



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"**

**FACULDADE DE ENGENHARIA *CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA*  
Programa de Pós-graduação em Sistemas de Produção**

**ISABÔ MELINA PASCOALOTO**

**OPÇÕES TÉCNICAS E ECONÔMICAS DE CULTURAS PARA ROTAÇÃO EM  
ÁREA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA: ALTERAÇÕES FÍSICO-  
QUÍMICAS DO SOLO**

Ilha Solteira

2017



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"**

**FACULDADE DE ENGENHARIA *CAMPUS* DE ILHA SOLTEIRA  
Programa de Pós-graduação em Sistemas de Produção**

**ISABÔ MELINA PASCOALOTO**

**OPÇÕES TÉCNICAS E ECONÔMICAS DE CULTURAS PARA ROTAÇÃO EM  
ÁREA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA: ALTERAÇÕES FÍSICO-  
QUÍMICAS DO SOLO**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre.

Especialidade: Sistemas de Produção

**Orientador: Prof. Dr. Marcelo**

Ilha Solteira

2017

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

P281o Pascoaloto, Isabô Melina.  
Opções técnicas e econômicas de culturas para rotação em área de  
integração lavoura-pecuária: alterações físico-químicas do solo / Isabô Melina  
Pascoaloto. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2017  
94 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de  
Engenharia de Ilha Solteira. ESPECIALIDADE: Sistemas de Produção, 2017

Orientador: Marcelo Andreotti  
Inclui bibliografia

1. Plantio direto. 2. Integração lavoura-pecuária. 3. Consórcio.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Ilha Solteira

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: OPÇÕES TÉCNICAS E ECONÔMICAS DE CULTURAS PARA ROTAÇÃO EM ÁREA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA: ALTERAÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS DO SOLO

AUTORA: ISABÔ MELINA PASCOALOTO  
ORIENTADOR: MARCELO ANDREOTTI

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA, especialidade: SISTEMAS DE PRODUÇÃO pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. MARCELO ANDREOTTI

Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. MARCELO CARVALHO MINHOTO TEIXEIRA FILHO

Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL

Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu

Ilha Solteira, 20 de fevereiro de 2017

**Dedico**

Aos meus pais.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof. Dr. Marcelo Andreotti, e a todos seus orientados que de forma direta ou indireta me auxiliaram na realização deste trabalho, em especial ao Dr. Sanderley Simões da Cruz.

À FAPESP pela concessão da bolsa de estudos (Processo n. 2015/06685-0).

À UNESP e a todos seus professores, funcionários e técnicos.

À banca examinadora.

Aos meus pais.

Ao Pedro.

À minha família.

Aos meus amigos.

## RESUMO

O aumento da população mundial e a necessidade crescente de alimentos têm levado à procura de sistemas de cultivo de alta produtividade e sustentabilidade. A integração lavoura-pecuária preenche esses requisitos pois permite a produção de grãos, carnes e outros produtos de origem animal em uma mesma área, garantindo também, quando bem manejada, o equilíbrio e conservação do solo. Entretanto, diferentes espécies concomitantemente em uma mesma área podem prejudicar a produtividade. Por isso, o objetivo foi analisar qual a melhor opção técnica e econômica num sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto, cultivado por dois anos com sorgo consorciado com forrageiras tropicais e/ou guandu-anão e sucedido por soja ou milho. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por modalidades de sorgo forrageiro consorciado com: 1) *Urochloa brizantha* cv. Marandu; 2) *U. brizantha* cv. Marandu e guandu-anão; 3) *Megathyrsus maximus* cv. Mombaça; 4) *M. maximus* cv. Mombaça e guandu-anão; 5) guandu-anão e 6) sorgo solteiro, colhidos para silagem no primeiro corte e na rebrota e sucedidos por soja ou milho. Para tanto foram determinados: os atributos físico-químicos do solo antes de cada ano agrícola e após a colheita dos grãos de soja ou milho; os componentes de produção do primeiro corte e rebrota dos consórcios de sorgo com gramíneas forrageiras e/ou guandu-anão; o acúmulo de macronutrientes nas plantas em consórcio; o crescimento das forrageiras para formação de pasto; a taxa de decomposição da palhada das forrageiras; os componentes de produção da soja e do milho; o acúmulo de macronutrientes nos grãos; os custos de produção dos três anos agrícolas e os respectivos índices de lucratividade. A forrageira *M. maximus* prejudicou a rebrota do sorgo e a produtividade do milho semeado em sucessão, resultando em prejuízos econômicos. Os consórcios com o sorgo aumentaram o teor de matéria orgânica do solo na camada de 10 a 20 cm em relação ao sorgo solteiro. O uso de uma leguminosa acelerou a decomposição da palhada da forrageira consorciada. O cultivo de várias espécies em uma mesma área resultou em maior microporosidade do solo e acidez potencial se comparado ao cultivo do sorgo solteiro. Houve menor interferência dos consórcios cultivados anteriormente na soja em relação ao milho na região do Cerrado.

**Palavras-chave:** *Cajanus cajan*. *Megathyrsus maximus*. Plantio direto. *Sorghum bicolor*. *Urochloa brizantha*.

## ABSTRACT

The increase in the world's population and the increasing need for food have led to the search for high-yielding and sustainable farming systems. The integrated crop-livestock fulfills these requirements because it allows the production of grains, meats and other animal products in the same area, also ensuring, when well-managed, the balance and conservation of the soil. However, different species concomitantly in the same area may impair productivity. Therefore, the aim was to analyze the best technical and economic option in Integrated Crop-Livestock System under no-tillage for two years with sorghum intercropped with tropical forages and/or dwarf pigeon pea and succeeded by soybean or maize. The experimental design was a randomized block design, with four replications. The treatments were composed of sorghum in consortium with: 1) *Urochloa brizantha* cv. Marandu; 2) *U. brizantha* cv. Marandu and dwarf pigeon pea; 3) *Megathyrsus maximus* cv. Mombaça; 4) *M. maximus* cv. Mombaça and dwarf pigeon pea; 5) dwarf pigeon pea and 6) single sorghum, harvested for silage in the first cut and regrowth and succeeded by soybean or maize. For so many were determined: the physical-chemical attributes of the soil before each agricultural year and after the harvest of the soybean or maize; the production components of the first cut and regrowth of sorghum consortia with forage grasses and / or dwarf pigeon pea; the macronutrient accumulation in plants of the consortia; the growth of forages for pasture formation; the decomposition rate of forage straw; the components of soybean and maize production; the macronutrients accumulation in the grains and the production costs of the three agricultural years and their respective profitability indexes. The *M. maximus* fodder harmed sorghum regrowth and maize yield in succession, resulting in economic losses. The sorghum consortia increased the soil organic matter content in the layer of 10 to 20 cm in relation to the single sorghum. The use of a legume accelerated the decomposition of the straw of the intercropped forage. The cultivation of several species in the same area resulted in greater soil microporosity and potential acidity when compared to single sorghum cultivation. There was less interference from the consortia previously cultivated in soybean compared to maize in the Cerrado.

**Keywords:** *Cajanus cajan*. *Megathyrsus maximus*. No-tillage. *Sorghum bicolor*. *Urochloa brizantha*.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Vista aérea parcial do Setor de Produção Vegetal da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE) pertencente à FEIS/UNESP, localizada no município de Selvíria, MS. Em destaque a área do experimento. ....	25
<b>Figura 2</b> – Temperatura máxima, temperatura mínima, umidade relativa do ar e precipitação referentes ao período de condução dos consórcios de sorgo forrageiro com <i>U. brizantha</i> cv. Marandu; <i>M. maximus</i> cv. Mombaça e/ou guandu-anão, no ano agrícola 2014/2015. ....	27
<b>Figura 3</b> – Temperatura máxima, temperatura mínima, umidade relativa do ar e precipitação referentes ao período de condução das culturas de soja e milho, no ano agrícola 2015/2016. ....	28
<b>Figura 4</b> – Coleta dos anéis volumétricos nas profundidades de 0 a 10 cm, 10 a 20 cm. ....	28
<b>Figura 5</b> – Coleta dos dados de resistência à penetração com o auxílio do penetrômetro de impacto. ....	28
<b>Figura 6</b> – Semeadura do sorgo forrageiro e capins <i>U. brizantha</i> e <i>M. maximus</i> na área experimental. ....	31
<b>Figura 7</b> - Colhedora de forragem utilizada para o corte do sorgo e das forrageiras. ...	33
<b>Figura 8</b> – Litter bags depositados na unidade experimental. ....	35
<b>Figura 9</b> – Porcentagem de matéria seca residual da palhada de <i>U. brizantha</i> e <i>M. maximus</i> após consórcio de sorgo para produção de silagem com ou sem guandu-anão no Cerrado. ....	54
<b>Figura 10</b> – Rebrotas do <i>M. maximus</i> entre as plantas de milho. ....	59
<b>Figura 11</b> – Teores de P dos quatro anos analisados de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico argiloso para: (a) amostra de 0 a 10 cm de área com soja como cultura final; (b) amostra de 10 a 20 cm de área com soja como cultura final; (c) amostra de 0 a 10 cm de área com milho como cultura final; (d) amostra de 10 a 20 cm de área com milho como cultura final. ....	65
<b>Figura 12</b> – Teores de K dos quatro anos analisados de LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico argiloso para: (a) amostra de 0 a 10 cm de área com soja como cultura final; (b) amostra de 10 a 20 cm de área com soja como cultura final; (c) amostra de 0 a 10 cm de área com milho como cultura final; (d) amostra de 10 a 20 cm de área com milho como cultura final. ....	67

<b>Figura 13</b> – Valores médios de acidez potencial (H+Al) dos quatro anos analisados de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico argiloso para: (a) amostra de 0 a 10 cm de área com soja como cultura final; (b) amostra de 10 a 20 cm de área com soja como cultura final; (c) amostra de 0 a 10 cm de área com milho como cultura final; (d) amostra de 10 a 20 cm de área com milho como cultura final. ....	68
<b>Figura 14</b> – Valores médios de pH dos quatro anos analisados de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico argiloso para: (a) amostra de 0 a 10 cm de área com soja como cultura final; (b) amostra de 10 a 20 cm de área com soja como cultura final; (c) amostra de 0 a 10 cm de área com milho como cultura final; (d) amostra de 10 a 20 cm de área com milho como cultura final. ....	69
<b>Figura 15</b> – Teores de Ca dos quatro anos analisados de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico argiloso para: (a) amostra de 0 a 10 cm de área com soja como cultura final; (b) amostra de 10 a 20 cm de área com soja como cultura final; (c) amostra de 0 a 10 cm de área com milho como cultura final; (d) amostra de 10 a 20 cm de área com milho como cultura final. ....	70
<b>Figura 16</b> – Teores de Mg dos quatro anos analisados de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico argiloso para: (a) amostra de 0 a 10 cm de área com soja como cultura final; (b) amostra de 10 a 20 cm de área com soja como cultura final; (c) amostra de 0 a 10 cm de área com milho como cultura final; (d) amostra de 10 a 20 cm de área com milho como cultura final. ....	71
<b>Figura 17</b> – Teores de matéria orgânica (MO) dos quatro anos analisados de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico argiloso para: (a) amostra de 0 a 10 cm de área com soja como cultura final; (b) amostra de 10 a 20 cm de área com soja como cultura final; (c) amostra de 0 a 10 cm de área com milho como cultura final; (d) amostra de 10 a 20 cm de área com milho como cultura final. ....	72
<b>Figura 18</b> – Valores médios de estoque de carbono (EC) dos quatro anos analisados de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico argiloso para: (a) amostra de 0 a 10 cm de área com soja como cultura final; (b) amostra de 10 a 20 cm de área com soja como cultura final; (c) amostra de 0 a 10 cm de área com milho como cultura final; (d) amostra de 10 a 20 cm de área com milho como cultura final. ....	74
<b>Figura 19</b> – Valores médios de CTC dos quatro anos analisados de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico argiloso para: (a) amostra de 0 a 10 cm de área com soja como cultura final; (b) amostra de 10 a 20 cm de área com soja como cultura final; (c)	

amostra de 0 a 10 cm de área com milho como cultura final; (d) amostra de 10 a 20 cm de área com milho como cultura final. .... 75

**Figura 20** – Valores médios de saturação por bases (V%) dos quatro anos analisados de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico argiloso para: (a) amostra de 0 a 10 cm de área com soja como cultura final; (b) amostra de 10 a 20 cm de área com soja como cultura final; (c) amostra de 0 a 10 cm de área com milho como cultura final; (d) amostra de 10 a 20 cm de área com milho como cultura final. .... 76

**Figura 21** – Valores médios de microporosidade dos quatro anos analisados de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico argiloso para: (a) amostra de 0 a 10 cm de área com soja como cultura final; (b) amostra de 10 a 20 cm de área com soja como cultura final; (c) amostra de 0 a 10 cm de área com milho como cultura final; (d) amostra de 10 a 20 cm de área com milho como cultura final. .... 77

**Figura 22** – Valores médios de resistência mecânica a penetração (RPM) dos dois anos analisados de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico argiloso para: (a) área com soja como cultura final; (b) área com milho como cultura final..... 78

**Figura 23** – Somatória dos índices de lucratividade de todas as culturas que ocuparam a mesma área nos anos agrícolas 2014/2015 e 2015/2016..... 86

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Histórico de 5 anos de cultivo da área experimental. ....	27
<b>Tabela 2</b> – Caracterização química inicial do solo nas profundidades de 0 a 0,10 m e de 0,10 a 0,20 m na área experimental. ....	30
<b>Tabela 3</b> – Operações de controle de pragas, doenças e plantas daninhas realizadas durante o ciclo da soja no ano agrícola 2015/16. ....	37
<b>Tabela 4</b> – Altura de planta (ALTP), diâmetro basal do colmo (DBC), população final (POP) e porcentagens de colmo, folha e panícula de plantas de sorgo para produção de silagem de primeiro corte e da rebrota consorciado com <i>U. brizantha</i> ; <i>M. maximus</i> e/ou guandu-anão no Cerrado.....	42
<b>Tabela 5</b> – Produtividade de matéria seca do sorgo (PMSs), das forrageiras (PMSf), e do guandu-anão (PMSg) e produtividade total (PMSt) do consórcio de sorgo para produção de silagem de primeiro corte e da rebrota com <i>U. brizantha</i> ; <i>M. maximus</i> e/ou guandu-anão no Cerrado.....	44
<b>Tabela 6</b> – Acúmulo de macronutrientes no conjunto sorgo + forrageira + guandu-anão no consórcio de sorgo para produção de silagem de primeiro corte e da rebrota com <i>U. brizantha</i> ; <i>M. maximus</i> e/ou guandu-anão no Cerrado.....	46
<b>Tabela 7</b> – Nutrientes exportados da área no consórcio de sorgo para produção de silagem de primeiro corte e rebrota com <i>U. brizantha</i> ; <i>M. maximus</i> e/ou guandu-anão no Cerrado. ....	47
<b>Tabela 8</b> – Coeficiente de Correlação de Pearson comparando a produtividade do sorgo com altura de planta (ALTP), diâmetro basal do colmo (DBC), população final (POP) e porcentagens de colmo, folha e panícula em plantas de sorgo e comparando produtividade total do consórcio com acúmulo de macronutrientes no material colhido no consórcio de sorgo para produção de silagem com <i>U. brizantha</i> ; <i>M. maximus</i> e/ou guandu-anão no Cerrado.....	48
<b>Tabela 9</b> – Produtividade de matéria seca dos colmos remanescentes (PMSc) e acúmulo de macronutrientes dos colmos remanescentes no consórcio de sorgo para produção de silagem com <i>U. brizantha</i> ; <i>M. maximus</i> e/ou guandu-anão no Cerrado. ....	49
<b>Tabela 10</b> – Produtividade e porcentagem de matéria seca das forrageiras coletadas aos 30, 60 e 90 dias após a formação do pasto em sucessão ao consórcio de sorgo para produção de silagem com <i>U. brizantha</i> ; <i>M. maximus</i> e/ou guandu-anão no Cerrado....	50

<b>Tabela 11</b> – Acúmulo de macronutrientes nas forrageiras coletadas aos 30, 60 e 90 dias após a formação do pasto em sucessão ao consórcio de sorgo para produção de silagem com <i>U. brizantha</i> ; <i>M. maximus</i> e/ou guandu-anão no Cerrado.....	51
<b>Tabela 12</b> – Nutrientes exportados da área pelo pastoreio após o no consórcio de sorgo para produção de silagem de primeiro corte e rebrota com <i>U. brizantha</i> ; <i>M. maximus</i> e/ou guandu-anão no Cerrado.....	52
<b>Tabela 13</b> – Coeficiente de Correlação de Pearson comparando a produtividade de matéria seca com acúmulo de macronutrientes nas forrageiras coletadas aos 30, 60 e 90 dias após a formação do pasto em sucessão ao consórcio de sorgo para produção de silagem com <i>U. brizantha</i> ; <i>M. maximus</i> e/ou guandu-anão no Cerrado. ....	53
<b>Tabela 14</b> – Total de nutrientes exportados da área pela colheita dos consórcios e pelo pastoreio, no consórcio de sorgo para produção de silagem rebrota com <i>U. brizantha</i> ; <i>M. maximus</i> e/ou guandu-anão no Cerrado. ....	53
<b>Tabela 15</b> – Altura de inserção da primeira vagem (AIPV), população final (POP), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por planta (NGP), massa de cem grãos (M100) e produtividade (PROD) de plantas de soja em sucessão ao consórcio de sorgo para produção de silagem com <i>U. brizantha</i> ; <i>M. maximus</i> e/ou guandu-anão no Cerrado. ....	56
<b>Tabela 16</b> – Acúmulo de macronutrientes nos grãos de soja em sucessão ao consórcio de sorgo para produção de silagem com <i>U. brizantha</i> ; <i>M. maximus</i> e/ou guandu-anão no Cerrado. ....	57
<b>Tabela 17</b> – Coeficiente de Correlação de Pearson comparando a produtividade com altura de inserção da primeira vagem (AIPV), população final (POP), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por planta (NGP), massa de mil grãos (M1000) e acúmulo de macronutrientes nos grãos de soja em sucessão ao consórcio de sorgo para produção de silagem com <i>U. brizantha</i> ; <i>M. maximus</i> e/ou guandu-anão no Cerrado....	57
<b>Tabela 18</b> – Altura de planta (ALTP), altura de inserção da espiga (AIE), diâmetro basal do colmo (DBC), população final (POP), número de grãos por espiga (NGE), massa de cem grãos (M100) e produtividade (PROD) de plantas de milho em sucessão ao consórcio de sorgo para produção de silagem com <i>U. brizantha</i> ; <i>M. maximus</i> e/ou guandu-anão no Cerrado.....	58
<b>Tabela 19</b> – Acúmulo de macronutrientes nos grãos de milho em sucessão ao consórcio sorgo para produção de silagem com <i>U. brizantha</i> ; <i>M. maximus</i> e/ou guandu-anão no Cerrado. ....	60

<b>Tabela 20</b> – Coeficiente de Correlação de Pearson comparando a produtividade com altura de planta (ALTP), altura de inserção da espiga (AIE), diâmetro basal do colmo (DBC), população final (POP), número de grãos por espiga (NGE), massa de mil grãos (M1000) e acúmulo de macronutrientes nos grãos de milho em sucessão ao consórcio de sorgo para produção de silagem com <i>U. brizantha</i> ; <i>M. maximus</i> e/ou guandu-anão no Cerrado. ....	61
<b>Tabela 21</b> – Probabilidade do teste F na análise de variância para os atributos químicos e físicos, nas camadas de 0 a 10 e 10 a 20 cm, do LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico argiloso analisados por quatro anos consecutivos.....	62
<b>Tabela 22</b> – Contrastes ortogonais para a interação Tratamento x Ano dos atributos químicos P, K, Ca e Mg, nas camadas de 0 a 10 e 10 a 20 cm, do LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico argiloso analisados por quatro anos consecutivos. ....	63
<b>Tabela 23</b> – Contrastes ortogonais para a interação Tratamento x Ano dos atributos químicos acidez potencial (H+Al), pH, matéria orgânica (MO) e estoque de carbono (EC), nas camadas de 0 a 10 e 10 a 20 cm, do LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico argiloso analisados por quatro anos consecutivos. ....	63
<b>Tabela 24</b> – Contrastes ortogonais para a interação Tratamento x Ano dos atributos CTC, saturação por bases (V%) e microporosidade (MI) , nas camadas de 0 a 10 e 10 a 20 cm, do LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico argiloso analisados por quatro anos consecutivos. ....	64
<b>Tabela 25</b> – Médias e contrastes ortogonais para a interação Tratamento x Ano dos atributos macroporosidade (MA) e densidade do solo (Ds) , nas camadas de 0 a 10 e 10 a 20 cm, do LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico argiloso analisados por quatro anos consecutivos. ....	64
<b>Tabela 26</b> – Custo operacional total das operações e insumos utilizados na produção de 1 hectare de sorgo para produção de silagem de primeiro corte e da rebrota consorciado com <i>U. brizantha</i> ; <i>M. maximus</i> e/ou guandu-anão na safra 2014/2015 no Cerrado. ....	80
<b>Tabela 27</b> - Custo operacional total das operações e insumos utilizados na produção de 1 hectare de soja na safra 2015/2016 no Cerrado. ....	81
<b>Tabela 28</b> - Custo operacional total das operações e insumos utilizados na produção de 1 hectare de milho na safra 2015/2016 no Cerrado. ....	82
<b>Tabela 29</b> - Soma da produtividade de matéria seca (PMS) do primeiro corte e da rebrota e grãos (PROD), receita bruta (RB), custo operacional total (COT), lucro operacional (LO), índices de lucratividade (IL) e pontos de equilíbrio (PE) com relação	

à produtividade (Prod) e preço (R\$) de sorgo para produção de silagem de primeiro corte e da rebrota consorciado com *U. brizantha*; *M. maximus* e/ou guandu-anão sucedido por soja ou milho no Cerrado..... 83

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	15
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1	Qualidade e manejo do solo .....	17
2.2	Plantio Direto .....	18
2.3	Integração Lavoura-Pecuária .....	19
2.4	Análise econômica .....	22
3	MATERIAL E MÉTODOS .....	25
3.1	Localização do experimento .....	25
3.2	Caracterização físico-química do solo .....	27
3.3	Ano agrícola 2014/2015: Cultivo de sorgo forrageiro consorciado com <i>U. brizantha</i> cv. Marandu, <i>M. maximus</i> cv. Mombaça e/ou guandu-anão. ....	30
3.4	Ano agrícola 2015/2016: Cultivo de soja e milho em sucessão. ....	35
3.5	Análise estatística dos dados.....	39
3.6	Análise do desempenho econômico .....	40
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	42
4.1	Sorgo consorciado com <i>U. brizantha</i> , <i>M. maximus</i> e/ou guandu-anão.....	42
4.2	Formação de pasto de <i>U. brizantha</i> e <i>M. maximus</i> . ....	50
4.3	Decomposição da palhada.....	54
4.4	Soja .....	55
4.5	Milho.....	58
4.6	Análise de solo: atributos químicos e físicos .....	61
4.7	Análise econômica .....	79
5	CONCLUSÕES .....	87
	REFERÊNCIAS .....	88

## 1 INTRODUÇÃO

Se antes a busca era apenas pelo aumento da produtividade, hoje a produção agropecuária enfrenta um novo desafio: a busca pela sustentabilidade. É necessário não só produzir em quantidade suficiente para alimentar a crescente população humana, mas também em qualidade para evitar a degradação dos solos e dos recursos naturais.

Sistemas de produção conservacionistas como o plantio direto e a integração lavoura-pecuária permitem otimizar o uso da terra pelo não revolvimento do solo e a manutenção da camada de palhada sobre ele, que reduzem perdas por erosão, da fertilidade e da matéria orgânica do solo, e pelo cultivo de diferentes espécies em uma mesma área, em consórcio ou sucessão, que aumenta a eficiência do uso da terra por permitir a produção de grãos e forragem para alimentação animal simultaneamente.

Como grande parte da produção brasileira de carnes é realizada em áreas de Cerrado com invernos secos e verões chuvosos, a produção de silagem é uma alternativa que permite a conservação do alimento por maiores períodos de tempo e seu fornecimento em dietas dos animais durante todo o ano ou apenas como suplemento energético no período de baixa precipitação, mantendo ganhos de peso constantes nos animais produzidos a pasto.

O sorgo é uma das opções mais utilizada para produção de silagem devido à sua rusticidade, facilidade de cultivo mesmo em ambientes com déficit hídrico, alta produtividade e alta qualidade da silagem produzida. Além do exposto, quando consorciado com forrageiras que possuem alta produção de biomassa, o sorgo apresenta grande capacidade competitiva.

Por sua vez, as forrageiras utilizadas na integração lavoura-pecuária devem possuir crescimento mais lento na fase inicial com menor competição com a cultura consorciada, maior tolerância à acidez e ao alumínio tóxico, sistema radicular mais profundo, que confere maior tolerância à seca e maior reciclagem de nutrientes e boa tolerância ao sombreamento.

Por fim, a adição de uma leguminosa no sistema tem se destacado pelo aumento da disponibilidade de nitrogênio durante o ciclo das culturas e aumento da proteína na silagem para disponibilidade aos animais, sendo o guandu-anão uma das opções por sua alta produtividade de matéria seca, boa retenção de folhas no inverno, baixo teor de taninos, facilidade de implantação, alto teor proteico das folhas (até 20%), boa digestibilidade e sistema radicular profundo e pivotante.

O primeiro passo para uma produção de silagem de qualidade é a escolha das espécies a serem implantadas em conjunto na área, posto que a competição interespecífica pode resultar em reduções na produtividade de matéria seca e na qualidade do material a ser ensilado pelo aumento das partes mais fibrosas da planta.

Entretanto, como toda atividade comercial, o foco da agricultura e da pecuária é o lucro final, por isso o estudo dos aspectos técnicos do sistema de produção a ser adotado deve ser seguido do estudo econômico, analisando os custos totais de produção e a lucratividade potencial do sistema.

Diante disso, o objetivo foi avaliar a viabilidade técnica e econômica do cultivo de sorgo forrageiro solteiro ou em consórcio com *Urochloa brizantha* cv. Marandu, *Megathyrsus maximus* cv. Mombaça e/ou guandu-anão, em sistema de integração lavoura-pecuária, seguido de um período de simulação de pastejo de inverno e instalação de soja e milho em sucessão num LATOSSOLO VERMELHO Distrófico no Cerrado.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Qualidade e manejo do solo**

O grande desafio a ser enfrentado pela agricultura, previsto por Vilela, Martha Júnior e Marchão (2012), será atingir a sustentabilidade, ameaçada por décadas de alta pressão sobre o ambiente que levaram à erosão, perda de fertilidade e contaminação dos solos, além de poluir e assorear cursos d'água e aumentar as emissões de gases de efeito estufa.

A base da agricultura mecanizada foi, por muitos anos, o preparo convencional do solo, que para Macedo (2009) é uma prática cultural inadequada que tem causado quedas na produtividade e desgaste das áreas agrícolas e dos recursos naturais. De acordo com esse autor, o emprego excessivo de grades tem causado degradação dos atributos físicos do solo, com camadas pulverizadas na superfície, estrutura comprometida, perdas por erosão e selamento superficial, problemas comprovados nos estudos de Denardin (1984) e Salton (2005).

Além disso, o manejo convencional do solo leva a alterações na camada arável que resultam no aumento da resistência à penetração e da densidade do solo, redução na macroporosidade, diminuição na infiltração de água e alterações morfológicas em raízes de plantas (SPERA et al., 2009), que em conjunto com a distribuição dos tamanhos dos agregados fazem parte dos atributos para mensurar a qualidade física do solo (HUSSAIN et al., 1997; KAY; RASIAH; PERFECT, 1994), fazendo com que qualquer sistema de produção que influencie positivamente neles represente um sistema sustentável para o solo.

Ainda segundo Macedo (2009), o revolvimento do solo na camada arável faz com que sua fertilidade se concentre superficialmente, com valores de saturação por bases excessivamente altos, causando deficiência de micronutrientes e concentração das raízes nessas camadas, dificultando o aumento da matéria orgânica em subsuperfície e tornando as plantas mais susceptíveis a veranicos.

Ademais, o estoque de carbono orgânico do solo é influenciado pelo manejo adotado dentro do sistema agrícola, sendo passível de perdas por erosão e por excesso de atividade microbiana quando há intenso revolvimento (SOUZA et al., 2009). Como a erosão do solo está estritamente ligada ao escoamento superficial de água (THUROW,

1991), qualquer prática que aumente a taxa de infiltração e a cobertura do solo reflete em menores perdas de sedimentos, preservando a qualidade das camadas superficiais.

O uso intensivo de áreas do Cerrado para produção vegetal e animal é outra causa principal da degradação da estrutura do solo, predispondo-o à erosão hídrica e afetando o desenvolvimento vegetal, que reflete diretamente no teor de matéria orgânica do solo (STONE; GUIMARÃES, 2005). Vilela, Martha Júnior e Marchão (2012) comprovaram que a melhora na qualidade do solo e o aumento do seu teor de matéria orgânica resultam em aumentos de produtividade.

Uma forma de recuperar a degradação do solo causado pela lavoura contínua é pelo cultivo de gramíneas, pois a ação das raízes das forrageiras, além de melhorar as propriedades físicas do solo, também contribuem para o aumento dos estoques de carbono, da capacidade de infiltração e retenção de água e, conseqüentemente, da densidade e diversidade da microbiologia e fauna do solo (PRECHAC, 1992; MACEDO, 2009).

Logo, o entendimento da interação entre os atributos físicos, químicos e biológicos do solo e as culturas que ocupam a área é essencial para a tomada de decisões sobre o melhor sistema de produção a ser adotado (SILVA, R. et al., 2011).

## **2.2 Plantio Direto**

Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA (2016), mais da metade da área plantada no Brasil adota o sistema plantio direto (SPD), que tem como pilares o não revolvimento do solo, manutenção da cobertura vegetal sobre o solo e rotação de culturas.

A cobertura vegetal é responsável por diminuir a amplitude térmica, conservar melhor a água no solo, reduzir a erosão hídrica, estabilizar os agregados, aerar o solo e diversificar os organismos responsáveis pela ciclagem de nutrientes, decomposição e mineralização da matéria orgânica (CASTRO FILHO; MUZILLI; PADANOSCHI, 1998; HERNANI et al., 2002; SILVA, R. et al., 2008).

Diante disso, o SPD permite solucionar parte dos problemas citados por Vilela, Martha Júnior e Marchão (2012), ao reduzir a erosão do solo devido à proteção de sua superfície com a palhada, reduz também a perda de fertilidade, a poluição e a contaminação de cursos d'água causadas pela erosão superficial, além de permitir a ciclagem de nutrientes pela manutenção dos restos vegetais na área.

Conforme Viera et al. (2013), a escolha do SPD em detrimento ao convencional altera a dinâmica de nutrientes e reduz os efeitos nocivos da acidez do solo a médio e longo prazos devido ao aumento da matéria orgânica, já que compostos orgânicos de alta e baixa massa molecular são capazes de complexar formas monoméricas do Al, reduzindo sua toxidez (BAYER; AMARAL, 2003; MIYAZAWA; PAVAN; CALEGARI, 1993; SALET, 1998). Spera et al. (2009) constataram ainda que, o aumento da matéria orgânica na camada superficial, pode diminuir a densidade do solo a longo do tempo.

Entretanto, a eficiência do SPD é diretamente dependente de culturas adequadas para a produção e manutenção da palha sobre o solo (MACEDO, 2009). As espécies forrageiras a serem utilizadas nesse sistema no Cerrado tem que ser selecionadas com base na tolerância ao déficit hídrico, comum nessa região, e na persistência da sua palhada no solo, deixando-o protegido por um período mais longo de tempo (SILVA, V. et al., 2011).

Por isso, o maior desafio na implantação do plantio direto no Cerrado, para Pires et al. (2008), é a obtenção de resíduos culturais em quantidade e qualidade, garantindo a proteção do solo nas primeiras semanas de estabelecimento da cultura comercial do ano agrícola seguinte, reduzindo a variação de temperatura do solo e a evaporação de água.

### **2.3 Integração Lavoura-Pecuária**

A produção de bovinos de corte e leite no Brasil é feita principalmente em pastagens sob sistema extensivo, sendo o Cerrado responsável por cerca de metade da produção nacional de carne (MACEDO; ZIMMER, 2007). Em adição a isso, os solos ocupados pelas pastagens são solos com baixa fertilidade, ácidos ou com limitações de drenagem, sendo aqueles em melhores condições utilizados para lavouras anuais de grãos ou de produtos de grande valor industrial, levando aos problemas de produção e sustentabilidade da pecuária (MACEDO, 2009).

Ainda segundo o autor, as causas da degradação de pastagens incluem lotação animal excessiva sem ajustes adequados da capacidade de suporte e ausência de adubação de manutenção. Aliado a isso, o manejo animal inadequado e o desgaste da fertilidade dos solos são os fatores que comprometeram significativamente a sustentabilidade da produção animal a pasto no Cerrado (VILELA; MARTHA JÚNIOR; MARCHÃO, 2012).

Esse fato em conjunto com a expansão de 370% na produção de grãos no Brasil, entre 1970 e 2007, grande parte devido à incorporação de terras do Cerrado à agricultura (VILELA; MARTHA JÚNIOR; MARCHÃO, 2012), torna necessário o estudo de alternativas que unam na mesma área a agricultura e a pecuária nesse bioma, essenciais para o desenvolvimento de tecnologias que auxiliem na produção agropecuária do país.

Como uma das maiores preocupações mundiais está na emissão de gases de efeito estufa (GEE), que têm elevado as temperaturas do planeta em níveis preocupantes para a vida, a pecuária é a atividade vista com maior atenção por especialistas ambientais pois o metano emitido pelos animais faz parte da lista dos principais GEE (SIGNOR; PISSIONI; CERRI, 2014).

Entretanto, a melhoria no desempenho produtivo dos animais causada pelo uso de tecnologias e sistemas de produção mais eficientes permite manter estável os níveis atuais de emissão de metano pela pecuária, pois a melhoria no desempenho determina menor emissão de gases por unidade de produto (MARTHA JÚNIOR; VILELA; BARCELLOS, 2006).

Nesse sentido, a integração lavoura-pecuária (ILP) é uma opção acessível que permite a produção de grãos e produtos de origem animal em uma mesma área com produtividades elevadas e ganhos econômicos para o produtor. Gouvello (2010) demonstrou uma redução de aproximadamente 40% nas emissões de metano por unidade de ganho de peso vivo quando a engorda dos bovinos é realizada na ILP ao invés de pastagens de baixa produtividade.

Balbinot Júnior et al. (2009) definem ILP como um sistema que alterna na mesma área, de forma consorciada ou em sucessão (ALVARENGA, 2006), pastagens destinadas à alimentação animal e culturas destinadas à produção vegetal, com destaque para os grãos. Essa associação entre pastagens e culturas anuais traz melhorias físicas, químicas e biológicas no solo, pela ciclagem de nutrientes e aumento da estabilidade dos agregados, aumento da matéria orgânica, quebra do ciclo de doenças, pragas e plantas daninhas, sequestro de carbono e mitigação dos gases de efeito estufa (MACEDO, 2009; VILELA, MARTHA JÚNIOR; MARCHÃO, 2012).

Além disso, ambientalmente, o uso da ILP permite reduzir o desmatamento para incorporação de novas áreas agrícolas pelo uso eficiente das já cultivadas, a emissão de carbono pelo aumento da matéria orgânica do solo, a quantidade de agroquímicos e fertilizantes pela maior eficiência de seu uso, as perdas de água e solo pela adoção do

plantio direto, e as emissões de metano pelos ganhos em qualidade de forragem (MARTHA JÚNIOR; VILELA; BARCELLOS, 2006; VILELA et al., 2011).

Para Macedo (2009), na integração lavoura-pecuária o cultivo de lavouras não é eventual, mas sim componente chave do sistema agrícola, de forma que a produção de grãos e animais interagem e se completam tanto no manejo do solo como na parte econômica, aumentando a renda do produtor.

Há três modalidades de implantação da ILP: em fazendas de pecuária que utilizam o sistema para recuperação de pastagens degradadas, em fazendas agrícolas que utilizam o sistema para aumentar a palhada sobre o solo para uso do plantio direto e uso esporádico da forragem na entressafra para alimentação dos bovinos, e fazendas mistas que utilizam a rotação de pasto e lavoura na propriedade para intensificar o uso da terra e se beneficiar de ambas atividades (VILELA et al., 2011).

As fazendas de atividade pecuária podem adotar a ILP para driblar o que Domingues et al. (2013) definem como limitação da performance animal devido ao baixo suprimento de alimentos no período seco. Segundo esses autores, o Cerrado brasileiro passa por períodos concentrados de chuva, entre outubro e março, e por períodos de seca, nos demais meses do ano, caracterizados por altas temperaturas e alta taxa de evaporação, que limita a produção de forragem e, conseqüentemente, a animal.

Entretanto, Vilela et al. (2011) observaram que a adoção da ILP garante que os pastos permaneçam verdes e com qualidade e quantidade suficientes para garantir ganhos de peso ao invés das perdas comum nesse período do ano. Alvarenga et al. (2007) comprovaram essa afirmação com estudos de diferentes categorias animais e chegaram a ganhos de peso de até 900 g por animal por dia durante a época da seca em pastagens de *Megathyrus maximus* cv. Tanzânia.

A adição de gramíneas no sistema resulta em maior presença de raízes, de acordo com Souza et al. (2010), e quanto maior a quantidade de resíduos orgânicos e raízes no solo maior será o estímulo à biomassa microbiana, em crescimento e atividade, servindo como catalizadores na decomposição da matéria orgânica. Carvalho et al. (2014) atribuíram essa capacidade de promover o sequestro de carbono ligado à mineralização da matéria orgânica, à razão do ressurgimento da ILP em países em desenvolvimento.

Segundo Vilela et al. (2011), o milho e o sorgo são as culturas mais utilizadas na ILP pela maior capacidade de competição com *Urochloa brizantha* e *Megathyrus maximus* na fase inicial de desenvolvimento. Por apresentar alta produtividade de

matéria seca e bom valor nutritivo (BENÍCIO et al., 2011), o sorgo ainda antecipa a formação da pastagem quando em consórcio com gramíneas forrageiras (CRUSCIOL et al., 2011), pois a colheita para silagem é realizada mais precocemente e a forrageira possui mais tempo para crescimento.

Ainda segundo Vilela et al. (2011), a soja tem sido incluída na rotação com essas culturas devido ao seu consórcio com capins é operacionalmente complicado e pode prejudicar a produtividade de ambas culturas. Kluthcouski e Aidar (2003), estudando o consórcio de soja com *Urochloa brizantha* cv. Marandu obtiveram reduções de até 74% na produtividade da soja quando não houve controle da gramínea com herbicida.

Entretanto, sem o conhecimento e sem a adoção da tecnologia correta, a competição entre as forrageiras e a cultura produtora de grãos pode resultar em perdas expressivas na produtividade da lavoura (KLUTHCOUSKI; AIDAR, 2003) ou na redução da biomassa da forragem (JAKELAITIS et al., 2005), comprometendo a produção animal na entressafra. Por isso, o estudo dos sistemas produtivos e sua interação ao longo do tempo na área é de extrema importância para a implantação da ILP para atingir sua máxima produtividade, favorecendo o uso eficiente da terra.

## **2.4 Análise econômica**

A ILP traz não só as vantagens técnicas citadas anteriormente como também vantagens econômicas, pois diversifica as atividades da propriedade rural, reduz os riscos econômicos da atividade agropecuária, e os custos de recuperação e renovação de pastagens em processo de degradação (VILELA et al., 2011) pela adição da receita obtida com a venda dos grãos no lucro final do produtor, tornando a atividade potencialmente lucrativa (COBUCCI et al., 2007).

Além disso, quando aliada ao plantio direto resulta em vantagens econômicas devido ao menor número de operações com máquinas agrícolas (MARCOLAN; ANGHINONI, 2006) e à economia com herbicidas, uma vez que a cobertura da palhada sobre o solo deve promover a supressão de plantas daninhas (PIRES et al., 2008).

Os benefícios econômicos da ILP, conforme Vilela et al. (2011), focam na possibilidade do aumento da produtividade com custos unitários menores, em consequência da ampliação do potencial de produção do sistema para uso de insumos, maior eficiência no uso de fertilizantes e menor demanda por agroquímicos.

Segundo Garcia et al. (2012), a integração lavoura-pecuária é uma opção vantajosa para o produtor porque beneficia duas atividades de importância econômica: o mercado de grãos e o de produtos de origem animal. Macedo (2009) afirma que embora permita o uso mais racional da propriedade agrícola, diversificando o fluxo de caixa dos produtores, a implantação desse sistema implica em maiores custos para o produtor na aquisição de máquinas e implementos mais diversificados, infraestrutura de estradas e armazéns, mão-de-obra qualificada, domínio da tecnologia das lavouras anuais e da pecuária e conhecimento mais apurado do mercado agropecuário.

Dessa maneira, a adoção desse sistema na propriedade permite elevar a lucratividade da atividade agropecuária pelo aumento no rendimento e redução dos custos de produção (BALBINOT JÚNIOR et al., 2009) somente no caso do conhecimento dos aspectos técnicos, produtivos e econômicos das culturas a serem instaladas (RODRIGUES et al., 2015).

Exemplificando tal fato, Crusciol et al. (2012) comprovaram eficiência e viabilidade maior da ILP quando o capim-marandu foi consorciado com soja precoce em relação ao consórcio com a tardia, por haver maior tempo de formação de pastagem após a colheita da soja. Vilela et al. (2011) foram mais além, e demonstraram que como a soja apresenta altos custos de produção, até mesmo pequenas reduções na produtividade podem comprometer a sustentabilidade econômica do produtor.

Martha Júnior, Alves e Contini (2011) também relataram que a vantagem econômica da ILP pode ser suplantada pelo alto investimento requerido e, portanto, os retornos econômicos dependem da alta produtividade tanto da lavoura como da pecuária. Para Braz, Mion e Gameiro (2012), os altos investimentos iniciais do sistema podem representar um empecilho limitante para sua adoção.

Por isso, o produtor rural deve considerar sua propriedade como uma empresa e dar maior importância à administração e à gestão de custos de suas atividades para utilizar melhor seus recursos e facilitar a tomada de decisões (LOPES et al., 2013), sendo o índice de lucratividade uma das formas de mensurar o sucesso econômico, mostrando a taxa disponível de receita da atividade após o pagamento de todos os custos operacionais e depreciações inclusas (GARCIA et al., 2012).

Logo, a tomada de decisões deve ser baseada na análise financeira contínua e na simulação de diversas situações produtivas, pois o resultado final esperado pelo produtor é sempre o lucro, independente de qual sistema de produção será utilizado (ARAÚJO et al., 2012). Isto posto, é fundamental o conhecimento dos custos de

produção em sistemas complexos como a ILP, para auxiliar na tomada de decisões quanto à forma de manejo, garantindo um aumento da produtividade aliada à redução dos custos de produção (GARCIA et al., 2012).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Localização do experimento

O experimento foi instalado em área de sequeiro no Setor de Produção Vegetal da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE) (Figura 1) pertencente à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (FEIS/UNESP), no município de Selvíria, Mato Grosso do Sul. O centro da parcela se encontra nas coordenadas geográficas 20°20'35" S e 51°24'04" W, com altitude de 358 m.

**Figura 1** – Vista aérea parcial do Setor de Produção Vegetal da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE) pertencente à FEIS/UNESP, localizada no município de Selvíria, MS. Em destaque a área do experimento.

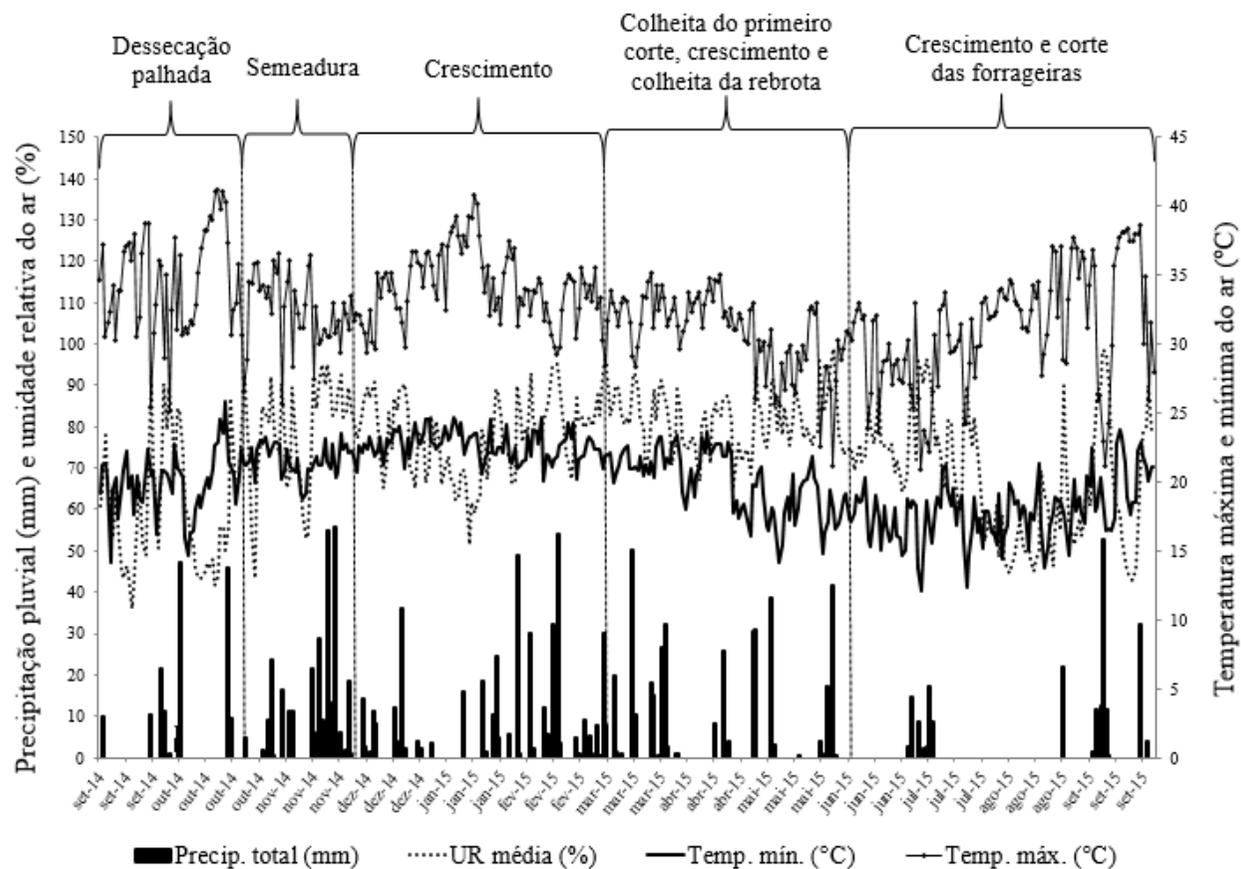


Fonte: Adaptado de Google Earth (2016).

O tipo climático da região é o Aw segundo classificação de Köppen, caracterizado por verões chuvosos e invernos secos. Durante o experimento foram coletados os dados diários referentes à temperatura máxima, mínima, umidade relativa do ar e precipitação pluvial junto à estação meteorológica situada no campus da UNESP, no município de Ilha Solteira, São Paulo, localizada a aproximadamente 10,5

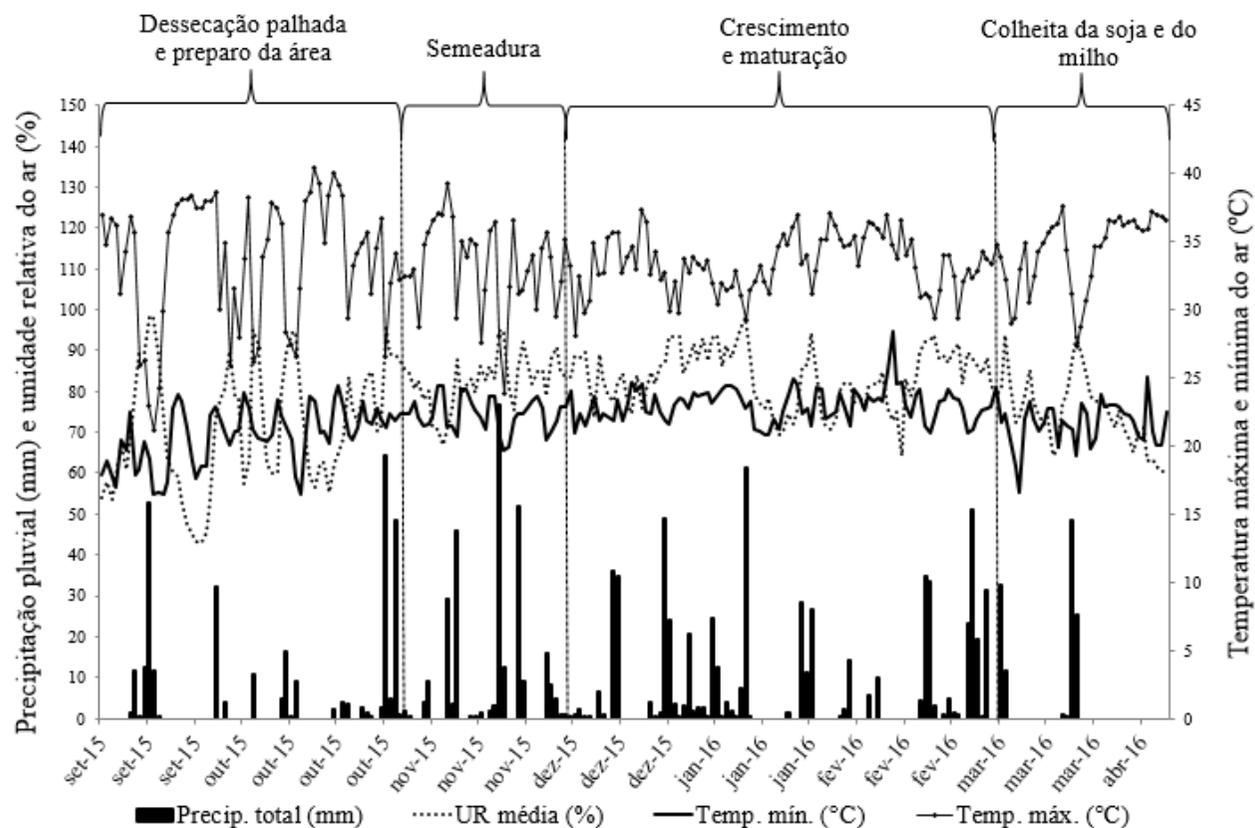
km da área experimental. Os dados climáticos foram apresentados em decênios nas Figuras 2 e 3.

**Figura 2** – Temperatura máxima, temperatura mínima, umidade relativa do ar e precipitação referentes ao período de condução dos consórcios de sorgo forrageiro com *U. brizantha* cv. Marandu; *M. maximus* cv. Mombaça e/ou guandu-anão, no ano agrícola 2014/2015.



Fonte: Dados do próprio autor.

**Figura 3** – Temperatura máxima, temperatura mínima, umidade relativa do ar e precipitação referentes ao período de condução das culturas de soja e milho, no ano agrícola 2015/2016.



Fonte: Dados do próprio autor.

### 3.2 Caracterização físico-química do solo

O solo da área experimental foi caracterizado como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico argiloso de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, 2013), com histórico de cultivo apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1** – Histórico de 5 anos de cultivo da área experimental.

Ano Agrícola	Sistema de Cultivo	Cultura
2011/12	Convencional	Algodão
2012/13	Convencional	Algodão
2013/14	Plantio Direto	Sorgo consorciado com gramíneas forrageiras e/ou guandu-anão
2014/15	Plantio Direto	Sorgo consorciado com gramíneas forrageiras e/ou guandu-anão
2015/16	Plantio Direto	Soja ou milho

Fonte: Dados do próprio autor.

Tendo em vista o estudo das alterações físico-químicas durante o processo de instalação do sistema plantio direto na área, foram realizadas quatro amostragens de solo: antes da instalação do consórcio de sorgo com gramíneas forrageiras e/ou guandu-anão (08/09/2013), antes da instalação da repetição do consórcio de sorgo com gramíneas forrageiras e/ou guandu-anão (10/10/2014), antes da instalação da soja e do milho (17/10/2015) e após a colheita da soja e do milho (31/03/2016).

Para avaliação física do solo, em todas as épocas de amostragem, foram selecionados três pontos aleatórios em diagonal dentro de cada parcela experimental nos quais foram retiradas amostras indeformadas nas profundidades de 0 a 10 e 10 a 20 cm, para cálculo da macro, micro, porosidade total e densidade do solo pelo método do anel volumétrico (Figura 4) e da mesa de tensão (EMBRAPA, 1997), realizados no Laboratório de Física do Solo da FEIS/UNESP. Nos mesmos pontos, nos anos 2013 e 2016 foram tomados perfis de resistência mecânica à penetração (RMP), com o penetrômetro de impacto (STOLF, 1991) (Figura 5), e foram coletadas amostras para determinação das respectivas umidades gravimétricas do solo, pelo método da estufa.

**Figura 4** – Coleta dos anéis volumétricos nas profundidades de 0 a 10 cm, 10 a 20 cm.



Fonte: Dados do próprio autor.

**Figura 5** – Coleta dos dados de resistência à penetração com o auxílio do penetrômetro de impacto.



Fonte: Dados do próprio autor.

Houve correção dos valores de RMP entre os anos agrícolas para uma mesma umidade gravimétrica do solo, no caso foi utilizada a média de 17%, com uso das equações propostas por Busscher et al. (1997) para o modelo cúbico:

Equação I: 
$$C = ae^{bW}$$

Onde:

C – RPM em MPa;

a, b – parâmetros empíricos calculados com base nos dados de cada ano;

e – base logarítmica exponencial;

W – umidade do solo real.

Equação II: 
$$C_c = C_o + \frac{dC}{dW} (W_c - W_o)$$

Onde:

C<sub>c</sub> – RPM na umidade do solo desejada;

C<sub>o</sub> – RPM na umidade do solo real;

dC/dW – derivada da Equação I;

W<sub>c</sub> – umidade do solo desejada;

W<sub>o</sub> – umidade do solo real.

A avaliação química foi realizada nas mesmas profundidades (0 a 10 e 10 a 20 cm) e próximos aos pontos demarcados na avaliação física com a coleta de amostras deformadas com o auxílio de trado rosca. As análises foram realizadas no Laboratório de Fertilidade de Solo da FEIS/UNESP conforme metodologia proposta por Raij et al. (2001).

Os estoques de carbono do solo foram calculados pela equação proposta por Bernoux et al. (1988):

Equação III: 
$$E = D_s \times h \times \left( \frac{MO}{1,724} \right)$$

Onde:

E – estoque de carbono do solo (t/ha<sup>-1</sup>);

D<sub>s</sub> – densidade do solo;

h – espessura da camada amostrada;

MO – o teor de matéria orgânica do solo.

### 3.3 Ano agrícola 2014/2015: Cultivo de sorgo forrageiro consorciado com *U. brizantha* cv. Marandu, *M. maximus* cv. Mombaça e/ou guandu-anão.

#### 3.3.1 Delineamento experimental e tratamentos

A parcela experimental foi formada por 7 linhas de sorgo distanciadas entre si a 0,45 m, com 20 metros de comprimento, perfazendo 63 m<sup>2</sup> por parcela e 1.512 m<sup>2</sup> de área total. Para área útil da parcela foram consideradas as 3 linhas centrais, totalizando 27 m<sup>2</sup>. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro repetições e seis tratamentos: sorgo com *Urochloa brizantha* cv. Marandu (SU), sorgo com *Urochloa brizantha* cv. Marandu e guandu-anão (SUG), sorgo com *Megathyrus maximus* cv. Mombaça (SM), sorgo com *Megathyrus maximus* cv. Mombaça e guandu-anão (SMG), sorgo com o guandu-anão (SG) e sorgo forrageiro solteiro (SS), totalizando 24 parcelas experimentais.

#### 3.3.2 Instalação e condução dos consórcios

Antes da semeadura dos consórcios (10/10/2014) foi realizada a dessecação da flora daninha para formação de palhada e continuação do SPD com a aplicação de 200 L ha<sup>-1</sup> do herbicida Glyphosate na concentração de 1,56 kg ha<sup>-1</sup> do ingrediente ativo, com posterior manejo dos restos culturais utilizando triturador horizontal de resíduos vegetais (triton). A correção da acidez do solo foi realizada antes da implantação do plantio direto, em setembro de 2013, utilizando 2 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico (PRNT = 85%) aplicado a lanço sem incorporação, de acordo com a interpretação dos resultados da análise de solo (Tabela 2) seguindo recomendação de Raij et al. (1996).

**Tabela 2** – Caracterização química inicial do solo nas profundidades de 0 a 0,10 m e de 0,10 a 0,20 m na área experimental.

Profundidade	pH <sup>1</sup>	P	K	Ca	Mg	H + Al	V	MO
cm		mg dm <sup>-3</sup>	-----	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	-----	%	g dm <sup>-3</sup>	
0 a 10	4,8	62,0	1,6	12,0	10,0	38	38,0	21,0
10 a 20	4,4	17,0	1,0	7,0	6,0	47	23,0	16,0

Nota: <sup>1</sup>CaCl<sub>2</sub>

Fonte: Dados do próprio autor.

A semeadura do sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* cv. Volumax) foi realizada mecanicamente no dia 04/11/2014, utilizando uma semeadora-adubadora com mecanismo sulcador tipo haste (facão) para SPD (Figura 6), no espaçamento de 0,45 m entrelinhas com densidade populacional de 15 sementes  $m^{-1}$ , depositadas a uma profundidade de 0,05 m.

**Figura 6** – Semeadura do sorgo forrageiro e capins *U. brizantha* e *M. maximus* na área experimental.



Fonte: Dados do próprio autor.

As forrageiras foram semeadas simultaneamente e na mesma linha que o sorgo, utilizando a mesma semeadora-adubadora com mecanismo tipo haste para SPD (Figura 6), sendo utilizado para a *U. brizantha* 9,6 kg  $ha^{-1}$  de sementes com valor cultural (VC) de 50% e para o *M. maximus* 10,3 kg  $ha^{-1}$  de sementes com VC de 35%.

As sementes foram acondicionadas no compartimento do adubo da semeadora momentos antes da operação e depositadas abaixo das sementes de sorgo, a 0,06 m, com o intuito de atrasar a emergência dos capins em relação à do sorgo, seguindo recomendações de Kluthcouski et al. (2000) para reduzir a possível competição inicial entre as espécies.

O guandu-anão (*Cajanus cajan* cv. IAPAR 43) foi semeado nas entrelinhas imediatamente depois da semeadura do sorgo e das forrageiras, com outra semeadora-adubadora com mecanismo sulcador tipo disco duplo desencontrado para SPD, no espaçamento de 0,45 m entrelinhas e profundidade de 0,05 m, com densidade populacional de 20 sementes m<sup>-1</sup>.

Na adubação de semeadura foram adicionados ao sistema 24, 84 e 48 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, na ordem, utilizando o formulado 08-28-16, e na adubação de cobertura, realizada quando o sorgo apresentava cerca de 6 folhas completamente desenvolvidas (04/12/2014), foram adicionados a lanço 120 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de sulfato de amônio e 50 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de cloreto de potássio. Ambas adubações foram realizadas com base nas recomendações de Cantarella, Raij e Camargo (1997).

### **3.3.3 Avaliações realizadas nos consórcios**

No dia anterior à colheita do material para confecção da silagem, tanto no primeiro corte como na rebrota, foram avaliados:

- População final de plantas de sorgo (plantas ha<sup>-1</sup>): mensurada pela contagem de todas as plantas presentes nos três metros centrais das três linhas centrais da parcela;

- Diâmetro basal do colmo de plantas de sorgo (cm): mensurado no segundo entrenó a partir do solo em 10 plantas aleatórias na parcela com o auxílio de um paquímetro com precisão de 0,1 mm;

- Altura de plantas de sorgo (m): mensurada pela distância entre o colo da planta e a ponta da panícula em 10 plantas aleatórias na parcela com o auxílio de uma regra graduada em centímetros.

- Relação colmo/folha/panícula de plantas de sorgo (%): mensurada após a coleta de 10 plantas aleatórias na parcela, separação de seus componentes e pesagem, com o auxílio de uma balança.

- Produtividade de massa verde e matéria seca por espécie (kg ha<sup>-1</sup>): mensurada pelo corte a 30 cm do solo de todo material vegetal presente em 1 m<sup>2</sup>, com o auxílio de foices e quadrados de metal, para posterior separação por espécie, com três repetições por parcela. O material vegetal de cada espécie foi pesado para cálculo da produtividade de massa verde e separado em subamostras de 300 gramas cada, que foram colocadas em entufas de ventilação forçada a 65° C até massa constante para em seguida serem pesadas novamente para cálculo da produtividade de matéria seca. Os valores das

espécies foram somados para cálculo da produtividade de matéria seca total do consórcio.

A colheita do material para ensilagem foi realizada mecanicamente com a colhedora de forragem modelo JF C-120 (12 facas) (Figura 7) a uma altura de 30 cm do solo, quando a maioria dos grãos da porção central da panícula encontravam-se no estágio de maturidade fisiológica (70% MS), aos 124 dias após a semeadura (07/03/2015) no primeiro corte e aos 94 dias de rebrota (08/06/2015), excluindo as bordaduras da parcela.

**Figura 7** - Colhedora de forragem utilizada para o corte do sorgo e das forrageiras.



Fonte: Dados do próprio autor.

Após a transformação do material vegetal em partículas de aproximadamente 2,5 cm pela colhedora de forragem, foram separadas amostras de 300 g do material que seria ensilado, secas em estufa de ventilação forçada a 65° C até massa constante, moídas em moinho de faca tipo “Willey” com peneira com malha de 1,0 mm para determinação dos teores de macronutrientes no Laboratório de Nutrição de Plantas da FEIS/UNESP, conforme metodologia descrita por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), multiplicando-os pela produtividade de matéria seca para cálculo do acúmulo de nutrientes ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).

Posteriormente à colheita da rebrota foram coletados os colmos de sorgo remanescentes na área e determinada a produtividade de matéria seca, em  $t\ ha^{-1}$  e os teores de macronutrientes para cálculo do acúmulo de nutrientes ( $kg\ ha^{-1}$ ), seguindo os mesmos procedimentos e metodologias citadas acima.

Foram calculados os coeficientes de correlação de Pearson, por meio do software Excel, comparando a produtividade do sorgo com altura de planta, diâmetro basal do colmo, população final e porcentagens de colmo, folha e panícula em plantas de sorgo e comparando produtividade total do consórcio com acúmulo de macronutrientes no material colhido.

#### ***3.3.4 Avaliações realizadas após a colheita para ensilagem: forrageiras e palhada***

Após a retirada do material da rebrota, os capins *U. brizantha* e *M. maximus* foram mantidas na área por 90 dias para formação de pasto e palhada para manutenção do plantio direto. Foram simulados pastejos a cada 30 dias, nos dias 08/07, 07/08 e 15/09/2015, pela coleta das forrageiras em  $1\ m^2$ , cortadas na altura de 30 cm, com o auxílio de foices e quadrados de metal, em três pontos por parcela, sendo realizados os mesmos procedimentos citados anteriormente para determinação dos teores e acúmulo de macronutrientes ( $kg\ ha^{-1}$ ).

Os acúmulos de macronutrientes das forrageiras de cada uma das simulações de pastejo foram somados para obtenção dos valores totais de exportação de nutrientes da área por parte da retirada das forrageiras. Posteriormente, esse valor foi somado aos acúmulos de macronutrientes dos materiais a serem ensilados de cada consórcio, resultando no valor total que foi exportado da área no ano agrícola 2014/2015.

Foram calculados os coeficientes de correlação de Pearson comparando a produtividade de matéria seca das forrageiras com seu acúmulo de macronutrientes aos 30, 60 e 90 dias após a formação do pasto.

Após cada simulação de pastejo realizou-se a roçagem da área total na mesma altura adotada como manejo da pastagem (30 cm), com triturador horizontal de resíduos vegetais (triton) para estimulação de perfilhamento e padronização da idade fenológica dos capins.

Na última coleta realizada nas espécies forrageiras (terceiro corte simulando pastejo) foram separados e acondicionados 100 g de massa verde de cada unidade

experimental dentro de seis sacos de nylon (*Litter Bags*) de 0,06 m<sup>2</sup> (0,3 x 0,2 m), que foram depositados em contato direto com o solo da respectiva parcela (Figura 8).

Aos 30; 60; 90; 120; 150 e 180 dias após a deposição dos *Litter Bags* na área, estes foram coletados, a palhada no seu interior foi retirada, limpa em peneira (eliminação de torrões de solo e outros materiais), pesada, seca em estufa de circulação forçada a 65° C até massa constante e pesada novamente, para cálculo da porcentagem de matéria seca residual, indicando a decomposição da palhada.

**Figura 8** – Litter bags depositados na unidade experimental.



Fonte: Dados do próprio autor.

Após a última simulação de pastejo (15/09/2015), foi realizada a primeira dessecação da área experimental, sendo a segunda no dia 28/10/2015, ambas com herbicida Glyphosate (1,56 kg ha<sup>-1</sup> do ingrediente ativo (i.a.)), visando a continuidade do sistema plantio direto.

### **3.4 Ano agrícola 2015/2016: Cultivo de soja e milho em sucessão.**

#### ***3.4.1 Delineamento experimental e tratamentos***

Cada parcela experimental de sorgo consorciado com forrageiras e/ou guandunhão do ano anterior foi dividida em duas de igual tamanho e semeadas com soja e

milho, de forma que as duas culturas ocuparam simultaneamente áreas cultivadas previamente com todos os consórcios estudados no primeiro ano agrícola.

As parcelas foram constituídas por 7 linhas, distanciadas a 0,45 m, com 10 m de comprimento, totalizando 31,5 m<sup>2</sup> por unidade experimental. Para área útil da parcela foram consideradas os 5 metros centrais das 3 linhas centrais, totalizando 6,75 m<sup>2</sup>. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro repetições, sendo dividido em dois experimentos: 1) Soja em sucessão a sorgo solteiro (SSS) e consorciado com *U. brizantha* cv. Marandu (SSU), *U. brizantha* cv. Marandu e guandu-anão (SSUG), *M. maximus* cv. Mombaça (SSM), *M. maximus* cv. Mombaça e guandu-anão (SSMG) e guandu-anão (SSG). 2) Milho em sucessão ao sorgo solteiro (MSS) e consorciado com o *U. brizantha* cv. Marandu (MSU), *U. brizantha* cv. Marandu e guandu-anão (MSUG), *M. maximus* cv. Mombaça (MSM), *M. maximus* cv. Mombaça e guandu-anão (MSMG) e guandu-anão (MSG).

### 3.4.2 Instalação e condução da soja e do milho

A soja (BMX Potência RR) foi semeada mecanicamente no dia 17/11/2015 com o mesmo equipamento utilizado para o sorgo (Figura 6), com espaçamento entrelinhas de 0,45 m, densidade populacional de 20 sementes m<sup>-1</sup> e profundidade de deposição das sementes de 0,03 m.

Antes da semeadura as sementes foram tratadas com Carboxina (200 g i.a. L<sup>-1</sup>) + Tiram (200 g i.a. L<sup>-1</sup>) e depois inoculadas com *Bradyrhizobium* spp (2 mL kg de semente<sup>-1</sup>). Na adubação de semeadura foram adicionados ao sistema 12, 60 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, na ordem, utilizando o formulado 04-20-20, com base na interpretação da análise de solo e nas recomendações de Cantarella, Rajj e Camargo (1997). As operações de controle de plantas daninhas, pragas e doenças foram realizadas conforme a Tabela 3.

O híbrido triplo de milho (DKB 350 PRO) foi semeado no mesmo dia da soja com a mesma semeadora (Figura 6), com espaçamento entrelinhas de 0,45m, densidade populacional de 3,3 sementes m<sup>-1</sup> e profundidade de deposição das sementes de 0,05 m. As sementes foram tratadas com Imidacloprido (150 g i.a. L<sup>-1</sup>) + Tiodicarbe (450 g i.a. L<sup>-1</sup>).

Na adubação de semeadura foram adicionados ao sistema 16, 80 e 80 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, na ordem, utilizando o formulado 04-20-20, e na adubação de cobertura,

realizada quando o milho apresentava de 5 a 6 folhas complementemente desenvolvidas (15/12/2015), foram adicionados 120 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de sulfato de amônio, nas entrelinhas, com base na interpretação da análise de solo e nas recomendações de Cantarella, Raij e Camargo (1997).

**Tabela 3** – Operações de controle de pragas, doenças e plantas daninhas realizadas durante o ciclo da soja no ano agrícola 2015/16.

Data	Operação	Produto	Concentração
			g i. a. L <sup>-1</sup>
14/12/2015	Dessecação	Glyphosate	445
05/01/2016		Metomil	215
19/01/2016	Pulverização	Clorantraniliprole	200
28/01/2016		Imidacloprido + Beta-ciflutrina	100 + 12,5
05/02/2016		Azoxistrobina + Ciproconazol	200 + 80

Fonte: Dados do próprio autor.

Durante o desenvolvimento do milho foi acompanhado o desenvolvimento de pragas e doenças e não foi constatada necessidade de controle químico. Não foi observada a emergência de plantas daninhas na fase inicial de desenvolvimento do milho e se optou por não realizar o controle manual em fases mais avançadas por ser economicamente inviável em uma lavoura comercial.

### 3.4.3 Avaliações realizadas na soja

No mesmo dia da colheita dos grãos de soja (11/03/2016) foram avaliados:

- População final de plantas (plantas ha<sup>-1</sup>): mensurada pela contagem de todas as plantas presentes nos três metros centrais das três linhas centrais da parcela;

- Altura de inserção da primeira vagem (cm): mensurada pela distância entre o colo da planta e o local de inserção da primeira vagem em 10 plantas aleatórias na parcela com o auxílio de uma regra graduada em centímetros.

- Número de vagens por planta (vagens planta<sup>-1</sup>): mensurado pela contagem de cada uma das vagens de 10 plantas aleatórias na parcela.

- Número de grãos por planta (grãos planta<sup>-1</sup>): mensurado pela contagem de cada um dos grãos de cada uma das vagens das 10 plantas aleatórias na parcela, incluindo na conta todos os grãos formados, completamente desenvolvidos ou não.

- Massa de cem grãos (g): mensurada pela separação e pesagem de quatro repetições de 100 grãos cada, que foram secas em entufas de ventilação forçada a 65° C até massa constante, e pesadas novamente. A massa final foi ajustada para 13% de umidade.

- Produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>): mensurada pela coleta e trilha mecânica de todas as plantas dos cinco metros centrais das três linhas centrais. Os grãos trilhados foram pesados e foram retiradas subamostras de massa conhecida que foram secas em entufas de ventilação forçada a 65° C até massa constante, e pesadas novamente. A massa final foi ajustada para 13% de umidade e foram acrescidos 3% referentes às perdas estimadas da trilha mecânica.

- Acúmulo de macronutrientes nos grãos (kg ha<sup>-1</sup>): as subamostras secas de grãos foram moídas em moinho de faca tipo “Willey” com peneira de malha de 1,0 mm para determinação dos teores de macronutrientes conforme metodologia descrita anteriormente e posterior cálculo da quantidade acumulada de macronutrientes.

Foram calculados os coeficientes de correlação de Pearson correlacionando a produtividade da soja com altura de inserção da primeira vagem, população final, número de vagens por planta, número de grãos por planta, massa de mil grãos e acúmulo de macronutrientes nos grãos.

#### ***3.4.4 Avaliações realizadas no milho***

No mesmo dia da colheita dos grãos de milho (16/03/2016) foram avaliados:

- População final de plantas (plantas ha<sup>-1</sup>): mensurada pela contagem de todas as plantas presentes nos três metros centrais das três linhas centrais da parcela;

- Diâmetro basal do colmo (cm): mensurado no segundo entrenó a partir do solo em 10 plantas aleatórias na parcela com o auxílio de um paquímetro com precisão de 0,1 mm;

- Altura de plantas (m): mensurada a distância entre o colo da planta e a ponta da inflorescência em 10 plantas aleatórias na parcela com o auxílio de uma regra graduada em centímetros.

- Altura de inserção da espiga (m): mensurada com a distância entre o colo da planta e o local de inserção da espiga em 10 plantas aleatórias na parcela com o auxílio de uma regra graduada em centímetros.

- Número de grãos por espiga (grãos espiga<sup>-1</sup>): mensurado pela contagem de cada um dos grãos de cada uma das espigas das 10 plantas aleatórias na parcela, incluindo na conta todos os grãos formados, completamente desenvolvidos ou não.

- Massa de cem grãos (g): mensurada pela separação e pesagem de quatro repetições de 100 grãos cada, que foram secas em entufas de ventilação forçada a 65° C até massa constante, pesadas novamente e ajustadas para 13% de umidade.

- Produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>): mensurada com a coleta e trilha mecânica de todas as espigas dos nove metros centrais das três linhas centrais. Os grãos trilhados foram pesados e foram retiradas subamostras de massa conhecida que foram secas em entufas de ventilação forçada a 65° C até massa constante, e pesadas novamente. A massa final foi ajustada para 13% de umidade e foram acrescidos 3% referentes às perdas estimadas da trilha mecânica

- Acúmulo de macronutrientes nos grãos (kg ha<sup>-1</sup>): as subamostras secas de grãos foram moídas em moinho de faca tipo “Willey” com peneira de 1,0 mm para determinação dos teores de macronutrientes conforme metodologia descrita anteriormente e posterior cálculo da quantidade acumulada de macronutrientes.

Foram calculados os coeficientes de correlação de Pearson correlacionando a produtividade de milho com altura de planta, altura de inserção da espiga, diâmetro basal do colmo, população final, número de grãos por espiga, massa de mil grãos e acúmulo de macronutrientes nos grãos.

### **3.5 Análise estatística dos dados**

Os resultados morfológicos e produtivos dos consórcios de sorgo com *U. brizantha*, *M. maximus* e/ou guandu-anão, do milho e da soja, foram submetidos à análise de variância pelo teste F (P<0,05), sendo as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott (P<0,05) devido à quantidade de tratamentos a serem analisados.

Os resultados referentes à análise química e física de solo, em esquema de parcelas subdivididas no tempo, foram submetidos à análise de variância pelo teste F (P<0,05), sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey (P<0,05). Para as diferentes épocas de coleta do solo e para os resultados de decomposição da palhada dentro dos *Litter Bags* os dados foram submetidos à análise de regressão polinomial. A análise estatística foi realizada com o software R (R CORE TEAM, 2015).

### 3.6 Análise do desempenho econômico

A análise do desempenho econômico dos sistemas de produção estudados foi realizada comparando o custo operacional total e o receita bruta obtida com a venda dos produtos resultantes da atividade agrícola, permitindo o cálculo do lucro operacional e índice de lucratividade. Para o cálculo dos custos foi adotada a estrutura utilizada pelo Instituto de Economia Agrícola (IEA) e proposta por Matsunaga, Bemelmans e Toledo (1976), através das seguintes equações:

$$\text{Equação IV:} \quad \text{COT} = \text{COE} + \text{juros} + \text{outras despesas} + \text{D}$$

Onde:

COT – custo operacional total;

COE – custo operacional efetivo, calculado pela soma dos gastos com operações mecanizadas, operações manuais e insumos utilizados;

Juros – juros de custeio, calculados considerando a taxa de juros utilizada em operações de crédito rural como 5,5% sobre 50% do COE;

Outras despesas – calculadas considerando 5% do COE;

D – depreciação linear, calculada proporcional ao ciclo de cultivo pela equação V.

$$\text{Equação V:} \quad \text{D} = (\text{VI} - \text{VF})/\text{VU}$$

Onde:

VI – valor inicial do implemento ou maquinário;

VF – valor final do implemento ou maquinário;

VU – vida útil do implemento ou maquinário.

Os valores gastos com operações mecanizadas e operações manuais foram obtidos consultando produtores rurais da região com nível tecnológico semelhante ao utilizado no trabalho. Os preços de insumos foram consultados em estabelecimentos de comercialização de produtos agropecuários da região. Os valores iniciais e finais dos implementos e maquinários foram obtido consultando o Agriannual (2016), sendo considerado uma carga de trabalho do equipamento de 400 horas por ano para estimativa do seu valor final. A vida útil do implemento foi estipulada em 10 anos.

Para cálculo da lucratividade dos sistemas de produção estudados foi adotada metodologia proposta por Martin et al. (1998), com as seguintes equações:

Equação VI:  $RB = \text{produção} \times \text{preço unitário}$

Equação VII:  $LO = RB - COT$

Equação VIII:  $IL = (LO/RB) \times 100$

Equação IX:  $PreE = COT/Produtividade$

Equação X:  $ProE = COT/\text{preço médio}$

Onde:

RB – receita bruta, representa o valor total recebido pelo produtor por sua produção;

LO – lucro operacional, representa a diferença entre os custos e os ganhos do produtor. Pode ser considerado o lucro ou o prejuízo da atividade;

IL – índice de lucratividade, representa a proporção do lucro obtido com a venda dos produtos sobre o valor gasto para produzir;

PreE – preço de equilíbrio, representa o preço unitário mínimo que o produto deve ser comercializado para cobrir os gastos com a atividade;

ProE – produtividade de equilíbrio, representa a produtividade mínima que o produtor deve obter para cobrir os gastos com a atividade.

Os valores de comercialização dos produtos estudados foram obtidos em consulta ao Agrolink (2016) para o comércio regional na época das respectivas colheitas e foram: R\$210,00 a tonelada de silagem de sorgo, R\$70,00 a saca de soja e R\$37,00 a saca de milho.

Os custos de produção foram calculados separadamente para cada cultura, entretanto, os componentes da lucratividade foram baseados nas somas dos COTs de cada componente da parcela experimental estudada. Não foi considerada, para fins de cálculo, a roçagem realizada nas forrageiras ao fim do terceiro pastejo simulado, pois entende-se que é uma operação não realizada por produtores quando há a presença de bovinos na área. As operações de dessecação das forrageiras ao final do ano agrícola 2014/2015 foram contabilizadas nos custos operacionais da soja e do milho, pois foram essenciais para a instalação dessas culturas.

Como a pesquisa foi desenvolvida em área pertencente à FEPE, não se consideraram os custos fixos da atividade, como remuneração da terra, pró-labore do produtor e juros de instalações, benfeitorias, máquinas e equipamentos.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Sorgo consorciado com *U. brizantha*, *M. maximus* e/ou guandu-anão.

Os componentes de produção de sorgo constam na Tabela 4, onde não houve diferença significativa entre os tratamentos para altura de plantas e população final no primeiro corte, sendo os valores semelhantes ou mais elevados que os encontrados na literatura (REZENDE et al., 2011; COSTA, 2014), demonstrando a uniformidade de semeadura e das parcelas experimentais quanto aos fatores que influenciam o crescimento das plantas, como fertilidade do solo e incidência de pragas e doenças.

**Tabela 4** – Altura de planta (ALTP), diâmetro basal do colmo (DBC), população final (POP) e porcentagens de colmo, folha e panícula de plantas de sorgo para produção de silagem de primeiro corte e da rebrota consorciado com *U. brizantha*; *M. maximus* e/ou guandu-anão no Cerrado.

Tratamento	ALTP	DBC	POP	Colmo	Folha	Panícula
	m	cm	plantas ha <sup>-1</sup>	-----	%	-----
Primeiro corte						
	ns	**	ns	*	*	ns
SUG	2,05	2,07a	315.000	58,8b	29,5a	11,7
SU	2,14	2,18a	273.750	64,7a	25,6b	9,6
SMG	2,07	2,21a	253.750	61,3b	27,7b	11,0
SM	2,20	1,98b	248.750	59,9b	31,2a	8,9
SG	2,19	1,81b	342.500	62,4b	26,7b	11,0
SS	2,28	2,10a	241.250	65,5a	25,3b	9,2
Média	2,15	2,06	279.166	62,1	27,7	10,2
CV (%)	6,01	6,59	19,24	4,80	9,68	15,18
Rebrota						
	ns	ns	ns	ns	ns	ns
SUG	1,46	1,19	50.463	55,4	27,6	17,0
SU	1,42	1,17	53.704	62,2	24,0	13,8
SMG	-	-	-	-	-	-
SM	-	-	-	-	-	-
SG	1,44	1,14	55.093	54,5	33,1	12,3
SS	1,55	1,30	48.611	56,8	29,1	14,1
Média	1,47	1,20	51.968	57,2	28,4	14,3
CV (%)	7,39	12,54	16,35	13,25	16,78	24,08

Nota: Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, onde: \*\*, \*, ns: (P<0,01), (P<0,05) e (P>0,05); CV (%): Coeficiente de variação. **SUG** – Sorgo com *U. brizantha* e guandu-anão; **SU** – Sorgo com *U. brizantha*; **SMG** – Sorgo com *M. maximus* e guandu-anão; **SM** – Sorgo com *M. maximus*; **SG** – Sorgo com guandu-anão; **SS** – Sorgo solteiro.

Fonte: Dados do próprio autor.

Ao contrário do observado nesse trabalho, Mateus et al. (2011) encontraram plantas de sorgo menores no consórcio com a *U. brizantha* cv. Marandu e maiores no consórcio com *M. maximus* cv. Mombaça, sendo uma possível explicação as diferenças nos tratos culturais entre os trabalhos comparados. Por outro lado, Benício et al. (2011) e Costa (2014) também não observaram influência dos consórcios com os capins sobre o estande final das plantas, pela elevada capacidade de competição do sorgo.

Os tratamentos que apresentaram menores diâmetros basais do colmo foram os consorciados apenas com *M. maximus* (SM) e apenas com guandu-anão (SG). Em relação às porcentagens de cada componente na planta de sorgo, o tratamento consorciado com *U. brizantha* (SU) e o sorgo solteiro (SS) apresentaram maior proporção de colmo que os demais.

Os tratamentos de sorgo consorciado com *U. brizantha* e guandu-anão (SUG) e sorgo com *M. maximus* (SM) apresentaram maior proporção de folhas, que são preferíveis em relação ao colmo pois apresentam menor teor de fibras e são mais facilmente digeríveis. As médias obtidas da participação de folhas foram mais elevadas que as apresentadas por Costa (2014), de 18,1% e por Rezende et al. (2011), de 19,16%, também para o cv. Volumax.

Não houve diferença significativa entre os tratamentos para a porcentagem de panícula, que seria o componente de maior interesse quando se visa a qualidade da silagem por possuir maior teor de proteína que os demais componentes da planta, fato ordinário numa cultivar forrageira com panículas de pequenas dimensões.

Quando da avaliação das plantas no momento da colheita da rebrota (Tabela 4), 94 dias após o primeiro corte, foi observado uma supressão total da rebrota do sorgo nos tratamentos consorciados com *M. maximus*, com (SMG) ou sem (SM) guandu-anão, sendo esse o porquê da não apresentação dos dados de componentes de produção na Tabela 4. A maior capacidade de rebrota e o crescimento mais vigoroso dessa forrageira em relação à *U. brizantha*, aliada ao espaçamento de plantio reduzido, resultou em maior competição e sombreamento dos colmos de sorgo que não receberam luz suficiente para permitir sua rebrota.

Os demais consórcios não apresentaram diferenças significativas para nenhum dos atributos (Tabela 4). Notou-se também que, embora não tenham suprimido totalmente a rebrota do sorgo, a população final foi reduzida consideravelmente em relação à contagem de primeiro corte, assim como a altura e o diâmetro basal do colmo. Entretanto, houve um aumento na participação das panículas na rebrota se comparada

ao primeiro corte, resultado de um maior gasto energético da planta com a estrutura reprodutiva em detrimento do crescimento vegetativo.

A comprovação da hipótese de crescimento mais vigoroso do *M. maximus* em relação a *U. brizantha* pode ser verificada na Tabela 5, na qual constam os valores de produtividade individual de cada espécie e do consórcio como um todo. Tanto no primeiro corte como na rebrota, embora nessa não tenha sido observada diferença significativa, houve maior produtividade do *M. maximus* que da *U. brizantha*, demonstrando diferentes taxas de crescimento entre as espécies.

**Tabela 5** – Produtividade de matéria seca do sorgo (PMSs), das forrageiras (PMSf), e do guandu-anão (PMSg) e produtividade total (PMSt) do consórcio de sorgo para produção de silagem de primeiro corte e da rebrota com *U. brizantha*; *M. maximus* e/ou guandu-anão no Cerrado.

Tratamento	PMSs	PMSf	PMSg	PMSt
	t ha <sup>-1</sup>			
Primeiro corte				
	*	**	ns	ns
SUG	14,6b	0,6b	1,9	17,0
SU	17,6a	0,6b	-	18,1
SMG	12,3b	2,1a	1,4	15,6
SM	10,4b	4,2a	-	15,0
SG	17,1a	-	1,4	18,2
SS	20,5a	-	-	20,5
Média	15,4	1,9	1,5	17,4
CV (%)	27,88	10,22	42,64	23,91
Rebrota				
	ns	ns	-	**
SUG	3,7	1,2	-	4,8a
SU	4,8	0,9	-	5,6a
SMG	-	1,4	-	1,4b
SM	-	1,4	-	1,4b
SG	2,4	-	0,4	2,8b
SS	3,9	-	-	3,9a
Média	3,7	1,2	0,4	3,3
CV (%)	39,57	55,12	0	29,27

Nota: Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, onde: \*\*, \*, ns: (P<0,01), (P<0,05) e (P>0,05); CV (%): Coeficiente de variação. **SUG** – Sorgo com *U. brizantha* e guandu-anão; **SU** – Sorgo com *U. brizantha*; **SMG** – Sorgo com *M. maximus* e guandu-anão; **SM** – Sorgo com *M. maximus*; **SG** – Sorgo com guandu-anão; **SS** – Sorgo solteiro.

Fonte: dados do próprio autor.

Essas diferenças foram refletidas na produtividade do sorgo de primeiro corte, que apresentou menores valores nos consórcios com *M. maximus* (SM e SMG) em

razão da maior competição entre o sorgo e a forrageira, e no tratamento de sorgo com *U. brizantha* e guandu-anão (SUG), por haver um maior crescimento e competição do guandu-anão nas plantas de sorgo.

Entretanto, como a produtividade do material total a ser ensilado considera a somatória da produtividade de todas as espécies envolvidas, uma menor produtividade do sorgo foi compensada pela maior produtividade da forrageira, e vice-versa, não representando diferenças significativas para produtividade de matéria seca total no primeiro corte.

Comprovando o efeito da competição entre as espécies, tanto sobre o sorgo como sobre as forrageiras, Albuquerque et al. (2013) obtiveram produtividade de matéria seca muito superiores para ambas forrageiras ao utilizar espaçamentos entrelinhas maiores e sorgo granífero, com porte menor que o forrageiro, que permitiram maior infiltração da luz solar e menor competição por água e nutrientes no solo.

Em contraposição, os valores de produtividade total foram maiores que os obtidos por Rodrigues Filho et al. (2006) e Rezende et al. (2011), demonstrando que a redução no crescimento dos capins por conta da competição com o sorgo não influenciou negativamente na quantidade final de material a ser ensilado.

Contudo, pela supressão da rebrota do sorgo, os tratamentos com *M. maximus* (SM e SMG) apresentaram menores produtividades totais na segunda colheita, em conjunto com o consórcio de sorgo com guandu-anão (SG), que por não possuir gramíneas forrageiras em sua composição e por apresentar competição do sorgo com o guandu-anão, resultou em produtividade total menor.

Os acúmulos de macronutrientes dos diferentes consórcios apresentados na Tabela 6 representam a quantidade que foi exportada da área ao final do ciclo produtivo. Não foram observadas diferenças significativas no material colhido para silagem de primeiro corte entre os consórcios para nenhum dos macronutrientes. Os nutrientes exportados em maiores quantidades foram o N e o K, resultado condizente com o encontrado por Braz et al. (2004), ao estudar o acúmulo de macronutrientes ao longo do ciclo dos capins *U. brizantha* e *M. maximus*.

Contrariamente, na rebrota foram observadas diferenças significativas para todos os consórcios em todos os nutrientes estudados, sendo os consórcios com *U. brizantha* (SU e SUG) os que propiciaram maiores exportações, os consórcios com *M. maximus*

(SM e SMG) o de menores exportações e os consórcios com guandu-anão (SG) e sorgo solteiro (SS) com valores intermediários.

**Tabela 6** – Acúmulo de macronutrientes no conjunto sorgo + forrageira + guandu-anão no consórcio de sorgo para produção de silagem de primeiro corte e da rebrota com *U. brizantha*; *M. maximus* e/ou guandu-anão no Cerrado.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
	kg ha <sup>-1</sup>					
Primeiro corte						
	ns	ns	ns	ns	ns	ns
SUG	176,6	31,6	113,2	36,1	46,6	25,1
SU	156,8	30,2	108,7	47,3	46,5	24,8
SMG	172,9	28,6	101,8	41,2	51,0	21,1
SM	134,2	29,0	76,7	44,5	66,0	24,4
SG	181,6	29,0	85,2	54,2	56,6	23,9
SS	178,6	30,5	82,0	53,3	55,6	26,8
Média	166,8	29,8	94,6	46,1	53,7	24,3
CV (%)	21,29	21,15	28,72	28,07	32,61	18,28
Rebrota						
	**	**	**	**	**	**
SUG	49,9a	8,8a	32,9a	10,3b	14,2a	6,9a
SU	48,5a	9,3a	33,7a	14,7a	13,1a	7,7a
SMG	16,6c	2,7c	9,3b	4,0c	4,3b	2,0c
SM	12,1c	2,7c	7,2b	3,9c	6,0b	2,3c
SG	27,6c	4,4b	12,8b	8,2b	8,6b	3,6c
SS	33,8b	5,8b	15,6b	10,1b	10,4a	5,1b
Média	31,43	5,6	18,6	8,5	9,4	4,6
CV (%)	30,57	30,07	38,56	33,21	26,87	28,42

Nota: Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, onde: \*\*, \*, ns: (P<0,01), (P<0,05) e (P>0,05); CV (%): Coeficiente de variação. **SUG** – Sorgo com *U. brizantha* e guandu-anão; **SU** – Sorgo com *U. brizantha*; **SMG** – Sorgo com *M. maximus* e guandu-anão; **SM** – Sorgo com *M. maximus*; **SG** – Sorgo com guandu-anão; **SS** – Sorgo solteiro.

Fonte: Dados do próprio autor.

A explicação é encontrada também no trabalho de Braz et al. (2004) que observaram que em idade fenológica mais avançada (a partir dos 90 dias após a semeadura) os capins do gênero *Urochloa* mantêm o crescente acúmulo de macronutrientes, enquanto que os capins do gênero *Megathyrus* têm uma queda na quantidade de macronutrientes em suas folhas, levando à diferença encontrada nos resultados desse trabalho. Embora tenha sido retirado o material da área no primeiro corte, as gramíneas forrageiras que cresceram antes da segunda colheita foram provenientes da rebrota de touceiras já estabelecidas e por isso com idade fenológica avançada.

Contudo, como os acúmulos de macronutrientes nas rebrotas foram consideravelmente menores que os do primeiro corte, devido à ausência de adubação na rebrota, menor precipitação e menor produção de matéria seca total, ao realizar a soma do total de nutrientes exportados da área por consórcio (Tabela 7), não foram observadas diferenças significativas para nenhum dos nutrientes avaliados, comprovando a capacidade de exportação similar entre os consórcios ao longo do ciclo produtivo.

**Tabela 7** – Nutrientes exportados da área no consórcio de sorgo para produção de silagem de primeiro corte e rebrota com *U. brizantha*; *M. maximus* e/ou guandu-anão no Cerrado.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- kg ha <sup>-1</sup> -----					
	ns	ns	ns	ns	ns	ns
SUG	226,6	40,4	146,1	46,4	59,6	32,1
SU	205,3	39,6	142,4	62,0	60,7	32,5
SMG	189,5	31,3	111,1	45,2	55,3	23,1
SM	146,4	31,6	83,9	48,5	71,9	26,7
SG	209,1	33,4	98,0	62,4	65,2	27,6
SS	212,5	36,2	97,6	63,4	66,0	31,8
Média	198,2	35,4	113,2	54,7	63,1	29,0
CV (%)	19,58	19,27	27,83	26,40	28,70	16,16

Nota: Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, onde: \*\*, \*, ns: (P<0,01), (P<0,05) e (P>0,05); CV (%): Coeficiente de variação. **SUG** – Sorgo com *U. brizantha* e guandu-anão; **SU** – Sorgo com *U. brizantha*; **SMG** – Sorgo com *M. maximus* e guandu-anão; **SM** – Sorgo com *M. maximus*; **SG** – Sorgo com guandu-anão; **SS** – Sorgo solteiro.

Fonte: Dados do próprio autor.

O coeficiente de correlação de Pearson representa a relação entre as variáveis comparadas, com valores entre -1 e 1. Quanto mais próximo de -1 tende a uma relação inversamente proporcional entre os atributos e quanto mais próximo de 1 tende a uma relação diretamente proporcional. Segundo Figueiredo Filho e Silva Júnior (2009), quando a correlação é alta, se supõe que o aumento ou decréscimo de uma variável X causa igual efeito na variável Y. Para análise dos dados foi utilizada a classificação de Cohen (1988), que considera, independente do sinal, 0 a 0,09 como correlação inexistente, 0,1 a 0,29 correlação baixa, 0,30 a 0,49 correlação média e 0,50 a 1,0 correlação alta.

Logo, ao se analisar os coeficientes de Pearson (Tabela 8) que compara os atributos discutidos em relação à produtividade de sorgo de primeiro corte, se constatou que a correlação entre altura de planta, diâmetro do colmo e população final é

inexistente ou baixa, havendo pouca influência de um sobre o outro. A proporção das partes de sorgo apresentou correlação alta positiva, alta negativa e baixa positiva para porcentagem de colmos, folha e panícula, na ordem.

**Tabela 8** – Coeficiente de Correlação de Pearson comparando a produtividade do sorgo com altura de planta (ALTP), diâmetro basal do colmo (DBC), população final (POP) e porcentagens de colmo, folha e panícula em plantas de sorgo e comparando produtividade total do consórcio com acúmulo de macronutrientes no material colhido no consórcio de sorgo para produção de silagem com *U. brizantha*; *M. maximus* e/ou guandu-anão no Cerrado.

Variáveis comparadas	Coeficiente de Pearson	
	Primeiro corte	Rebrota
PROD - ALTP	0,08948	-0,22169
PROD – DBC	0,07329	0,04367
PROD – POP	0,14637	0,19907
PROD – %Colmo	0,69280	0,16879
PROD – %Folha	-0,64800	-0,32512
PROD – %Panícula	-0,22889	0,16274
PROD – N	0,82521	0,97361
PROD – P	0,81852	0,97950
PROD – K	0,42123	0,89636
PROD – Ca	0,79579	0,95882
PROD – Mg	0,68590	0,94939
PROD – S	0,64608	0,95487

Fonte: Dados do próprio autor.

Como a produtividade de sorgo para silagem é mensurada com base na massa final colhida por área, é esperado que haja correlação positiva com a parte da planta que possui maior massa específica e, conseqüentemente, correlação negativa com a variável com menor massa específica. Ou seja, quanto maior a participação dos colmos no material a ser colhido maior será a massa final desse material. Como a panícula representa uma porção muito pequena da massa final, sua influência na produtividade é pequena. Na colheita da rebrota não foi observada correlação alta entre nenhum dos atributos e a produtividade de matéria seca.

Quando se trata da produtividade e acúmulo de macronutrientes no material colhido para ensilagem foi notada correlação alta positiva para todos os macronutrientes, com exceção do K no primeiro corte, e com destaque para o acúmulo de N e P que apresentaram valores de correlação maiores. Verificou-se também uma

correlação mais alta na rebrota que no primeiro corte. Essa correlação demonstra a importância da nutrição residual balanceada das plantas para um aumento da produtividade, em especial quando as plantas são submetidas a situações de estresse e alta competição interespecífica, como é o caso da rebrota.

Assim, como não foram observadas diferenças significativas para a quantidade de nutrientes exportada da área entre os consórcios (Tabela 7), também não foram encontradas na quantidade de N, Ca, Mg e S que permaneceram na área (Tabela 9), determinada pelo acúmulo de macronutrientes dos colmos remanescentes após a colheita da rebrota.

**Tabela 9** – Produtividade de matéria seca dos colmos remanescentes (PMSc) e acúmulo de macronutrientes dos colmos remanescentes no consórcio de sorgo para produção de silagem com *U. brizantha*; *M. maximus* e/ou guandu-anão no Cerrado.

Tratamento	PMSc t ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>					
		N	P	K	Ca	Mg	S
	ns	ns	**	**	ns	ns	ns
SUG	1,90	9,58	1,81b	9,27b	4,18	4,11	5,70
SU	2,17	9,08	2,28a	14,89a	4,04	3,99	5,29
SMG	-	-	-	-	-	-	-
SM	-	-	-	-	-	-	-
SG	1,75	7,37	1,35b	3,55c	3,37	3,31	5,37
SS	1,75	9,76	1,52b	6,63b	4,12	3,75	4,03
Média	1,89	8,94	1,74	8,58	3,93	3,79	5,10
CV (%)	21,50	15,81	16,38	26,12	28,73	29,99	31,80

Nota: Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, onde: \*\*, \*, ns: (P<0,01), (P<0,05) e (P>0,05); CV (%): Coeficiente de variação. **SUG** – Sorgo com *U. brizantha* e guandu-anão; **SU** – Sorgo com *U. brizantha*; **SMG** – Sorgo com *M. maximus* e guandu-anão; **SM** – Sorgo com *M. maximus*; **SG** – Sorgo com guandu-anão; **SS** – Sorgo solteiro.

Fonte: Dados do próprio autor.

Não houve diferenças significativas para a produtividade de matéria seca dos colmos remanescentes entre os tratamentos, excetuando-se os consórcios com *M. maximus*, que como citado anteriormente, suprimiu completamente a rebrota do sorgo. Com relação ao P e ao K, o tratamento que resultou em maior quantidade desses nutrientes na área foi o sorgo com *U. brizantha* (SU), o que pode ser explicado pela maior participação do sorgo no material final (Tabela 5) que nos demais tratamentos, demonstrando as diferentes taxas de absorção e aproveitamento dos nutrientes pelas diferentes espécies.

#### 4.2 Formação de pasto de *U. brizantha* e *M. maximus*.

Após a colheita da rebrota não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos para a produtividade de matéria seca das forrageiras (Tabela 10) aos 30 dias de formação do pasto, embora as parcelas subsequentes ao consórcio de sorgo com *M. maximus* (SM) tenham resultado em maior porcentagem de matéria seca que as demais.

**Tabela 10** – Produtividade e porcentagem de matéria seca das forrageiras coletadas aos 30, 60 e 90 dias após a formação do pasto em sucessão ao consórcio de sorgo para produção de silagem com *U. brizantha*; *M. maximus* e/ou guandu-anão no Cerrado.

Tratamento	PMS 30	PMS 60	PMS 90	MS 30	MS 60	MS 90
	kg ha <sup>-1</sup>			%		
	ns	**	*	*	**	*
SUG	700,0	352,5a	580,0a	31,3b	30,5b	32,8b
SU	413,5	260,0b	293,3b	34,8b	27,5c	44,6a
SMG	575,0	190,0b	266,7b	40,5b	34,9a	51,9a
SM	475,0	225,0b	493,3a	43,5a	35,7a	38,6b
SG	-	-	-	-	-	-
SS	-	-	-	-	-	-
Média	540,6	256,9	408,3	37,5	32,2	42,0
CV (%)	42,05	15,08	34,95	14,41	5,13	16,31

Nota: Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, onde: \*\*, \*, ns: (P<0,01), (P<0,05) e (P>0,05); CV (%): Coeficiente de variação. **SUG** – Sorgo com *U. brizantha* e guandu-anão; **SU** – Sorgo com *U. brizantha*; **SMG** – Sorgo com *M. maximus* e guandu-anão; **SM** – Sorgo com *M. maximus*; **SG** – Sorgo com guandu-anão; **SS** – Sorgo solteiro.

Fonte: dados do próprio autor.

Aos 60 dias de formação do pasto houve maior produtividade de matéria seca no tratamento sorgo com *U. brizantha* e guandu-anão (SUG), assim como aos 90 dias, embora na última coleta o tratamento de sorgo com *M. maximus* (SM) tenha se equiparado estatisticamente ao SUG, devido a um aumento na precipitação pluvial (Figura 2) já que essa espécie é mais susceptível ao déficit hídrico. As porcentagens de matéria seca variaram dentre os períodos e entre os tratamentos (Tabela 10).

Além da determinação da produtividade e porcentagem de matéria seca, também foram analisados os acúmulos de macronutrientes de cada forrageira em cada época de corte, apresentados na Tabela 11. Aos 30 dias após a formação do pasto não foram observadas diferenças significativas entre tratamentos para nenhum dos nutrientes.

Aos 60 e 90 dias de formação do pasto foram observados maiores acúmulos nas parcelas provenientes do consórcio de sorgo com *U. brizantha* e guandu-anão (SUG) para N, P, K, Mg e S, devido ao maior crescimento do guandu-anão nas parcelas desse tratamento (Tabela 5).

**Tabela 11** – Acúmulo de macronutrientes nas forrageiras coletadas aos 30, 60 e 90 dias após a formação do pasto em sucessão ao consórcio de sorgo para produção de silagem com *U. brizantha*; *M. maximus* e/ou guandu-anão no Cerrado.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
	kg ha <sup>-1</sup>					
30 dias						
	ns	ns	ns	ns	ns	ns
SUG	13,35	1,51	9,17	2,82	3,55	0,73
SU	9,66	1,07	7,07	3,01	1,74	0,70
SMG	7,83	1,52	6,13	4,69	2,33	0,77
SM	7,81	1,12	5,40	2,60	2,23	0,65
SG	-	-	-	-	-	-
SS	-	-	-	-	-	-
Média	9,66	1,31	6,94	3,28	2,46	0,71
CV (%)	45,59	47,51	38,10	44,56	40,66	43,11
60 dias						
	**	**	**	ns	**	*
SUG	8,28a	0,61a	4,89a	1,47	1,77a	0,44a
SU	4,53b	0,49b	4,70a	1,73	1,03b	0,36a
SMG	2,41c	0,34c	2,23b	1,31	0,70c	0,21b
SM	2,97c	0,36c	2,27b	1,08	1,01b	0,30b
SG	-	-	-	-	-	-
SS	-	-	-	-	-	-
Média	4,54	0,45	3,52	1,40	1,13	0,33
CV (%)	22,69	14,22	21,37	22,46	15,78	21,31
90 dias						
	**	*	**	*	*	*
SUG	15,07a	1,20a	8,80a	2,11a	2,40a	0,95a
SU	5,82c	0,60b	4,60b	0,92b	0,88b	0,41b
SMG	5,17c	0,78b	3,58b	1,28b	0,83b	0,38b
SM	10,43b	1,02a	6,06b	2,94a	2,12a	0,55b
SG	-	-	-	-	-	-
SS	-	-	-	-	-	-
Média	9,12	0,90	5,76	1,81	1,55	0,57
CV (%)	28,61	25,82	22,98	43,15	47,00	37,54

Nota: Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, onde: \*\*, \*, ns: (P<0,01), (P<0,05) e (P>0,05); CV (%): Coeficiente de variação. **SUG** – Sorgo com *U. brizantha* e guandu-anão; **SU** – Sorgo com *U. brizantha*; **SMG** – Sorgo com *M. maximus* e guandu-anão; **SM** – Sorgo com *M. maximus*; **SG** – Sorgo com guandu-anão; **SS** – Sorgo solteiro.

Fonte: Dados do próprio autor.

Entretanto, com um aumento da precipitação (Figura 2) entre os 60 e 90 dias, o tratamento com sorgo e *M. maximus* (SM), gramínea forrageira mais responsiva à quantidade de água disponível no solo, apresentou elevação nos valores acumulados de nutrientes em relação aos demais períodos de avaliação, com destaque para o P, Ca e Mg que se equipararam ao SUG. De maneira geral, nos demais tratamentos também foram observados os efeitos positivos do aumento da precipitação na absorção e acúmulo dos nutrientes.

A somatória do acúmulo de macronutrientes das três épocas de avaliação resultou na quantidade de nutrientes exportados da área pela simulação do pastoreio das gramíneas (Tabela 12), não resultando em diferenças significativas entre os tratamentos para o P, Ca e S.

**Tabela 12** – Nutrientes exportados da área pelo pastoreio após o no consórcio de sorgo para produção de silagem de primeiro corte e rebrota com *U. brizantha*; *M. maximus* e/ou guandu-anão no Cerrado.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
	kg ha <sup>-1</sup>					
	**	ns	**	ns	**	ns
SUG	36,69a	3,32	22,85a	6,40	7,71a	2,12
SU	20,01b	2,16	16,36b	5,66	3,65b	1,47
SMG	15,41b	2,64	11,93b	7,29	3,86b	1,37
SM	21,21b	2,50	13,73b	6,62	5,36b	1,49
SG	-	-	-	-	-	-
SS	-	-	-	-	-	-
Média	23,33	2,66	16,22	6,49	5,15	1,61
CV (%)	22,34	22,61	20,65	28,22	25,58	27,75

Nota: Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, onde: \*\*, \*, ns: (P<0,01), (P<0,05) e (P>0,05); CV (%): Coeficiente de variação. **SUG** – Sorgo com *U. brizantha* e guandu-anão; **SU** – Sorgo com *U. brizantha*; **SMG** – Sorgo com *M. maximus* e guandu-anão; **SM** – Sorgo com *M. maximus*; **SG** – Sorgo com guandu-anão; **SS** – Sorgo solteiro.

Fonte: Dados do próprio autor.

Nos demais nutrientes, N, K e Mg, o tratamento de sorgo com *U. brizantha* e guandu-anão (SUG) foi o que resultou em maiores exportações, provavelmente por conta da melhor adaptação do sistema radicular dessa gramínea forrageira em condições de baixa precipitação (Figura 2) aliado à maior disponibilidade de nitrogênio no solo resultado da decomposição das raízes da leguminosa, facilitando ainda mais a absorção e acúmulo de nutrientes nesse tratamento que nos demais.

Quando se estuda a correlação entre a produtividade de matéria seca e o acúmulo de macronutrientes das forrageiras nas diferentes épocas de avaliação (Tabela 13), foi observado o mesmo para com o sorgo (Tabela 8), que é uma correlação alta entre todos os nutrientes e a produtividade em todas as épocas, comprovando que quanto maior a absorção e acúmulo de nutrientes nas plantas, maior é a produtividade obtida.

**Tabela 13** – Coeficiente de Correlação de Pearson comparando a produtividade de matéria seca com acúmulo de macronutrientes nas forrageiras coletadas aos 30, 60 e 90 dias após a formação do pasto em sucessão ao consórcio de sorgo para produção de silagem com *U. brizantha*; *M. maximus* e/ou guandu-anão no Cerrado.

Variáveis comparadas	Coeficiente de Pearson		
	30 dias	60 dias	90 dias
PMS – N	0,80771	0,92994	0,95323
PMS – P	0,93794	0,92331	0,91647
PMS – K	0,87057	0,83617	0,91045
PMS – Ca	0,69064	0,55220	0,78759
PMS – Mg	0,93491	0,94220	0,98122
PMS – S	0,85094	0,87857	0,88907

Fonte: Dados do próprio autor.

**Tabela 14** – Total de nutrientes exportados da área pela colheita dos consórcios e pelo pastoreio, no consórcio de sorgo para produção de silagem rebrota com *U. brizantha*; *M. maximus* e/ou guandu-anão no Cerrado.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
	kg ha <sup>-1</sup>					
	ns	ns	**	ns	ns	ns
SUG	263,3	43,8	169,0a	52,8	67,3	34,2
SU	225,3	41,8	158,8a	67,7	64,4	34,0
SMG	204,9	33,9	123,0b	52,5	59,1	24,4
SM	167,6	34,1	97,6b	55,1	77,3	28,2
SG	209,1	33,4	98,0b	62,4	65,2	27,6
SS	212,5	36,2	97,6b	63,4	66,0	31,8
Média	213,8	37,2	124,0	59,0	66,6	30,1
CV (%)	18,47	18,51	24,57	24,83	27,58	15,91

Nota: Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, onde: \*\*, \*, ns: (P<0,01), (P<0,05) e (P>0,05); CV (%): Coeficiente de variação. **SUG** – Sorgo com *U. brizantha* e guandu-anão; **SU** – Sorgo com *U. brizantha*; **SMG** – Sorgo com *M. maximus* e guandu-anão; **SM** – Sorgo com *M. maximus*; **SG** – Sorgo com guandu-anão; **SS** – Sorgo solteiro.

Fonte: Dados do próprio autor.

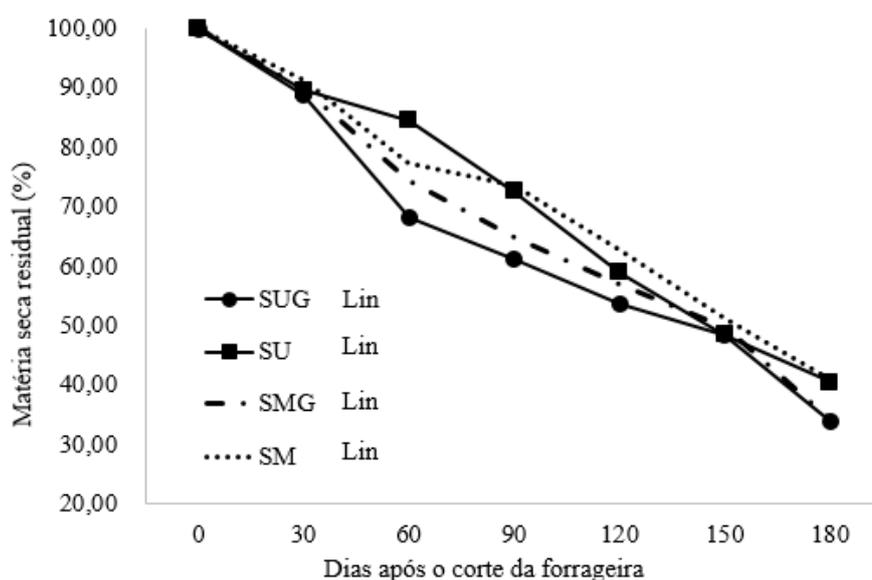
Se antes, ao analisar os nutrientes exportados da área em ambas colheitas dos consórcios para produção de silagem (Tabela 7), não foi observada diferença significativa para nenhum dos nutrientes, ao somar os valores exportados pela

simulação do pastoreio aos da colheita do sorgo (Tabela 14), houve diferença significativa para o K, que foi exportado em maior quantidade nos tratamentos com *U. brizantha* (SUG e SU), refletindo os resultados encontrados na Tabela 11.

### 4.3 Decomposição da palhada

As porcentagens de matéria seca residual das gramíneas forrageiras (Figura 9) representam a velocidade de decomposição da palhada formada. Observou-se que os tratamentos sem guandu-anão (SU e SM) tiveram uma decomposição mais lenta que os tratamentos com a leguminosa (SUG e SMG), provando que a quantidade de nitrogênio liberado pelas raízes em decomposição do guandu-anão foi suficiente para aumentar a disponibilidade desse nutriente no solo e diminuir a relação C/N da palhada dos capins cultivados nessas parcelas.

**Figura 9** – Porcentagem de matéria seca residual da palhada de *U. brizantha* e *M. maximus* após consórcio de sorgo para produção de silagem com ou sem guandu-anão no Cerrado.



Nota: Lin: equação linear.  
Fonte: dados do próprio autor.

Rosello (1992), estudando a integração lavoura-pecuária no período de 1964 a 1990, observou resultados semelhantes onde houve um aumento de 2% na relação C/N em parcelas onde não houve a adição de leguminosas. Para Silva, V. et al. (2011) uma

alta relação C/N é desejável na forrageira utilizada na ILP pois diminui a velocidade de degradação da palhada pelos microrganismos, aumentando o tempo de cobertura do solo.

A comparação entre as espécies demonstra que a partir dos 90 dias, a gramínea do gênero *Urochloa* tem decomposição mais rápida que do gênero *Megathyrsus*. Todos os consórcios estudados atingiram 50% de decomposição da palhada após os 120 dias.

#### 4.4 Soja

Os dados dos componentes da produção da soja semeada em sucessão aos consórcios para silagem estão apresentados na Tabela 15. Não foram observadas diferenças significativas para nenhuma das avaliações, com exceção da população final de plantas, que teve seus maiores valores nas parcelas antes ocupadas com consórcio de sorgo com *M. maximus*, com (SSMG) ou sem (SSM) guandu-anão, e de sorgo consorciado com guandu-anão (SSG).

Isso pode ser explicado pela maior quantidade exportada de macronutrientes da área pelas forrageiras do gênero *Urochloa*, observado na Tabela 14, o que pode ter influenciado no desenvolvimento inicial das plântulas de soja, e também pela ausência de palhada na superfície do solo da parcela antes ocupada pelo sorgo solteiro (SSS) que, por não possuir forrageiras consorciadas, apresentou menor retenção de água na superfície do solo no momento da germinação.

Contudo, não houve influência negativa do estande final sobre a produtividade, que não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos, condizente com o observado por Veiga et al. (2012) e ao contrário do observado por Vilela e Martha Júnior (2010) que constataram ganhos de 10% na produtividade da soja quando em sucessão a pastagens e por Vilela et al. (2011), que obtiveram ganhos de 17% na produtividade da soja em sucessão a três anos de pastagem de *U. brizantha* cv. Marandu.

Essa diferença pode ser devido à exportação de grande quantidade de matéria seca nos dois anos anteriores por parte da silagem dos consórcios com sorgo em detrimento da pastagem citada pelos autores, pois embora tenha o consumo da matéria seca por parte dos animais, uma grande quantidade de nutrientes volta ao sistema na forma de excrementos e urina.

**Tabela 15** – Altura de inserção da primeira vagem (AIPV), população final (POP), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por planta (NGP), massa de cem grãos (M100) e produtividade (PROD) de plantas de soja em sucessão ao consórcio de sorgo para produção de silagem com *U. brizantha*; *M. maximus* e/ou guandu-anão no Cerrado.

Tratamento	AIPV	POP	NVP	NGP	M100	PROD
	cm	plantas ha <sup>-1</sup>	vagens planta <sup>-1</sup>	grãos planta <sup>-1</sup>	g	kg ha <sup>-1</sup>
	ns	**	ns	ns	ns	ns
SSUG	14,8	295062b	47	125	13,7	3235
SSU	16,4	300000b	40	105	13,5	3287
SSMG	16,1	347531a	46	119	12,7	3592
SSM	15,6	344445a	43	113	12,6	3610
SSG	17,1	327778a	42	110	13,5	3802
SSS	16,8	283951b	39	106	13,5	3894
Média	16,1	316461	43	113	13,2	3570
CV (%)	8,05	7,45	13,51	14,59	7,65	9,75

Nota: Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, onde: \*\*, \*, ns: (P<0,01), (P<0,05) e (P>0,05); CV (%): Coeficiente de variação. **SSUG** – Soja após sorgo com *U. brizantha* e guandu-anão; **SSU** – Soja após sorgo com *U. brizantha*; **SSMG** – Soja após sorgo com *M. maximus* e guandu-anão; **SSM** – Soja após sorgo com *M. maximus*; **SSG** – Soja após sorgo com guandu-anão; **SSS** – Soja após sorgo solteiro.

Fonte: Dados do próprio autor.

Todos os tratamentos da soja atingiram produtividades médias maiores que a média nacional (Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB, 2016) estipulada em 48 sacas ha<sup>-1</sup>.

Da mesma forma, não houve diferença significativa para o acúmulo de macronutrientes nos grãos de soja (Tabela 16) entre os tratamentos, pois apresentaram mesmo aporte de nutrientes na semeadura e as produtividades, que são a base de cálculo do acúmulo, não diferiram entre si.

Contudo, foi observada correlação da produtividade com o acúmulo de todos os macronutrientes (Tabela 17), com destaque para o P. Nas demais avaliações, foram constatadas correlações altas positivas apenas para o número de vagens por planta, pois quanto maior a quantidade de vagens maior é a produtividade.

**Tabela 16** – Acúmulo de macronutrientes nos grãos de soja em sucessão ao consórcio de sorgo para produção de silagem com *U. brizantha*; *M. maximus* e/ou guandu-anão no Cerrado.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
	kg ha <sup>-1</sup>					
	ns	ns	ns	ns	ns	ns
SSUG	190,8	17,2	36,1	5,6	6,0	9,0
SSU	191,1	17,5	40,5	6,9	6,8	9,3
SSMG	199,6	17,4	41,3	6,5	7,1	9,6
SSM	223,0	18,6	44,3	7,2	7,1	10,4
SSG	195,4	16,6	36,5	5,8	5,9	9,2
SSS	193,8	16,1	35,7	5,3	5,3	9,0
Média	198,9	17,2	39,1	6,2	6,4	9,4
CV (%)	10,48	10,44	14,08	16,44	18,05	10,26

Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, onde: \*\*, \*, ns: (P<0,01), (P<0,05) e (P>0,05); CV (%): Coeficiente de variação. **SSUG** – Soja após sorgo com *U. brizantha* e guandu-anão; **SSU** — Soja após sorgo com *U. brizantha*; **SSMG** – Soja após sorgo com *M. maximus* e guandu-anão; **SSM** – Soja após sorgo com *M. maximus*; **SSG** – Soja após sorgo com guandu-anão; **SSS** – Soja após sorgo solteiro.

Fonte: dados do próprio autor.

**Tabela 17** – Coeficiente de Correlação de Pearson comparando a produtividade com altura de inserção da primeira vagem (AIPV), população final (POP), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por planta (NGP), massa de mil grãos (M1000) e acúmulo de macronutrientes nos grãos de soja em sucessão ao consórcio de sorgo para produção de silagem com *U. brizantha*; *M. maximus* e/ou guandu-anão no Cerrado.

Variáveis comparadas	Coeficiente de Pearson
PROD – AIPV	-0,36832
PROD – POP	-0,11454
PROD – NVP	0,50377
PROD – NGP	0,46221
PROD – M1000	-0,04363
PROD – N	0,67792
PROD – P	0,81779
PROD – K	0,67385
PROD – Ca	0,51510
PROD – Mg	0,54739
PROD – S	0,73316

Fonte: Dados do próprio autor.

## 4.5 Milho

Os dados biométricos e da produção do milho semeado em sucessão aos consórcios para ensilagem estão apresentados na Tabela 18. Embora tenham sido realizadas três dessecações na pastagem, durante a condução do experimento foi observada rebrota dos capins do gênero *Megathyrsus* (Figura 10) quando o milho já possuía altura suficiente para impedir a entrada de máquinas na área para controle químico das forrageiras, afetando negativamente a produtividade nas parcelas que sucederam os consórcios com essa forrageira (MSMG e MSM).

**Tabela 18** – Altura de planta (ALTP), altura de inserção da espiga (AIE), diâmetro basal do colmo (DBC), população final (POP), número de grãos por espiga (NGE), massa de cem grãos (M100) e produtividade (PROD) de plantas de milho em sucessão ao consórcio de sorgo para produção de silagem com *U. brizantha*; *M. maximus* e/ou guandu-anão no Cerrado.

Tratamento	ALTP	AIE	DBC	POP	NGE	M100	PROD
	m	m	cm	ha <sup>-1</sup>	grão espiga <sup>-1</sup>	g	kg ha <sup>-1</sup>
	**	**	**	ns	ns	ns	*
MSUG	2,20c	0,95b	1,76a	68519	534	290,5	7528a
MSU	2,40a	1,04a	1,88a	70371	565	263,8	7233a
MSMG	2,30b	1,03a	1,74a	72839	552	302,8	5713b
MSM	2,13c	0,91b	1,47b	67902	503	281,8	5444b
MSG	2,14c	0,94b	1,41b	61111	552	269,2	5000b
MSS	2,19c	0,96b	1,47b	70371	554	290,1	6082b
Média	2,22	0,97	1,62	68519	543	283,0	6167
CV (%)	2,26	4,46	6,85	7,80	9,18	9,78	16,47

Nota: Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, onde: \*\*, \*, ns: (P<0,01), (P<0,05) e (P>0,05); CV (%): Coeficiente de variação. **MSUG** – Milho após sorgo com *U. brizantha* e guandu-anão; **MSU** – Milho após sorgo com *U. brizantha*; **MSMG** – Milho após sorgo com *M. maximus* e guandu-anão; **MSM** – Milho após sorgo com *M. maximus*; **MSG** – Milho após sorgo com guandu-anão; **MSS** – Milho após sorgo solteiro.

Fonte: Dados do próprio autor.

Como o milho possui dossel que permite a entrada da luz solar, diferentemente da soja que possui um dossel que proporciona o sombreamento total e a supressão de outras espécies na área, as parcelas que não foram precedidas por pastagens (MSG e MSS) permitiram o aparecimento de plantas daninhas que competiram com o milho e que não estavam presentes nas áreas precedidas pelos consórcios com *U. brizantha* (MSUG e MSU) pois a palhada deixada sobre o solo pela dessecação dessa forrageira

suprimiu o aparecimento de outras espécies. Borghi e Crusciol (2007) verificaram controle de até 95% das plantas daninhas em consórcios de milho com *U. brizantha*.

**Figura 10** – Rebrotas do *M. maximus* entre as plantas de milho.



Fonte: Dados do próprio autor.

Portanto, aliada a palhada sobre o solo e menor capacidade de rebrota do capim, os tratamentos que proporcionaram maiores produtividades foram os que ocuparam áreas antes precedidas por sorgo consorciado com *U. brizantha*, com (MSUG) ou sem (MSU) guandu-anão. As produtividades de milho em todos os tratamentos também superaram a média nacional estimada pela Conab (2016) em 70 sacas ha<sup>-1</sup>.

Esses tratamentos foram também os que apresentaram maiores valores de diâmetro basal do colmo, o que é explicado pela alta correlação positiva entre ambos (Tabela 19). Ainda sobre os coeficientes de correlação, embora tenha sido observada diferença significativa entre os tratamentos para altura de plantas e de inserção da espiga, não houve correlação alta com a produtividade, ao contrário do observado por Paziani et al. (2009), que encontraram correlações altas positivas (0,57) entre altura de planta e produção de grãos de milho, provavelmente pela diferença genética entre os híbridos desse trabalho e do citado.

Como houve uniformidade de semeadura e de condução do experimento, não foram observadas diferenças significativas para população final de plantas, assim como

para número de grãos por espiga e massa de mil grãos, características genéticas e pouco influenciadas pelo ambiente, quando em condições controladas de pragas e doenças.

Ao contrário da soja, no milho sucessor aos consórcios foram observadas diferenças significativas nos acúmulos de todos os macronutrientes (Tabela 19), salvo o enxofre. Como o acúmulo é calculado com base na produtividade, e como os tratamentos que apresentaram maiores produtividades foram os que sucederam os consórcios com *U. brizantha* (MSUG e MSU), foram estes também os que apresentaram maiores acúmulos. Além da maior produtividade, a palhada da *U. brizantha* possui velocidade de decomposição maior que a do *M. maximus* (Figura 9), resultando em liberação mais rápida dos nutrientes presentes na palhada.

**Tabela 19** – Acúmulo de macronutrientes nos grãos de milho em sucessão ao consórcio sorgo para produção de silagem com *U. brizantha*; *M. maximus* e/ou guandu-anão no Cerrado.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
	kg ha <sup>-1</sup>					
	**	**	**	*	**	ns
MSUG	105,6a	18,3a	30,9a	0,66a	5,9a	7,2
MSU	97,4a	21,1a	30,3a	0,63a	6,3a	7,3
MSMG	70,1b	14,8b	21,5b	0,50b	4,2b	6,0
MSM	66,5b	15,7b	21,0b	0,47b	4,0b	5,7
MSG	58,5b	10,5b	14,2c	0,44b	5,6c	4,8
MSS	70,6b	13,6b	20,3b	0,53b	3,4b	6,3
Média	78,1	15,7	23,1	0,54	4,4	6,2
CV (%)	17,22	18,55	16,91	16,33	15,88	19,66

Nota: Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, onde: \*\*, \*, ns: (P<0,01), (P<0,05) e (P>0,05); CV (%): Coeficiente de variação. **MSUG** – Milho após sorgo com *U. brizantha* e guandu-anão; **MSU** – Milho após sorgo com *U. brizantha*; **MSMG** – Milho após sorgo com *M. maximus* e guandu-anão; **MSM** – Milho após sorgo com *M. maximus*; **MSG** – Milho após sorgo com guandu-anão; **MSS** – Milho após sorgo solteiro.

Fonte: Dados do próprio autor.

A diferença de resultados constatada entre as culturas demonstra a maior susceptibilidade do milho em relação à cultura anterior, demonstrando a importância do conhecimento do histórico da área para condução correta da cultura. Assim como nas demais, no milho também foram observadas correlações altas positivas (Tabela 20) entre o acúmulo de macronutrientes e a produtividade, com destaque para o Ca.

**Tabela 20** – Coeficiente de Correlação de Pearson comparando a produtividade com altura de planta (ALTP), altura de inserção da espiga (AIE), diâmetro basal do colmo (DBC), população final (POP), número de grãos por espiga (NGE), massa de mil grãos (M1000) e acúmulo de macronutrientes nos grãos de milho em sucessão ao consórcio de sorgo para produção de silagem com *U. brizantha*; *M. maximus* e/ou guandu-anão no Cerrado.

Variáveis comparadas	Coeficiente de Pearson
PROD – ALTP	0,45234
PROD – AIE	0,35422
PROD – DBC	0,63133
PROD – POP	0,18543
PROD – NGE	0,21426
PROD – M1000	0,14213
PROD – N	0,96780
PROD – P	0,82294
PROD – K	0,93196
PROD – Ca	1,00000
PROD – Mg	0,85985
PROD – S	0,94832

Fonte: Dados do próprio autor.

#### 4.6 Análise de solo: atributos químicos e físicos

A probabilidade do teste F na análise de variância para todos os atributos físicos e químicos analisados se encontra na Tabela 21 em conjunto com os respectivos coeficientes de variação. Foram observadas diferenças entre os tratamentos para todos os atributos químicos e para microporosidade em ambas profundidades. A macroporosidade e a densidade do solo não diferiram entre os tratamentos. Veiga et al (2012) também não registraram diferenças nos atributos físicos do solo após período de pastagem de inverno. Todos os atributos, sejam químicos ou físicos apresentaram diferenças significativas entre os anos analisados.

Os contrastes ortogonais para os teores de P, K, Ca e Mg estão apresentados na Tabela 22, os contrastes para acidez potencial, pH, matéria orgânica e estoque de carbono estão na Tabela 23, e os contrastes para CTC, saturação por bases e microporosidade estão na Tabela 24. Como não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos, as médias e contrastes ortogonais para macroporosidade e densidade do solo estão apresentados na Tabela 25.

**Tabela 21** – Probabilidade do teste F na análise de variância para os atributos químicos e físicos, nas camadas de 0 a 10 e 10 a 20 cm, do LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico argiloso analisados por quatro anos consecutivos.

Variável	Prof. (cm)	F Trat.	F Bloco	F Ano	F Trat.xAno	CV <sub>1</sub>	CV <sub>2</sub>
Atributos Químicos							
P	0 a 10	**	**	**	**	9,08	8,94
	10 a 20	**	**	**	**	21,35	21,94
MO	0 a 10	**	**	**	**	3,00	3,36
	10 a 20	**	**	**	**	4,70	5,24
pH	0 a 10	**	**	**	**	2,85	4,97
	10 a 20	**	**	**	*	3,26	6,60
K	0 a 10	**	**	**	**	7,55	14,78
	10 a 20	**	**	**	**	13,79	21,03
Ca	0 a 10	**	*	**	**	6,94	7,33
	10 a 20	**	**	**	**	13,58	15,66
Mg	0 a 10	**	ns	**	**	15,23	13,65
	10 a 20	**	ns	**	**	20,44	18,38
H+Al	0 a 10	**	*	**	**	8,67	9,23
	10 a 20	**	ns	**	**	7,42	8,82
CTC	0 a 10	**	*	**	**	4,15	4,40
	10 a 20	**	ns	**	**	4,82	5,22
V%	0 a 10	**	ns	**	**	7,51	8,22
	10 a 20	**	ns	**	**	11,01	12,81
EC	0 a 10	**	**	**	**	5,15	5,13
	10 a 20	**	**	**	*	4,83	5,43
Atributos Físicos							
MacroP	0 a 10	ns	**	**	ns	32,25	33,43
	10 a 20	ns	ns	**	ns	27,23	28,29
MicroP	0 a 10	**	**	**	**	3,39	4,46
	10 a 20	**	ns	**	**	3,18	3,58
Ds	0 a 10	ns	**	**	ns	3,51	3,62
	10 a 20	ns	ns	**	ns	2,86	2,98

Nota: \*\*, \*, ns: (P<0,01), (P<0,05) e (P>0,05); CV (%): Coeficiente de variação.

Fonte: Dados do próprio autor.

**Tabela 22** – Contrastes ortogonais para a interação Tratamento x Ano dos atributos químicos P, K, Ca e Mg, nas camadas de 0 a 10 e 10 a 20 cm, do LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico argiloso analisados por quatro anos consecutivos.

Tratamento	Contraste (p)							
	P		K		Ca		Mg	
	0 a 10	10 a 20	0 a 10	10 a 20	0 a 10	10 a 20	0 a 10	10 a 20
SSUG	2° G	3° G	2° G	3° G	3° G	ns	Lin	3° G
SSU	Lin	3° G	3° G	3° G	3° G	2° G	2° G	3° G
SSMG	2° G	Lin	Lin	Lin	3° G	ns	Lin	ns
SSM	2° G	2° G	Lin	Lin	3° G	ns	3° G	3° G
SSG	2° G	3° G	Lin	Lin	3° G	3° G	3° G	2° G
SSS	2° G	2° G	Lin	Lin	3° G	3° G	3° G	2° G
MSUG	2° G	3° G	2° G	3° G	3° G	Lin	Lin	3° G
MSU	2° G	3° G	3° G	3° G	3° G	2° G	2° G	3° G
MSMG	2° G	Lin	Lin	Lin	3° G	ns	2° G	ns
MSM	2° G	2° G	Lin	Lin	3° G	ns	3° G	3° G
MSG	Lin	3° G	Lin	Lin	3° G	3° G	3° G	3° G
MSS	2° G	2° G	Lin	Lin	3° G	3° G	3° G	2° G

Nota: Lin: equação linear. 2° G: equação quadrática. 3° G: equação cúbica. ns: não significativo.

Fonte: Dados do próprio autor.

**Tabela 23** – Contrastes ortogonais para a interação Tratamento x Ano dos atributos químicos acidez potencial (H+Al), pH, matéria orgânica (MO) e estoque de carbono (EC), nas camadas de 0 a 10 e 10 a 20 cm, do LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico argiloso analisados por quatro anos consecutivos.

Tratamento	Contraste (p)							
	H+Al		pH		MO		EC	
	0 a 10	10 a 20	0 a 10	10 a 20	0 a 10	10 a 20	0 a 10	10 a 20
SSUG	Lin	3° G	Lin	ns	2° G	2° G	3° G	3° G
SSU	2° G	ns	2° G	3° G	2° G	3° G	Lin	3° G
SSMG	3° G	3° G	3° G	3° G	3° G	3° G	2° G	3° G
SSM	Lin	3° G	3° G	3° G	2° G	2° G	3° G	3° G
SSG	2° G	3° G	2° G	2° G	2° G	3° G	3° G	3° G
SSS	2° G	2° G	2° G	3° G	2° G	3° G	3° G	3° G
MSUG	Lin	3° G	Lin	Lin	2° G	2° G	3° G	3° G
MSU	2° G	ns	2° G	3° G	2° G	3° G	Lin	3° G
MSMG	3° G	3° G	3° G	3° G	3° G	3° G	2° G	3° G
MSM	Lin	3° G	3° G	3° G	Lin	Lin	3° G	3° G
MSG	2° G	3° G	2° G	2° G	3° G	3° G	3° G	3° G
MSS	2° G	2° G	2° G	3° G	2° G	3° G	3° G	3° G

Nota: Lin: equação linear. 2° G: equação quadrática. 3° G: equação cúbica. ns: não significativo.

Fonte: Dados do próprio autor.

**Tabela 24** – Contrastes ortogonais para a interação Tratamento x Ano dos atributos CTC, saturação por bases (V%) e microporosidade (MI), nas camadas de 0 a 10 e 10 a 20 cm, do LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico argiloso analisados por quatro anos consecutivos.

Tratamento	Contraste (p)					
	CTC		V%		MI	
	0 a 10	10 a 20	0 a 10	10 a 20	0 a 10	10 a 20
SSUG	3° G	3° G	3° G	3° G	3° G	2° G
SSU	3° G	ns	2° G	3° G	3° G	2° G
SSMG	3° G	3° G	3° G	3° G	3° G	2° G
SSM	3° G	3° G	Lin	2° G	3° G	2° G
SSG	3° G	3° G	Lin	3° G	2° G	2° G
SSS	3° G	3° G	2° G	2° G	2° G	2° G
MSUG	3° G	3° G	Lin	3° G	3° G	2° G
MSU	3° G	ns	Lin	3° G	3° G	2° G
MSMG	3° G	3° G	3° G	2° G	3° G	2° G
MSM	3° G	3° G	Lin	2° G	3° G	2° G
MSG	3° G	3° G	Lin	3° G	2° G	2° G
MSS	3° G	2° G	Lin	Lin	3° G	2° G

Nota: Lin: equação linear. 2° G: equação quadrática. 3° G: equação cúbica. ns: não significativo.

Fonte: Dados do próprio autor.

**Tabela 25** – Médias e contrastes ortogonais para a interação Tratamento x Ano dos atributos macroporosidade (MA) e densidade do solo (Ds), nas camadas de 0 a 10 e 10 a 20 cm, do LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico argiloso analisados por quatro anos consecutivos.

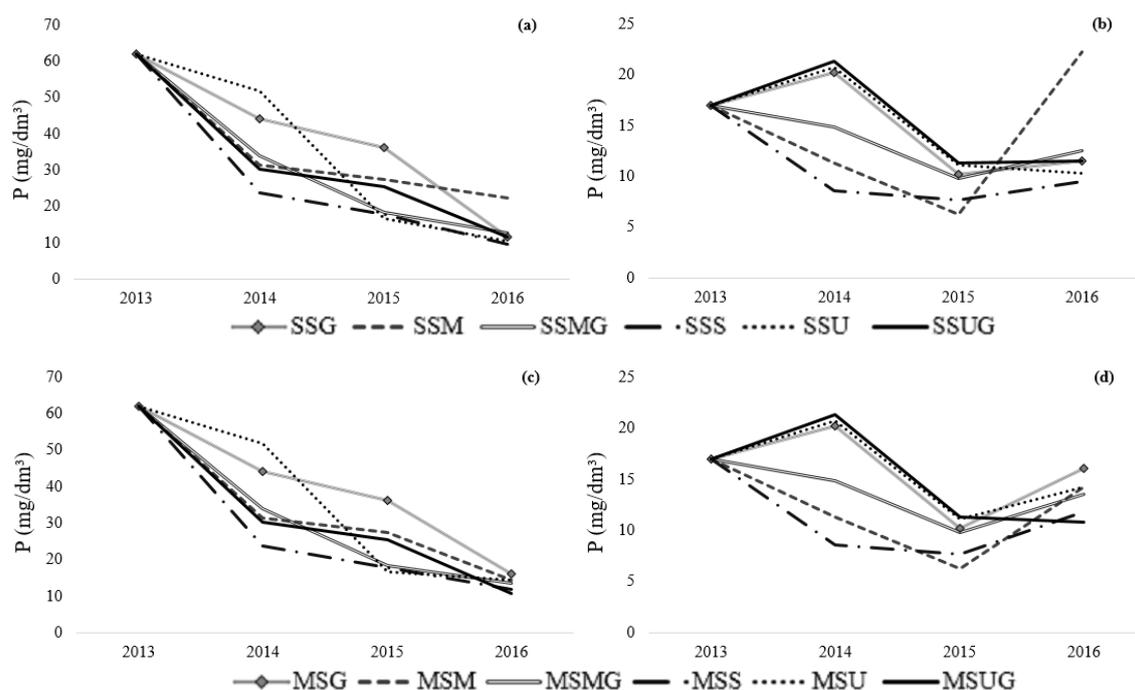
Tratamento	MA		Ds		Contraste (p)
	m <sup>3</sup>		g cm <sup>-3</sup>		
	0 a 10	10 a 20	0 a 10	10 a 20	
SSUG	0,05	0,07	1,43	1,39	ns
SSU	0,05	0,06	1,45	1,42	ns
SSMG	0,06	0,07	1,44	1,40	ns
SSM	0,06	0,06	1,43	1,41	ns
SSG	0,06	0,07	1,43	1,42	ns
SSS	0,06	0,08	1,46	1,40	ns
MSUG	0,06	0,07	1,42	1,38	ns
MSU	0,06	0,07	1,44	1,41	ns
MSMG	0,05	0,06	1,44	1,39	ns
MSM	0,05	0,06	1,42	1,40	ns
MSG	0,07	0,07	1,39	1,39	ns
MSS	0,05	0,07	1,46	1,40	ns

Nota: ns: não significativo.

Fonte: Dados do próprio autor.

Os teores de P no solo (Figura 11) foram maiores na camada de 0 a 10 cm que de 10 a 20, pois a adubação fosfatada é realizada superficialmente e o P é praticamente imóvel no solo. A tendência foi uma redução nos teores de P no solo na camada de 0 a 10 cm ao longo dos quatro anos estudados, demonstrando uma exportação maior desse elemento do que o aporte por fertilizantes. Entretanto, todos os tratamentos permaneceram acima do valor crítico de  $8,0 \text{ mg dm}^{-3}$  encontrado por Vieira et al. (2013) para Latossolos, que enfatizaram que os níveis críticos são maiores para a camada de 0 a 10 cm que de 10 a 20 cm.

**Figura 11** – Teores de P dos quatro anos analisados de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico argiloso para: (a) amostra de 0 a 10 cm de área com soja como cultura final; (b) amostra de 10 a 20 cm de área com soja como cultura final; (c) amostra de 0 a 10 cm de área com milho como cultura final; (d) amostra de 10 a 20 cm de área com milho como cultura final.



Nota: **SUG** – Sorgo com *U. brizantha* e guandu-anão; **SU** — Sorgo com *U. brizantha*; **SMG** – Sorgo com *M. maximus* e guandu-anão; **SM** – Sorgo com *M. maximus*; **SG** – Sorgo com guandu-anão; **SS** – Sorgo solteiro. Quando precedido de **S** – soja como última cultura. Quando precedido de **M** – milho como última cultura.

Fonte: Dados do próprio autor.

Ao final dos quatro anos, na área com soja, o tratamento que permaneceu com maiores teores de P foi em sucessão ao consórcio de sorgo com *M. maximus* (SSM) e na

área com milho, o em sucessão ao sorgo consorciado com sorgo e guandu-não (MSG), nas duas profundidades. Entretanto, na camada mais profunda se constatou um aumento nos teores de P no segundo ano agrícola para todos os tratamentos, excetuando os em sucessão ao sorgo solteiro e sorgo consorciado com *M. maximus* (SS e SM).

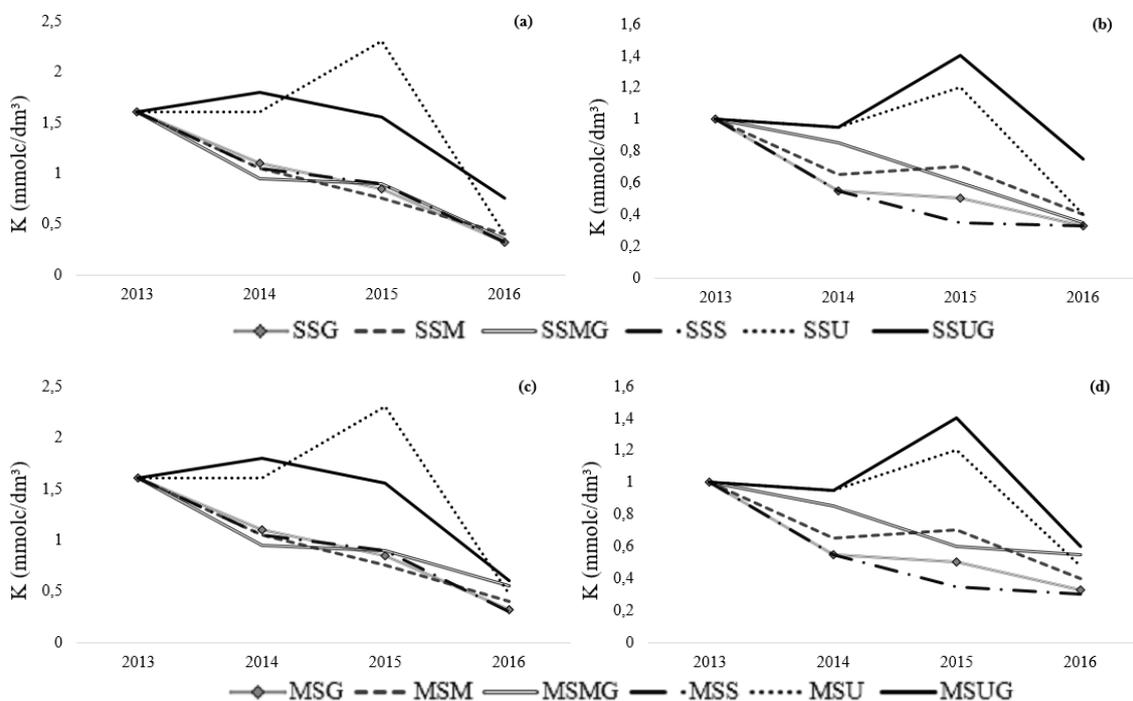
Em ambas áreas e profundidades, os tratamentos em sucessão ao sorgo solteiro (SSS e MSS) foram os que resultaram em maiores reduções nos teores de P do solo, demonstrando a importância da integração e da formação de palhada sobre a superfície do solo na ciclagem e permanência desse nutriente. O mesmo foi observado por Vilela e Martha Júnior (2010) que obtiveram aumento de 90% na eficiência de uso do P a longo prazo em Sistemas de ILP quando comparado à rotação soja-milho e por Sousa, Martha Júnior e Vilela (2007) que também relataram maior eficiência na absorção de P na soja quando esta foi em sucessão a pastagem, em relação ao monocultivo.

Isso pode ser explicado que o uso de diferentes espécies vegetais no ILP promove maior diversidade de espécies de fungos micorrízicos arbusculares (MIRANDA; VILELA; MIRANDA, 2005) que aumentam a absorção de fósforo do solo. Para Moron e Kiehl (1992) o sistema 'agricultura-pastagem' apresentou balanço de P-total mais positivo que o sistema 'agricultura contínua com fertilização'.

Com relação ao teor de K no solo (Figura 12), todos os tratamentos apresentaram valores menores no último ano que no primeiro, havendo aumento no terceiro ano agrícola apenas para os tratamentos em sucessão ao sorgo consorciado com *U. brizantha* com (SUG) ou sem (SU) guandu-anão. Mesmo que em todos os tratamentos, os teores tenham ficado abaixo do valor crítico obtido por Vieira et al. (2013) para Latossolos, de  $3,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , não houve prejuízo na produtividade de nenhuma das culturas estudadas (Tabelas 3, 13 e 16 para consórcios, soja e milho, respectivamente).

Embora o K seja um nutriente de alta mobilidade no solo e fácil lixiviação, os valores encontrados em superfície são maiores que os valores em subsuperfície, em função da aplicação superficial dos fertilizantes, baixa precipitação pluvial (Figuras 2 e 3), ausência de irrigação, textura argilosa do solo e ciclagem de K da palhada.

**Figura 12** – Teores de K dos quatro anos analisados de LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico argiloso para: (a) amostra de 0 a 10 cm de área com soja como cultura final; (b) amostra de 10 a 20 cm de área com soja como cultura final; (c) amostra de 0 a 10 cm de área com milho como cultura final; (d) amostra de 10 a 20 cm de área com milho como cultura final.



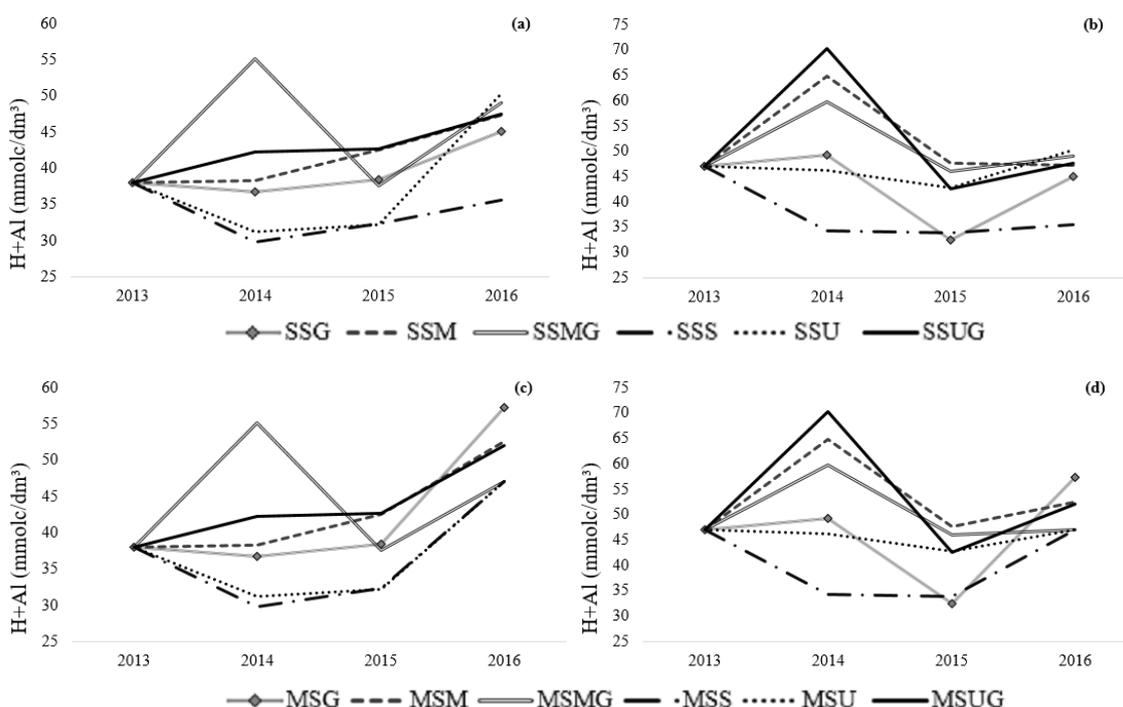
Nota: **SUG** – Sorgo com *U. brizantha* e guandu-anão; **SU** — Sorgo com *U. brizantha*; **SMG** – Sorgo com *M. maximus* e guandu-anão; **SM** – Sorgo com *M. maximus*; **SG** – Sorgo solteiro. Quando precedido de **S** – soja como última cultura. Quando precedido de **M** – milho como última cultura.

Fonte: Dados do próprio autor.

De maneira geral, tanto nas áreas de milho como de soja como última cultura, e em ambas profundidades, os tratamentos em sucessão ao sorgo consorciado com *U. brizantha* (SUG e SU) foram os que apresentaram maiores teores de K ao longo do tempo, tanto em superfície como em profundidade, demonstrando a capacidade dessa gramínea em ciclar e manter esse nutriente no sistema. Esse resultado pode ser embasado no trabalho de Mateus et al. (2011), no qual houve maior teor de K no solo nos tratamentos em consórcio com forrageiras em relação ao cultivo solteiro do sorgo, demonstrando a eficiência das forrageiras no acúmulo e ciclagem desse nutriente. Os tratamentos em sucessão ao sorgo solteiro (SS) se igualaram no teor de K aos tratamentos em sucessão ao *M. maximus* (SM e SMG) e ao guandu-anão (SG) na camada de 0 a 10 cm, entretanto, na camada de 10 a 20 cm, apresentaram valores menores que os demais.

Ao analisar a acidez potencial do solo (Figura 13), se observou que o tratamento que apresentou menores valores ao longo dos anos agrícolas, em ambas áreas, foram os que sucederam o sorgo solteiro (SS), independente da camada estudada.

**Figura 13** – Valores médios de acidez potencial (H+Al) dos quatro anos analisados de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico argiloso para: (a) amostra de 0 a 10 cm de área com soja como cultura final; (b) amostra de 10 a 20 cm de área com soja como cultura final; (c) amostra de 0 a 10 cm de área com milho como cultura final; (d) amostra de 10 a 20 cm de área com milho como cultura final.



Nota: **SUG** – Sorgo com *U. brizantha* e guandú-anão; **SU** – Sorgo com *U. brizantha*; **SMG** – Sorgo com *M. maximus* e guandú-anão; **SM** – Sorgo com *M. maximus*; **SG** – Sorgo com guandú-anão; **SS** – Sorgo solteiro. Quando precedido de **S** – soja como última cultura. Quando precedido de **M** – milho como última cultura.

Fonte: Dados do próprio autor.

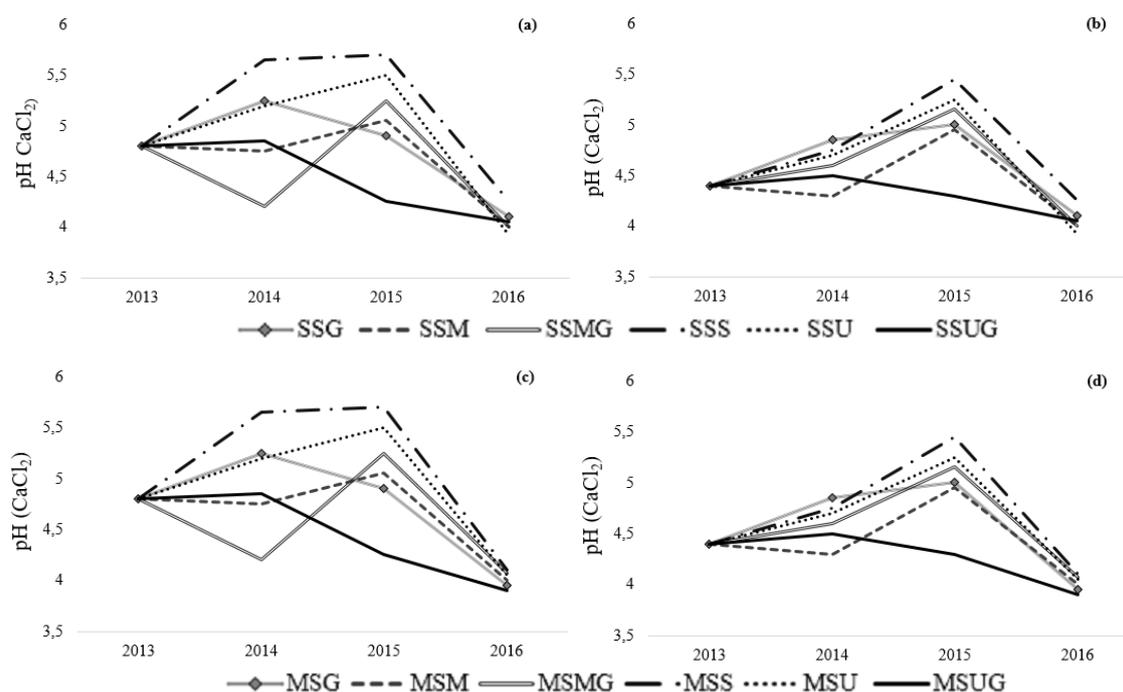
Por outro lado, na camada de 0 a 10 cm, que possui maior concentração radicular, os tratamentos com maior número de espécies (SUG e SMG) e consorciado com capim *M. maximus* (SM), foram os que exibiram maiores valores, devido a uma maior quantidade de raízes pela presença de gramíneas (SOUZA et al., 2010) e de ácidos orgânicos exsudados por elas e pela maior liberação de prótons devido à maior absorção de bases trocáveis.

Quando se comparam as áreas, foi notada uma maior acidez potencial nas áreas com milho no último ano agrícola que com soja. Na camada de 10 a 20 cm, os maiores

valores foram observados nos tratamentos em sucessão ao sorgo com *M. maximus*, com (SMG) ou sem (SM) guandu-anão, pela maior profundidade do sistema radicular, e em sucessão ao sorgo com *U. brizantha* e guandu-anão (SUG) pela capacidade do guandu-anão em promover o crescimento radicular da *U. brizantha*, resultado da liberação de nitrogênio fixado biologicamente.

Os dados de pH do solo (Figura 14) confirmam o observado: os valores de pH menores, ou seja, de reação menos ácida, foram os em sucessão ao sorgo solteiro (SS) nas duas áreas e profundidades, e os mais ácidos na camada de 0 a 10 cm foram os com maior número de espécies (SMG e SUG) e consorciado com capim *M. maximus* (SM).

**Figura 14** – Valores médios de pH dos quatro anos analisados de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico argiloso para: (a) amostra de 0 a 10 cm de área com soja como cultura final; (b) amostra de 10 a 20 cm de área com soja como cultura final; (c) amostra de 0 a 10 cm de área com milho como cultura final; (d) amostra de 10 a 20 cm de área com milho como cultura final.



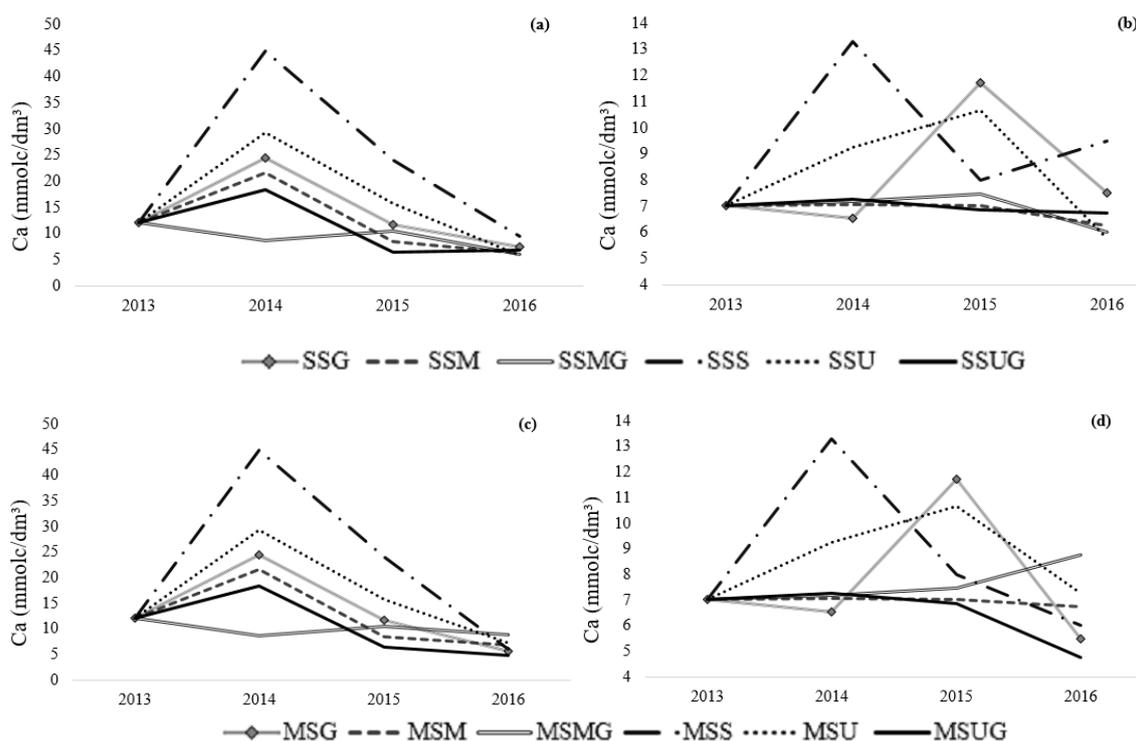
Nota: **SUG** – Sorgo com *U. brizantha* e guandu-anão; **SU** – Sorgo com *U. brizantha*; **SMG** – Sorgo com *M. maximus* e guandu-anão; **SM** – Sorgo com *M. maximus*; **SG** – Sorgo com guandu-anão; **SS** – Sorgo solteiro. Quando precedido de **S** – soja como última cultura. Quando precedido de **M** – milho como última cultura.

Fonte: Dados do próprio autor.

Da mesma forma, os tratamentos com maiores teores de Ca e Mg (Figuras 15 e 16, na ordem) foram observados no tratamento com sorgo solteiro (SS), pela menor

quantidade de raízes na área e, portanto, pela menor quantidade de exsudados ácidos liberados que reduzem as cargas negativas do solo.

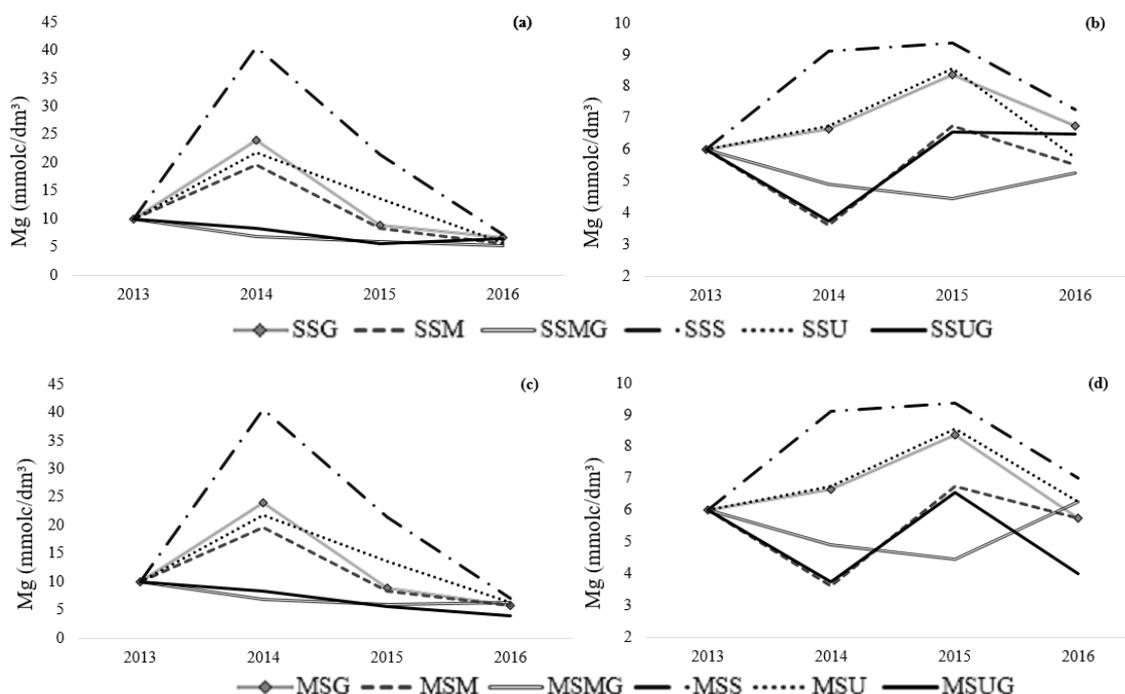
**Figura 15** – Teores de Ca dos quatro anos analisados de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico argiloso para: (a) amostra de 0 a 10 cm de área com soja como cultura final; (b) amostra de 10 a 20 cm de área com soja como cultura final; (c) amostra de 0 a 10 cm de área com milho como cultura final; (d) amostra de 10 a 20 cm de área com milho como cultura final.



Nota: **SUG** – Sorgho com *U. brizantha* e guandu-anão; **SU** — Sorgho com *U. brizantha*; **SMG** – Sorgho com *M. maximus* e guandu-anão; **SM** – Sorgho com *M. maximus*; **SG** – Sorgho com guandu-anão; **SS** – Sorgho solteiro. Quando precedido de **S** – soja como última cultura. Quando precedido de **M** – milho como última cultura.

Fonte: Dados do próprio autor.

**Figura 16** – Teores de Mg dos quatro anos analisados de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico argiloso para: (a) amostra de 0 a 10 cm de área com soja como cultura final; (b) amostra de 10 a 20 cm de área com soja como cultura final; (c) amostra de 0 a 10 cm de área com milho como cultura final; (d) amostra de 10 a 20 cm de área com milho como cultura final.



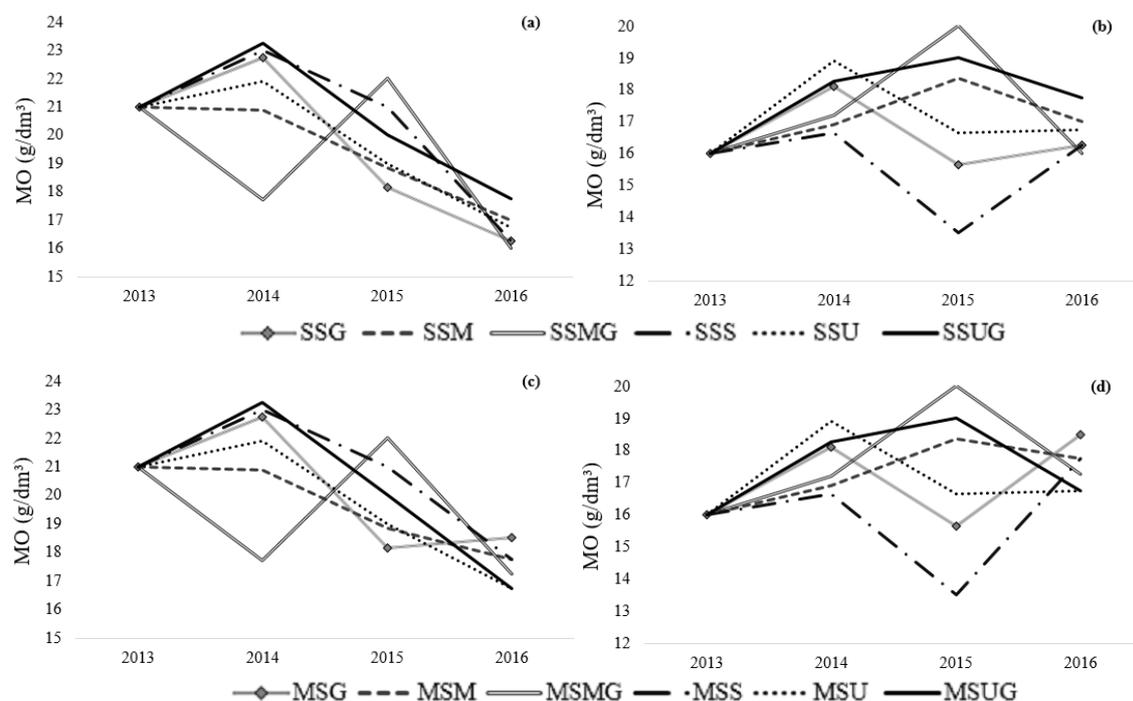
Nota: **SUG** – Sorgo com *U. brizantha* e guandu-anão; **SU** — Sorgo com *U. brizantha*; **SMG** – Sorgo com *M. maximus* e guandu-anão; **SM** – Sorgo com *M. maximus*; **SG** – Sorgo com guandu-anão; **SS** – Sorgo solteiro. Quando precedido de **S** – soja como última cultura. Quando precedido de **M** – milho como última cultura.

Fonte: Dados do próprio autor.

Da mesma forma, os tratamentos com maior exportação de matéria seca e com maior densidade de raízes, **SUG**, **SMG** e **SM**, foram os que apresentaram menores teores de Ca e Mg em todos os anos estudados e em ambas áreas e profundidades. Os maiores valores de Ca e Mg foram observados em 2014 devido à aplicação de calcário dolomítico na área em outubro de 2013.

Embora os tratamentos em sucessão ao sorgo solteiro (**SS**) tenham apresentado valores elevados de matéria orgânica (Figura 17) na camada mais superficial (0 a 10 cm), foram os que apresentaram menores valores na camada mais profunda (10 a 20 cm), isso porque as gramíneas forrageiras consorciadas apresentam sistema radicular mais volumoso e profundo (SOUZA et al., 2010), que ao se decompor, elevam a matéria orgânica nessa camada.

**Figura 17** – Teores de matéria orgânica (MO) dos quatro anos analisados de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico argiloso para: (a) amostra de 0 a 10 cm de área com soja como cultura final; (b) amostra de 10 a 20 cm de área com soja como cultura final; (c) amostra de 0 a 10 cm de área com milho como cultura final; (d) amostra de 10 a 20 cm de área com milho como cultura final.



Nota: **SUG** – Sorgo com *U. brizantha* e guandu-anão; **SU** – Sorgo com *U. brizantha*; **SMG** – Sorgo com *M. maximus* e guandu-anão; **SM** – Sorgo com *M. maximus*; **SG** – Sorgo com guandu-anão; **SS** – Sorgo solteiro. Quando precedido de **S** – soja como última cultura. Quando precedido de **M** – milho como última cultura.

Fonte: Dados do próprio autor.

Além disso, a diversificação de espécies em uma mesma área promove maior diversidade nos grupos da macrofauna invertebrada do solo (SILVA, A. et al., 2006; MARCHÃO et al., 2009) que alteram as populações e a atividade de microrganismos responsáveis pelos processos de mineralização e humificação da matéria orgânica do solo (VILELA et al., 2011).

Da mesma forma, em superfície houve redução no teor de matéria orgânica do primeiro para o último ano estudado, porque grande quantidade do material vegetal foi exportado para produção de silagem de primeiro corte e rebrota. Segundo Souza et al. (2009) o estudo da dinâmica da matéria orgânica do solo deve levar em consideração o fator tempo, pois a resposta às práticas de manejo adotadas tende a ser lenta.

De forma contrária, na camada de 10 a 20 cm houve aumento nos teores de matéria orgânica no último ano agrícola em relação ao primeiro, devido à maior

quantidade de raízes a serem decompostas dentro dos consórcios, comprovado pelos maiores valores nos tratamentos com maior número de espécies (SUG e SMG). Vilela e Martha Júnior (2010), ao estudar a ILP a longo prazo, obtiveram aumento de 15% no teor de matéria orgânica do solo em comparação ao Cerrado nativo, contudo, Souza et al. (2009) observaram perdas nos teores de matéria orgânica e estoque de carbono quando a forrageira é submetida a altas intensidades de pastejo, semelhante ao verificado em relação à exportação na camada superficial do solo.

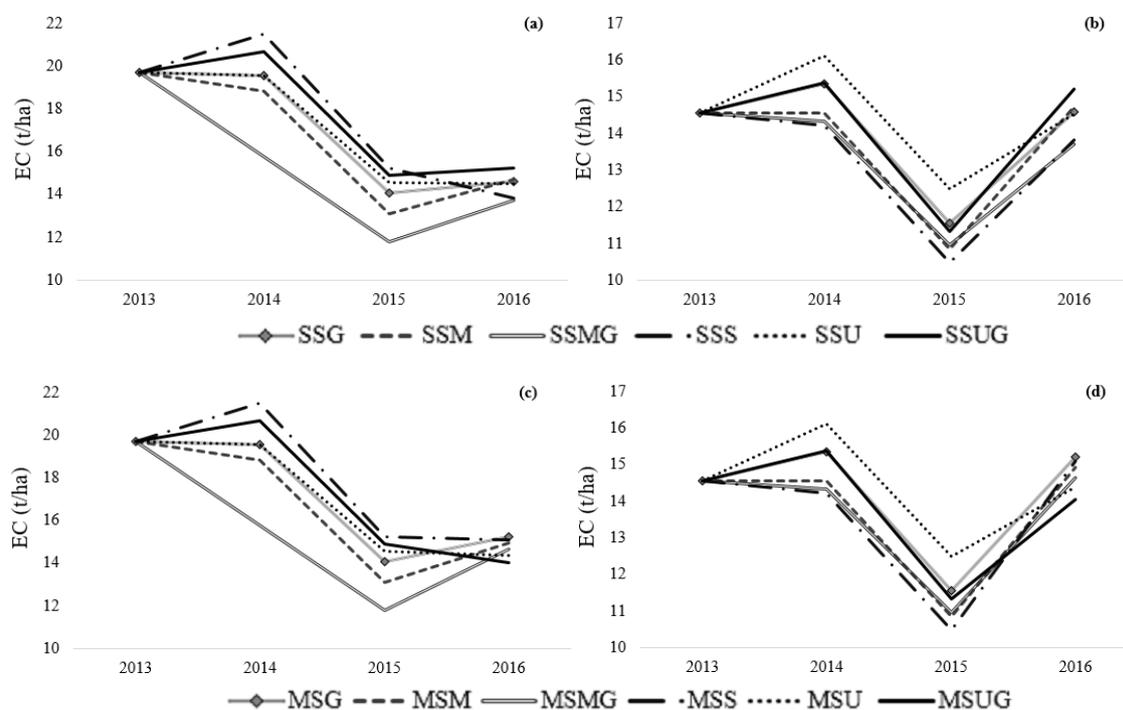
O mesmo comportamento pôde ser observado para o estoque de carbono (Figura 18), que apresentou valores mais elevados na camada de 0 a 10 cm e menores na camada de 10 a 20 cm para os tratamentos de sorgo solteiro (SS). Dentre os consórcios, os com *M. maximus* (SM e SMG) foram os que apresentaram menores estoques de carbono em relação aos com *U. brizantha* (SU e SUG), enquanto que o consorciado apenas com guandu-anão (SG) resultou em valores intermediários.

Isso porque os capins do gênero *Megathyrsus* possuem palhada com decomposição mais lenta que os do gênero *Urochloa* (Figura 9), ocorrendo uma mineralização mais lenta do carbono. Tal hipótese é corroborada pelo igualamento entre os tratamentos no último ano agrícola.

Guo e Gifford (2002) após analisar estatisticamente 74 publicações de 16 países, Brasil incluso, concluíram que a substituição de florestas nativas ou lavouras por pastagens aumentou o teor de carbono do solo de 8 a 19%, confirmando a capacidade de sequestro de carbono por parte das gramíneas forrageiras. Salton (2005) observou inclusive que o estoque de carbono foi maior em pastagens permanentes do gênero *Urochloa*, intermediário em ILP soja-pasto, e inferior em lavoura sob plantio direto.

A redução no estoque de carbono em todos os tratamentos notada no ano de 2015 se deve à retirada de grande quantidade de matéria seca para ensilagem por dois anos consecutivos e em dois ciclos, havendo uma recuperação nos valores em 2016, quando a retirada só dos grãos permitiu maior aporte de matéria orgânica no solo.

**Figura 18** – Valores médios de estoque de carbono (EC) dos quatro anos analisados de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico argiloso para: (a) amostra de 0 a 10 cm de área com soja como cultura final; (b) amostra de 10 a 20 cm de área com soja como cultura final; (c) amostra de 0 a 10 cm de área com milho como cultura final; (d) amostra de 10 a 20 cm de área com milho como cultura final.



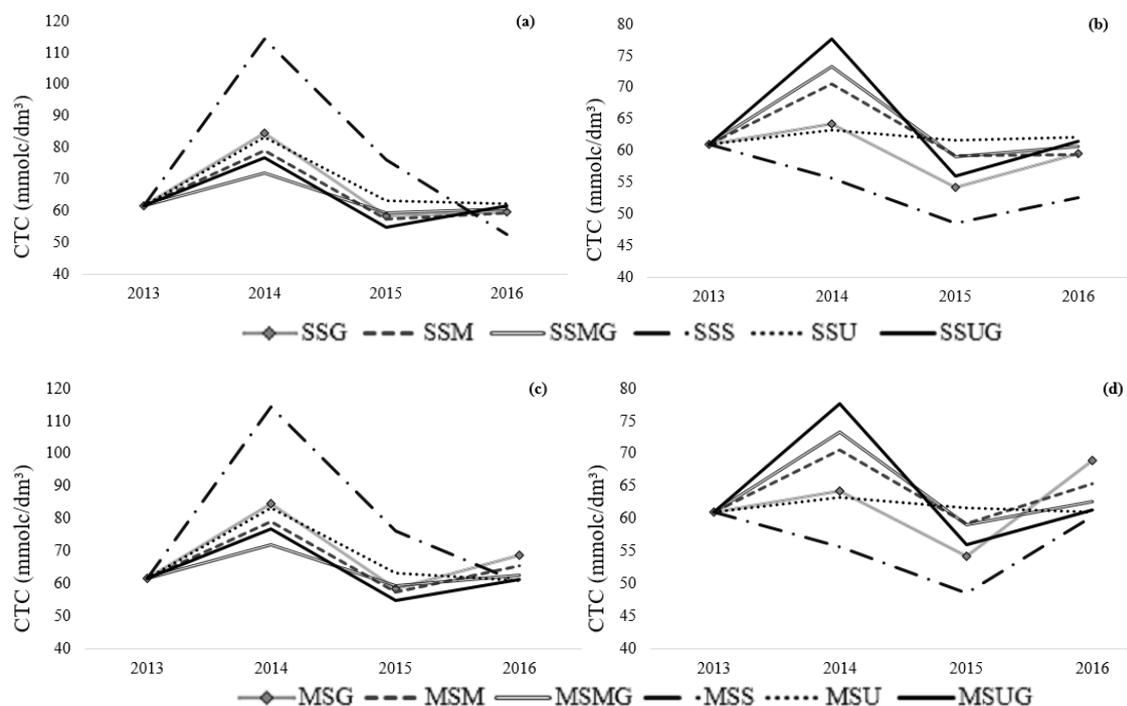
Nota: **SUG** – Sorgo com *U. brizantha* e guandu-anão; **SU** — Sorgo com *U. brizantha*; **SMG** – Sorgo com *M. maximus* e guandu-anão; **SM** – Sorgo com *M. maximus*; **SG** – Sorgo com guandu-anão; **SS** – Sorgo solteiro. Quando precedido de **S** – soja como última cultura. Quando precedido de **M** – milho como última cultura.

Fonte: Dados do próprio autor.

Segundo Sousa e Lobato (2004), 75 a 93% da CTC dos solos de Cerrado são originadas da matéria orgânica do solo. Logo, a capacidade de troca catiônica (CTC) é dependente não só da parte mineral do solo como também da matéria orgânica (VILELA et al., 2011) e do pH, por isso os valores constatados (Figura 19) são um reflexo da junção do comportamento desses dois atributos do solo.

Como o pH (Figura 14) foi mais elevado nas parcelas de sorgo solteiro, a ação da matéria orgânica (Figura 17) é mais representativa sobre a CTC nesse tratamento, sendo o com maior CTC na camada de 0 a 10 cm e menor na camada de 10 a 20 cm. Os demais tratamentos registraram valores semelhantes na primeira camada.

**Figura 19** – Valores médios de CTC dos quatro anos analisados de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico argiloso para: (a) amostra de 0 a 10 cm de área com soja como cultura final; (b) amostra de 10 a 20 cm de área com soja como cultura final; (c) amostra de 0 a 10 cm de área com milho como cultura final; (d) amostra de 10 a 20 cm de área com milho como cultura final.



Nota: **SUG** – Sorgo com *U. brizantha* e guandu-anão; **SU** — Sorgo com *U. brizantha*; **SMG** – Sorgo com *M. maximus* e guandu-anão; **SM** – Sorgo com *M. maximus*; **SG** – Sorgo com guandu-anão; **SS** – Sorgo solteiro. Quando precedido de **S** – soja como última cultura. Quando precedido de **M** – milho como última cultura.

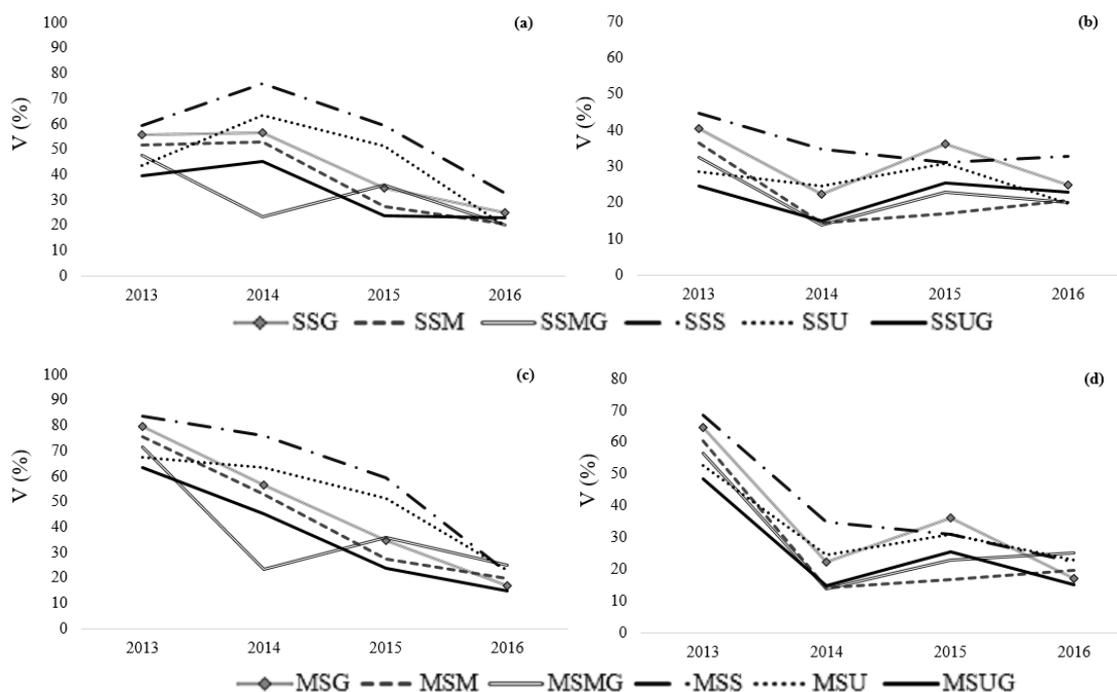
Fonte: Dados do próprio autor.

Na camada subsuperficial foram obtidos valores de CTC maiores no ano 2014 para os consórcios com gramíneas forrageiras e guandu-anão (SUG e SMG), havendo um nivelamento entre esses tratamentos nos demais anos agrícolas. Não houve diferença nas duas camadas entre as áreas de soja e milho no último ano agrícola. O aumento na CTC observado no ano de 2014 foi pela aplicação de calcário dolomítico em outubro de 2013.

Os valores de saturação por bases (V%) (Figura 20) refletem o observado nos teores de Ca e Mg (Figuras 15 e 16, na ordem) uma vez que são elementos parte do cálculo do V%. Como houve menor acidificação do solo, perda por lixiviação e exportação de Ca e Mg nas parcelas com sorgo solteiro (SS), esse tratamento foi o que apresentou maiores valores de V% que os demais em ambas profundidades e áreas estudadas. Da mesma forma, os tratamentos com maior quantidade de raízes (SUG,

SMG e SM), pelo comportamento contrário do SS, foram os que apresentaram menores valores para o V%.

**Figura 20** – Valores médios de saturação por bases (V%) dos quatro anos analisados de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico argiloso para: (a) amostra de 0 a 10 cm de área com soja como cultura final; (b) amostra de 10 a 20 cm de área com soja como cultura final; (c) amostra de 0 a 10 cm de área com milho como cultura final; (d) amostra de 10 a 20 cm de área com milho como cultura final.

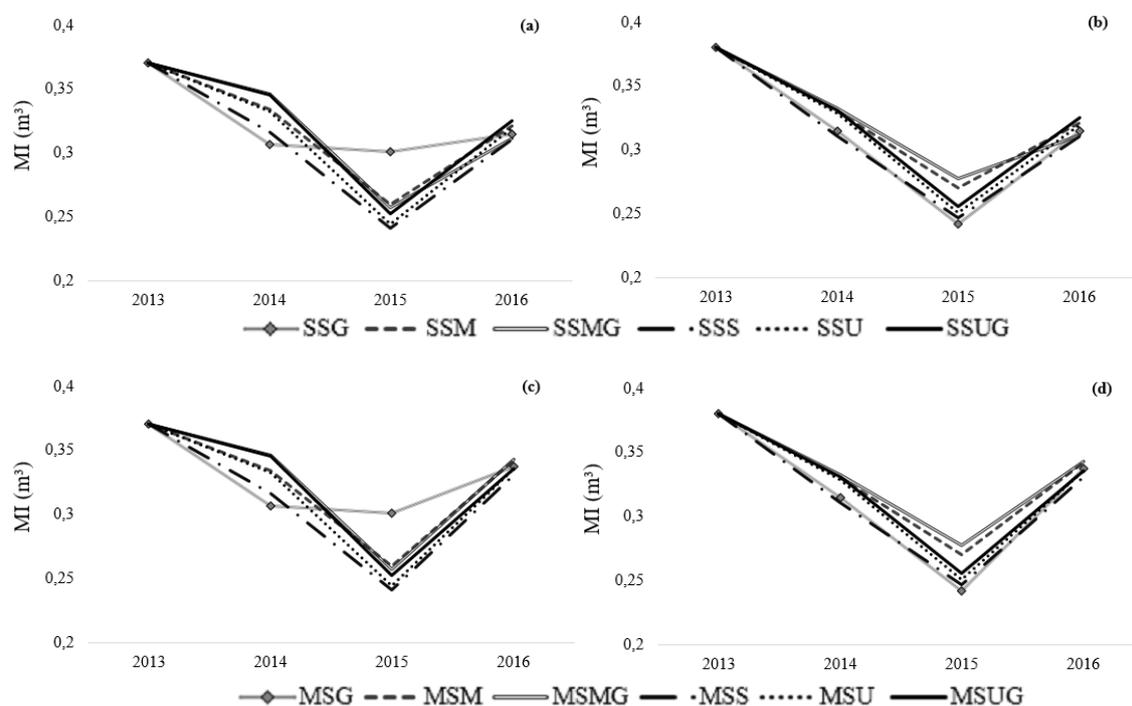


Nota: **SUG** – Sorgo com *U. brizantha* e guandu-anão; **SU** – Sorgo com *U. brizantha*; **SMG** – Sorgo com *M. maximus* e guandu-anão; **SM** – Sorgo com *M. maximus*; **SG** – Sorgo com guandu-anão; **SS** – Sorgo solteiro. Quando precedido de **S** – soja como última cultura. Quando precedido de **M** – milho como última cultura.

Fonte: Dados do próprio autor.

A densidade de raízes pode explicar o comportamento da microporosidade (Figura 21) ao longo do tempo em ambas áreas e profundidades. O tratamento com menor número de espécies vegetais e conseqüentemente menor densidade de raízes (SS) foi o que apresentou menores valores de microporosidade, enquanto que os que apresentaram maior densidade de raízes (SUG, SMG e SM) foram os com maior microporosidade, por efeito da decomposição do sistema radicular que auxilia na criação de micro canais no solo.

**Figura 21** – Valores médios de microporosidade dos quatro anos analisados de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico argiloso para: (a) amostra de 0 a 10 cm de área com soja como cultura final; (b) amostra de 10 a 20 cm de área com soja como cultura final; (c) amostra de 0 a 10 cm de área com milho como cultura final; (d) amostra de 10 a 20 cm de área com milho como cultura final.



Nota: **SUG** – Sorgo com *U. brizantha* e guandu-anão; **SU** — Sorgo com *U. brizantha*; **SMG** – Sorgo com *M. maximus* e guandu-anão; **SM** – Sorgo com *M. maximus*; **SG** – Sorgo com guandu-anão; **SS** – Sorgo solteiro. Quando precedido de **S** – soja como última cultura. Quando precedido de **M** – milho como última cultura.

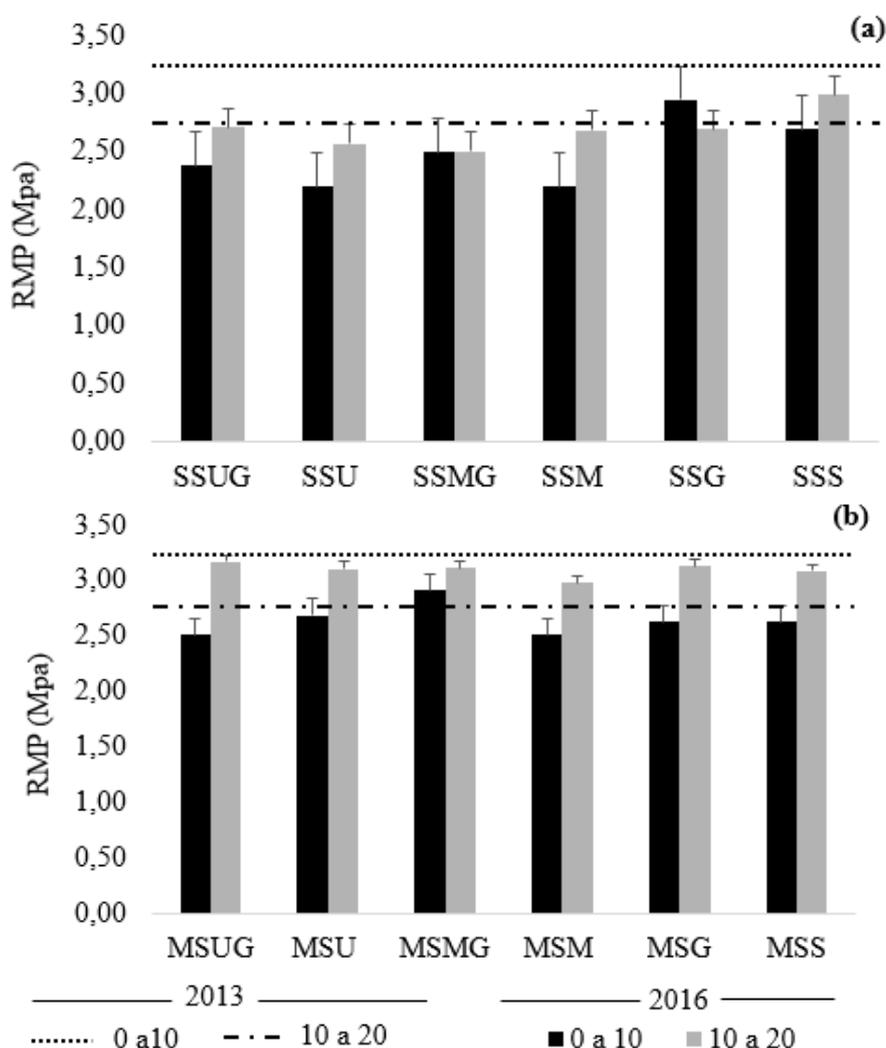
Fonte: Dados do próprio autor.

Vilela et al. (2011) observaram que a ILP permite uma maior penetração de raízes no solo, aumentando o volume de solo explorado e facilitando o uso e aproveitamento da água.

A redução na microporosidade, também foi observada por Spera et al. (2009) estudando a continuidade do plantio direto ao longo dos anos, entre 2013 e 2015, ocorreu devido à transição do sistema convencional, caracterizado pelo revolvimento do solo e criação de canais de aeração, e o sistema plantio direto, no qual o tráfego de máquinas causa compactação superficial e a formação dos canais está ligada apenas à decomposição das raízes, havendo um aumento em 2016, no terceiro ano de implantação. Marcolan e Anghinoni (2006) concluíram que áreas sob plantio direto atingem o equilíbrio nos atributos físicos do solo após quatro anos, não havendo diferenças significativas após esse período se bem manejados.

Embora não tenham sido observadas diferenças significativas entre os tratamentos para a macroporosidade e a densidade do solo, foram encontradas diferenças entre os anos para todos os atributos físicos do solo (Tabela 21), o que reflete nos dados de resistência mecânica a penetração (RMP) (Figura 22).

**Figura 22** – Valores médios de resistência mecânica a penetração (RPM) dos dois anos analisados de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico argiloso para: (a) área com soja como cultura final; (b) área com milho como cultura final.



Nota: **SUG** – Sorgo com *U. brizantha* e guandu-anão; **SU** — Sorgo com *U. brizantha*; **SMG** – Sorgo com *M. maximus* e guandu-anão; **SM** – Sorgo com *M. maximus*; **SG** – Sorgo com guandu-anão; **SS** – Sorgo solteiro. Quando precedido de **S** – soja como última cultura. Quando precedido de **M** – milho como última cultura.

Fonte: Dados do próprio autor.

Apesar da redução na microporosidade (Figura 21), na camada de 0 a 10 cm, tanto na área com milho como na área com soja, os valores de RMP foram menores em 2016 que em 2013 para todos os tratamentos, demonstrando o efeito benéfico dos

consórcios estudados e do plantio direto sobre esse aspecto. O mesmo comportamento foi observado por Spera et al. (2009) que determinaram que a adoção do manejo convencional (2013) leva a um aumento na resistência a penetração em relação ao plantio direto (2016).

Na camada de 10 a 20 cm houve uma inversão dos resultados, onde todas as parcelas da área com milho apresentaram valores de RMP maiores em 2016 que em 2013, e nas áreas com soja apenas as parcelas em sucessão ao sorgo consorciado com *M. maximus* e guandu-anão tiveram valores menores no último ano quando comparado ao primeiro. Isso ocorreu devido ao não revolvimento do solo e à menor concentração de raízes em subsuperfície que na camada mais superficial e vai de encontro com o observado por Conte et al. (2007) que relataram efeito benéfico da ILP na resistência mecânica à penetração em um LATOSSOLO VERMELHO somente até 12 cm de profundidade.

#### 4.7 Análise econômica

A descrição da análise econômica da produção de 1 hectare dos consórcios de sorgo com forrageiras tropicais e/ou guandu-anão no ano agrícola 2014/2015 está apresentada na Tabela 26. Os insumos demandaram maiores gastos no custo de produção (R\$2.250,14), totalizando 57% de todo o custo operacional total, sendo que os adubos foram responsáveis por 66% (R\$1.491,00) de todo o valor gasto com insumos. Entretanto, Rodrigues et al. (2015) encontraram gastos superiores com insumos, que representaram 85% de todo o gasto da instalação do consórcio de sorgo com *U. brizantha*.

As operações representaram apenas 34% do custo operacional total (R\$1.321,92), sendo o maior valor investido na colheita (57% das operações - R\$773,64), onde foram contabilizadas a colheita de primeiro corte e da rebrota do sorgo. Dado que os consórcios foram instalados em sistema plantio direto, não houve gastos com preparo do solo, reduzindo o custo de produção das silagens.

Dentro dos consórcios, as sementes de *M. maximus* exigiram um gasto 21% maior para sua aquisição que as sementes de *U. brizantha*, aumentando o custo de produção das áreas consorciadas com essa primeira gramínea, o que também foi observado por Garcia et al. (2012), que encontraram um custo de aquisição de sementes de *Megathyrsus* 20% maior que as sementes de *Urochloa*.

**Tabela 26** – Custo operacional total das operações e insumos utilizados na produção de 1 hectare de sorgo para produção de silagem de primeiro corte e da rebrota consorciado com *U. brizantha*; *M. maximus* e/ou guandu-anão na safra 2014/2015 no Cerrado.

Descrição	Espec.	Coefficiente	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
<b>A- Operações</b>				
Dessecação	HM	0,5	59,10	29,55
Roçagem (Triton)	HM	1,0	53,73	53,73
Semeadura				
Sorgo/forageiras	HM	0,7	150,43	105,30
Guandu-anão	HM	0,7	150,43	105,30
Adubação de cobertura	HM	0,6	59,10	35,46
Colheita da ensilagem (x2)	HM	6,0	128,94	773,64
Transporte da silagem	HM	1,5	85,96	128,94
Compactação da silagem	HM	1,5	60,00	90,00
<b>SUBTOTAL A</b>				<b>1.321,92</b>
<b>B- Insumos</b>				
Adubo N-P-K (08-28-16)	kg ha <sup>-1</sup>	300,0	3,37	1.011,00
Sulfato de Amônio	kg ha <sup>-1</sup>	600,0	0,60	360,00
Cloreto de Potássio	kg ha <sup>-1</sup>	80,0	1,50	120,00
Sementes				
Sorgo	sc ha <sup>-1</sup>	18,9	18,00	340,20
<i>U. brizantha</i>	kg ha <sup>-1</sup>	9,6	12,36	118,66
<i>M. maximus</i>	kg ha <sup>-1</sup>	10,3	13,97	143,89
Guandu-anão	kg ha <sup>-1</sup>	14,4	6,98	100,51
Herbicida Glifosato	L ha <sup>-1</sup>	4,0	13,97	55,88
<b>SUBTOTAL B</b>				<b>2.250,14</b>
<b>COE</b>				<b>3.572,06</b>
Outras Despesas				178,60
Juros de Custeio				98,23
Depreciação linear				87,33
<b>COT</b>				<b>3.936,23</b>

Nota: **COE**: Custo operacional efetivo; **COT**: Custo operacional total.

Fonte: Dados do próprio autor.

Dentro dos custos de produção de 1 hectare de soja (Tabela 27), as operações representaram 29% do custo operacional total (R\$804,19) e os insumos 57% (R\$1.544,93). Dentro das operações, a colheita foi a mais onerosa (R\$330,95), representando 41% de todo o valor gasto com operações, enquanto que o gasto com corretivos e fertilizantes (R\$788,00) correspondeu a 51% do custo de insumos.

Como a incidência de pragas e doenças pode comprometer a produtividade e a qualidade final dos grãos, foram realizadas quatro pulverizações para controle de ferrugem, lagartas e percevejos, sempre que constatada a necessidade, aumentando o custo de produção. Entretanto, os gastos com essa operação não foram tão significativos como seriam caso o objetivo fosse a colheita de sementes, como mostraram Oliveira et al. (2015), que tiveram um gasto 140% maior com pulverizações que com a colheita, pois as sementes devem ser livres de patógenos e o controle deve ser preventivo e não curativo.

**Tabela 27** - Custo operacional total das operações e insumos utilizados na produção de 1 hectare de soja na safra 2015/2016 no Cerrado.

Descrição	Espec.	Coefficiente	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
<b>A- Operações</b>				
Dessecação (x4)	HM	2,0	84,92	169,84
Distribuição de calcário	HM	0,5	122,23	61,115
Semeadura	HM	0,5	144,88	72,44
Pulverização (x4)	HM	2,0	84,92	169,84
Colheita	HM	1,0	330,95	330,95
<b>SUBTOTAL A</b>				<b>804,19</b>
<b>B- Insumos</b>				
Calcário dolomítico	kg ha <sup>-1</sup>	2,0	145,00	290,00
Adubo N-P-K (04-20-20)	kg ha <sup>-1</sup>	300,0	1,66	498,00
Sementes Soja	kg ha <sup>-1</sup>	55,0	3,20	176,00
Herbicida Glifosato	L ha <sup>-1</sup>	7,5	6,75	50,63
Herbicida Gramoxone	L ha <sup>-1</sup>	2,0	20,00	40,00
Inoculante	L ha <sup>-1</sup>	0,1	35,00	3,50
Inseticida Lannate	L ha <sup>-1</sup>	2,4	19,00	45,60
Inseticida Premium	L ha <sup>-1</sup>	0,16	660,00	105,60
Inseticida Connect	L ha <sup>-1</sup>	2,4	59,00	141,60
Fungicida Piori Xtra	L ha <sup>-1</sup>	1,2	152,00	182,40
Fungicida Vitavax-thiran	L ha <sup>-1</sup>	0,2	58,00	11,60
<b>SUBTOTAL B</b>				<b>1.544,93</b>
<b>COE</b>				<b>2.349,11</b>
Outras Despesas				117,46
Juros de Custeio				64,60
Depreciação linear				196,74
<b>COT</b>				<b>2.727,91</b>

Nota: **COE**: Custo operacional efetivo; **COT**: Custo operacional total.

Fonte: dados do próprio autor.

Na produção de 1 hectare de milho (Tabela 28), foram gastos 19% e 68% do custo operacional total com operações (R\$620,86) e insumos (R\$2.168,50), respectivamente, sendo investidos 53% do valor das operações com a colheita (R\$330,95) e 74% do valor dos insumos com corretivos e fertilizantes (R\$1.614,00). Por ser uma cultura altamente dependente da fertilidade do solo para atingir sua máxima produtividade (COSTA et al., 2012), e por não apresentar a capacidade de fixação do nitrogênio como a soja, foi a que demandou maiores custos com fertilizantes químicos, entre as três estudadas.

**Tabela 28** - Custo operacional total das operações e insumos utilizados na produção de 1 hectare de milho na safra 2015/2016 no Cerrado.

Descrição	Espec.	Coeficiente	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
<b>A- Operações</b>				
Dessecação (x3)	HM	1,5	84,92	127,38
Distribuição de calcário	HM	0,5	122,23	61,12
Semeadura	HM	0,7	144,88	101,42
Colheita	DH	1,0	330,95	330,95
SUBTOTAL A				620,86
<b>B- Insumos</b>				
Calcário dolomítico	kg ha <sup>-1</sup>	2,0	145,00	290,00
Adubo N-P-K (04-20-20)	kg ha <sup>-1</sup>	400,0	1,66	664,00
Sulfato de Amônio	kg ha <sup>-1</sup>	600,0	1,10	660,00
Sementes Milho	sc ha <sup>-1</sup>	1,2	360,00	432,00
Herbicida Glifosato	L ha <sup>-1</sup>	4,0	6,75	27,00
Herbicida 2,4 D	L ha <sup>-1</sup>	1,0	14,50	14,50
Inseticida Cropstar	L ha <sup>-1</sup>	0,3	270,00	81,00
SUBTOTAL B				2.168,50
<b>COE</b>				<b>2.789,36</b>
Outras Despesas				139,47
Juros de Custeio				76,71
Depreciação linear				196,74
<b>COT</b>				<b>3.202,28</b>

Nota: **COE**: Custo operacional efetivo; **COT**: Custo operacional total.

Fonte: Dados do próprio autor.

Os dados correspondentes aos indicadores de rentabilidade estão apresentados na Tabela 29. Dentro dos consórcios, os com *M. maximus*, com (SMG) ou sem (SM) guandu-anão, foram os que apresentaram menores produtividades, o que pode ser explicado pelo seu crescimento mais vigoroso e maior capacidade competitiva.

**Tabela 29** - Soma da produtividade de matéria seca (PMS) do primeiro corte e da rebrota e grãos (PROD), receita bruta (RB), custo operacional total (COT), lucro operacional (LO), índices de lucratividade (IL) e pontos de equilíbrio (PE) com relação à produtividade (Prod) e preço (R\$) de sorgo para produção de silagem de primeiro corte e da rebrota consorciado com *U. brizantha*; *M. maximus* e/ou guandu-anão sucedido por soja ou milho no Cerrado.

Tratamentos	PMS	RB	COT	LO	IL	ProE	PreE
	t ha <sup>-1</sup>	R\$ ha <sup>-1</sup>	R\$ ha <sup>-1</sup>	R\$ ha <sup>-1</sup>	%	kg ha <sup>-1</sup>	R\$
Consórcios							
SUG	21,8	4.584,57	3.823,14	761,43	16,6	18,2	175,37
SU	23,7	5.113,82	3.601,38	1.512,44	29,6	17,1	151,96
SMG	17,0	3.582,27	3.850,33	-268,06	-7,5	18,3	226,49
SM	16,4	3.326,46	3.628,57	-302,11	-9,1	17,3	221,25
SG	21,0	4.457,50	3.695,29	762,21	17,1	17,6	175,97
SS	24,4	5.121,43	3.473,53	1.647,90	32,2	16,5	142,36
	PROD	RB	COT	LO	IL	ProE	PreE
	sc ha <sup>-1</sup>	R\$ ha <sup>-1</sup>	R\$ ha <sup>-1</sup>	R\$ ha <sup>-1</sup>	%	sc ha <sup>-1</sup>	R\$
Soja							
SSUG	53,9	3.773,00	2.727,91	1.045,09	27,7	39,0	50,61
SSU	54,8	3.836,00	2.727,91	1.108,09	28,9	39,0	49,78
SSMG	59,9	4.193,00	2.727,91	1.465,09	34,9	39,0	45,54
SSM	60,1	4.207,00	2.727,91	1.479,09	35,2	39,0	45,39
SSG	64,9	4.543,00	2.727,91	1.815,09	40,0	39,0	42,03
SSS	59,5	4.165,00	2.727,91	1.437,09	34,5	39,0	45,85
Milho							
MSUG	125,5	4.643,50	3.202,28	1.441,22	31,0	86,5	25,52
MSU	120,6	4.462,50	3.202,28	1.259,92	28,2	86,5	26,55
MSMG	95,2	3.522,40	3.202,28	320,12	9,1	86,5	33,31
MMS	90,7	3.355,90	3.202,28	153,62	4,6	86,5	35,31
MSG	83,3	3.082,10	3.202,28	-120,18	-3,9	86,5	38,44
MSS	101,4	3.751,80	3.202,28	549,52	14,6	86,5	31,58

Nota: **SUG** – Sorgo com *U. brizantha* e guandu-anão; **SU** – Sorgo com *U. brizantha*; **SMG** – Sorgo com *M. maximus* e guandu-anão; **SM** – Sorgo com *M. maximus*; **SG** – Sorgo com guandu-anão; **SS** – Sorgo solteiro. Quando precedido de **S** – soja como última cultura. Quando precedido de **M** – milho como última cultura.

Fonte: Dados do próprio autor.

Embora uma maior produtividade de matéria seca por parte da forrageira represente maior quantidade de material a ser ensilado no primeiro corte, o crescimento mais vigoroso pode representar um empecilho para a rebrota. O que aconteceu no presente experimento foi uma supressão da rebrota do sorgo devido à competição com o *M. maximus*, resultando em produtividades 27% menores que a média dos tratamentos com a *U. brizantha*.

Por equivaler às menores produtividades, os tratamentos com *M. maximus* também representaram menores receitas brutas. Como nesses tratamentos não foi atingida a produtividade de equilíbrio, os lucros operacionais e índices de lucratividade foram negativos, entre 7,5 e 9,1%, representando prejuízos ao produtor. Os lucros dos demais tratamentos ultrapassaram os 15%, sendo o sorgo solteiro o que resultou em maior índice de lucratividade (32,2%), uma vez que foi o tratamento com menor custo operacional total devido à ausência de gastos com forrageiras e guandu-anão e produtividade maior que os demais tratamentos, seguindo pelo tratamento com *U. brizantha* (29,6%), o segundo em produtividade e sem gastos com sementes da leguminosa.

Todos os tratamentos da soja atingiram produtividades médias (Tabela 29) maiores que a média nacional (CONAB, 2016) estipulada em 48 sacas ha<sup>-1</sup>, e maior que a produtividade de equilíbrio calculada (Tabela 29), resultando em lucros operacionais acima de R\$1.000,00 e índices de lucratividade médios superiores a 33%. Dentre os tratamentos, o precedido por sorgo consorciado com guandu-anão foi o que produziu mais, apresentando 40% de lucratividade contra 27,7% do tratamento menos produtivo, soja precedida por sorgo consorciado com *U. brizantha* e guandu-anão.

No consórcio do sorgo com guandu-anão, não houve interferência de forrageiras sobre a leguminosa, que atingiu maior crescimento e desenvolvimento, fixando mais nitrogênio. O nitrogênio fixado, bem como os outros nutrientes, numa planta de menor relação C/N, foram liberados com a mineralização da matéria orgânica pela microbiota do solo e disponibilizados para as plantas de soja, elevando sua produtividade.

As produtividades de milho em todos os tratamentos (Tabela 29) também superaram a média nacional estimada pela Conab (2016) em 70 sacas ha<sup>-1</sup>. As parcelas de milho precedidas por sorgo consorciado com guandu-anão apresentaram as menores produtividades e lucratividade entre todos os tratamentos, exatamente por causa da liberação mais rápida de nitrogênio pelo guandu-anão, induzindo o maior crescimento das plantas daninhas antecessoras e durante o ciclo do milho. Assim, a menor densidade populacional e foliar aliada à estrutura do dossel das plantas de milho permitem infiltração de luz solar nas entrelinhas durante todo o ciclo da cultura, ao contrário da cultura da soja, propiciando um crescimento mais acentuado das plantas daninhas e rebrota dos capins da cultura anterior.

Da mesma forma, os tratamentos precedidos por sorgo consorciado com *M. maximus*, com (SMG) ou sem (SM) guandu-anão, também resultaram em

produtividades menores, embora as lucratividades tenham sido positivas. Isso ocorreu pela capacidade de rebrota do capim, que mesmo após duas dessecações, deu origem a touceiras que competiram com o milho na fase reprodutiva, quando o seu controle químico não era mais possível pela impossibilidade de entrada de máquinas na área.

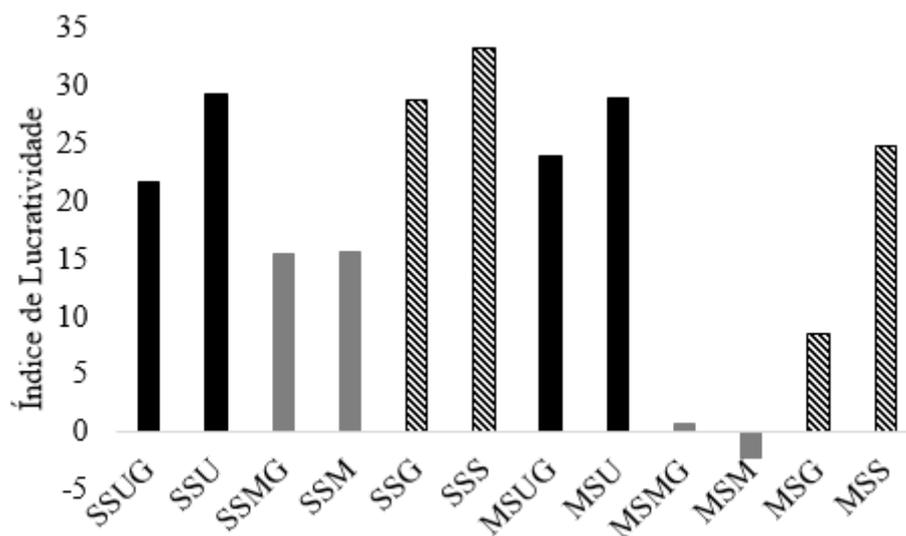
Estudando a interação entre o milho e forrageiras na mesma área simultaneamente, Borghi e Crusciol (2007) observaram a necessidade de controle químico com subdoses de herbicidas sobre forrageiras, para reduzir seu crescimento e diminuir o efeito da competição entre as espécies.

As maiores produtividades, que resultaram em lucros operacionais acima de R\$1.000,00 por ha ano<sup>-1</sup>, foram obtidas do consórcio anterior com *U. brizantha*, com (SUG) ou sem (SU) guandu-anão, pela capacidade de rebrota desse capim não ser tão pronunciada em relação ao *M. maximus* e a produção de palhada sobre o solo inibiu o desenvolvimento de plantas daninhas. Costa et al. (2012) também observaram aumento na produção da cultura sucessora, feijão, sobre palhada de forrageiras do gênero *Urochloa*.

A somatória dos índices de lucratividade dos dois anos agrícolas das culturas que ocuparam a mesma área resultou nos dados apresentados no Figura 23. Como as espécies interagem entre si e com o ambiente ao longo dos ciclos agrícolas, seu estudo econômico deve seguir a mesma linha e ser interpretado em conjunto, demonstrando a rentabilidade ou não do sistema como um todo.

Independente se a cultura em sucessão foi soja ou milho, as áreas que apresentaram menores índices de lucratividade foram as que alocaram os consórcios com *M. maximus* no primeiro ano agrícola, com (SMG) ou sem (SM) guandu-anão. Como houve rebrota dos capins durante a cultura do milho, resultando em competição entre as espécies, estas áreas apresentaram índices de lucratividade baixos (MSMG) ou negativos (MSM), ao contrário do observado em áreas cultivadas com soja, nas quais houve uma compensação dos prejuízos do primeiro ano agrícola. Isso ocorreu pois a arquitetura do dossel das plantas de soja inibe a rebrota do capim pela ausência de luz e pelo uso do herbicida no desenvolvimento das plantas por se tratar de uma cultivar RR, tolerante ao herbicida glifosato, além de um preço maior de comercialização da saca de soja em relação à saca de milho.

**Figura 23** – Somatória dos índices de lucratividade de todas as culturas que ocuparam a mesma área nos anos agrícolas 2014/2015 e 2015/2016.



Nota: **SUG** – Sorgo com *U. brizantha* e guandu-anão; **SU** — Sorgo com *U. brizantha*; **SMG** – Sorgo com *M. maximus* e guandu-anão; **SM** – Sorgo com *M. maximus*; **SG** – Sorgo com guandu-anão; **SS** – Sorgo solteiro. Quando precedido de **S** – soja como última cultura. Quando precedido de **M** – milho como última cultura.

Fonte: Dados do próprio autor.

As demais áreas apresentaram os mesmos comportamentos observados para os índices de lucratividade das culturas soja e milho quando analisadas separadamente dos consórcios, sendo a maior lucratividade obtida nas áreas de milho precedido por sorgo consorciado com *U. brizantha* (MSU), por efeito da palhada reduzir a competição com plantas daninhas e por não haver gastos com a semente da leguminosa. Enquanto que na soja a melhor opção seria a precedida por sorgo solteiro (SSS), pela ausência de gastos com forrageiras e guandu-anão.

Entretanto, quando se somou ao sistema o valor recebido pelo produto animal a ser comercializado, realizado por Vilela et al. (2011), se observou maior eficiência econômica em sistemas de rotação lavoura-pasto que em sistemas de monocultura.

## 5 CONCLUSÕES

O consórcio de sorgo com *Megathyrsys maximus* cv. Mombaça influencia negativamente a rebrota do sorgo e a produtividade do milho como cultura subsequente, quando em condições de sequeiro, refletindo negativamente na lucratividade do sistema.

O consórcio de sorgo com forrageiras e/ou guandu-anão em sistema para produção de silagem melhora a ciclagem de P no solo e aumenta o teor de matéria orgânica em subsuperfície se comparado com o cultivo de sorgo solteiro.

A adição do guandu-anão nos consórcios acelera a decomposição da palhada deixada sobre o solo pelas gramíneas forrageiras.

O cultivo de várias espécies em uma mesma área aumenta a microporosidade e acidifica o solo em relação ao cultivo de sorgo solteiro solteiro.

A soja é menos sensível à cultura antecessora que o milho, resultando em maiores índices de lucratividade após colheita de material vegetal para ensilagem.

## REFERÊNCIAS

- AGRIANUAL. Anuário da Agricultura Brasileira. São Paulo: Informa Economics/FNP, 2016.
- AGROLINK. **Cotações ao produtor**. [S. l], 2016. Disponível em: <<http://www.agrolink.com.br/cotacoes/>>. Acesso em: 15 jun. 2016.
- ALBUQUERQUE, C. J. B. et al. Consórcio de forrageiras tropicais com o sorgo granífero em duas localidades do estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 12, p. 1-9, 2013.
- ALVARENGA, C. R. et al. **Sistema de integração lavoura pecuária**: o modelo implantado na Embrapa Milho e Sorgo. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2007.
- ALVARENGA, R. C. et al. **A cultura do milho na integração lavoura-pecuária**. Sete Lagoas: Embrapa Sete Lagoas, 2006.
- ARAÚJO, H. S. et al. Aspectos econômicos da produção de bovinos de corte. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, p. 82-89, 2012.
- BALBINOT JÚNIOR, A. A. et al. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, p. 1925-1933, 2009.
- BAYER, C. AMARAL, A. S. Amenização da acidez de um Latossolo Argiloso por extratos aquosos de plantas de cobertura de inverno. **Revista Ciência Agroveterinária**, Lages, v. 2, p. 88-96, 2003.
- BENÍCIO, L. P. F. et al. Produção de *Panicum maximum* consorciado com sorgo sob diferentes fontes de fósforo. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v. 5, p. 55-60, 2011.
- BERNOUX, M. et al. Modeling vertical distribution of carbon in Oxisols of the Western Brazilian Amazon (Rondônia). **Soil Science**, Philadelphia, v. 163, p. 941-951. 1998.
- BORGHI, E.; CRUSCIOL, C. A. C. Produtividade de milho, espaçamento e modalidade de consorciação com *Brachiaria brizantha* no SPD. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, p. 163-171, 2007.
- BRAZ, A. J. B. P. et al. Acumulação de nutrientes em folhas de milheto e dos capins braquiária e mombaça. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 34, p. 83-87, 2004.
- BRAZ, F. P.; MION, T. D.; GAMEIRO, A. H. Análise socioeconômica comparativa de sistemas de integração lavoura-pecuária em propriedades rurais nas regiões sul, sudeste e centro-oeste do Brasil, **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 42, p. 69-82, 2012.
- BUSSCHER, W. J. et al. Correction of cone index for soil water content differences in a coastal plain soil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 43, p. 205-2017, 1997.

CANTARELLA, H.; RAIJ, B. Van.; CAMARGO, C. E. O. Adubação de cereais. In: RAIJ, B. Van. et al. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997. p. 43-50.

CARVALHO, P. C. F. et al. Definições e terminologias para Sistema Integrado de Produção Agropecuária. **Revista Ciência Agrônoma**, Fortaleza, v. 45, p. 1040-1046, 2014.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PADANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo de amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 22, p. 527-538, 1998.

COBUCCI, T. et al. Opções de integração lavoura-pecuária e alguns de seus aspectos econômicos. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 28, p. 25-42, 2007.

COHEN, J. **Statistical power analysis for the behavioral sciences**. Hillsdale: Erlbaum, 1988.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos 2015/2016**. Décimo Segundo Levantamento. 2016. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 13 set. 2016.

CONTE, O. et al. Demanda de tração em haste sulcadora na integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo e sua relação com o estado de compactação do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, p. 220-228, 2007.

COSTA, N. R. **Desempenho técnico e econômico da produção de milho e sorgo para silagem e soja em sucessão em sistema irrigado de integração lavoura-pecuária no Cerrado**. 2014. 227 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Ilha Solteira. 2014.

COSTA, N. R. et al. Análises técnicas e econômicas no sistema de integração lavoura-pecuária submetido à adubação nitrogenada. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 59, p. 597-605, 2012.

CRUSCIOL, C. A. C. et al. An innovative crop-forage intercropping system: early cycle soybeanbean cultivars and palisadegrass. **Agronomy Journal**, Madison, v. 104, p. 1085-1095, 2012.

CRUSCIOL, C. A. C. et al. Nutrição e produtividade de híbridos de sorgo granífero de ciclos contrastantes consorciados com capim-marandu. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 46, p. 1234-1240, 2011.

DENARDIN, J. E. Manejo adequado do solo para áreas motomecanizadas. In: SIMPÓSIO DE MANEJO DO SOLO E PLANTIO DIRETO NO BRASIL, 9., 1983, Passo Fundo. **Anais...** Passo Fundo: [s. n.], 1984. p. 107-123.

DOMINGUES, A. N. et al. Agronomic characteristics of corn hybrids for silage production in the State of Mato Grosso, Brazil. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, Maringá, v. 35, p. 7-12, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: CNPS, 1997.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa dos Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPS, 2013.

FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JÚNIOR, J. A. Desvendando os mistérios do coeficiente de correlação de Pearson (r). **Revista Política Hoje**, Recife, v. 18, p. 115-146, 2009.

GARCIA, C. M. P. et al. Análise econômica da produtividade de grãos de milho consorciado com forrageiras dos gêneros *Brachiaria* e *Panicum* em sistema plantio direto. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 59, p. 157-163, 2012.

GOUVELLO, C. **Estudo de baixo carbono para o Brasil**. Brasília, DF: Banco Mundial, 2010.

GUO, L. B.; GIFFORD, R. M. Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. **Global Change Biology**, Chichester, v. 8, p. 345-360, 2002.

HERNANI, L. C. et al. A erosão e seu impacto. In: MANZATO, C. V. et al. (Ed.). **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. p. 47-60.

HUSSAIN, I. et al. Adaptation of soil quality indices on application to three tillage systems in southern Illinois. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 50, p. 237-249, 1997.

JAKELAITIS, A. et al. Influência de herbicidas e de sistemas de semeadura de *Brachiaria brizantha* consorciada com milho. **Planta Daninha**, Jaboticabal, v. 23, p. 59-67, 2005.

KAY, B. D.; RASIAH, V.; PERFECT, E. Structural aspects of soil resiliency. In: GREENLANCD, D. J.; SZABOLCS, I., (Ed.). **Soil resilience and sustainable land use**. London: CAB International, 1994. p. 449-468.

KLUTHCOUSKI, J. et al. **Sistema Santa Fé**: tecnologia Embrapa: integração lavoura-pecuária pelo consórcio de culturas anuais com forrageiras, em áreas de lavoura, nos sistemas direto e convencional. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2000.

KLUTHCOUSKI, J.; YOKOYAMA, L. P. Opções de integração lavoura-pecuária. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. **Integração lavoura-pecuária**. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p. 131-141.

- LOPES, M. A. et al. Análise econômica da terminação de bovinos de corte em confinamento no estado de Minas Gerais: estudo de caso. **Revista Ceres**, Viçosa, MG v. 60, p. 465-473, 2013.
- MACEDO, C. M. M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 38, p. 133-146, 2009.
- MACEDO, M. C. M.; ZIMMER, A. H. Sistemas integrados de lavoura-pecuária na região dos Cerrados do Brasil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL EM INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA, 2007, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR, UFRGS, Ohio State University, 2007. 24 p. (CD-ROM).
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997.
- MARCHÃO, R. L. et al. Soil macrofauna under integrated crop-livestock systems in a Brazilian Cerrado Ferralsol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 44, p. 1011-1020, 2009.
- MARCOLAN, A. L.; ANGHINONI, I. Atributos físicos de um Argissolo e rendimento de culturas de acordo com o revolvimento do solo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, p.163-170, 2006.
- MARTHA JÚNIOR, G. B.; ALVES, E.; CONTINI, E. Dimensão econômica de sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 46, p. 1.117-1.126, 2011.
- MARTHA JÚNIOR, G. B.; VILELA, L.; BARCELLOS, A. O. A planta forrageira e o agroecossistema. In: PEDREIRA, C. G. S. et al. (Eds) **As pastagens e o meio ambiente**. (SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DA PASTAGEM, 23). Piracicaba: FEALQ, 2006. p. 87-137.
- MARTIN, N. B. et al. Sistema integrado de custos agropecuários - CUSTAGRI. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 28, p. 7-28, 1998.
- MATEUS, G. P. et al. Adubação nitrogenada de sorgo granífero consorciado com capim em sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 46, p. 1161-1169, 2011.
- MATSUNAGA, M.; BEMELMANS, P. F.; TOLEDO, P. E. N. Metodologia de custo de produção utilizada pelo IEA. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v. 23, p. 123-139, 1976.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA. **Plantio Direto**. Brasília, DF, 2016. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/desenvolvimento-sustentavel/plantio-direto>>. Acesso em: 02 dez. 2016.

- MIRANDA, J. C. C.; VILELA, L.; MIRANDA, L. N. Dinâmica e contribuição da micorriza arbuscular em sistemas de produção com rotação de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 40, p. 1005-1014, 2005.
- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; CALEGARI, A. Efeito de material vegetal na acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 17, p. 411-416, 1993.
- MORON, A.; KIEHL, J. C. Dinâmica del fosforo en tres sistemas agrícolas en el sudeste de Uruguay. **Revista Inia Inv.**, Colónia, p. 61-84, 1992.
- OLIVEIRA, C. O. et al. Custo e lucratividade da produção de sementes de soja enriquecidas com molibdênio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 45, p. 82-88, 2015.
- PAZIANI, S. F. et al. Características agronômicas e bromatológicas de híbridos de milho para produção de silagem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 38, p. 411-417, 2009.
- PIRES, F. R. et al. Manejo de plantas de cobertura antecessoras à cultura da soja em plantio direto. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 55, p. 94-101, 2008.
- PRECHAC, F. G. Propriedades físicas y erosion in rotaciones de cultivos y pasturas. **Revista Inia Inv.**, Colónia, p. 127-140, 1992.
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2015.
- RAIJ, B. Van et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. R.; FURLAN, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico, 1996. (Boletim técnico, 100).
- REZENDE, G. M. et al. Características agronômicas de cinco genótipos de sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], cultivados no inverno, para a produção de silagem. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 10, p. 171-179, 2011.
- RODRIGUES FILHO, O. et al. Produção e composição bromatológica de quatro híbridos de sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) submetidos a três doses de nitrogênio. **Ciência Animal Brasileira**, Goiania, v. 7, p. 37-48, 2006.
- RODRIGUES, M. et al. Análise econômica de consórcios de *Brachiaria brizantha* com culturas graníferas anuais voltados para a recuperação de pastagens na Amazônia. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 10, p. 82-90, 2015.
- ROSELLO, R. Devolucion del nitrogeno toral en rotacionaes com pasturas. **Revista Inia Inv.**, Colónia, p. 27-35, 1992.

- SALET, R. L. **Toxidez de alumínio no sistema de plantio direto**. 1998. 109 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.
- SALTON, J. **Matéria orgânica e agregação do solo na rotação lavoura: pastagem em ambiente tropical**. 2005. 155 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
- SIGNOR, D.; PISSIONI, L. L. M.; CERRI, C. E. P. Emissões de gases de efeito estufa pela deposição de palha de cana-de-açúcar sobre o solo. **Bragantia**, Campinas, v. 73, p. 113-1222, 2014.
- SILVA, A. C. et al. Dessecação pré-colheita de soja e *Brachiaria brizantha* consorciadas com doses reduzidas de gramínicida. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, p. 37-42, 2006.
- SILVA, R. F. et al. Macrofauna invertebrada do solo em sistema integrado de produção agropecuária no Cerrado. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 30, p. 725-731, 2008.
- SILVA, R. F. et al. Análise conjunta de atributos físicos e biológicos do solo sob sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 46, p. 1277-1283, 2011.
- SILVA, V. J. et al. Integração lavoura-pecuária sob sistema de plantio direto no Cerrado brasileiro. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 7, p. 1-12, 2011.
- SOUSA, D. G. M.; LOBATO, E. Correção da acidez do solo. In: \_\_\_\_\_. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. p. 81-96.
- SOUSA, D. M. G.; MARTHA JÚNIOR, G. B.; VILELA, L. Adubação fosfatada. In: MARTHA JUNIOR, G. B.; VILELA, L.; SOUSA, D. M. G. **Cerrado: uso eficiente de corretivos e fertilizantes em pastagens**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2007. p. 145-177.
- SOUZA, E. D. et al. Estoques de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, p. 1829-1836, 2009.
- SOUZA, E. D. et al. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, p. 79-88, 2010.
- SPERA, S. T. et al. Integração lavoura e pecuária e os atributos físicos de solo manejado sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, p. 129-136, 2009.
- STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 15, p. 229-235, 1991.

STONE, L. F.; GUIMARÃES, C. M. **Influência de sistemas de rotação de culturas nos atributos físicos do solo**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005.

THUROW, T. L. Hydrology and erosion. In: HEITSCHMIDT, R. K.; STUTH, J. W. (Ed.). **Grazing management: an ecological perspective**. Portland: Timber, 1991. p.141-159.

VEIGA, M. et al. Atributos de solo e de plantas afetados pelo manejo da pastagem anual de inverno em sistema de integração lavoura-pecuária. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, p. 444-450, 2012.

VIEIRA, R. C. B. et al. Critérios de calagem e teores críticos de fósforo e potássio em LATOSSOLOS sob plantio direto no centro-sul do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 37, p. 188-198, 2013.

VILELA, L. et al. Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 46, p. 1127-1138, 2011.

VILELA, L.; MARTHA JÚNIOR, G. B.; MARCHÃO, R. L. Integração Lavoura-Pecuária-Floresta: alternativa para intensificação do uso da terra. **Revista UFG**, v. 13, p. 92-99, 2012.

VILELA, L.; MARTHA JÚNIOR., G. B. **Integração lavoura-pecuária no Cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2010.