.37, n.3, p.1209-1218, 2016.

COSTA JÚNIOR, N. B.; BALDISSERA, T. C.; PINTO, C. E.; GARAGORRY, F. C.; MORAES, A.; CARVALHO, P. C. F. Public policies for low carbon emission agriculture foster beef cattle production in southern Brazil. **Land Use Policy**, v.80, n.1, p.269–273, 2019.

COSTA, M. P.; SCHOENEBOOM, J. C.; OLIVEIRA, S. A.; VIÑAS, R. S.; MEDEIROS, G. A. A socio-eco-efficiency analysis of integrated and no integrated crop-livestock-forestry. **Journal of Cleaner Production**, v.171, n.10, p.1460-1471, 2018.

COSTA, R. R. G. F.; COSTA, K. A.P.; SANTOS, C. B.; SEVERIANO, E. C.; EPIFÂNIO, P. S.; SILVA, J. T.; TEIXEIRA, D. A. A.; SILVA, V. R. Production and nutritional characteristics of pearl millet and Paiaguas palisadegrass under different forage systems and sowing periods in the offseason. **African Journal Agricultural Research**, v.11, n.19, p.1712-1723, 2016.

DA SILVA, S. C.; BUENO, A. A. O.; CARNEVALLI, R. A.; SILVA, G. P.; CHIAVEGATO, M. B. Nutritive value and morphological characteristics of Mombaça grass managed with diferente rotational grazing strategies. **The Journal of Agricultura Science**, v.157, n.7-8, p.592-598, 2020.

DANCEY, C.; REIDY, J. **Estatística sem Matemática para Psicologia: Usando SPSS para Windows**. Porto Alegre, Artmed. 608p. 2006.

DETMANN, E.; VALENTE, E. E. L.; BATISTA, E. D.; HUHTANEN, P. An evaluation of the performance and efficiency of nitrogen utilization in cattle fed tropical grass pastures with supplementation. **Livestock Science**, v.162, p.141-153, 2014.

DIAS, M. B. C.; COSTA, K. A. P.; SEVERIANO, E. C.; BILEGO, U.; FURTINI NETO, A. E.; ALMEIDA, D. P.; BRAND, S. C.; LOURIVAL, V. *Brachiaria* and *Panicum maximum* in an integrated crop-livestock system and a second-crop corn system in succession with soybean. **The Journal of Agricultural Science**, p.1-12, 2020.

EPIFANIO, P.S.; COSTA, K.A.P.; SEVERIANO, E.C.; SOUZA, W.F., TEIXEIRA, D.A.A.; SILVA, J.T.; AQUINO, M.M. Productive and nutritional characteristics of *Brachiaria brizantha* cultivars intercropped with *Stylosanthes* cv. Campo Grande in different forage systems. **Crop & Pasture Science**, v.70, p.718-729, 2019.

EUCLIDES, V. P. B.; MONTAGNER, D. B.; MACEDO, M. C. M.; DE ARAÚJO, A. R.; DIFANTE, G. S.; BARBOSA, R. A. Grazing intensity affects forage accumulation and persistence of *Marandu palisadegrass* in the Brazilian savannah. **Grass Forage Science**, v.74, n.3, p.450-462, 2019.

FARDOUS, A.; GONDAL, S.; SHAH, Z. A.; AHMAD, K.; KHAN, Z. I.; IBRAHIM, M.; EJAZ, A.; AHMAD, W.; ULLAH, S.; VALEEM, E. E. Sodium, potassium and magnesium dynamics in soil-plant-animal continuum. **Pakistan Journal of Botany**, v.42, n.4, p.2411-2421, 2010.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. Stages of Soybean Development. **Special Reports**, v.80, p.1–12, 1977.

FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. ExpDes: an R package for ANOVA and experimental designs. **Applied Mathematics**, v.5, n.19, p.952-958, 2014.

FLÁVIO NETO, J.; SEVERIANO, E. C.; COSTA, K. A. P.; GUIMARÃES JUNNYOR, W. S.; GONÇALVES, W. G.; ANDRADE, R. Biological soil loosening by grasses from genus *Brachiaria* in crop-livestock integration. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.37, n.3, p.375-383, 2015.

GEREMIA, E. V.; CRESTANI, S.; MASCHERONI, J. D. C.; CARNEVALLI, R. A.; MOURÃO, G. B.; DA SILVA, S. C. Sward structure and herbage intake of *Brachiaria brizantha* cv. Piatã in a crop livestock-forestry integration area. **Livestock Science**, v.212, p.83-92, 2018.

GLÉRIA, A.A.; SILVA, R.M.; SANTOS, A.P.P.; SANTOS, K.J.G.; PAIM, T.P. Produção de bovinos de corte em sistemas de integração lavoura pecuária **Archivos de Zootecnia**, v.66, n.253, p.141-150, 2017.

GUARNIERI, A.; COSTA, K. A. P.; SEVERIANO, E. C.; SILVA, A. G.; OLIVEIRA, S. S.; SANTOS, C. B. Agronomic and productive characteristics of maize and Paiaguas palisadegrass in integrated production systems. **Semina: Ciências Agrárias**, v.40, n.3, p.1185-1198, 2019.

HUHTANEN, P.; DETMANN, E.; KRIZSAN, S. Prediction of rumen fiber pool in cattle from dietary, fecal, and animal variables. **Journal of Dairy Science**, v.99, n.7, p.1-15, 2016.

KAMBLE, S. S.; GUNASEKARAN, A.; GAWANKAR, S. A. Achieving sustainable performance in a data-drive agriculture supply chain: A review for research and applications. **Internacional. Journal of Production Economics**, v.219, p.179-194, 2020.

KHAN, Z. I.; ASHRAF, M.; AHMAD, K.; AHMAD, N.; DANISH, M.; VALEEM, E. E. Evaluation of mineral composition of forages for grazing ruminants in Pakistan. **Pakistan Journal of Botany**, v.41, n.5, p.2465-2476, 2009.

KHAN, Z. I.; ASHRAF, M.; AHMAD, K.; VALEEM, E. E. Periodic evaluation of potassium transfer from soil and forage to small ruminants on an experimental station in Southern Punjab, Pakistan. **Pakistan Journal of Botany**, v.42, n.2, p.1353-1360, 2010.

KHAN, Z. I.; BARSA, S. M. A.; HUSSAIN, A.; MCDOWELL, L. R. Seasonal variation of trace elements in a semiarid veld pasture. **Communications in soil science and plant analysis**, v.37, p.1471-1484, 2006.

LEMAIRE, G.; FRANZLUEBBERS, A.; CARVALHO, P. C. F.; DEDIEU, B. Integrated crop–livestock systems: strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.190, n.1, p.4-8, 2014.

MACHADO, L. A. Z.; CECATO, U.; COMUNELLO, E.; CONCENÇO, G.; CECCON, G. Establishment of perennial forages intercropped with soybean for integrated crop-livestock systems **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.52, n.7, p.521-529, 2017.

MACIEL, G. A.; BRAGA, G. J.; GUIMARÃES JR, R.; RAMOS, A. K. B.; CARVALHO, M. A.; FERNANDES, F. D.; FONSECA, C. E. L.; JANK, L. Seasonal liveweight gain of beef cattle on guineagrass pastures in the brazilian cerrados. **Agronomy, soil and environmental quality**, v.110, n.2, p.480-487, 2018.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações. **2ed. Piracicaba, Potafos**, p.319, 1997.

MARCHI, S. R.; SOUSA, A. C.; MARQUES, R. F.; PINHEIRO, G. H.; SOUZA, R. M.; MARTINS, D. Potential of greenhouse gas production by Guinea Grass subjected to weed competition. **Journal of Agricultural Science**, v.11, n.8, p.257-272, 2019.

MARTUSCELLO, J. A., RIOS, J. F., FERREIRA, M. R., ASSIS, J. A., BRAZ, T. G. S., VIEIRA CUNHA, D. N. F. Produção e morfogênese de capim BRS tamani sob diferentes doses de nitrogênio e intensidades de desfolhação. **Boletim de Indústria Animal**, v.76, p.1-10, 2019.

MERTENS, D.R. Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beaker or crucibles: collaborative study. **Journal of AOAC International**, v.85, p.1217-1240, 2002.

MORAES, A.; CARVALHO, P. C. F.; ANGHINONI, I.; LUSTOSA, S. B. C.; COSTA, S. E. V. G. A.; KUNRATH, T. R. Integrated crop–livestock systems in the Brazilian subtropics. **European Journal of Agronomy**, v.57, p.4–9, 2014.

MOREIRA, J. F. M.; COSTA, K. A. P.; SEVERIANO, E. C.; SIMON, G. A.; CRUVINEL, W. S.; BENTO, J. C. Nutrientes em cultivares de *brachiaria brizantha* e estilosantes em cultivo solteiro e consorciado. **Archivos dec Zootecnia**, v.62, n.240, p.513-523, 2013.

MOREIRA, J. F. M.; COSTA, K. A. P.; SEVERIANO, E. C.; SIMON, G. A.; EPIFANIO, P. S.; CRUVINEL, W. S.; BENTO, J. C. Production and bromatological composition of cultivars of *Brachiaria brizantha* and Campo Grande Stylo monocropped and intercropped under diferente planting methods. **African Journal of Agricultural Research**, v.10, n.5, p.317-327, 2015.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of beef cattle**. Minerals, 7. ed. rev. Washington: National Academic Press, 2001. p.54-69.

NIE, Z.; MCLEAN, T.; CLOUGH, A.; TOCKER, J.; CHRISTY, B.; HARRIS, R.; RIFFKIN, P.; CLARK, S.; MCCASKILL, M. Benefits, challenges and opportunities of integrated crop–livestock systems and their potential application in the high rainfall zone of southern Australia: a review. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v.235, n.4, p.17–31, 2016.

OLIVEIRA, C. V. R.; SILVA, T. E.; BATISTA, E. D.; RENNÓ, L. N.; SILVA, F. F. S.; CARVALHO, I. P. C.; MARTÍN-TERESO, J.; DETMANN, E. Urea supplementation in rumen and post-rumen for cattle fed a low-quality tropical forage. **British Journal of Nutrition**, p.1-43, 2020.

OLIVEIRA, M. S.; ALMEIDA, R. E. M.; PIEROZAN JUNIOR, C.; REIS, A. F. B.; SOUZA, L. F. N.; FAVARIN, J. L. Contribution of corn intercropped with *Brachiaria* species to nutrient cycling. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.49, ed.55018, 2019.

PETERSON, C. A.; DEISS, L.; GAUDIN, A. C. M. Commercial integrated crop-livestock systems achieve comparable crop yields to specialized production systems: A meta-analysis. **Plos One**, v.15, n.5, ed.0231840, 2020.

PRADOS, L. F.; VALADARES FILHO, S. C.; SANTOS, S. A.; ZANETTI, D.; NUNES, A. N.; COSTA, D. R.; MARIZ, L. D. S.; DETMANN, E.; AMARAL, P. M.; RODRIGUES, F. C.; VALADARES, F. D. Reducing calcium and phosphorus in crossbred beef cattle diets: impacts on productive performance during the growing and finishing phase. **Animal Production Science**, v.56, n.10, p.1643-1649, 2015.

REZENDE, A. V. DE; LIMA, J. F. DE; RABELO, C. H. S.; RABELO, F. H. S.; NOGUEIRA, D. A.; CARVALHO, M.; FARIA JÚNIOR, D. C. N. A. DE; BARBOSA, L. DE A. Características morfofisiológicas da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em resposta à adubação fosfatada. **Revista Agrarian**, v.4, n.14, p.335-343, 2011.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J.B. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Embrapa CNPS, 3ed. 2018. 353p.

SILVA, S. C.; SBRISSIA, A. F.; PEREIRA, L. E. T. Ecophysiology of C₄ forage grasses – Understanding plant growth for optimising their use and management. **Agriculture**, v.5, n.3, p.598-625, 2015.

SINCLAIR, T. R.; PINTER JR, P. J.; KIMBALL, B. A.; ADAMSEN, F. J.; LAMORTE, R. L.; WALL, G. W.; HUNSAKER, D. J.; ADAM, N.; BROOKS, T. J.; GARCIA, R. L.; THOMPSON, T.; LEAVITT, S.; MATTHIAS, A. Leaf nitrogen concentration of wheat subjected to elevated [CO₂] and either water or N deficits. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.79, n.1, p.53-60, 2000.

SOUZA FILHO, W.; NUNES, P. A. A.; BARRO, R. S.; KUNRATH, T. R.; ALMEIDA, G. M.; GENRO, T. C. M.; BAYER, C.; CARVALHO, P. C. F. Mitigation of enteric methane emissions through pasture management in integrated crop-livestock systems: Trade-offs between animal performance and environmental impacts. **Journal of Cleaner Production**, v.213, n.10, p.968-975, 2019.

SULC, R. M.; FRANZLUEBBERS, A. J. Exploring integrated crop–livestock systems in different ecoregions of the United States. **European Journal of Agronomy**, v.57, n.1, p.21–30, 2014.

TERRA, S.; GIMENES, F. M. A.; GIACOMINI, A. A.; GERDES, L.; MANÇO, M. X.; MATTOS, W. T.; BATISTA, K. Seasonal alteration in sward height of Marandu palisade grass (*Brachiaria brizantha*), pastures managed by continuous grazing interferes with forage production. **Crop & Pasture Science**, v.71, n.3, p.285-293, 2020.

TESK, C. R. M.; CAVALLI, J.; PINA, D. S.; PEREIRA, D. H.; PEDREIRA, C. G. S.; JANK, L.; SOLLENBERGER, L. E.; PEDREIRA, B. C. Herbage responses of Tamani and Quênia guineagrasses to grazing intensity. **Agronomy Journal**, v.112, n.3, p.2081-2091, 2020.

TILLEY, J. M. A., TERRY, R. A. A two stage technique for in vitro digestion of forages crops. **Journal of the British Grassland Society**, v.18, n.2, p.104-111, 1963.

VAN SOEST, P. J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2 ed. Ithaca: Cornell, 1994. 476p.

VENDRAMINI, J. M. B.; SOLLENBERGER, L. E.; DE OLIVEIRA, F. C. L.; HERLING, V. R.; GOMES, V. C.; SANCHEZ, J. M. D.; YARBOROUGH, J. K. Herbage characteristics of continuously stocked limpgrass cultivars under stockpiling management. **Crop Science**, v.59, n.6, p.2886– 2892, 2019.

VÉRAS, E. L. L.; DIFANTE, G. S.; GURGEL, A. L. C.; COSTA, C. M.; EMERENCIANO NETO, J. V.; RODRIGUES, J. G.; COSTA, A. B. G.; PEREIRA, M. G.; ÍTAVO, L. C. V. Tillering Capacity of *Brachiaria* Cultivars in the Brazilian Semi-Arid Region During the Dry Season. **Tropical Animal Science Journal**, v.43, n.2, p.133-140, 2020.

VILELA, L.; JUNIOR, G. B. M.; MACEDO, M. C. M.; MARCHÃO, R. L.; JÚNIOR, R. G.; PULROLNIK, K.; MACIEL, G. A. Sistemas integração lavoura pecuária-pecuária na região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p.1127-1138, 2011.

WERNER, J. C.; PAULIN O, V. T.; CANTARE LLA, H. Forrageiras. In: RAIJ, B. Van; CANTARE LLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1996. p.263-273 (Boletim técnico, 100).

5. CAPÍTULO II

Artigo Publicado

Dias M B de C, Costa K A de P, Severiano E da C, Bilego U O, Neto A E F, Almeida D P, Brand S C, Vilela L (2020). *Brachiaria* and *Panicum maximum* in an integrated crop-livestock system and a second-crop maize system in succession with soybean. **The Journal of Agricultural Science**, 1-12. <https://doi.org/10.1017/S0021859620000532>

***Brachiaria* AND *Panicum Maximum* IN AN INTEGRATED CROP-LIVESTOCK SYSTEM AND A SECOND-CROP MAIZE SYSTEM IN SUCCESSION WITH SOYBEAN**

Abstract: Owing to its contribution to the maintenance of carbon stocks, soil nitrogen and nutrient cycling for subsequent crops, the integrated systems become increasingly important for agricultural conservation. Thus, the objective of this study was to evaluate the biomass production of and total nutrient in *Brachiaria* spp. and *Panicum maximum* forage grasses used as mulch and soybean yields in an integrated crop-livestock system and second-crop maize succession system. The treatments consisted of the following cropping systems: Xaraes palisadegrass intercropped with soybean, Congo grass intercropped with soybean, Mombaça guinea grass intercropped with soybean, Tamani guinea grass intercropped with soybean, and a soybean/maize succession system. The forage grasses were established during the soybean R6-R7 stage. Compared with Congo grass, Xaraes palisadegrass, Mombaça guinea grass and Tamani guinea grass produced more biomass and equivalent amounts of fertilizer returned to the soil and resulted in greater nutrient cycling, indicating the benefits of these grasses for use as mulch in integrated production systems. Maize had a greater C/N ratio, but the forage grasses also exhibited high potential by protecting the soil until the end of the soybean development cycle. The use of an integrated crop-livestock system combined with a forage cropping system provided greater soil nutrient cycling than the maize cropping system did, which resulted in increased soybean yields, thus contributing to the sustainability of agricultural systems.

Keywords: Forage biomass; Nutrient content; Nutrient cycling; Sustainability

5.1 INTRODUCTION

A current challenge in agricultural systems is to balance increases in productivity and reductions in cultivation area while also preserving the environment and generating profits for farmers (Roesh-McNally *et al.*, 2018). Integrated systems are techniques that provide benefits for both agriculture and livestock production, leading to economic and especially environmental gains (Santos *et al.*, 2014).

Integrated crop-livestock systems are characterized by the use of the same production area for agriculture and livestock production, either simultaneously or in succession, to improve the use of land and of environmental resources. When properly managed, these systems can efficiently store carbon (C) and help to maintain the carbon/nitrogen (C/N) ratio of the soil via the function of the root system of plants, increasing the amount of biomass of the plant material used for mulch, which in turn is used as soil cover in no-till systems (Carvalho *et al.*, 2010a).

The biomass of perennial plants used as mulch promotes high levels of organic matter (OM) in the soil, which contributes to nutrient cycling, especially the replenishment of nitrogen (N) and C, and water maintenance and improves soil properties (Ryschawy *et al.*, 2017). Furthermore, this soil dynamic helps to reduce the use of fertilizer, thus reducing costs and the impacts on the environment (Laroca *et al.*, 2018).

Thus, the selection of a cover crop to provide the amount of mulch biomass needed to maintain an integrated system should account for the climatic conditions of the region. In the Brazilian Cerrado (savannah), the winters are characterized by drought events and low humidity, while the summers have high temperatures and rainfall, which hinder the longevity of mulch biomass on the soil, as high temperature and humidity accelerate the decomposition rate the plant materials (Castro *et al.*, 2017).

Brachiaria species are considered the primary species for the production of mulch biomass, with the potential to accumulate and release nutrients into the soil for subsequent crops (Flávio Neto *et al.*, 2015; Costa *et al.*, 2016 and Costa *et al.*, 2017). However, with the emergence of new *Panicum maximum* cultivars, the Mombaça guinea grass (Soratto *et al.*, 2019) and Tamani guinea grass (Machado *et al.*, 2017) have been increasingly used in integrated systems, with positive results.

In contrast to information on *Brachiaria ruziziensis*, which has been the most frequently used grass species in integrated systems for many years because of its high efficiency, information on the introduction of these new cultivars is scarce. As such, it is necessary to

determine the potential of these forage grasses in integrated production systems for promoting increased soybean yields via biomass production compared with that of maize in succession with soybean as the second crop.

Thus, the objective of this study was to evaluate the biomass production of and total nutrient in *Brachiaria* spp. and *Panicum maximum* forage grasses used as mulch and soybean yields in an integrated crop-livestock system and in soybean/maize (*Zea mays*) succession.

5.2 MATERIALS AND METHODS

Description of the area

This study was conducted at the Instituto de Ciência and Tecnologia Comigo – ITC (Institute of Science and Technology Comigo) in Rio Verde, state of Goiás (GO), Brazil, from October 2016 to February 2018, at the coordinates 17°45'48" S and 51°02'14" W and at an altitude of 832 m. The soil was classified as a typical Dystrophic Red Latosol according to the Brazilian classification system (Santos *et al.*, 2018).

The experiment was established in 2016. Soybean was always grown during the summer season, with the management systems subsequently evaluated during the off-season. During the experiment, the monthly rainfall and average temperature data were recorded (Figure 1).

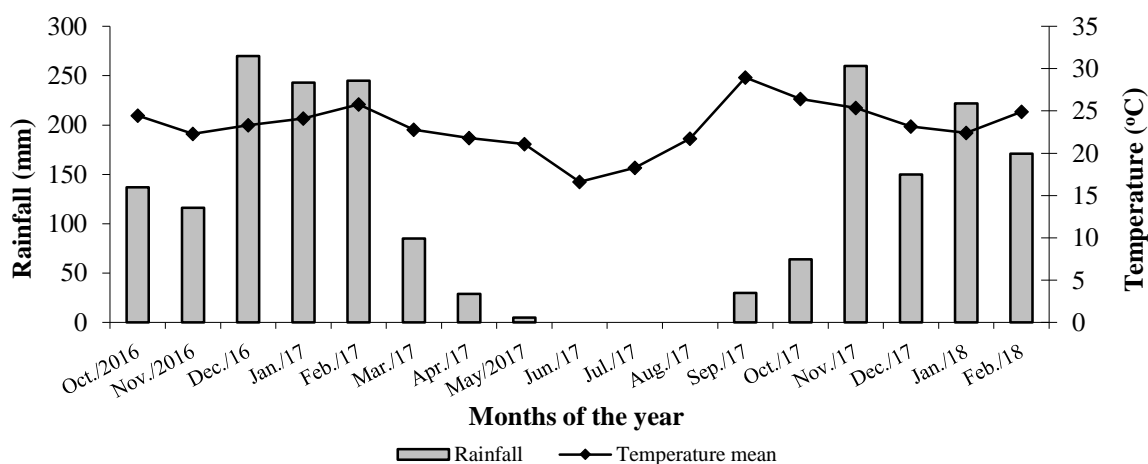


Fig. 1 Monthly rainfall and mean daily temperatures recorded from October 2016 to February 2018 in Rio Verde-GO, Brazil.

Treatments and crop establishment

The experimental design was a randomized block design with four replicates. The treatments consisted of the following cropping systems: Xaraes palisadegrass (*Brachiaria*

brizantha cv. Xaraés) intercropped with soybean, Congo grass (*Brachiaria ruziziensis*) intercropped with soybean, Mombaça guinea grass (*Panicum maximum* cv. Mombaça) intercropped with soybean, Tamani guinea grass (*Panicum maximum* cv. BRS Tamani) intercropped with soybean, and a soybean/maize (*Zea mays*) succession. The treatments were randomly distributed throughout the total area. The area of each plot was 2000 m², and each plot was divided by an electric fence, such that there were four plots, each with a separate forage grass, and four plots containing maize.

Figure 2 shows a diagram of the cropping systems comprising *Brachiaria* spp. and *Panicum* forage grasses in an integrated crop-livestock system and a system with maize in succession to soybean. This system was designed to diversify activities, maximizing land use throughout the year.

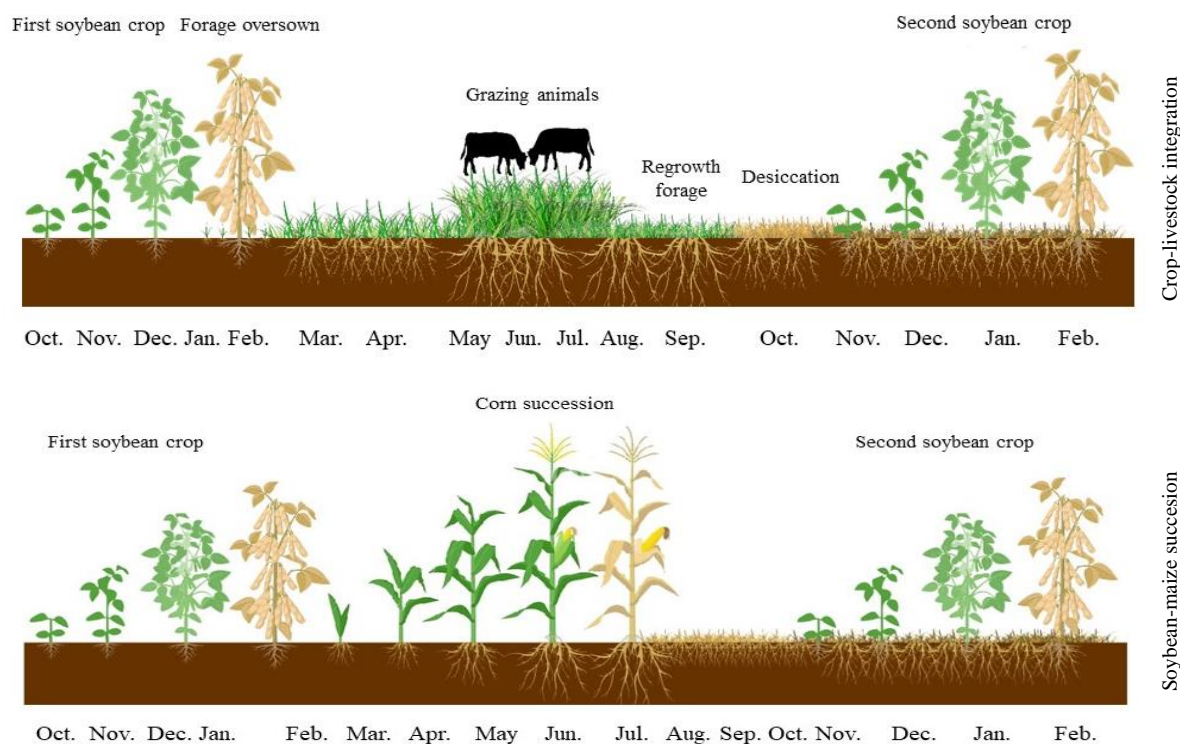


Fig. 2. Diagram of the cropping systems comprising *Brachiaria* spp. and *Panicum* forage species in an integrated crop-livestock system and a system with maize in succession to soybean, covering all evaluation stages.

In October 2016, the first soybean crop was established, and in February 2017, when the soybean plants were at the R6-R7 stage (Fehr and Caviness, 1977) and the leaves began to become yellow and fall, the forage grass seed was sown. In total, 5.0 kg/ha of seed of each

Brachiaria species and 3.5 kg/ha of seed of *Panicum maximum* were sown, which were rated as 60% and 40% of the seed germination and purity, respectively. The seed and monoammonium phosphate (MAP) were mixed together at a dose of 100 kg/ha, after which the mixtures were distributed over their respective areas via a Lancer spreader.

The soybean plants were harvested 34 days after the forage grass seed was sown, and the forage grasses continued to grow until the animals entered the system.

AG7098 maize was sown on February 20, 2017, and 300 kg/ha of 2-20-18 fertilizer was applied at sowing. At the V4-V6 phenological stage, topdressing urea fertilizer was applied at a dose of 90 kg/ha of nitrogen, according Spackman *et al.* (2019). After weeds had emerged, atrazine, tembotrione and soybean oil methyl ester were applied at doses of 1500, 101 and 720 g of a.i./ha, respectively. At the same time, 0.3 l/ha of Match (equivalent to 15 g/ha of lufenuron) and 1 l/ha of Lanate (equivalent to 215 g/ha of methomyl) were also applied.

In April, animals were added to the system; 25 male Nellore cattle with an average weight of 232 kg were used. Each forage system received animals. The stocking rate varied and was adjusted as necessary throughout the experiment according to the forage availability shown in Table 1. The mean stocking rates were 2.66, 2.42, 3.20 and 2.52 animals/ha for Xaraes palisadegrass, Congo grass, Mombaça guinea grass and Tamani guinea grass, respectively. The animals remained in the plots for 141 days (off-season) as part of an intermittent grazing system, with the animals in the paddock for 7 days followed by a 28-day resting period for the forage, with a total of five grazing cycles.

Table 1 Dry matter production (kg/ha) of forage in different grazing cycles.

| Forage | Grazing cycles | | | | |
|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | 1 st cycle | 2 nd cycle | 3 rd cycle | 4 th cycle | 5 th cycle |
| Xaraes palisadegrass | 8697 | 7495 | 6040 | 4018 | 2910 |
| Congo grass | 5911 | 5185 | 3464 | 1188 | 899 |
| Mombaça guinea grass | 8687 | 7330 | 4921 | 3586 | 2760 |
| Tamani guinea grass | 6760 | 5850 | 4307 | 3303 | 2261 |

1st cycle (May), 2nd cycle (June), 3rd cycle (July), 4th cycle (August) and 5th cycle (September).

After the off-season (September 2017), the animals were removed from the area, and the forage grasses were allowed to recover and regrow before termination to form mulch for the

no-till system. The forage grasses were killed 14 days before soybean planting by an application of glyphosate herbicide at a dose of 960 g of a.i./ha.

Assessment of mulch biomass and total nutrient

One day before soybean sowing, biomass samples of the mulch were collected from a 1-m² area randomly selected within each plot. The plant material was cut at ground level. The cut material was weighed, the samples were placed in a forced-air oven at 65°C until they reached a constant weight, and the amounts were converted to dry weight (kg/ha).

Mulch decomposition was evaluated for dead forage material collected in 25 x 30 cm litter bags made of a 2-mm mesh (Thomas and Asakawa, 1993). For this, four bags containing biomass samples of each species in amounts proportional to the dry mass produced per hectare were placed in direct contact with the soil.

At 30, 60, 90 and 120 days after the bags were placed on the soil, one litter bag was removed from each plot to evaluate the remaining amount of mulch biomass and to determine mulch decomposition throughout the 120-day period (which ended at soybean harvest). On the basis of the initial mass (kg/ha) in the systems, the loss percentage was calculated as the ratio of the mass of the litter bags (kg/ha) to the initial production.

At each evaluation time point, the material was subsequently sent to the laboratory. The soil debris was removed by washing the material with running water until all the debris was gone, after which the material was dried in an oven at 55°C until it reached a constant weight, according to the methods of Costa *et al.* (2017). The biomass samples were ground (2 mm) in a mill to determine the carbon (C), nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg) and sulphur (S) contents according to the methods of Malavolta *et al.* (1997). The C/N ratio of the material was subsequently calculated. To evaluate the nutrient contents, the macronutrient concentrations were multiplied by the dry mass production, and the results were expressed as kilograms per hectare.

The N, P₂O₅ and K₂O fertilizer equivalents of the mulch biomass of the forage and maize cropping systems were determined considering the atomic mass of the elements according to analytical chemistry conventions and the N, P and K concentrations of the biomass analysed (Santos *et al.*, 2014).

Establishment of soybean in the 2017/2018 cropping system and crop management practices

To determine the fertilizer recommendations for the second soybean crop (2017/2018), soil samples were collected from the 0-20-cm layer, and their chemical properties were as follows: pH CaCl, 4.90; Ca, 2.58 cmol_c/dm³; Mg, 0.74 cmol_c/dm³; aluminium (Al), 0.11 cmol_c/dm³; Al+hydrogen (H), 5.05 cmol_c/dm³; K, 0.21 cmol_c/dm³; cation exchange capacity (CEC), 8.59 cmol_c/dm³; vanadium (V), 41.14%; P (Mehlich), 33.70 mg/dm³; copper (Cu), 1.23 mg/dm³; zinc (Zn), 6.33 mg/dm³; iron (Fe), 53.87 mg/dm³; and OM, 27.18 g/kg.

According to the soil test recommendations, before soybean was planted, 1 t/ha of limestone and gypsum was applied. In addition, MAP fertilizer was applied at planting at a rate of 250 kg/ha, which was equivalent to 25 and 125 kg/ha of nitrogen and P₂O₅ per row, respectively.

The soybean (variety M7110PRO) seed was sown on 11/07/2017 in rows spaced 0.50 m apart. As a seed treatment, 200 ml of the insecticide Standak Top (fipronil) was applied to each 100 kg of seed. The insecticide was applied by spraying the sowing furrow with inoculant containing the bacteria *Bradyrhizobium elkanii* SEMIA 587 and SEMIA 5019 (Gelfix, 5 x 10⁹ CFU/ml) at a dose of 0.6 l of commercial product/ha and applying the micronutrients cobalt (Co) and molybdenum (Mo) (Nodulus Gold, 12.9 and 139 g a.i./l) at a dose of 0.2 l of commercial product/ha. A spray volume of 60 l/ha was used for these applications.

At 15 days after sowing (DAS), 80 kg/ha of K was applied by broadcasting, with K₂O used as the source. In addition, fungicides were applied at 40 DAS [0.3 l/ha of the commercial product Orkestra (167 and 333 g of a.i./l pyraclostrobin and fluxapyroxad) and 0.5 l/ha of Assist mineral oil], at 60 DAS [0.2 kg/ha of Elatus (300 and 150 g a.i./l azoxystrobin and benzovindiflupyr) and 0.6 l/ha of Nimbus mineral oil], at 75 DAS [0.4 l/ha of Fox (150 and 175 g of a.i./l fluoxastrobin and prothioconazole) and 0.3 l/ha of Aureo vegetable oil) and at 85 DAS (0.3 l/ha of Orkestra and 0.5 l/ha of Assist).

Establishment of soybean stands

The sowing uniformity was evaluated 30 days after emergence with the aid of tape measures in nine central 2-m rows (spacing between the plants in according to recommended). During the evaluation, the following spacing patterns were used according to the Brazilian National Standards Organization (1994): double spacing, which is 0.5 times smaller than the average established spacing of reference (Xref); acceptable or normal spacing, which is 0.5 to 1.5 times the average of Xref; and flawed spacing, which 1.5 times greater than the average of

Xref (Mantovani *et al.*, 2015). The average spacing established for the population was 0.057 m between plants.

Evaluation of soybean agronomic traits

The soybean agronomic traits were evaluated at 102 DAS. The following traits were evaluated: the plant height and height of insertion of the first and last pods (measured as the distance between the soil surface and the apex and between the soil surface and the insertion of the first and last pod on the main stem, respectively); the number of pods per plant (the sum of all the pods with seeds of 10 plants in the studied area of the plot, calculated as the mean number of pods per plant); the 1000-grain weight; and the yield (kg/ha).

Statistical design and analysis

To describe the decomposition of the mulch biomass and the nutrient contents, the data were fitted together with the standard error to an exponential mathematical model ($y = ae^{kx}$) and, for the C/N ratio, to a linear model ($y = a + bx$) via Sigma Plot software. The estimated equations were compared according to a procedure described by Snedecor and Cochran (1989); this method tests the homogeneity of the data (F) and the significance of the slope ($0.4343k$) and intercept ($\log a$) of a linear equation ($\log y = \log a + 0.4343kx$).

To calculate the half-life ($t_{1/2}$), i.e., the time required for 50% of the remaining biomass to be decomposed, the equation proposed by Paul and Clark (1989) was used, namely, $t_{1/2} = 0.693/k$, where $t_{1/2}$ is the half-life of the dry biomass and k is a constant of the dry biomass decomposition.

The data concerning the total nutrient, fertilizer equivalents, soybean agronomic traits and grain yield were analysed by analysis of variance by the use of R software version 3.1.1 (2014); specifically, the ExpDes package was used (Ferreira *et al.*, 2014). The means were compared according to Tukey's test at a significance level of 5%.

5.3 RESULTS

Mulch biomass and nutrient cycling

The biomass production was affected ($p < 0.05$) by cropping system (Table 2). The greatest production at time zero (soybean sowing) occurred for Xaraes palisadegrass, followed by the Tamani guinea grass, Mombaça guinea grass, and Congo grass; these results contrast with those of maize, which produced the least amount of biomass. This same trend was

observed for the remaining biomass until the final cycle of soybean development (Figure 3a), with the results of all the systems evaluated differing from each other. Tamani guinea grass and Xaraes palisadegrass had the shortest half-life, at 72 days and 92 days, respectively.

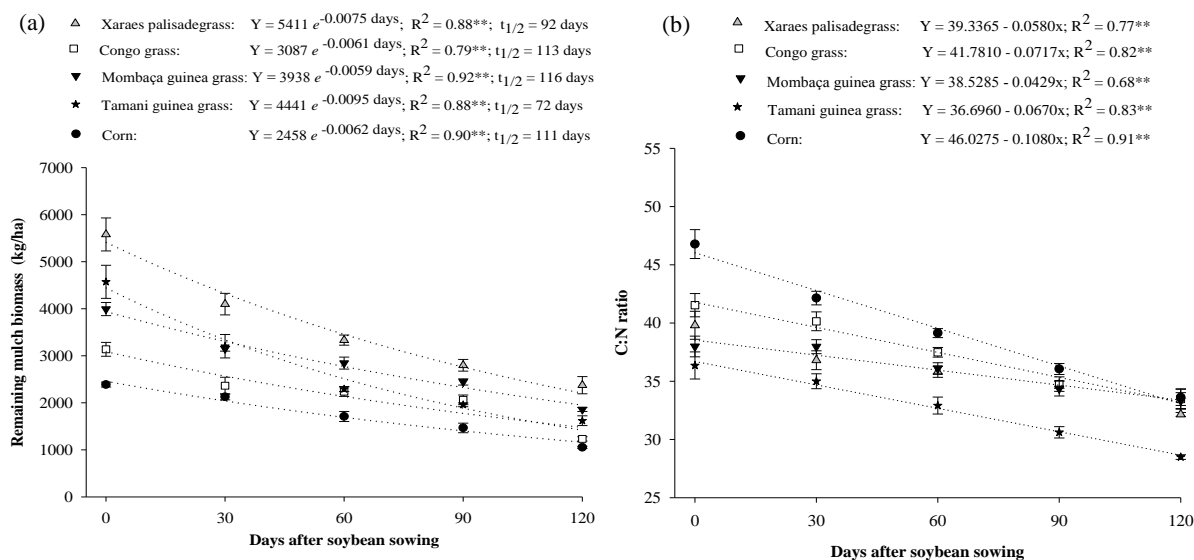


Fig. 3. Remaining mulch biomass (a) and C/N ratio (b) of forages for the *Brachiaria* and *Panicum* genera and maize during soybean cultivation (0 to 120 days).

There was a linear decrease in the C/N ratio for all the cropping systems over time, and the results of each system differed from each other according to comparisons of regressions following linearization (Snedecor and Cochran, 1989). Compared with the grasses, maize had a greater C/N ratio during all the evaluated seasons, and the C/N ratio of Congo grass was the second greatest (Figure 3b). Tamani guinea grass had the lowest C/N ratio, with an initial value of 36.69 and a final value of 28.66.

Table 2 Biomass production and total nutrients in biomass of different cropping systems.

| Cropping systems | Biomass (kg/ha) | Nutrient (g/kg) | | | | | |
|----------------------|--------------------|-----------------|---------|---------|--------|--------|---------|
| | | N | P | K | Ca | Mg | S |
| Xaraes palisadegrass | 5580 a | 14.88 a | 0.47 a | 10.25 a | 3.30 a | 3.12 a | 3.52 a |
| Congo grass | 3137 c | 13.52 b | 0.37 c | 8.25 b | 2.85 b | 2.87 b | 3.00 b |
| Mombaça guinea grass | 3992 bc | 14.24 ab | 0.45 ab | 13.75 a | 3.32 a | 3.15 a | 3.75 a |
| Tamani guinea grass | 4572 ab | 15.48 a | 0.43 b | 10.35 a | 3.21 a | 3.22 a | 3.40 ab |
| Maize | 2388 d | 9.20 c | 0.35 c | 6.82 b | 1.95 c | 1.52 c | 2.15 c |
| CV (%) | 13.1 | 5.3 | 12.4 | 16.1 | 7.2 | 9.9 | 6.8 |
| p value | 0.034 | 0.002 | 0.053 | 0.003 | 0.001 | 0.031 | 0.002 |

Averages followed by different letters do not differ from each other by Tukey's test at 5% probability.

The forage grasses, especially Xaraes palisadegrass, Mombaça guinea grass and Tamani guinea grass, had the greatest total nutrients. Maize had the lowest nutrients, which differed significantly ($p < 0.05$) from those of the forage grasses (Table 2).

There was a significant effect ($p < 0.05$) of cropping system on nutrient contents (Figure 4), with an exponential reduction in the biomass content. Comparisons between nutrient-release equations indicated homogeneity only between Mombaça guinea grass and Tamani guinea grass for phosphorus and sulphur, according to the methods of Snedecor and Cochran (1989). For this reason, these results were combined, and a new regression equation was generated.

At time point zero and after 30 days of decomposition, the Xaraes palisadegrass and Tamari guinea grass had the greatest values of N content, and the maize presented the lowest N content (Figure 4a). When the initial N content was compared with the values attained during the last evaluation at 120 days, 75.5, 79.3, 80.8, 74.6 and 82.4% N release occurred for the Xaraes palisadegrass, Congo grass, Tamani guinea grass, Mombaça guinea grass and maize, respectively.

With respect to the phosphorus content (Figure 4b), maize had the lowest content, and Xaraes palisadegrass had the greatest content. When the initial phosphorus values were compared with the values attained at 120 days, 73.7, 84.9, 67.35 and 78.7% phosphorus release levels occurred for the Xaraes palisadegrass, Congo grass, Mombaça guinea grass, Tamani guinea grass and maize, respectively, indicating that, of these grasses, Tamani guinea grass released the most phosphorus.

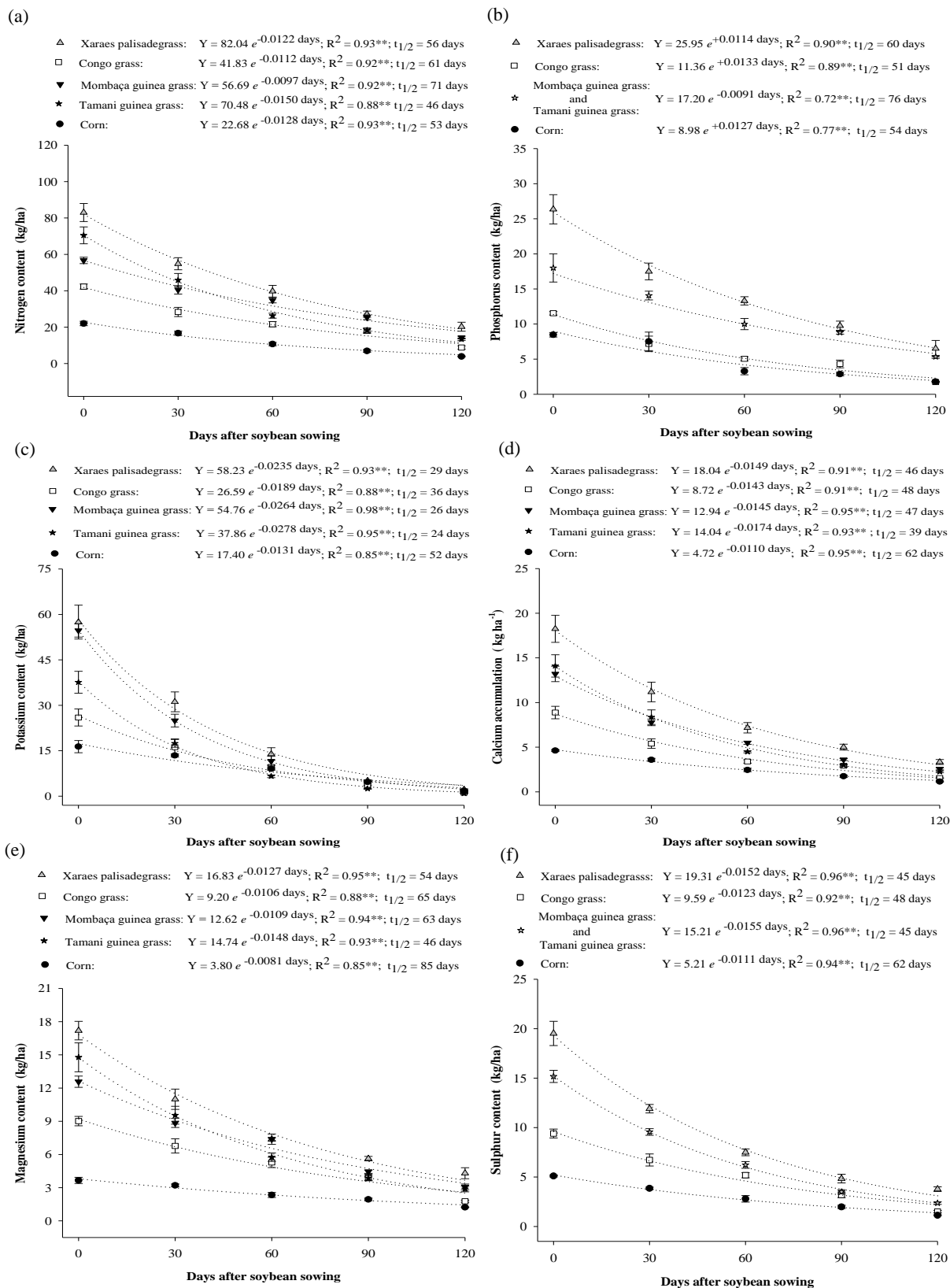


Fig. 4. Nitrogen (a), phosphorus (b), potassium (c), calcium (d), magnesium (e) and sulphur (f) content in the biomass of forages in the *Brachiaria* and *Panicum* genera and maize during soybean cultivation (0 to 120 days).

Compared with the other grasses, Xaraes palisadegrass and Mombaça guinea grass had greater initial potassium contents (Figure 4c). At 90 and 120 days, the values were similar between the cropping systems. The potassium release rates were 96.1, 95.5, 91.2, 97.6 and 88.7% for Xaraes palisadegrass, Congo grass, Mombaça guinea grass, Tamani guinea grass and maize, respectively.

For calcium (Figure 4d), magnesium (Figure 4e) and sulphur (Figure 4f), the greatest initial contents were detected in Xaraes palisadegrass, followed by Tamani guinea grass and Mombaça guinea grass, whereas Congo grass and maize displayed the lowest potential to accumulate these nutrients in the soil. For Xaraes palisadegrass, Congo grass, Mombaça guinea grass, Tamani guinea grass and maize, the respective calcium release rates at 120 days were 81.2, 82.1, 80.1, 83.4 and 75%; for magnesium 74.4, 80.2, 75.7, 79.6 and 65.8%; and for sulphur 80.4, 84.1, 83.7, 84.2% and 77.8%.

Potassium, calcium, magnesium, and sulphur showed longer half-life within the maize biomass, while nitrogen and phosphorus had longer half-life within the Mombaça guinea grass biomass (Figures 4). However, the Tamani guinea grass had the shortest half-life in terms of the release of potassium, calcium, and magnesium the half-life of sulphur was similar to that of Mombaça guinea grass; however, the shortest half-life for phosphorus occurred in Congo grass.

With respect to the evaluation of the fertilizer equivalents, Table 3 shows that, compared with the other grasses, Xaraes palisadegrass and Tamani guinea grass provided greater amounts of nitrogen equivalents. The same occurred for phosphorus, in which Xaraes palisadegrass provided the greatest amounts of phosphorus equivalents. With respect to potassium, Xaraes palisadegrass and Mombaça guinea grass showed the best results.

Table 3 The N, P₂O₅ and K₂O equivalent contents in the biomass of different cropping systems.

| Cropping systems | Equivalent (kg/ha) | | |
|----------------------|--------------------|-------------------------------|------------------|
| | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
| Xaraes palisadegrass | 83.0 a | 60.4 a | 69.2 a |
| Congo grass | 42.3 c | 26.4 bc | 31.3 bc |
| Mombaça guinea grass | 56.7 b | 41.2 b | 65.9 a |
| Tamani guinea grass | 70.5 ab | 34.7 b | 45.3 b |
| Maize | 22.0 d | 19.4 d | 19.7 c |
| CV (%) | 11.8 | 18.3 | 18.2 |
| p value | 0.002 | 0.001 | 0.002 |

Averages followed by different letters do not differ from each other by Tukey's test at 5% probability.

Soybean population arrangement, agronomic traits and yield

Regarding sowing uniformity, there was no effect of cropping system on plant distribution or population (Figure 5), which exhibited similar patterns.

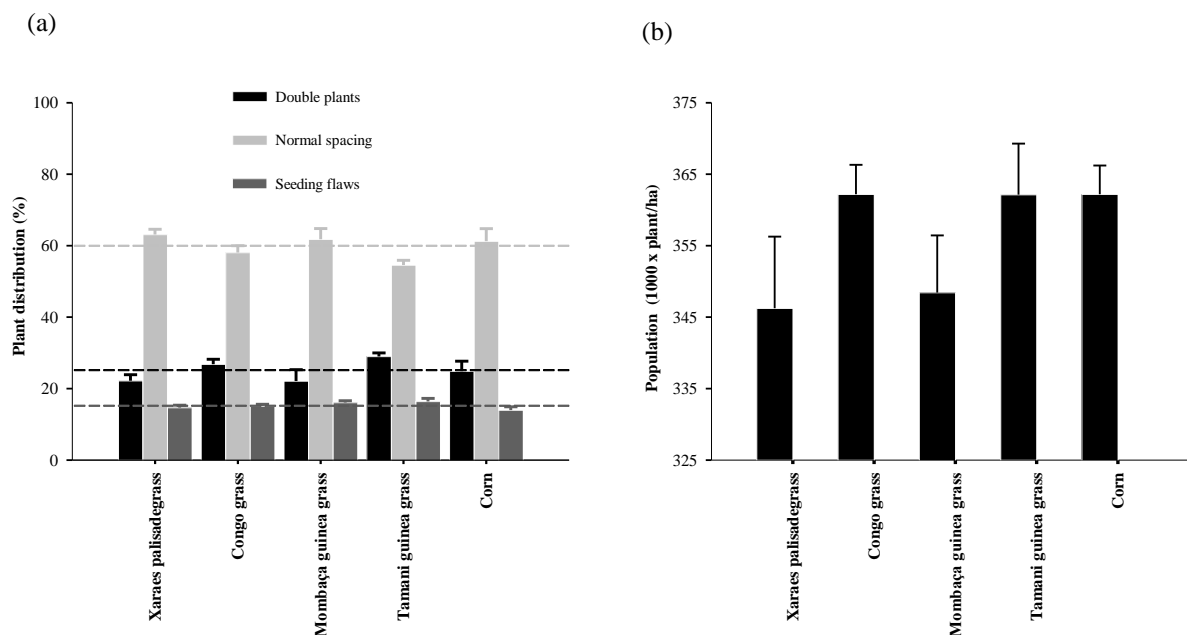


Fig. 5 Soybean sowing uniformity at the time of stand establishment in the different cropping systems plant distribution (a) and plant population (b) on a typical Dystrophic Red Latosol.

The dashed lines indicate the mean, and the vertical bars represent the standard error of the mean.

There was a significant effect ($p < 0.05$) of cropping system biomass on soybean agronomic traits and grain yield (Table 4). The greatest plant height, height of the insertion of the first pod and number of pods per soybean plant occurred for cropping systems containing Xaraes palisadegrass, Mombaça guinea grass and Tamani guinea grass, while those with Congo grass and maize presented the lowest values.

With respect to the number of seeds per pod (Table 3), only the results of the maize cropping system significantly differed ($p < 0.05$) from among all the tested grasses; maize presented the lowest value, which equated to a 33% reduction in the number of seeds per pod compared with that of the forage grasses. The results of the 1000-grain weight were similar between the cropping systems, with Xaraes grass presenting the greatest value and differing ($p < 0.05$) only from maize. The lowest grain yield occurred in the maize cropping system.

However, among the forage cropping systems, there was a significant difference only between Xaraes grass and Congo grass, the latter of which presented the lowest soybean yield (Table 3).

Table 4 Plant and insertion of the first pod height, number of pods per plant and number of grains per pods, thousand-grain weight and soybean yield on the biomass of different cropping systems.

| Cropping systems | Height (cm) | Insertion 1st pod (cm) | Number pods | Grains per pods | Thousand- grain weight (g) | Yield (kg/ha) |
|-------------------------|------------------------|--|------------------------|----------------------------|---|--------------------------|
| Xaraes palisadegrass | 70.88 a | 20.81 a | 47.02 a | 3.00 a | 167.00 a | 4714 a |
| Congo grass | 63.40 b | 16.82 c | 40.75 c | 3.00 a | 161.25 ab | 3943 b |
| Mombaça guinea grass | 65.90 ab | 19.35 ab | 46.05 ab | 3.00 a | 162.35 ab | 4427 ab |
| Tamani guinea grass | 67.32 ab | 19.15 ab | 44.12 ab | 3.00 a | 161.50 ab | 4274 ab |
| Maize | 55.12 c | 15.97 c | 39.32 c | 2.25 b | 158.25 b | 3492 c |
| CV (%) | 3.5 | 7.6 | 5.9 | 7.9 | 2.1 | 7.5 |
| p value | 0.001 | 0.002 | 0.004 | 0.001 | 0.037 | 0.003 |

Averages followed by different letters do not differ from each other by Tukey's test at 5% probability.

5.4 DISCUSSION

Mulch biomass and nutrient cycling

The greatest biomass production obtained by Xaraes palisadegrass followed by Tamani guinea grass is due to the morphology of these grasses; compared with the other grasses studied, these grasses regrow faster after animal grazing and can grow even under low-rainfall conditions (Figure 3a). Xaraes palisadegrass is tall, and its leaves are wide; this grass displays vigorous and rapid regrowth (Costa *et al.*, 2014). However, Tamani guinea grass is small in size, but it has short, thin stalks that facilitate rapid growth, resulting in high yields (Machado *et al.*, 2017).

Notably, compared with those of the other grasses, the stocking rates of Xaraes palisadegrass and Tamani guinea grass varied less at 141 days of grazing, maintaining greater stability during the grazing periods because of the improved development of these forage grasses (Table 1), even under low-rainfall conditions (Figure 1). After the removal of the animals, these forage grasses displayed quick regrowth at the beginning of the rainy season,

favouring the production of biomass at time zero (Table 2) for the subsequent crop in the soybean no-till systems.

These results are important for selecting the correct forage grass for an integrated crop-livestock system, with the potential to improve animal performance during the off-season and subsequently improve the biomass production of the subsequent crop. For many years, *Brachiaria ruziziensis* was considered one of the primary forage grass species for use in integrated crop-livestock systems for biomass production; however, new cultivars have emerged that have shown better potential, as reported in studies by Flávio Neto *et al.* (2015) on Xaraes palisadegrass and by Machado *et al.* (2017) on Tamani guinea grass.

The relatively short half-life of Tamani guinea grass and Xaraes palisadegrass is related to the relatively high amount of leaves; this is due to the better regrowth of these grasses following grazing in September, consequently accelerating the biomass decomposition rate.

One of the key requirements for the success of no-till systems is the amount of biomass on the soil surface. Soil OM improves soil properties and is a source of both plant nutrients and energy for microorganisms (Malhi *et al.*, 2018). The quantity and quality of soil organic C and N are affected by soil and crop management practices (Liu *et al.*, 2006). Thus, the correct choice of plant species is extremely important because the climatic factors that are characteristic of each region and soil type must be considered (Costa *et al.*, 2015).

Given this information, dry spells are notably frequent in the Brazilian Cerrado, even during the rainy season, hindering crop development. Additionally, the amount of biomass produced by Xaraes palisadegrass, Tamani guinea grass and Mombaça guinea grass (2375, 1619, 1858 kg/ha, respectively) was advantageous; compared with Congo grass and maize, whose biomass amounts were 1233 and 1070 kg/ha at the end of the soybean development cycle, these grasses displayed greater productivity and were distributed in greater amounts in the soil.

The relatively low amount of maize biomass (Figure 4a) is due to the early decomposition of maize during the off-season; compared with the forage grasses, which were killed 14 days before soybean was sown, maize remained in the soil for a longer duration. Moreover, maize biomass does not thoroughly cover the soil despite the large number of stalks; rather, maize biomass leaves gaps in the cover and thus leaves the soil unprotected.

The decomposition rate of the remaining biomass determines the residence time of the mulch on the soil, which is influenced by the lignin contents and can be reflected by the C/N ratio. Forage grasses generally produce relatively high amounts of biomass, which is also

characterized by a high C/N ratio, contributing in turn to increased longevity of the soil cover (Oliveira *et al.*, 2019). C/N ratios lower of 20 contribute to mineralization, and greater values contribute to the immobilization of nutrients in the soil; the ideal is a balance between the two processes – C/N ratios between 20 and 30 (Truong and Marschner, 2018).

In this context, until the final cycle of soybean development, the *Brachiaria* spp. and *Panicum* forage grasses notably maintained a C/N ratio greater than 30, which was closer to the ratio associated with immobilization than to that associated with mineralization. Therefore, the C/N ratios of the forage grasses were important for determining the immobilization and the decomposition rate of the mulch biomass. These results are extremely important in terms of the central region of Brazil, which is usually characterized by high temperatures, favouring the decomposition of mulch biomass.

The relatively high C/N ratio obtained for the maize biomass (Figure 3b) is due to the relatively high amount of lignified stalks of maize crops; this lignified tissues is relatively resistant to the action and penetration of decomposing microorganisms, which hinders its decomposition. The greatest concentrations of carbon in maize plants are usually found in the ears and stems, followed by the leaves, tassels and husks; in practical terms, the high C/N ratio of the biomass ensures the persistence of the soil cover for an extended period of time (Barbosa *et al.*, 2016).

The greater nitrogen content in Xaraes palisadegrass and Tamani guinea grass compared with the other forage grasses (Figure 4a) may be attributed to their greater biomass. Furthermore, these results may be related to the increased production of leaves by these grasses, which are the organs in which excess nutrients are concentrated, thus favouring N cycling. Another factor that may have an effect was the relatively stable stocking rate during the 141-day grazing period, which resulted in an improved nutrient return through manure and urine excretion, increasing nutrient recycling and thus resulting in increased concentrations (Table 2).

A study by Costa *et al.* (2015) on the nutrient contents and decomposition rate of the biomass of forage plants showed that Xaraes palisadegrass accumulated 81.3 kg/ha of N; which this amount was similar to that obtained in the present study, which was 83.0 kg/ha at time point zero. Soratto *et al.* (2019) evaluated the nitrogen content of Mombaça guinea grass and reported amounts that surpassed 95.3 kg/ha.

Compared with other nutrients, nitrogen and potassium are extracted in greater amounts by forage plants used for biomass production; thus, these nutrients are presents in relatively a

greater proportion within the biomass. These two nutrients are also the most easily leached, especially in deep soils, thus hindering access to them by the root system of many crops; this is an advantage for grasses with deep and aggressive root systems and is a benefit to soybean as a subsequent crop species, given that there is a relatively high concentration of these nutrients in the soil (Table 2).

The greatest content of phosphorus occurring in Xaraes palisadegrass is also due to the relatively high biomass production and, consequently, increased nutrient cycling. According to Jouany *et al.* (2011), grazing can be considered a regulator of labile phosphorus, and the effects of this process depend on pasture consumption and urine and manure recycling.

In general, tropical forage species are extremely important in production systems because they recycle nutrients from the subsoil, replenish OM and promote soil decompaction because of the abundant volume and aggressiveness of their root systems and the resulting biological activity. This phenomenon was demonstrated in a study by Flávio Neto *et al.* (2015), who reported that Xaraes palisadegrass had a high potential for soil decompaction, which is essential in areas that have been under no tillage for many years because it increases the water availability of crops in succession and promotes soil conservation in the Cerrado region.

The greatest potassium content occurring in Xaraes palisadegrass and Mombaça guinea grass is also due to their relatively high biomass production, as these forage grasses are tall and produce both a large amount of leaves and an abundance of roots. Most of the potassium accumulated within the biomass remains in the shoots before being released into the soil and used by the subsequent crop (Miguel *et al.*, 2018).

The release of potassium is very interesting because the potassium suddenly decreased immediately after the grasses were killed; the lowest half-life were 29, 26 and 24 days for Xaraes palisadegrass, Mombaça guinea grass and Tamani guinea grass, respectively. However, Congo grass and maize had relatively long half-life - 36 and 52 days. Thus, notably, the nutrient release rate during decomposition depends on the material and the form of these nutrients in the plant tissues.

In the present study, the amount of potassium released at 30 days reached 45.1, 38.5, 53.9, 52.1 and 53.9% for Xaraes palisadegrass, Congo grass, Mombaça guinea grass, Tamani guinea grass and maize, respectively. The amount that remained within the biomass during the final cycle of soybean development was very small; the average was 6.18% of the total unreleased potassium from all the cropping systems. Taken together, these results show that the biomass

presented release rates that exceeded 90% and demonstrate the representativeness of this the return of this nutrient to the soil via the biomass.

When evaluating the release rate of nitrogen, phosphorus and potassium within the mulch biomass of Marandu palisadegrass, Congo grass, Mombaça guinea grass, Tanzania guinea grass and Aries guinea grass, Pereira *et al.* (2016) reported that the maximum release of these nutrients occurred during the first 30 days. In general, at 120 days after planting, more than 60% of the nutrients had already been released from the mulch, and these results are similar to those found in the present study.

The presence of the relatively low calcium and magnesium contents in maize is due to the early decomposition of the maize biomass until the soybean crop was sown, which is a disadvantage of this cropping system compared with integrated crop-livestock systems because of the relatively low soil cover at the time of soybean sowing. According to Crusciol *et al.* (2005), calcium and magnesium are easily released because they are components of ionic compounds and soluble molecules in plants and are thus quickly released into the soil by the decomposition process.

Relatively long half-life of nutrients (in terms of their release) are due to relatively high lignin contents and C/N ratios of the plants. In the present study, compared with the forage grasses, maize had a longer half-life for potassium, calcium, magnesium and sulphur. The stalk formation process of this species also contributes to the relatively high lignification of tissues, hindering nutrient cycling (Barbosa *et al.*, 2016).

The shorter half-life of the release of most nutrients and the lower C/N ratio of the Tamani forage grass compared with the other grasses is due to the high proportion of leaves and to its very fine and less lignified stems. Its biomass production, which reached 1619 kg/ha, allows protection of the soil until the end of the soybean development cycle and rapid nutrient cycling.

The lowest nutrient content values were generally recorded in the Congo grass and maize. Maize in succession with soybean is not the best option for biomass formation and nutrient cycling because its soil cover is inefficient and because its stalks are highly lignified, necessitating more time for nutrient release, with long-term benefits.

Moreover, Congo grass, which is one of the most frequently used forage grasses for this technique, did not perform satisfactorily in this study, indicating that new cultivars such as *Brachiaria brizantha* cv. Xaraes and *Panicum* cultivars (Mombaça and Tamani) might be better options for obtaining mutual benefits in integrated crop-livestock systems and no-till systems,

as these new cultivars provide produce more biomass and, consequently, greater nutrient contents, increasing the efficiency of these systems.

The order of nutrient contents in the remaining biomass in all the cropping systems studied as was as follows: $N > K > P > Ca > S > Mg$. These results highlight the importance of biomass production for soybean no-till systems because these systems involve nutrient cycling. In addition, this production maintains the C stocks in the biomass and in the soil and is considered a greenhouse-mitigating and environmentally friendly soil management practice (Costa *et al.*, 2017).

The greater amounts of nitrogen, phosphorus and potassium equivalents obtained via Xaras palisadegrass compared with the other grasses (Table 3) are due to the greater biomass production and subsequent release of nutrients. Knowledge of fertilizer equivalents is highly important with respect to fertilizer programmes because the amount released must be considered for fertilizer recommendations for the subsequent crop (Santos *et al.*, 2014; Assmann *et al.*, 2017).

Thus, when considering the high cost of fertilizer, it is possible that the continuous use of cover crops in soybean agricultural systems enables the most efficient use of the nutrients available in the soil, with favourable effects on the cost of production, increasing production sustainability.

Soybean population arrangement, agronomic traits and yields

The sowing uniformity revealed positive characteristics for soybean in the mulch biomass in all the cropping systems, with less than 20% of flawed spacing in all the systems. When evaluating soybean, Zardo and Casimiro (2016) reported 25.4% of flawed and 23.3% of double spacing, and these percentages were similar to those in the present study. Some authors have noted that the arrangement of soybean plants affects their productivity and is related to the adaptability of plants to the available space (Carmo *et al.*, 2018).

Notably, the period during which crops in integrated systems are killed may affect the sowing uniformity and agronomic performance of soybean in succession (Franchini *et al.*, 2015) because of the moisture of the biomass present on the soil at the time of planting, which may increase the risk of wheel slip by machinery during sowing and contribute to clogging of the machine with uncut biomass that in turn accumulates in the path of the seeder (Aratani *et al.*, 2009).

Nevertheless, soybean farmers are resistant to cultivating tall grasses that display cespitose growth, such as Xaraes palisadegrass and Mombaça guinea grass, for the reasons presented here. On the basis of the results, the period between crop kill and soybean sowing was sufficient for the generation of biomass of all the evaluated forage grasses, highlighting the importance of animal management during the off-season for the control of large numbers of clumps of tall forage grasses.

The greater plant height, height of insertion of the first pod and number of pods per plant obtained for the Xaraes palisadegrass, Mombaça guinea grass and Tamani guinea grass than for Congo grass and maize are associated with the greater biomass of those forage grasses, which may have contributed to their greater release of nutrients, given that these forage grasses had greater total nutrient in their biomass (Table 2) and given that nutrient return in those systems favoured improved mineral nutrient contents for the subsequent soybean crop (Table 2).

Mulch biomass also provides physical benefits such as increased aeration and uncompacted soil (Flávio Neto *et al.*, 2015). Mulch biomass also provides biological benefits such as increased microbial decomposition activity and excretion of animal faeces and decreased amounts of weeds and pesticide applications, improving soybean plant establishment (Balbinot Junior *et al.*, 2016).

Compared with those cultivated on the other evaluated grasses, soybean plants cultivated on the Xaraes palisadegrass biomass presented greater insertion heights of the first pod because of their greater biomass production, leading to better crop development. Thus, the biomass in the integrated crop-livestock systems was important for increasing the height of pod insertion, which is directly related to grain yield (Carkner and Entz, 2017).

The lower values of the number of pods per plant found in the maize and Congo grass cropping systems compared with the other cropping systems can probably be attributed to the lower amount of soil cover and less nutrient cycling.

There is a positive relationship between the number of pods per plant and the other traits, in which increasing plant height and insertion height of the first and last pods results in an increasing number of pods per plant. It has also been reported that relatively large stems result in relatively large tillering areas (Lima *et al.*, 2009). In the present study, the greatest values observed for all these traits were related to the relatively high forage biomass production and nutrient content and release, indicating the efficiency of this system for the production of adequate amounts of biomass for sequential crops in no-till systems.

Compared with the 33% reduction in the number of seeds per pod in the maize cropping system, the biomass produced by the forage grasses shows the importance of using new *Brachiaria* and *Panicum* cultivars in integrated crop-livestock systems to generate biomass for subsequent crops.

Similar to that which occurred for the other agronomic traits, seed production was greater in forage grass cropping systems than in the maize cropping system; the forage grass cropping systems produced more biomass because of the greater soil protection they provided for the soybean crop and because of the resulting nutrient cycling. It is important to emphasize that in the livestock phase, animal excreta are used, providing a pathway for the nutrients to return to the soil (He *et al.*, 2016), and grazing promotes the vigorous regrowth of forage grasses, favouring growth for the production of mulch biomass.

Several studies have shown that grazing livestock in an integrated crop-livestock system can alter nutrient and mulch cycling rates, changing the biochemical form of nutrients, the spatial distribution within the pasture and the time of release or availability (Assmann *et al.*, 2017).

Thus, appropriate management of animals in these systems is important for maximizing the benefits of nutrient cycling, with increased soil OM (Assmann *et al.*, 2014) occurring because of nutrient return through the excretion of manure and urine. The animals act as nutrient recycling agents (Carvalho *et al.*, 2010b), which may result in a reduced need for fertilizer (Russelle *et al.*, 2007) for the subsequent crop and reduce maintenance of production sustainability over time (Costa *et al.*, 2016).

Thus, the main advantage of the use of animals in the off-season in integrated systems compared with maize cropping systems is due to the benefits provided by forage grasses and animals. The sowing of soybean onto forage biomass is an option for the diversification of activities (Figure 2) and the maximization of land use throughout the year, which increases revenue per area (Crusciol *et al.*, 2014).

5.5 CONCLUSION

Compared with Congo grass and maize, Xaraes palisadegrass, Mombaça guinea grass and Tamani guinea grass produced greater biomass and fertilizer equivalents returned to the soil and caused greater nutrient cycling, showing the benefits of these integrated production systems.

Maize had a greater C/N ratio than did the forage grasses, but the latter also displayed high potential, protecting the soil until the end of the soybean development cycle. The use of a crop-livestock integration system with a forage crop provided greater soil nutrient cycling compared with that provided by the maize cropping system, which resulted in greater soybean yield, thus contributing to the agricultural sustainability.

Financial support. This work was supported by the Goiás Federal Institute (Instituto Federal Goiano).

Conflict of interest. The authors declare there are no conflicts of interest.

Ethical standards. Not applicable.

5.6 REFERENCES

Aratani, RG, Freddi, OS, Centurion, JF and Andrioli, I (2009) Qualidade física de um Latossolo Vermelho Acriférrico sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33, 677-687. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000300020>

Assman, JM, Martins, AP, Anghinoni, I, Denardin, LGO, Nichel, GH, Costa, SEVGA, Silva, RAP, Balerini, F, Carvalho, PCF, Franzluebbbers, AJ (2017). Phosphorus and potassium cycling in a long-term no-till integrated soybean-beef cattle production system under different grazing intensities insubtropics. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 108, 21–33. <https://doi.org/10.1007/s10705-016-9818-6>

Assmann JM, Anghinoni I, Martins AP, Costa SEVGA, Kunrath TR, Bayer C, Carvalho PCF (2014). Soil carbon and nitrogen stocks and fractions in a long-term integrated crop-livestock system under no-tillage in Southern Brazil. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 190, 52–59. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.12.003>

Associação Brasileira de Normas Técnicas (Rio de Janeiro, RJ). (1994). Projeto de norma 04:015.06-004 - semeadoras de precisão: ensaio de laboratório - método de ensaio. São Paulo. 26 p.

Balbinot Junior, AA, Franchini, HD, Werner, F and Ferreira, ASF (2016) Nitrogênio mineral na soja integrada com a pecuária em solo arenoso. *Revista Brasileira Agroambiental*, 10,107-113. <https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v10i2.3241>.

Barbosa, JZ, Ferreira, CF, Santos, NZ, Motta, ACV, Prior, S and Gabardo, J. (2016) Production, carbono and nitrogen in stover fractions of corn (*Zea mays* L.) in response to cultivar development, *Ciência Agrotecnologica*. 40,665-675. <https://doi.org/10.1590/1413-70542016406020316>

Carkner, MK and Entz, MH (2017) Growing environment contributes more to soybean yield than cultivar under organic management. *Field Crops Research*, 207, 42-51. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.02.019>

Carmo, EL, Braz, GBP, Simon, GA, Silva, AG and Rocha, AGC (2018) Desempenho agrônômico da soja cultivada em diferentes épocas e distribuição de plantas. *Revista Ciência Agroveterinaria*. 17,61-69. <https://doi.org/10.5965/223811711712018061>

Carvalho, JLN, Avanzi, JC, Silva, MLN, Mello, CR and Cerri, CEP (2010a) Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34,277-289. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000200001>

Carvalho PCF, Anghinoni I, Moraes A, Souza ED, Sulc MR, Lang CR, Flores JPC, Lopes MLT, Silva JLS, Conte O, Wesp CL, Levien R, Fontaneli RS, Bayer C (2010b). Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 88, 259–273. 10.1. <https://doi.org/007/s10705-010-9360x>

Castro, GF, Silva, CGM, Moreira, SG and Resende, AV (2017) Plantas de cobertura em sucessão ao milho para silagem em condições do cerrado. *Journal of Bioenergy and Food Science*, 4, 37-49. <https://doi.org/10.18067/jbfs.v4i1.130>.

Costa, KAP, Severiano, EC, Simon, GA, Epifanio, PS, Silva, AG, Costa, RRGF, Santos, CB and Rodrigues, CR (2014) Nutritional characteristics of *Brachiaria brizantha* cultivars subjected to different intensities cutting. *American Journal of Plant Sciences*, 5, 1961-1972. <https://doi.org/10.4236/ajps.2014.513210>

Costa, NR, Andreotti, M, Ulian, NA, Costa, BS, Pariz, CM and Teixeira Filho, MCM (2015) Acúmulo de nutrientes e tempo de decomposição da palhada de espécies forrageiras em função de épocas de semeadura. *Bioscience Journal*, 31, 818-829. <https://doi.org/10.14393/BJ-v31n3a2015-22434>

Costa, RRGF, Costa, KAP, Santos, CB, Severiano, EC, Epifânio, PS, Silva, JT, Teixeira, DAA. and Silva, VR (2016) Production and nutritional characteristics of pearl millet and Paiaguas palisadegrass under different forage systems and sowing periods in the offseason. *African Journal Agricultural Research*, 11, 1712-1723. <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.10902>

Costa, RRGF, Costa, KAP, Severiano, EC, Santos, CB, Rocha, AFS, Souza, WF, Brandstetter, EV and Castro, WA (2017) Nutrients cycling and accumulation in pearl millet and Paiaguas palisadegrass biomass in different forage systems and sowing periods. *Revista Scientia Agraria*, 18, 166-178. <https://doi.org/10.5380/rsa.v18i4.51955>

Crusciol, CAC, Cottica, RL, Lima, EV, Andreotti, M, Moro, E and Marcon E (2005) Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 40, 161-168. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2005000200009>

Crusciol, CAC, Nascente, AS, Mateus, GP, Pariz, CM, Martins, PO and Borghi, E (2014) Intercropping soybean and palisad grass for an hanced land use efficiency and revenue in a no till system. *European Journal Agronomy*, 58, 53-62. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2014.05.001>

Ferreira, EB, Cavalcanti, PP and Nogueira, DA (2014). Expdes: An R package for anova and experimental designs. *Appl Math*. 5:2952-2958. <https://doi.org/10.4236/am.2014.519280>

Fehr, WR and Caviness, CE (1977). Stages of Soybean Development. *Special Reports*, 80, 1-12.

Flávio Neto, J, Severiano, EC, Costa, KAP, Guimarães Junnyor, WS, Gonçalves, WG and Andrade, R (2015) Biological soil loosening by grasses from genus brachiaria in crop-livestock integration. *Acta Scientiarum Agronomy*, 37,375-383. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v37i3.19392>

Franchini, JC, Balbinot Junior, AA, Debiasi, H and Conte, O (2015) Desempenho da soja em consequência de manejo de pastagem, época de dessecação e adubação nitrogenada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 50, 1131-1138. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015001200002>

Jouany C, Cruz P, Daufresne T, Duru M (2011) Biological phosphorus cycling in grasslands: interaction with nitrogen. In: Bunemann EK, Oberson A, Frossard E (eds) *Soil Biology: Phosphorus in Action*. Springer-Verlag, Berlin, Biological Processes in Soil Phosphorus Cycling, p. 275–294.

He, Z, Pagliari, PH, Waldrip, HM (2016) Applied and environmental chemistry of animal manure: A review. *Pedosphere*, 26, 779–816. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(15\)60087x](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(15)60087x)

Laroça, JV S, Souza, JMA, Pires, GC, Pires, GJC, Pacheco, LP, Silva, FD, Wruck, FJ, Carneiro MAC, Silva, LS and Souza, ED (2018). Soil quality and soybean productivity in crop-livestock integrated system in no-tillage. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 53, 1248-1258. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2018001100007>

Lima, EV, Crusciol, CAC, Cavariani, C and Nakagawa, J (2009) Características agrônômicas, produtividade e qualidade fisiológica da soja “safrinha” sob semeadura direta, em função da cobertura vegetal e da calagem superficial. *Revista Brasileira de Sementes*, 31, 069-080. <https://doi.org/10.1590/S0101-31222009000100008>

Liu X, Hebert SJ, Hashemi AM, Zhang X and Ding G (2006) Effects of agricultural management on soil organic matter and carbon transformation – a review. *Plant, Soil and Environment* 52, 531–543. <https://doi.org/10.17221/3544-PSE>

Machado, LAZ, Cecato, U, Comunello, E, Concenço, G and Ceccon, G (2017) Establishment of perennial forages intercropped with soybean for integrated crop-livestock systems. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 52, 521-529. <https://doi.org/10.1590/S0101-31222009000100008>

Malavolta, E, Vitti, GC and Oliveira, AS (1997) Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2nd. Piracicaba: Associação Brasileira da Potassa e do Fosfato. p. 319.

Malhi SS, Légère A, Vanasse A, Parent G (2018) Effects of long-term tillage, terminating no-till and cropping system on organic C and N, and available nutrients in a Gleysolic soil in Québec, Canada. *The Journal of Agricultural Science* 156, 472–480. <https://doi.org/10.1017/S0021859618000448>

Mantovani, EC, Cruz, JC and Oliveira, AC (2015) Avaliação em campo de uma semeadora-adubadora para semeadura de milho de alta densidade. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 14, 38-48. <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v14n1p38-48>

Miguel, ASDCS, Pacheco, LP, Carvalho, IC, Souza, ED, Feitosa, PB and Petter, FA (2018) Phytomass and nutrient release in soybean cultivation systems under no-tillage. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 53, 1119-1131. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2018001000005>

Oliveira, SM, Almeida, REM, Junior, CP, Reis, AFB, Souza, LFN and Favarin, JL (2019) Contribution of corn intercropped with *brachiaria* species to nutrient cycling. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 49. ed 55018. <https://doi.org/10.1590/1983-40632019v4955018>

Paul, EA and Clark, FE (1989) Soil microbiology and biochemistry. San Diego. *Academic Press*. p.275.

Pereira, FCBL, Mello, LMM, Pariz, CM, Mendonça, VZ, Yano, EH, Miranda, EEV and Crusciol, CAC (2016) Autumn maize intercropped with tropical forages: crop residues, nutrient cycling, subsequent soybean and soil quality. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 40,1 -3. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20150003>

Roesch-Mcnally, GE, Arbuckle, JG and Tyndall, JC (2018) Barriers to implementing climate resilient agricultural strategies: The case of crop diversification in the U.S. Corn Belt. *Global Environmental Change*, 48, 206-215. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.12.002>

Russelle MP, Entz MH, Franzluebbbers AJ (2007) Reconsidering integrated crop-livestock systems in North America. *Agronomy Journal*, 99, 325–334. <https://doi.org/10.2134/agronj2006.0139>

Ryschawy, J, Martin, G, Moraine, M, Duru, M and Therond, O (2017) Designing crop-livestock integration at different levels: toward new agroecological models? *Nutrient Cycling Agroecosystems*, 108, 5-20. <https://doi.org/10.1007/s10705-016-9815-9>

Santos, FC, Albuquerque Filho, MR, Vilela, L, Ferreira, GB, Carvalho, MCS and Viana, JHM (2014) Decomposição e liberação de macronutrientes da palhada de milho e braquiária, sob integração lavoura-pecuária no cerrado baiano. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38, 1855-1861. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000600020>

Santos, HG, Jacomine PKT, Anjos, LHC, Oliveira VA, Lumbreras JF, Coelho, MR, Almeida JA, Araújo Filho, JC, Oliveira, JB, Cunha, TJF (2018). Brazilian Soil Classification System, 5.ed. Embrapa, Brasília E-book.

Snedecor GW, Cochran WG (1989). Statistical methods. 8.ed. Ames: Iowa State University Press, 1989. 503p.

Soratto, RP, Costa, CHM, Crusciol, CAC, Neto Ferrari, J and Moro, E (2019) Nitrogen fertilization on pearl millet and guinea grass: phytomass decomposition, cellulose, lignin, and nutrients release. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 50, 1614–1623. <https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1631327>

Spackman, JA, Fernandez, FG, Coulter, JA, Kaiser, DE and Paiao, G (2019) Soil texture and precipitation influence optimal time of nitrogen fertilization for corn. *Agronomy Journal*, 111, 2018-2030. <https://doi:10.2134/agronj2018.09.0605>

Thomas, RJ and Asakawa, NM (1993) Decomposition of leaf litter tropical forage grasses and legumes. *Soil Biology Biochemistry*, 25, 1351-1361. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(93\)90050-L](https://doi.org/10.1016/0038-0717(93)90050-L)

Truong, THH, Marschner, P (2018). Respiration, available N and microbial biomass N in soil amended with mixes of organic materials differing in C/N ratio and decomposition stage. *Geoderma* 319, 167-174. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.01.012>

Zardo, L and Casimiro, ELN (2016) Plantabilidade de diferentes tecnologias de disco para semeadura sob duas velocidades. *Revista Cultura Saber*, 92 -101.

6. CONCLUSÃO GERAL

Os capins Mombaça e Xaraés apresentaram maior produção de forragem, no entanto, a maior qualidade foi obtida no capim-tamani. Os capins Mombaça, Xaraés e Tamani obtiveram melhor desempenho animal a pasto. O capim-ruziziensis apresentou menor produção e qualidade da forragem no decorrer dos ciclos de pastejo, que refletiu em menor produção animal. O capim-tamani devido ao seu melhor valor nutritivo apresentou maior ganho de peso animal ao longo do período de entressafra, tornando este capim como opção viável para o sistema de integração lavoura-pecuária.

A formação das pastagens através da técnica de sobressemeadura na cultura da soja, mostrou ser uma técnica eficiente para fornecimento de alimento na entressafra promovendo bom desempenho aos animais, com redução no impacto ambiental da pecuária, em decorrência do maior aproveitamento dos nutrientes do solo.

O capim-ruziziensis apresentou menor produção de biomassa e acúmulo de nutrientes. Os sistemas de cultivo sobre a biomassa dos capins Xaraés e Tamani em comparação a biomassa do milho no período de entressafra, mostraram-se como técnica de cultivo promissora, com maior acúmulo de nutrientes no solo, conseqüentemente favorecendo a produtividade da soja e contribuindo para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas.

Sendo assim, o sistema de integração lavoura-pecuária através da técnica de sobressemeadura viabiliza a produção de forragem para alimentação animal no período de entressafra e produção de biomassa para o sistema plantio direto, com maior sustentabilidade.