UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

CULTURAS DE COBERTURA ISOLADAS E/OU CONSORCIADAS NA PRODUÇÃO DE MASSA SECA, PRODUTIVIDADE DE MILHO E SOJA, ATRIBUTOS QUÍMICOS E MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO

SIMONE CÂNDIDO ENSINAS

DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2015

CULTURAS DE COBERTURAS ISOLADAS E/OU CONSORCIADAS NA PRODUÇÃO DE MASSA SECA, PRODUTIVIDADE DE MILHO E SOJA, ATRIBUTOS QUÍMICOS E MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO

SIMONE CÂNDIDO ENSINAS
Engenheira Agrônoma

Orientadora: PROF[a]. DR[a]. MARLENE ESTEVÃO MARCHETTI

Tese apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, para obtenção do título de Doutor.

DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

E598c Ensinas, Simone Cândido.
Culturas de cobertura isoladas e/ou consorciadas na produção de massa seca, produtividade de milho e soja, atributos químicos e matéria orgânica do solo. / Simone Cândido Ensinas. – Dourados, MS : UFGD, 2015.
98f.

Orientadora: Profa. Dra. Marlene Estevão Marchetti.
Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados.

1. Fertilidade do solo. 2. *Brachiaria*. 3. Carbono orgânico total. I. Título.

CDD – 631.422

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central – UFGD.

©Todos os direitos reservados. Permitido a publicação parcial desde qu citada a fonte.

"Culturas de cobertura isoladas e/ou consorciadas na produção de massa seca, produtividade de milho e soja, atributos químicos e matéria orgânica do solo".

por

SIMONE CÂNDIDO ENSINAS

Tese apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de DOUTORA EM AGRONOMIA

Aprovada em: 16/01/2015

Prof[a]. Dr[a]. Marlene Estevão Marchetti
UFGD/FCA

Prof[a]. Dr[a]. Alessandra Mayumi Tokura Alosivi
UFGD/FCA

Prof. Dr. Luiz Carlos Ferreira de Souza
UFGD/FCA

Prof. Dr. Ademar Pereira Serra
EMBRAPA

Prof[a]. Dr[a]. Euiene Francisco da Silva
UFERSA

Aos meus pais Edson e Fátima

Ao meu irmão Bruno

Dedico

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, agradeço a Deus, pelo dom da vida e por guiar meus passos durante minha caminhada.

À Universidade Federal da Grande Dourados, através do Programa de Pós-graduação em Agronomia possibilitou a realização do curso de doutorado e deste trabalho.

A CAPES pela concessão da bolsa de estudo para execução do projeto de pesquisa que resultou neste trabalho.

A Fundação MS por disponibilizar a área experimental para realização deste trabalho e pela confiança depositada.

À Prof^{a}. Dr^{a}. Marlene Estevão Marchetti por ter acreditado em mim, pela orientação, convivência, amizade e ensinamentos durante a execução desta pesquisa.

Ao Dr. Ademar Pereira Serra pela co-orientação neste trabalho, pelas sugestões e ensinamentos a mim transmitidos durante a condução da pesquisa.

À Prof^{a}. Dr^{a}. Eulene Francisco da Silva pelos conselhos, amizade e incentivo.

Às Prof^{as} Dr^{as} Anamari Viegas de Araujo Motomiya e Alessandra Mayumi Tokura Alovisi pelas sugestões na correção da tese.

Ao Prof Dr. Luiz Carlos Ferreira de Souza por ter aceitado o convite de participar da banca de defesa de doutorado.

Aos técnicos do Laboratório de Fertilidade do Solo da UFGD, João Machado e Camila Farah pela amizade e auxílio durante as análises.

Ao meu namorado Moacyr Toshimitsu Maekawa Júnior pelo amor, paciência e ajuda na condução desta pesquisa.

Agradeço a todos meus amigos que torceram por mim, para que eu concluísse com êxito esse desafio. Em especial aos meus amigos do Programa de Pós-graduação em Agronomia da UFGD, Éber Augusto do Prado, Douglas Costa Potrich, Matheus Andrade Martinez, Renata Azambuja Miranda e Fabiana Faccin.

SUMÁRIO

RESUMO vii

ABSTRACT ix

INTRODUÇÃO GERAL xi

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS xvi

CAPÍTULO 1: PRODUÇÃO DE MASSA SECA DE CULTURAS DE COBERTURA E PRODUTIVIDADE DE MILHO E SOJA EM SISTEMA PLANTIO DIRETO NO CERRADO 21

1. Introdução 23
2. Material e Métodos 26
3. Resultados e Discussões 30
4. Conclusões 38
5. Referências Bibliográficas 39

CAPÍTULO 2: ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM DIFERENTES CULTURAS DE COBERTURA SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO NO CERRADO 44

1. Introdução 46
2. Material e Métodos 48
3. Resultados e Discussões 52
4. Conclusões 63
5. Referências Bibliográficas 64

CAPÍTULO 3: COMPARTIMENTOS DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM FUNÇÃO DE CULTURAS DE COBERTURA SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO NO CERRADO 69

1. Introdução 71
2. Material e Métodos 74
3. Resultados e Discussões 81
4. Conclusões 91
5. Referências Bibliográficas 92

“Quando contei os meus sonhos para alguém,

Me disseram: são grandes demais para você.

Quando falei onde queria chegar,

Me disseram: pare por aqui, não vá além,

Mas com Deus foi bem diferente,

Ele me disse: vá em frente eu contigo estou,

Quando eu senti medo de seguir,

Disse prossiga, Eu te fiz pra ser um vencedor,

Desde então eu nunca mais me limitei,

Guardei no coração as palavras de Deus,

Descobri que os planos dele para mim,

São muito maiores que os meus”.

Leandro Borges

RESUMO

ENSINAS, SIMONE CÂNDIDO. Universidade Federal da Grande Dourados, Janeiro de 2015. **Culturas de Cobertura Isoladas e/ou Consorciadas na Produção de Massa Seca, Produtividade de Milho e Soja, Atributos Químicos e Matéria Orgânica do Solo.** Orientadora: Prof[a] Dr[a] Marlene Estevão Marchetti. Co-Orientador: Prof. Dr. Ademar Pereira Serra.

O sucesso do sistema plantio direto (SPD) está condicionado à escolha das espécies vegetais que integram o sistema, uma vez que, estas plantas podem contribuir de maneira diferenciada no acúmulo de massa seca, na produtividade do milho e da soja, nos atributos químicos do solo e nos compartimentos da matéria orgânica do solo (MOS). Diante disto, a realização desta pesquisa teve como objetivo avaliar a produção de massa seca, produtividade de milho consorciado com crotalária e forrageiras do gênero *Brachiaria* spp., a produtividade de soja, as alterações nos atributos químicos do solo e quantificar os compartimentos da MOS em função das culturas de cobertura utilizadas durante dois anos agrícolas (2012/2013 e 2013/2014) na região do Cerrado Sul-Mato-Grossense. O estudo foi realizado no município de Maracaju-MS, em solo classificado como Latossolo Vermelho Distroférrico. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com oito tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos adotados foram diferentes culturas de cobertura de solo (milho segunda safra, milho segunda safra consorciado com *Brachiaria ruziziensis*, *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, *Crotalaria spectabilis*, cultivo isolado de *B. ruziziensis* e *B. brizantha* cv. Marandu, milheto e vegetação espontânea). As amostras de solo foram coletadas nos anos agrícolas de 2012/2013 e 2013/2014, após a dessecação das culturas de cobertura, nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Após as coletas foi determinado o pH, H+Al, K^{+}, P, Ca^{+2}, Mg^{+2}, Al^{+3} e calculadas a SB e a CTC. Para quantificação dos compartimentos da MOS foram determinados os estoques de carbono orgânico total e lábil, estoque de nitrogênio total e lábil, índice de manejo de carbono e também realizado o fracionamento granulométrico da MOS. O consórcio milho de segunda safra com *B. brizantha* cv. Marandu e com *Crotalária spectabilis* reduziu a produtividade de grão do milho no ano agrícola 2012/2013. O uso de *B. brizantha* cv. Marandu cultivada isolada ou em consorciação com o milho de segunda safra produziu quantidade de massa seca acima de 6 Mg ha^{-1} sendo eficiente para o sucesso e sustentabilidade do SPD no Cerrado Sul-Mato-Grossense. Se o objetivo principal da consorciação do milho de segunda safra com forrageira for produtividade de grãos e o objetivo secundário for formação de cobertura vegetal, deve-se utilizar a *B. ruziziensis*. O uso da *B. ruziziensis*, *B. brizantha* cv. Marandu e do milheto como culturas de cobertura promoveram elevação dos teores de magnésio e potássio. A utilização do milho em consorciação com crotalária e a vegetação espontânea promoveram maior acidificação no solo. Houve redução do pH, H+Al, cálcio, magnésio, SB e CTC no ano agrícola de 2013/2014. A adoção do sistema plantio direto com o uso de diferentes culturas de outono/inverno proporcionou aumento nos teores dos nutrientes na camada superficial do solo e maior acidificação nas camadas mais profundas do solo. No que se refere aos compartimentos da MOS, verificou-se que o uso do milho em consorciação com crotalária, *B. ruziziensis* e *B. brizantha* cv. Marandu contribuíram para o aumento dos estoques de nitrogênio lábil. O carbono

orgânico particulado e carbono lábil foram mais sensíveis em detectar as alterações nos estoques de carbono entre os anos agrícolas avaliados. As coberturas vegetais em sistema plantio direto ao longo do tempo de adoção do sistema proporcionaram manutenção e/ou aumento nos estoques de carbono orgânico total e carbono orgânico associado aos minerais.

Palavras-chave: Latossolo, fertilidade do solo, *Brachiaria* e carbono orgânico total.

ABSTRACT

ENSINAS, SIMONE CÂNDIDO. Universidade Federal da Grande Dourados, janeiro de 2015. **Cover plants: Effect on dry matter production, corn and soybean productivity, chemical properties and soil organic matter**. Orientadora: Marlene Estevão Marchetti. Co-Orientador: Ademar Pereira Serra.

The success of no-tillage system depend on the choice of the crops species integrated in the system, once these crops can contribute differently in dry matter accumulation, corn and soybean yield, in soil chemical properties and in the storages of soil organic matter (SOM). Therefore, the aim of this research was to assess the above-ground dry matter production, intercropping winter corn crop yield with *Crotalária spectabilis* and *Brachiaria* spp., the soybean yield, the changes in soil chemical properties and quantify the SOM storage in function of cover crops used during two cropping season (2012/2013 and 2013/2014) in the state of Mato Grosso do Sul in Brazilian savannah. The study was carried out in the municipality of Maracaju, in soil classified as Oxisol. The experimental design was in randomized blocks with eight treatments and four replications. The treatments adopted were formed by different cover crops (winter corn crop; intercropping winter corn with *Brachiaria ruziziensis*; intercropping winter corn with *Brachiaria brizantha* cv. Marandu; intercropping winter corn with *Crotalária spectabilis*; *B. ruziziensis*; *B. brizantha* cv. Marandu; *Penisetum glaucum* L. and reference area). The soil samples were collected in two cropping season (2012/2013 and 2013/2014) in 0-5 cm, 5-10 cm and 10-20 cm depth, after desiccation of cover crops. After the samples, it was determined pH, H + Al, K^+, P, Ca^{+2}, Mg^{+2}, Al^{+3} and calculated the sum of base and CEC. For quantification of SOM storage, it were determined the total organic carbon stocks, labile organic carbon, total nitrogen stocks, labile nitrogen stocks, light organic matter in water, carbon management index and also performed the particle size fractionation of SOM. The use of *B. brizantha* cv Marandu grown single or in intercropping with winter corn crop guaranteed amount of above-ground dry matter over than 6 Mg ha^{-1} being effective for the success and sustainability of no-tillage system in the state of Mato Grosso do Sul in region of savannah. Based on the results obtained, if the major objective of the intercropping winter corn crop were the winter corn crop yield and the secondary objective were the production of above-ground dry matter, than it is suggested the intercropping winter corn crop with *B. ruziziensis*. The adoption of *B. ruziziensis*, *B. brizantha* cv. Marandu and millet as cover crops promoted increase of Mg^{2+} and K^+ content. The intercropping winter corn crop with *Crotalária spectabilis* and the reference area promoted higher acidification in soil. There was depletion of pH, H+Al, Ca^{+2}, Mg^{+2}, sum of base and CEC in 2013/2014 cropping season. The adoption of no-tillage system with the use of different cover crops promoted increase in nutrients contents in surface layer and higher acidification in deep soil. In relation to the soil organic matter storages, it was verified that the implementation of intercropping winter corn crop with *Crotalária spectabilis*, *B. ruziziensis* and *B. brizantha* cv. Marandu contributed to labile nitrogen stocks. The organic carbon and labile carbon stocks were more sensitive in detect the alterations in carbon stocks between cropping seasons. The cover crops in no-tillage increases in light organic matter content in water and stabilization of carbon in most

system through the time of adoption promoted maintainace and increasing in the total organic carbon stocks and organic carbon linked with soil minerals.

Key-words: Oxisol, soil fertility, *Brachiaria* and total organic carbon.

INTRODUÇÃO GERAL

Em decorrência dos problemas ambientais que a humanidade estava enfrentando após a revolução industrial, surgiu a necessidade de se realizar grandes mudanças na forma de desenvolvimento até então praticado. Este despertar para uma consciência do mundo e a necessidade de se discutir políticas ambientais só foi legitimada a partir de 1972 na Conferência da Organização das Nações Unidas sobre o ambiente humano, realizada, em Estocolmo.

Foi nesta conferência que, pela primeira vez, surgiu o termo desenvolvimento sustentável; tal termo foi apresentado no relatório Nosso Futuro Comum durante a Comissão de Brundland, que apresentou a seguinte definição para o conceito: "Desenvolvimento econômico e social que atenda as necessidades da geração atual sem comprometer a habilidade das gerações futuras atenderem às suas próprias necessidades" (BRUNDTLAND, 1991).

Após o surgimento do termo desenvolvimento sustentável, o mundo tem buscado novas alternativas de enfatizar este tipo de desenvolvimento nas várias áreas do conhecimento. Dentre as medidas para se alcançar o desenvolvimento de maneira mais sustentável, está à adoção de práticas que visem à redução da emissão de gases de efeito estufa (GEEs), como metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), óxido nitroso (N_2O) e óxidos de nitrogênio (NO_x).

Pensando nisso, em 2009, durante a 15ª Conferência das Partes (COP), realizada em Copenhague, na Dinamarca, e na COP-16, realizada no ano seguinte em Cancún, no México, o Brasil firmou seu compromisso em adotar ações voluntárias para a redução de emissões de GEEs e comprometeu-se com uma redução entre 36,1% a 38,9% em relação às emissões brasileiras projetadas até 2020 (SANTOS, SOUZA e CRUZ, 2013).

O agronegócio brasileiro tem um papel de enorme responsabilidade no que se refere à emissão dos GEEs (NOGUEIRA, 2013). De acordo com os dados mais recentes sobre as emissões de GEEs a atividade agropecuária contribuiu com 35% do total emitido em 2010 (SEPED, 2013).

Desta forma, para atender aos conceitos de uma agricultura sustentável e atingir os objetivos firmados, o governo federal criou o programa ABC

(Agricultura de Baixo Carbono) em 2010, que disponibilizou incentivos e recursos para o agricultor que adotar técnicas agrícolas sustentáveis, com o objetivo de reduzir a emissão de GEEs. Com este programa o Governo prevê a redução significativa das emissões destes gases gerados pela atividade agropecuária (BRASIL, 2010).

Dentre as práticas agrícolas que podem ser adotadas para mitigar as emissões de GEEs abrangidas no Programa de Agricultura de Baixo Carbono está o sistema plantio direto (SPD).

O SPD é um sistema de manejo caracterizado pelo revolvimento do solo somente na linha de semeadura, pela manutenção da cobertura do solo com restos vegetais e pela rotação de culturas. Devido a estas características, proporciona aumento da infiltração e do armazenamento de água no solo, diminuição da temperatura superficial, redução do impacto da gota de chuva, acúmulo superficial de nutrientes e de matéria orgânica no solo (BAYER e MIELNICZUK, 1999).

De acordo com Carvalho et al. (2010), o SPD é uma alternativa para minimizar os impactos causados ao solo, pelas diferentes formas de uso, pois os princípios básicos da adoção do SPD levam à redução da emissão de CO_2 para a atmosfera e atuam ainda no aumento do estoque de carbono e nitrogênio no solo.

Um dos fatores imprescindíveis para a instalação e manutenção do SPD é a implantação da cultura principal sobre os resíduos culturais de uma cultura de cobertura que tenha sida introduzida em cultivo sequencial ou rotacionado. Na região de Cerrado onde as condições climáticas limitam o acúmulo e a manutenção de cobertura durante longo período, a escolha da espécie de cobertura vem assumindo um papel de extrema importância.

Dentre as espécies vegetais utilizadas, as culturas como gramíneas do gênero *Brachiaria*, milheto (*Pennisetum glaucum* L.), crotalária (*Crotalaria spectabilis*) têm sido consideradas de boa adaptação ao Cerrado, sendo excelentes opções para utilização em sistemas conservacionistas como o SPD (TORRES, PEREIRA e FABIAN, 2008; FABIAN, 2009; GARCIA et al., 2012).

As forrageiras (*Brachiaria* spp.) tem como vantagens a alta resistência ao déficit hídrico, elevada produção de biomassa (acima de 15 Mg ha^{-1}) e reduzida decomposição durante a entressafra (BORGHI, CRUSCIOL e COSTA, 2006; PACHECO et al., 2008 e PACHECO et al., 2011). O milheto apresenta como características a alta produção de matéria seca, sistema radicular profundo e abundante (GONÇALVES et al., 2006) e tolerância à seca (MARTEAU et al., 2011).

Com relação ao uso de plantas de cobertura da família das Fabaceae, como a crotalária, estas apresentam grande potencial de produção de biomassa (superior a 8 Mg ha^{-1}) e capacidade de fornecer nitrogênio à cultura sucessora (MATHEIS, AZEVEDO e VICTÓRIA FILHO, 2006). Entretanto, essas plantas apresentam baixa relação C/N (18:1) e podem apresentar elevada taxa de decomposição de seus resíduos (TEIXEIRA et al., 2009).

No SPD também tem sido realizada a consorciação do milho segunda safra (milho safrinha) com gramíneas, especialmente do gênero *Brachiaria*, e com crotalária. Esta consorciação pode apresentar-se como uma alternativa para o produtor garantir maior rentabilidade do milho de segunda safra, visto que, em muitas regiões do Brasil, o cultivo do milho de segunda safra tem apresentado insucesso, face à baixa disponibilidade hídrica e irregularidade da precipitação pluvial no período outono/inverno (CRUSCIOL et al., 2009). Além disso, esta consorciação contribui para formação de cobertura vegetal no SPD.

É de fundamental importância o conhecimento do comportamento das espécies consorciadas na competição por fatores de produção, para que se possam obter benefícios desse sistema, evitando que a competição existente entre as espécies inviabilize o cultivo consorciado (KLUTHCOUSKI e YOKOYAMA, 2003; PARIZ et al., 2011).

Outro ponto que deve ser levado em consideração na escolha da espécie vegetal utilizada como cobertura na entressafra, é o fato da mesma poder influenciar na produtividade da soja. Estudos têm relatado que a cultura de cobertura utilizada na entressafra pode exercer tanto efeitos positivos (CORREIA e DURIGAN, 2008; VERONESE et al., 2012), negativos (DEBIASI e FANCHINI, 2012; SOUZA et al., 2006) ou não apresentar efeitos (CHIODEROLI et al., 2012; GARCIA et al., 2014) sobre a produtividade da soja.

As plantas de cobertura também podem promover modificações nos atributos químicos do solo. Tais benefícios são atribuídos à produção e acúmulo de massa seca no solo e posterior liberação de nutrientes, pela decomposição dos resíduos culturais (TORRES, PEREIRA e FABIAN, 2008). Quando a cobertura é utilizada na superfície do solo, sem incorporação, como no sistema plantio direto, os nutrientes menos móveis, como o fósforo e o carbono orgânico, tendem a se concentrar nos 10 cm superficiais do solo (CUNHA et al., 2011). Além disso, o uso de plantas de cobertura de solo na entressafra pode promover a liberação de ácidos

orgânicos solúveis em água, capazes de complexar os elementos tóxicos e os micronutrientes, mobilizar o cálcio e o magnésio (BAYER e MIELNICZUK, 1999; ZAMBROSI, ALLEONI e CAIRES, 2008).

Santos et al. (2012), avaliando as coberturas de *Brachiaria*, milho em consorcio com *Brachiaria*, guandu anão, milheto, *Panicum maximum* cv Mombaça, sorgo granífero, estilosantes e crotalária sobre os atributos químicos e a estabilidade de agregados de um Latossolo do Cerrado, sob plantio direto verificaram que as culturas de cobertura influenciam, de forma diferenciada, os valores de pH e os teores de cálcio, magnésio, alumínio, potássio, cobre, zinco e ferro do solo.

As plantas de cobertura utilizadas no SPD contribuem também para manutenção e/ou incrementos da matéria orgânica do solo em todos os seus compartimentos, o que irá determinar a maior ou menor capacidade deste sistema em atuar na mitigação dos GEEs.

Estudos mostram que as *Brachiaria*s apresentam grande potencial de fornecimento de carbono ao solo, por apresentarem grande adição de resíduos vegetais e sistema radicular extenso que é constantemente renovado (HARRIS, CHESTERS e ALLEN, 1966, SILVA e MIELNICZUK, 1997). Souza et al. (2009) observaram aumento no estoque de carbono orgânico total em sistemas de integração com gramíneas e soja em plantio direto. Rossi et al. (2011), estudando frações lábeis da matéria orgânica em sistema de cultivo com resíduos de *Brachiaria* e sorgo, observaram que a introdução de *Brachiaria* no cultivo da soja em sistema plantio direto proporcionou acúmulo de carbono orgânico no solo quando comparadas com a área de referência.

O uso do milheto como planta de cobertura também é eficiente no acúmulo de carbono orgânico no solo. Caetano et al. (2013) constataram que o cultivo de soja em sucessão ao milheto foi capaz de manter inalterado o estoque de carbono no solo ao longo do tempo. Nunes et al. (2011) verificaram que os estoques de carbono orgânico foram maiores no SPD (38,06 Mg ha^{-1}) em relação ao preparo convencional (35,23 Mg ha^{-1}), ambos tendo o milheto como planta de cobertura.

As leguminosas, como crotalária, por fornecerem maiores quantidades de nitrogênio orgânico ao solo, podem favorecer a formação de frações mais estáveis da MOS. Além disso, no SPD a diversidade de espécies de cobertura em sucessão, rotação e consórcio de cultivos apresentam potencial para incrementar os estoques de

carbono e nitrogênio inicialmente nas camadas superiores e, com o tempo de adoção, nas camadas mais profundas do solo (RIBEIRO et al., 2011).

A capacidade das plantas de coberturas utilizadas no SPD em adicionar matéria orgânica ao solo e contribuir para mitigação dos GEEs, podem ser monitoradas por meio da quantificação dos compartimentos da MOS. Dentre os compartimentos avaliados estão a determinação dos estoques de carbono orgânico total (JERKE, SOUSA e GOEDERT, 2012; WINCK et al., 2014) e lábil (LEITE et al., 2013), fracionamento granulométrico da matéria orgânica do solo (FIGUEIREDO, RESCK e CARNEIRO, 2010; GUIMARÃES et al., 2012), matéria orgânica leve em água (FONTANA et al., 2011; GUARESCHI e PEREIRA, 2013), índice de manejo de carbono (SCHIAVO et al., 2011; BATISTA et al., 2013) e os estoques de nitrogênio total e lábil (SILVA et al., 2011; ENSINAS et al., 2014).

Dentro deste contexto, estudos sobre a identificação de plantas de cobertura que têm capacidade de contribuir para o acúmulo de massa seca, seja em consórcio ou sucessão de culturas e o efeito destas plantas de cobertura sobre a produtividade do milho e da soja, nos atributos químicos do solo e nos compartimentos da MOS são necessários para que se tenha maior informação sobre as espécies a serem utilizadas na entressafra.

Diante do exposto, esta tese composta por três capítulos, aborda alguns destes problemas. No primeiro capítulo teve-se como objetivo avaliar a produção de massa seca, produtividade de milho consorciado com crotalária e forrageiras do gênero *Brachiaria* e a produtividade de soja em função das culturas de cobertura utilizadas durante dois anos agrícolas na região do Cerrado Sul-Mato-Grossense. No segundo capítulo avaliou-se durante dois anos agrícolas, as alterações nos atributos químicos do solo cultivado com diferentes culturas de cobertura em sistema plantio direto na região do Cerrado Sul-Mato-Grossense. E no terceiro capítulo foi realizada a quantificação dos compartimentos da matéria orgânica do solo em função de culturas de cobertura utilizadas durantes dois anos agrícolas na região do Cerrado Sul-Mato-Grossense.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BATISTA, I.; PEREIRA, M.G.; CORREIA, M.E.F.; BIELUCZYK, W.; SCHIAVO, J.A.; ROWS, J.R.C. Teores e estoques de carbono em frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica do solo sob integração lavoura-pecuária no bioma cerrado. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.34, n.6, p.3377-3388, 2013.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. **Dinâmica e função da matéria orgânica**. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). Matéria orgânica do solo: fundamentos e caracterização. Porto Alegre: Gênesis, 1999. p.9-26.

BORGHI, E.; CRUSCIOL, C.A.C.; COSTA, C. Desenvolvimento da cultura do milho em consorciação com *Brachiaria brizantha* em sistema plantio direto. **Energia na Agricultura**, Botucatu v.21, n.3, p.19-33, 2006.

BRASIL. **Decreto n° 7.390, de 9 de dezembro de 2010**. Regulamenta os artigos 6, 11, 12 da lei n° 12187, de 29 de dezembro de 2009, que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), e dá outras providências. Brasília: Presidência da República, 2010.

BRUNDTLAND, G.H.(Org.). **Nosso futuro comum**. Rio de Janeiro: FGV, 1991. 430 p.

CAETANO, J.O; BENITES, V. de M.; SILVA, G.P.; da SILVA, I.V.; de ASSIS, R.L.; FILHO, A.C. Dinâmica da matéria orgânica de um Neossolo Quartzarênico de cerrado convertido para o cultivo em sucessão de soja e milheto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.37, n.5, p.1245-1255, 2013.

CARVALHO, J. L.N.; AVANZI, J.C.; SILVA, M.L.N.; MELLO, C.R.; CERRI, C. E.P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.2, p.277-289, 2010.

CHIODEROLI, C.A.; MELLO, L.M.M.; GRIGOLLI, P.J.; FURLANI, C.E.A.; SILVA, J.O.R.; CESARIN, A.L. Atributos físicos do solo e produtividade de soja em sistema de consórcio milho e braquiária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.1, p.37-43, 2012.

CORREIA, N.M.; DURIGAN, J.C. Culturas de cobertura e sua influência na fertilidade do solo sob sistema de plantio direto (SPD). **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.24, n.4, p.20-31, 2008.

CRUSCIOL, C.A.C.; SORATTO, R.P.; BORGHI, E.; MATEUS, G.P. Integração Lavoura-Pecuária: Benefício das gramíneas perenes nos sistemas de produção. **Informações Agronômicas,** Piracicaba, v.125, n.1, p.2-15, 2009.

CUNHA, E. de Q.; STONE, L.F.; DIDONET, A.D.; FERREIRA, E.P. de B.; MOREIRA, J.A.A.; LEANDRO, W.M. Atributos químicos de solo sob produção orgânica influenciados pelo preparo e por plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.10, p.1021-1029, 2011.

DEBIASI, H.; FRANCHINI, J.C. Atributos físicos do solo e produtividade da soja em sistema integração lavoura-pecuária com braquiária e soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, n.7, p.1180-1186, 2012.

ENSINAS, S.C.; MARCHETTI, M.E.; da SILVA, E.F.; POTRICH, D.C.; MARTINEZ, M.A. Atributos químicos, carbono e nitrogênio total em Latossolo submetico a diferentes sistemas de uso do solo. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v.7, n.7, p.24-36, 2014.

FABIAN, A.J. **Plantas de cobertura: efeito nos atributos do solo e na produtividade de milho e soja em rotação**. Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal-SP, 2009, 118p.

FIGUEIREDO, C.C.; RESCK, D.V.S.; CARNEIRO, M.A.C. Labile and stable fractions of soil organic matter under management systems and native cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.34, n.3, p.907-916, 2010.

GARCIA, C.M.de P.; ANDREOTTI, M; TARSITANO, M.A.A.; FILHO, M.C.M.T.; LIMA, A.E. da S.; BUZETTI, S. Análise econômica da produtividade de grãos de milho consorciado com forrageiras dos gêneros *Brachiaria* e *Panicum* em sistema plantio direto, **Revista Ceres**, Viçosa, v.59, n.2, p.157-163, 2012.

GARCIA, C.M. de P.; ANDREOTTI, M.; FILHO, M.C.M.T.; LOPES, K.S.M.; BUZETTI, S. Decomposição da palhada de forrageiras em função da adubação nitrogenada após o consórcio com milho e produtividade da soja em sucessão. **Bragantia**, Campinas, v.73, n.2, p.143-152, 2014.

GONÇALVES, W.G.; JIMENEZ, R.L.; ARAÚJO FILHO, J.V.; ASSIS, R.L.; SILVA, G.P. PIRES, F.R. Sistema radicular de plantas de cobertura sob compactação do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.1, p.67-75, 2006.

GUIMARÃES, D.V.; GONZAGA, M.I.S.; MELO NETO, J.O.; REIS, A.F.; LIMA, T.S.; SANTANA, I.L. Qualidade da matéria orgânica do solo e estoques de carbono e nitrogênio em fragmento de Mata Atlântica do Município de Neópolis. **Scientia Plena**, Sergipe, v.8, n.4, p.1-5, 2012.

HARRIS, R.F.; CHESTERS, G.; ALLEN, O.N. Dynamics of soil aggregation. **Avcances in Agronomy**, New York, v.18, n.1, p.107-169, 1966.

JERKE, C.; de SOUSA, D.M.G.; GOEDERT, W.J. Distribuição do carbono orgânico em Latossolo sob manejo da adubação fosfatada em plantio direto no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n.3, p.442-448, 2012.

KLUTHCOUSKI, J.; YOKOYAMA, L.P. Opções de integração lavoura-pecuária. In: KLUTHCOUSKI, J. et al. **Integração Lavoura-Pecuária**. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. Cap.4, p.131-141.

LEITE, F.C.; ARRUDA, F.P.; COSTA, C. do N.; FERREIRA, J. da S.; NETO, M.R.H. Qualidade química do solo e dinâmica de carbono sob monocultivo e consórcio de macaúba e pastagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.12, p.1257-1263, 2013.

MARTEAU, R.; SULTAN, B.; MORON, V.; ALHASSANE, A.; BARON, C. TRAORÉ, S.B. The onset of the rainy season and farmers' sowing strategy for pearl millet cultivation in Southwest Niger. **Agricultural and Forest Meteorology**, USA, v.151, n.10, p.1356-1369, 2011.

MATHEIS, H.A.S.M.; AZEVEDO, F.A. de; VICTÓRIA FILHO, R. Adubação verde no manejo de plantas daninhas na cultura de citros. **Revista Laranja**, Cordeirópolis, v.27, n.1, p.101-110, 2006.

NOGUEIRA, A.C.L. O plano Agricultura de Baixo Carbono. **Análise de Conjuntura**, São Paulo, v.1, n.1, p.3-5, 2013.

NUNES, R. de S.; LOPES, A.A. de C.; de SOUSA, D.M.G.; MENDES, I. de C. Sistemas de manejo e os estoques de carbono e nitrogênio em Latossolo de cerrado com a sucessão soja-milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n.4, p.1407-1419, 2011.

PACHECO, L.P.; LEANDRO, W.M.; MACHADO, P.O.A.; ASSIS, R.L.; COBUCCI, T.; MADARI, B.E.; PETTER, F.A. Produção de fitomassa e acúmulo e liberação de nutrientes por plantas de cobertura na safrinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.1, p.17- 25, 2011.

PACHECO, L.P.; PIRES, F.R.; MONTEIRO, F.P.; PROCOPIO, S.O.; ASSIS, R.L.; CARMO, M.L.; PETTER, F.A. Desempenho de plantas de cobertura em sobressemeadura na cultura da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.7, p.815-823, 2008.

PARIZ, C.M.; ANDREOTTI, M.; AZENHA, M.V.; BERGAMASCHINE, A.F.; MELLO, L.M.M. de; LIMA, R.C. Produtividade de grãos de milho e massa seca de braquiárias em consórcio no sistema de integração lavoura-pecuária. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.41, n.5, p.875-882, 2011.

RIBEIRO, P.H.; SANTOS, J.V.V.M.; COSER, S.M.; NOGUEIRA, N.O.; MARTINS, C.A.S. Adubação verde, os estoques de carbono e nitrogênio e a qualidade da matéria orgânica do solo. **Revista Verde**, Mossoró, v.6, n.1, p.43-50, 2011.

ROSSI, C.Q.; PEREIRA, M.G.; GIÁCOMO, S.G.; BETTA, M.; POLIDORO, J.C. Frações lábeis da matéria orgânica em sistema de cultivo com palha de braquiária e sorgo. **Revista Ciência Agronômica**, Ceará, v.43, n.1, p. 38-46, 2011.

SANTOS, G.G.; SILVEIRA, P.M.; MARCHÃO, R.L.; PETTER, F.A.; BECQUER, T. Atributos químicos e estabilidade de agregados sob diferentes culturas de cobertura em Latossolo do cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campinas Grande, v.16, n.11, p.1171-1178, 2012.

SANTOS, M.M. de O.; de SOUZA, D.G.S.; da CRUZ, M.R. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. SEPED: Brasília, 2013. 80p.

SCHIAVO, J.A.; ROSSET, J.S.; PEREIRA, M.G.; SALTON, J.C. Índice de manejo de carbono e atributos químicos de Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.10, p.1332-1338, 2011.

SEPED. **Estimativa anuais de emissão de gases do efeito estufa no Brasil**, Brasília, 2013. 80p.

SILVA, E.F.; LOURENTE, E.P.R.; MARCHETTI, M.E.; MERCANTE, F.M.; FERREIRA, A.K.T.; FUJII, G.C. Frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica em solos sob integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.10, p.1321-1331, 2011.

SILVA, I.F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n.1, p.113-117, 1997.

SOUZA, E.D.; ELY, S.; COSTA, V.G.A.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C.F.; ANDRIGUETI, M.; CAO, E. Estoque de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetidos a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n.5, p. 1829-1836, 2009.

SOUZA, L.S.; VELINI, E.D.; MARTINS, D.; ROSOLEM, C.A. Efeito alelopático de capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*) sobre o crescimento inicial de sete espécies de plantas cultivadas. **Planta Daninha**, Viçosa, v.24, n.4, p.657-668, 2006.

TEIXEIRA, C.M.; CARVALHO, G.J.; ANDRADE, M.J.B.; SILVA, C.A.; PEREIRA, J.M. Decomposição e liberação de nutrientes das palhadas de milheto e milheto+ crotalária no plantio direto do feijoeiro. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.31, n.4, p.647-653, 2009.

TORRES, J.L.R.; PEREIRA, M.G.; FABIAN, A.J. Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.3, p.421-428, 2008.

VERONESE, M.; FRANCISCO, E.A.B.; ZANCANARO, L.; ROSOLEM, C.A. Plantas de cobertura e calagem na implantação do sistema plantio direto. **Pesquisa agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n.8, p.1158-1165, 2012.

WINCK, B.R.; VEZZANI, F.M.; DIECKOW, J.; FAVARETTO, N.; MOLIN, R. Carbono e nitrogênio nas frações granulométricas da matéria orgânica do solo em sistemas de culturas sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.38, n.3, p.980-989, 2014.

ZAMBROSI, F.C.B.; ALLEONI, L.R.F.; CAIRES, E.F. Liming and ionic speciation of an Oxisol under no-till system. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.65, n.2, p.190-203, 2008.

CAPÍTULO 1– PRODUÇÃO DE MASSA SECA DE CULTURAS DE COBERTURA E PRODUTIVIDADE DE MILHO E SOJA EM SISTEMA PLANTIO DIRETO NO CERRADO

RESUMO

O sucesso do sistema plantio direto na região do Cerrado está associado à manutenção da cobertura vegetal sobre o solo, dentre as espécies vegetais que têm sido utilizadas para formação de cobertura vegetal estão às forrageiras do gênero *Brachiaria*, milheto e crotalária. A consorciação entre o milho de segunda safra com *Brachiarias* e com crotalária também tem se difundido para a formação de cobertura vegetal. Diante do exposto, a realização desta pesquisa teve como objetivo avaliar a capacidade de produção de massa seca das culturas de cobertura, a produtividade de milho consorciado com crotalária e forrageiras do gênero *Brachiaria* spp. e o efeito dos resíduos culturais das plantas de cobertura sobre a produtividade da soja durante dois anos agrícolas na região do Cerrado Sul-Mato-Grossense. O estudo foi realizado no município de Maracaju-MS, em solo classificado como Latossolo Vermelho Distroférrico. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com oito tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos adotados foram diferentes culturas de cobertura de solo (milho de segunda safra, milho de segunda safra consorciado com *Brachiaria ruziziensis*, *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, *Crotalaria spectabilis*, cultivo isolado de *B. ruziziensis* e *B. brizantha* cv. Marandu, milheto e vegetação espontânea), antecedendo o cultivo da soja no verão. A produção de massa seca na entressafra foi influenciada pelas culturas de cobertura nos dois anos avaliados. Na coleta realizada no ano agrícola de 2012/2013, as maiores quantidades de massa seca foram verificadas nas áreas com *B. ruziziensis* e *B. brizantha* cv. Marandu, com 7,85 e 8,22 Mg ha^{-1}, respectivamente Para o ano agrícola de 2013/2014, a adoção das *Brachiarias* isoladas ou consorciada com milho apresentaram as maiores quantidades de massa seca adicionada. A produtividade de milho de segunda safra foi influenciada pelo cultivo solteiro e consorciado apenas no ano agrícola de 2012/2013, verificando-se os maiores valores nos tratamentos em que se utilizou milho isolado e milho consorciado com *B. ruziziensis.* Com relação à produtividade da soja no ano agrícola de 2013/2014, as menores produtividades foram verificadas com o uso de *B. brizantha* cv. Marandu isolada (3592,8 kg ha^{-1}) ou em consórcio com milho (3835,8 kg ha^{-1}). O consórcio milho de segunda safra com *B. brizantha* cv. Marandu e com *Crotalária spectabilis* reduziu a produtividade de grão do milho no ano agrícola 2012/2013. O uso de *B. brizantha* cv. Marandu cultivada isolada ou em consorciação com o milho de segunda safra produziu quantidade de massa seca acima de 6 Mg ha^{-1} sendo eficiente para o sucesso e sustentabilidade do SPD no Cerrado Sul-Mato-Grossense. Se o objetivo principal da consorciação do milho de segunda safra com forrageira for produtividade de grãos e o objetivo secundário for formação de cobertura vegetal, deve-se utilizar a *B. ruziziensis*.

Palavras-chave: Latossolo, *Brachiaria* spp. e resíduos culturais.

OVERGROUND DRY MATTER PRODUCTION FROM COVER CROPS AND SOYBEAN AND CORN YIELD UNDER NO-TILL SYSTEM IN BRAZILIAN SAVANNA

ABSTRACT

The success of no-tillage system in Brazilian savannah is associated to the maintainace of above-ground dry matter from cover crops, among any species adopted as cover crops, the major are *Brachiaria* spp., *Penisetum glaucum* L. and *Crotalaria spectabilis.* The intercropping winter corn with these species referred above is an option adopted to input the above-ground dry matter in no-tillage system. Therefore, the aim in develop this research was to assess the production performance of cover crops in produce above-ground dry matter, the corn yield in intercropping with *Crotalaria spectabilis, Brachiaria* sp., and its effects on soybean and corn yield in two cropping season in Brazilian savannah. The experiment was carried out in the municipality of Maracaju city, in an Oxisol. The experimental design was in blocks completely randomized with eight treatments and four repetitions. The treatments adopted were composed by different cover crops (winter corn crop; intercropping winter corn with *Brachiaria ruziziensis*; intercropping winter corn with *Brachiaria brizantha* cv. Marandu; intercropping winter corn with *Crotalaria spectabilis*; *B. ruziziensis*; *B. brizantha* cv. Marandu; *Penisetum glaucum* L. and reference area). The above-ground dry matter productions were different among the cropping seasons. In 2012/2013 cropping season, the higher amount of above-ground dry matter were obtained with *B. ruziziensis* (7.85 Mg ha^{-1}) and *B. brizantha* cv. Marandu (8.22 Mg ha^{-1}). In 2013/2014 cropping season, the adoption of intercropping winter corn crop with *B. ruziziensis* or *B. brizantha* cv. Marandu, or these *Brachiaria* sp. cultivated single, promoted higher amount of above-ground dry matter. The corn yield in 2012/2013 cropping season showed different results under the above-ground dry matter of cover crops. The single winter corn crop or intercropping with *B. ruziziensis* was the treatments with higher yield of winter corn crop. In relation to soybean crop yield in 2013/2014 cropping season, it was observed smaller yield when the soybean crop was cultivated under above-ground winter corn crop in intercropping with *Crotalaria spectabilis* (3835.8 kg ha^{-1}) or single *B. brizantha* cv. Marandu (3592.8 kg ha^{-1}). The intercropping winter corn with *B. brizantha* cv. Marandu and *Crotalaria spectabilis* decreased the corn yield in 2012/2013 cropping season. The intercropping winter corn crop with *B. brizantha* cv. Marandu or in single cropping, promoted above-ground dry matter over than 6 Mg ha^{-1}, which remain the sustainability and success of no-tillage system in Brazilian savannah. If the major target of the intercropping were corn yield and the secondary were above-ground dry matter, it is suggested the implementation of intercropping winter corn crop with *B. ruziziensis.*

Key-words: Oxisol, *Brachiaria* ssp. and crop residues.

1. INTRODUÇÃO

No ano agrícola 2013/2014, a área cultivada com soja foi de aproximadamente 30,1 milhões de hectares com produção de aproximadamente 86,2 milhões de toneladas. Para o milho de segunda safra, a área cultivada foi de aproximadamente 9 milhões de hectares com produção de aproximadamente 46, 2 milhões de toneladas (CONAB, 2014). Nestas áreas de produção, o Cerrado Sul-Mato-Grossense apresenta-se como uma importante fronteira agrícola do país, com condições edafoclimáticas favoráveis ao cultivo de culturas anuais, como a soja e o milho.

Na busca por aumentar a eficiência produtiva e contribuir para uma Agricultura de Baixo Carbono na produção agrícola, tem se adotado o sistema plantio direto (SPD). Segundo levantamento da Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha e Irrigação (FEBRAPDP) (2014), a área cultivada anualmente em plantio direto corresponde a cerca de 25,5 milhões de hectares.

Um dos fatores imprescindíveis para o sucesso do SPD é a implantação da cultura principal sob os restos culturais de uma cultura de cobertura que tenha sido introduzida em cultivo sequencial ou rotacionado.

Na região de Cerrado, onde as condições climáticas limitam o acúmulo e a manutenção de cobertura durante longo período, a escolha da cultura de cobertura vem assumindo um papel de grande importância. Dentre as espécies vegetais utilizadas, as forrageiras do gênero *Brachiaria*, milheto (*Pennisetum glaucum* L.) e crotalária (*Crotalaria spectabilis*) têm sido consideradas de boa adaptação à condição de Cerrado.

As forrageiras (*Brachiaria* spp.) tem como vantagens a alta resistência ao déficit hídrico, elevada produção de biomassa (em torno de 15 Mg ha^{-1}) e reduzida decomposição durante a entressafra (BORGHI, CRUSCIOL e COSTA, 2006; PACHECO et al., 2008 e PACHECO et al., 2011).

As *Brachiaria*s apresentam em média um tempo de meia-vida (tempo necessário para decomposição de 50% dos resíduos vegetais sobre o solo) de 163 dias (COSTA et al., 2014), o que, associado com a sua elevada produção de resíduos, proporciona menor velocidade de decomposição, mantendo os restos vegetais sobre o solo por mais tempo, principalmente em regiões com elevadas temperaturas e elevado índice pluvial. Além disso, as gramíneas como as *Brachiarias*, apresentam sistema radicular extenso e renovado constantemente (PEREIRA et al., 2009).

O milheto, por sua vez, tem apresentado boa eficiência de uso como planta de cobertura em SPD, especialmente em regiões de inverno seco, por apresentar crescimento rápido, mesmo em condições de estresse hídrico, grande produção de massa seca, sistema radicular bem desenvolvido podendo alcançar mais de 2,0 m e boa proteção sobre o solo (CARVALHO et al., 2004; CARNEIRO et al., 2008).

A maior proteção do solo exercida pelo milheto ocorre em função da elevada produção de massa seca, alta relação C/N e maior tempo de decomposição dos seus resíduos. De acordo com Crusciol e Soratto (2009) a produção de massa seca do milheto pode ultrapassar 14 Mg ha^{-1}. No que se refere à relação C/N, o milheto pode apresentar relação igual ou maior que 30. Ferrari Neto et al. (2011) observaram relação C/N de 47,8 para o milheto. Calvo, Foloni e Brancalião (2010) encontraram o valor de 33,55 para relação C/N média do milheto, sendo o valor máximo da relação C/N atingido aos 90 dias com valor de 46,06. Para o tempo de meia-vida, estudos relatam que os valores variam de 98 a 112 dias (TEIXEIRA et al., 2011).

O uso de plantas de cobertura da família das Fabaceae, como crotalária, apresenta grande potencial de produção de biomassa, podendo a produção ser superior a 8 Mg ha^{-1} (MENEZES et al., 2009). Além disso, a crotalária possui a capacidade de fornecer nitrogênio à cultura sucessora (MATHEIS, AZEVEDO e VICTÓRIA FILHO, 2006). Apresenta baixa relação C/N, com valores de, aproximadamente, 18:1 (BOER et al., 2007 e ESPINAL et al., 2011), o que faz com que haja alta taxa de decomposição de seus resíduos (TEIXEIRA et al, 2009); no entanto, pode promover a liberação de nutrientes durante sua decomposição, gerando benefícios em curto prazo, uma vez que, o tempo de meia-vida da crotalária está situada em torno de 66 a 98 dias (TORRES, PEREIRA e FABIAN, 2008 e TORRES et al., 2014).

Como alternativa para a formação de cobertura vegetal em sucessão à cultura da soja, tem se difundido também na região do Cerrado, o consórcio entre o milho de segunda safra com gramíneas do gênero *Brachiaria* e com crotalária. O cultivo consorciado pode ser definido como um sistema em que, numa mesma área, são implantadas duas ou mais espécies convivendo juntas, em parte ou em todo seu ciclo, o que pode possibilitar aumento de produtividade da cultura de interesse econômico (PORTES, CARVALHO e KLUTHCOUSHI, 2003).

O consórcio entre milho e espécies forrageiras perenes tem se tornado uma alternativa viável técnica e economicamente (GARCIA et al., 2012); se apresentando como uma oportunidade para aumentar a produtividade do milho sem aumento de área cultivada. Segundo Ceccon (2007), o consórcio milho e espécies de forrageiras permitem a manutenção do milho, como cultura de rendimento econômico, e da gramínea com a produção de resíduos culturais para cobertura do solo no período entre a colheita do milho e a semeadura da cultura seguinte, em geral a soja.

No cultivo do milho consorciado com leguminosa, o milho possui vantagem fisiológica por ser mais eficiente na fixação de carbono e acúmulo de matéria seca em altas temperaturas e normalmente não há influência negativa na produção do milho pela consorciação com leguminosas, mas sim efeito benéfico em anos subsequentes pelo cultivo consorciado na mesma área (HEINRICHS et al., 2005). Paz et al. (2012) constataram que a utilização de crotalária consorciada com milho de segunda safra aumentaram a produtividade do milho em relação ao monocultivo de milho.

Outro ponto que deve também ser levado na escolha da espécie vegetal utilizada como cobertura na entressafra, é o fato da mesma poder influenciar na produtividade de soja, uma vez que, cada planta de cobertura pode adicionar diferentes quantidades de massa seca e acumular e posteriormente liberar os nutrientes. Estudando o efeito das plantas de cobertura sobre a produtividade da soja, Correia e Durigan (2008) agruparam as coberturas na seguinte sequencia em relação à produtividade da soja: *B. brizantha* cv. Marandu > capim-pé-de-galinha (*Eleusine coracana*) > milheto forrageiro (*Pennisetum americanum* cultivar BN2) > milheto comum (*Pennisetum americanum*) > vegetação espontânea > sorgo granífero (*Sorghum bicolor* L. Moench híbrido Sara) > sorgo de cobertura (*Sorghum bicolor*).

Diante do exposto, estudos sobre a identificação de culturas de cobertura que têm capacidade de contribuir para maior produção de massa seca e o efeito do cultivo consorciado sobre produtividade do milho e dos resíduos das culturas de cobertura sobre a produtividade da soja são necessários. Esta pesquisa teve como objetivo avaliar a produção de massa seca, produtividade de milho consorciado com crotalária e forrageiras do gênero *Brachiaria* spp. e a produtividade de soja em função das culturas de cobertura utilizadas durante dois anos agrícolas na região do Cerrado Sul-Mato-Grossense.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no período de outubro de 2012 a fevereiro de 2014 no município de Maracaju-MS, cujas coordenadas geográficas são 21°36’52’’S e 55°10’06’’W, com altitude média de 384 m, em solo classificado como Latossolo Vermelho Distroférrico (SANTOS et al., 2013), com textura argilosa (310 g kg^{-1} de areia, 300 g kg^{-1} de silte e 390 g kg^{-1} de argila) na camada de 0-20 cm

O clima da região, segundo classificação de Koppen (1948), é do tipo Aw, os dados de pluviosidade e temperatura durante a realização do experimento estão apresentados na Figura 1.

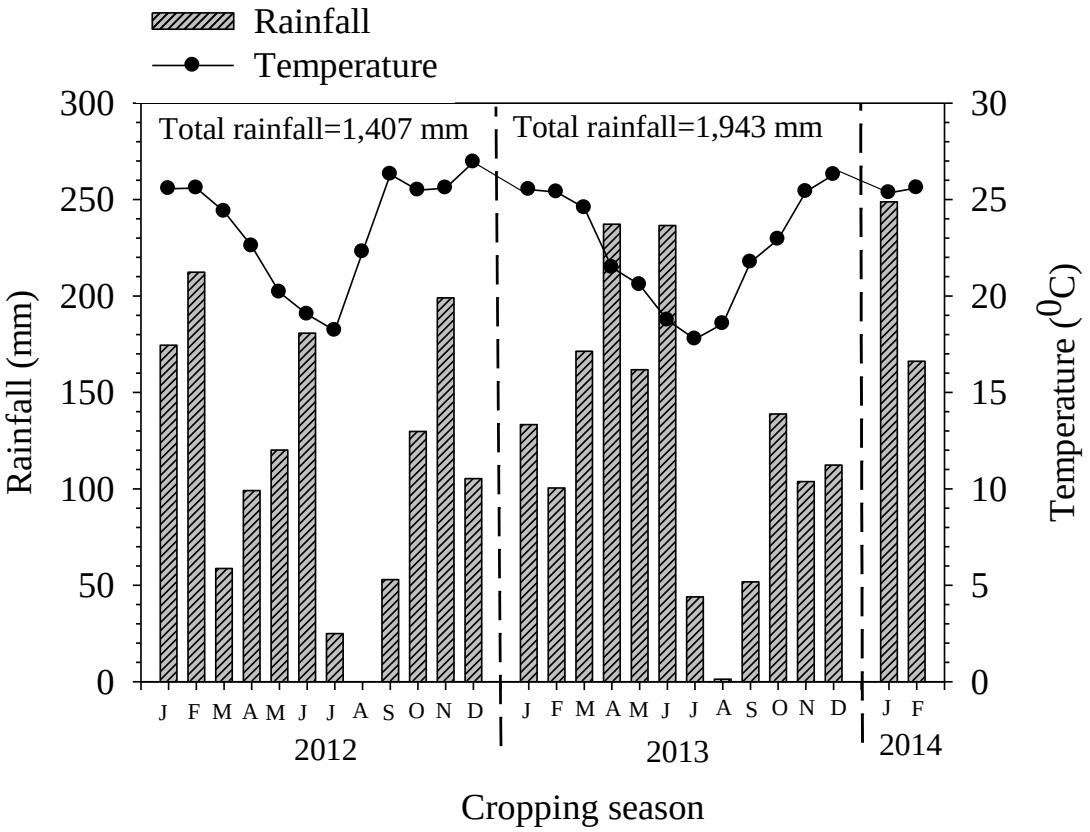

Figura 1. Dados climáticos no período de condução do experimento, em Maracaju, MS.

Durante dez anos, a área experimental foi utilizada para a produção de soja e milho em plantio direto. Antes da instalação do experimento, coletaram-se amostras de solo nas camadas de 0-20 e 20-40 cm para determinação dos atributos químicos do solo (Tabela 1).

Tabela 1. Atributos químicos iniciais do solo. Maracaju-MS.

	Profundidade	
	0-20 cm	20-40 cm
pH ($CaCl_2$)	5,10	4,66
MOS (g dm^{-3})	28,0	19,0
P (mg dm^{-3})	16,30	1,08
K^+ ($cmol_c$ dm^{-3})	0,41	0,10
Ca^{2+} ($cmol_c$ dm^{-3})	4,15	1,90
Mg^{2+} ($cmol_c$ dm^{-3})	1,30	0,75
H+Al ($cmol_c$ dm^{-3})	4,98	4,83
Al^{3+} ($cmol_c$ dm^{-3})	0	0,34
SB ($cmol_c$ dm^{-3})	5,86	2,75
CTC ($cmol_c$ dm^{-3})	10,84	7,58
V (%)	54,06	36,28

V (%)= Saturação por bases; SB= Soma de bases; CTC potencial a pH=7,0 = Capacidade de troca de cátions; MOS=Matéria orgânica do solo.

No ano de 2010, trinta dias antes da semeadura da soja, aplicou-se 2,4 Mg ha^{-1} de calcário dolomítico (PRNT= 64%), cuja composição apresentou 24% de óxido de cálcio (CaO) e 16% de óxido de magnésio (MgO), e 600 kg ha^{-1} de gesso agrícola. A calagem e a gessagem foram realizadas ao mesmo tempo e a lanço sem incorporação. No final de outubro de 2010 foi realizada a semeadura da soja e após a colheita da soja em 2011 foram semeadas as culturas de outono/inverno.

O experimento foi conduzido nos anos agrícolas de 2011/2012, 2012/2013 e 2013/2014 em delineamento experimental de blocos casualizados com oito tratamentos e quatro repetições, totalizando 32 parcelas com área de 30 m^2 (12 m de comprimento e 2,5 m de largura). Os tratamentos adotados foram diferentes culturas de cobertura de solo, antecedendo a semeadura da soja no verão, em sistema plantio direto (Tabela 2). As avaliações foram realizadas nos anos agrícolas de 2012/2013 e 2013/2014.

Tabela 2. Descrição dos tratamentos contendo as culturas de cobertura. Maracaju-MS.

Trat.	**Cultura de Outono/Inverno**	**Cultura de verão**
1	Milho de segunda safra	Soja
2	Milho de segunda safra consorciado com *B. ruziziensis*	Soja
3	Milho de segunda safra consorciado com *B. brizantha* cv. Marandu	Soja
4	Milho de segunda safra consorciado com *Crotalaria spectabilis*	Soja
5	*Brachiaria ruziziensis*	Soja
6	*Brachiaria brizantha* cv. Marandu	Soja
7	Milheto	Soja
8	Vegetação espontânea	Soja

A vegetação espontânea era constituída basicamente de picão-preto (*Bidens pilosa*), capim pé-de-galinha (*Eleusine indica*), leiteiro (*Euphorbia heterophylla*), espécies do gênero *Brachiaria* spp. e corda de viola (*Ipomoea grandifolia*).

A semeadura do milho nos anos agrícolas estudados foi realizada mecanicamente em plantio direto após a soja, utilizando-se a cultivar DKB 390 VTPRO (3 sementes/metro), no espaçamento de 50 cm. No momento da semeadura do milho realizou-se a adubação com 265 kg ha^{-1} da fórmula 12-15-15 (N-P_2O_5-K_2O), as sementes foram tratadas com 1750 mL de Imidacloprid + Tiodicarbe para cada 100 kg de sementes.

O consórcio do milho com as *Brachiaria*s foi realizado simultaneamente com a utilização de uma terceira caixa acoplada à semeadora do milho. A *Brachiaria* foi semeada utilizando-se o espaçamento de 21 cm entrelinha. O valor cultural (VC) da *B. ruziziensis* e da *B. brizantha* cv. Marandu utilizados foram de 50% (80% de germinação e 62,5% de pureza). Para formação do consórcio milho com *B. ruziziensis* e *B. brizantha* cv. Marandu foram utilizados 5 e 7 kg ha^{-1} de sementes puras viáveis, respectivamente. O cultivo isolado das forrageiras foi realizado a lanço utilizando-se 7 e 8 kg ha^{-1} de sementes puras viáveis da *B. ruziziensis* e da *B. brizantha* cv. Marandu, respectivamente.

A semeadura do milheto foi realizada no espaçamento de 50 cm utilizando-se uma terceira caixa acoplada à semeadora do milho. A cultivar de milheto utilizada foi a BRS 1501 (10 a 12 kg ha^{-1} de sementes). O consórcio do milho com *Crotalaria spectabilis* foi realizando utilizando-se 6 kg ha^{-1} de sementes, no espaçamento de 45 cm, sendo a crotalária semeada manualmente 15 dias após a semeadura do milho.

A semeadura da soja nos anos agrícolas estudados foi realizada mecanicamente no final de outubro de 2012 e 2013. Nesta ocasião, realizou-se adubação com 380 kg ha^{-1} da fórmula 02-20-20 (N-P_2O_5-K_2O) no sulco de plantio. A cultivar de soja semeada nos anos agrícolas de 2012/2013 e 2013/2014 foi a BMX Potência RR (99% de pureza e 80% de germinação), sendo semeadas 14 sementes/metro no espaçamento de 45 cm.

As sementes de soja foram tratadas utilizando (g i.a./80 kg de sementes) com Carboxin + Thiran (48 g L^{-1}), Fipronil (40 g L^{-1}), cobalto (2,32 g L^{-1}) e molibdênio (40,6 g L^{-1}). As sementes de soja foram inoculadas antes da semeadura

com inoculante à base de turfa, contendo as bactérias *Bradyrhizobium elkani* (Estirpe Semia 5019) e *Bradyrhizobium japonicum* (Estirpe Semia 5079), com concentração mínima de $5x10^9$ células viáveis por grama de inoculante, na dosagem de 100 mL de inoculante em 80 kg de semente de soja.

O manejo das plantas daninhas na cultura da soja e no milho solteiro e os tratos fitossanitários na cultura da soja e do milho quando necessários foram realizados de acordo com as recomendações técnicas para as culturas.

A dessecação das plantas de cobertura foi realizada vinte dias antes da semeadura da soja, aplicando-se 1440 g/L ha^{-1} de ingrediente ativo de glifosato-sal de isopropilamina + 1209 g/L ha^{-1} de ingrediente ativo de 2,4-D-dimetilamina.

A determinação da produção de massa seca das plantas de cobertura (Mg ha^{-1}) foi realizada após a dessecação das plantas de cobertura nos anos de 2012 e 2013 aproximadamente dez dias antes da semeadura da soja. Nesse momento, coletou-se todo o material vegetal que encontrava-se na superfície do solo e contido no interior de um quadrado metálico de 1 m de lado (1 m^2) de acordo com a metodologia de Stott et al. (1990). O quadrado foi lançado aleatoriamente uma vez em cada parcela. O material coletado foi colocado para secar em estufa de circulação forçada de ar na temperatura de 65°C até atingir peso constante para determinação de massa seca (MS).

As produtividades de milho e de soja foram determinadas no momento da colheita nos anos agrícolas 2012/2013 e 2013/2014, coletando-se as plantas de duas linhas de três metros em quatro pontos dentro de cada parcela. Após a trilha do material, os grãos foram pesados e a umidade dos grãos foi corrigida para 13% de umidade em base úmida. A massa de 1000 grãos foi determinada de acordo com as Regras para Análises de Sementes (BRASIL, 1992).

Os dados foram submetidos à análise de variância e no caso de significância, foi utilizado o teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$) para distinção entre médias, utilizando-se o aplicativo computacional SISVAR (FERREIRA, 2010). Também foi utilizado o teste-*t* para comparação da produção de massa seca entre os anos e para a produtividade de milho e soja entre os anos agrícolas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os tratamentos apresentaram diferenças significativas ($p \leq 0,01$) para produção de massa seca nos anos agrícolas de 2012/2013 e 2013/2014 (Tabela 3).

Na coleta realizada no ano agrícola 2012/2013, as maiores quantidades de massa seca foram verificadas nas áreas com *B. ruziziensis* e *B. brizantha* cv. Marandu, com 7,85 e 8,22 Mg ha^{-1}, respectivamente, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. Para o ano agrícola 2013/2014, a adoção de *Brachiaria* isolada ou consorciada com milho apresentou as maiores quantidade de massa seca adicionada, diferindo significativamente dos demais tratamentos (Figura 2).

Tabela 3. Resumo da análise de variância para a produção de massa seca das culturas de cobertura nos anos agrícolas de 2012/2013 e 2013/2014.

Ano agrícola 2012/2013			
Fonte de variação	**G.L.**	**QM**	**Fcal**
Bloco	3	0,89	$0,964^{ns}$
Tratamento	7	10,82	11,69**
Resíduo	21	0,93	
Total	31	12,64	CV=17,04
Ano agrícola 2013/2014			
Fonte de variação	**G.L.**	**QM**	**Fcal**
Bloco	3	0,79	$1,63^{ns}$
Tratamento	7	4,13	8,49**
Resíduo	21	0,49	
Total	31	5,41	CV=13,15

**significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. *Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. ^{ns} Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

A quantidade de massa seca produzida pela *Brachiaria ruziziensis e B. brizantha* cv. Marandu nessa pesquisa foi semelhante aos observados por Nunes et al. (2006), Crusciol e Soratto (2007) e Rossi et al. (2013) que verificaram valores de 6,2 Mg ha^{-1}.

Em comparação à área de vegetal espontânea, o uso da *B. ruziziensis* e *B. brizantha* cv. Marandu, no ano agrícola 2012/2013, proporcionaram incremento de massa seca de 102,3 e 111,86%, respectivamente, e para o ano agrícola 2013/2014, o milho consorciado com as *Brachiarias* e o uso isolado das *Brachiarias* proporcionaram um incremento médio de massa seca de aproximadamente 55,5% (Figura 2). Estes resultados indicam a eficiência destes tratamentos em promover a adição de cobertura vegetal sobre o solo, contribuindo para implantação e manutenção do sistema plantio direto (SPD).

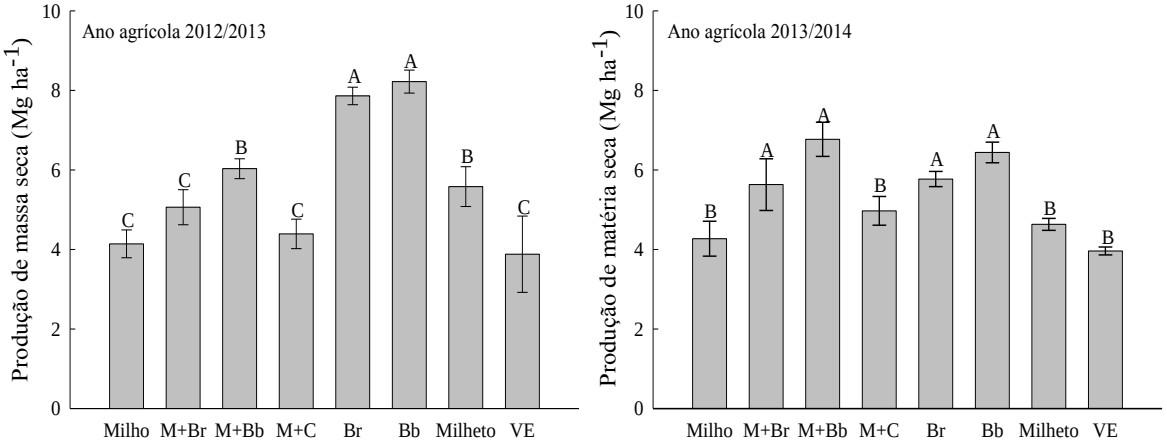

FIGURA 2. Produção de massa seca (Mg ha^{-1}) em culturas de outono/inverno sob sistema plantio direto no Cerrado nos anos agrícolas de 2012/2013 e 2013/2014.

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si, pelo teste Scott-Knott até 5% de probabilidade. Legenda: M+Br (Milho de segunda safra + *B. ruziziensis*); M+Bb (Milho de segunda safra + *B. brizantha* cv Marandu)*;* M+C (Milho de segunda safra + *Crotalaria spectabilis*); Br (*B. ruziziensis*)*;* Bb (*B. brizantha* cv. Marandu); VE (Vegetação espontânea).

As maiores quantidades de massa seca adicionada ao solo com o uso de *Brachiaria* em comparação aos demais tratamentos nos anos estudados, ocorrem em decorrência do seu sistema radicular vigoroso e profundo que apresenta boa tolerância ao déficit hídrico (BARDUCCI et al., 2009). Associado ao fato desta espécie vegetal ser perene (TIMOSSI, DURIGAN e LEITE, 2007) e com alto grau de perfilhamento (BRAZ, KLIEMANN e SILVEIRA, 2005) proporcionando assim alta produção de massa seca.

Inúmeros trabalhos têm destacado o efeito positivo sobre a produtividade de massa seca pelas forrageiras do gênero *Brachiaria* spp. (CHIODEROLI et al., 2010; GORGEN et al. 2010; BARBOSA et al., 2011; NASCENTE, CRUSCIOL e COBUCCI, 2013; PACHECO et al., 2013).

Em cultivo de milho de segunda safra consorciado com *B. ruziziensis* no município de Sinop-MT, Brambilla et al. (2009) concluíram que, em função dos diferentes arranjos espaciais de milho e da forrageira, a presença de milho de segunda safra com forrageiras na linha e na entrelinha proporciona a maior produção de massa seca, favorecendo a cobertura do solo, garantindo assim a sustentabilidade do SPD para a safra seguinte. Borghi et al. (2013) constataram que a utilização do milho em consórcio com *B. brizantha* cv. Marandu proporcionou alta produção de

massa seca (9,2 Mg ha^{-1}), e segundo estes autores quando não há nenhum problema com água e disponibilidade de nutrientes esta consorciação fornece grandes quantidade de biomassa para o sistema plantio direto.

Nas condições do Cerrado, onde as condições climáticas dificultam a permanência dos resíduos vegetais na superfície do solo, estudos mencionaram que a quantidade mínima ideal de resíduos vegetais, para que o sistema plantio direto seja considerado viável, deve ser de 6 Mg ha^{-1} (SÁ et al., 2001; NUNES et al., 2006).

Neste trabalho, esta quantidade foi atingida com o uso de milho consorciado com *B. brizantha* cv. Marandu e com cultivo isolado da *B ruziziensis* e *B. brizantha* cv. Marandu, no ano agrícola 2012/2013 e com milho consociado com *B. brizantha* cv. Marandu e o cultivo isolado de *B. brizantha* cv. Marandu para o ano agrícola 2013/2014.

Resultados obtidos neste trabalho indicam que a inserção de espécies de forrageira, especialmente *B. brizantha* cv. Marandu, ao sistema produtivo, permitem atingir tal quantidade. Estes resultados ocorrem em virtude da adaptabilidade às diferentes condições edafoclimáticas e à grande capacidade de acúmulo de massa tanto da parte área quanto de raízes, em maiores profundidades, onde outras espécies de cobertura não tem a mesma capacidade.

Constatou-se que entre os anos agrícolas avaliados, a produção de massa seca gerada pelas culturas de outono/inverno diferiu significativamente pelo teste-*t* ($p<0,01$) apenas para *Brachiaria ruziziensis* (Tabela 4).

Tabela 4. Valores das médias de produção de massa seca (Mg ha^{-1}) das culturas de outono/inverno para os anos de 2012 e 2013.

Ano	Cultura de cobertura							
	Milho	M+Br	M+Bb	M+C	Br	Bb	Milheto	VE
2012	4,144A	5,059A	6,023A	4,392A	7,857A	8,220A	5,583A	3,889A
2013	4,271A	5,629A	6,774A	4,967A	5,775B	6,444A	4,634A	3,960A
Teste-*t*	0,828	0,491	0,379	0,308	0,001	0,095	0,123	0,574

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si para ano pelo teste-*t*. Legenda: M+Br (Milho de segunda safra + *B. ruziziensis*); M+Bb (Milho de segunda safra + *B. brizantha* cv. Marandu)*;* M+C (Milho de segunda safra + *Crotalaria spectabilis*); Br (*B. ruziziensis*)*;* Bb (*B. brizantha* cv. Marandu); VE (Vegetação espontânea).

Estudos têm demostrado que dependendo da espécie de *Brachiaria* adotada no sistema podem ocorrer diferenças em relação a maior permanência dos resíduos vegetais sobre o solo, de modo que a *Brachiaria ruziziensis* por apresentar um menor tempo de meia vida, possui uma decomposição mais rápida dos seus

resíduos vegetais em comparação à *Brachiaria brizantha* cv. Marandu (COSTA et al., 2014). Estudos também atribuem a decomposição mais rápida da *Brachiaria ruziziensis* em função do seu menor potencial de crescimento na estação seca em comparação a *Brachiaria brizantha* (PACHECO et al., 2011).

Os tratamentos influenciaram significativamente ($p \leq 0,01$) a produtividade do milho no ano agrícola de 2012/2013. Para o ano agrícola de 2013/2014 não houve diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 5).

Tabela 5. Resumo da análise de variância para produtividade do milho para os anos agrícolas de 2012/2013 e 2013/2014.

Ano agrícola 2012/2013			
Fonte de variação	**G.L.**	**QM**	**Fcal**
Bloco	3	1,38	$0,29^{ns}$
Tratamento	3	92,14	19,6**
Resíduo	9	4,70	
Total	15		CV=2,0
Ano agrícola 2013/2014			
Fonte de variação	**G.L.**	**QM**	**FCal**
Bloco	3	6,75	$0,11^{ns}$
Tratamento	3	63,54	$1,10^{ns}$
Resíduo	9	57,38	
Total	15		CV=9,8

**significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. *Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. ^{ns} Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

No ano agrícola de 2012/2013, as maiores produtividade de milho foram verificadas quando se utilizou milho solteiro e milho consorciado com *B. ruziziensis*, os quais apresentaram uma produtividade de 6837 e 6684 kg ha^{-1}, respectivamente (Figura 3).

Os resultados obtidos neste experimento, no ano agrícola de 2012/2013, mostram que a adoção do milho consorciado com *B. ruziziensis*, não interfere na produtividade do milho, sendo uma alternativa viável para produção de cobertura vegetal em SPD. Por sua vez, a adoção do milho com *B. brizantha* cv. Marandu e com crotalária, interferiram negativamente na produtividade do milho, fato que pode ter ocorrido devido à competição por fatores de produção (água, luz e nutrientes) ter sido alta nestes tratamentos.

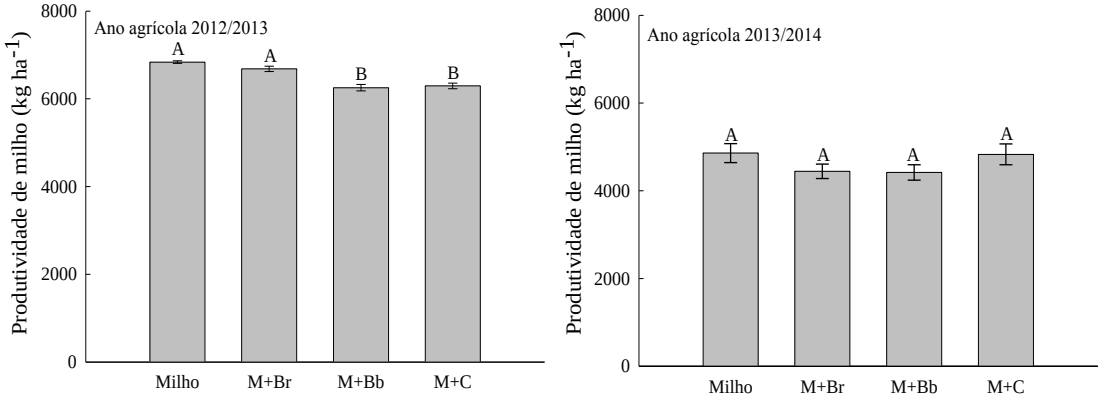

FIGURA 3. Produtividade de milho (kg ha^{-1}) em cultivo solteiro e consorciado sob sistema plantio direto no Cerrado nos anos agrícolas de 2012/2013 e 2013/2014.

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si, pelo teste Scott-Knott até 5% de probabilidade. Legenda: M+Br (Milho de segunda safra + *B. ruziziensis*); M+Bb (Milho de segunda safra + *B. brizantha* cv. Marandu)*;* M+C (Milho de segunda safra + *Crotalaria spectabilis*).

Resultados semelhantes a esse foram observados por Baldé et al. (2011) que não verificaram redução na produtividade do milho quando cultivado em consórcio com *B. ruziziensis* em comparação ao milho solteiro. Ceccon (2007) e Chioderoli et al. (2010) constaram que o uso da *B. ruzizienses* em consorciação com o milho de segunda safra proporcionou os maiores valores de produtividade quando comparado ao milho em consórcio com *B. brizantha* cv. Marandu.

Pariz et al. (2009) estudando o consórcio de milho com *P. maximum* cvs. Tanzânia e Mombaça, *B. brizantha* cv. Marandu e *B. ruziziensis*, com a semeadura da forrageira simultânea a do milho ou por ocasião da adubação nitrogenada de cobertura, verificaram que o consórcio de milho com *P. maximum* cv. Mombaça seguido do consórcio do milho com *B. brizantha*, semeados simultaneamente, proporcionou menor produção de grãos, em função da competição ocasionada pela forrageira. Já a utilização do *P. maximum* cv. Tanzânia e *B. ruziziensis*, em ambas as modalidades de consórcio, não comprometeram a produtividade do milho.

Gazola et al. (2013) verificaram que o consórcio do milho com *B. brizantha* cv. Marandu interferiu negativamente na produtividade de grãos de milho em relação ao consórcio do milho com *B. ruziziensis*, segundo estes autores isto ocorreu porque a *B. brizantha* cv. Marandu é mais tolerante à sombra do que a *B. ruziziensis*, de modo que esta forragem competiu mais por água, luz e nutrientes com

o milho, a ponto de reduzir a sua produtividade. Ainda segundo estes autores o hábito de crescimento mais ereto da *B. brizantha* cv. Marandu em relação a *B. ruziziensis* faz com que está forrageira apresente maior altura e comprimento da folha, características vegetativas permitem melhor adaptação às condições de pouca luz e aumento da competição por luz em consorcio com o milho.

A redução significativa da produtividade do milho consorciado com crotalária também foi observada por Oliveira (2010) que verificou as menores produtividades nos tratamentos em que o milho foi consorciado com crotalária sem aplicação de nitrogênio, de acordo com este autor estes resultados indicam que para o consórcio do milho com leguminosas ser viável, é necessário que a necessidade de nitrogênio do milho seja suprimida por fertilizante mineral.

Na comparação entre os anos avaliados houve diferenças significativas ($p \leq 0,01$) pelo teste-*t* para todos os tratamentos. A produtividade média do milho no ano agrícola 2012/2013 foi de 6517,35 kg ha^{-1}, resultados que estão acima da produtividade média brasileira que foi de 5188 kg ha^{-1} (CONAB, 2014). Já para o ano agrícola de 2013/2014, a produtividade média do milho foi de 4638,3 kg ha^{-1} (Tabela 6), enquanto a produção média brasileira foi de 5094 kg ha^{-1} (CONAB, 2014). Neste ano houve redução de 40,5% na produtividade média do milho em comparação ao ano de 2012.

Tabela 6. Valores das médias de produtividade de milho (kg ha^{-1}) para os anos agrícolas de 2012/2013 e 2013/2014.

Ano agrícola	Cultura de cobertura			
	Milho	M+Br	M+Bb	M+C
2012/2013	6837,0A	6684,0A	6253,5A	6295,5A
2013/2014	4860,0B	4444,5B	4419,0B	4830,0B
Teste-t	0,000	0,000	0,000	0,001

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si para safra pelo teste-*t*. Legenda: M+Br (Milho de segunda safra + *B. ruziziensis*); M+Bb (Milho de segunda safra + *B. brizantha* cv. Marandu)*;* M+C (Milho de segunda safra + *Crotalaria spectabilis*).

O decréscimo de produtividade foi devido às geadas que ocorrem durante o ano agrícola de 2013/2014 na área do experimento. O efeito da geada provoca alterações no metabolismo vegetal e resulta em danos fisiológicos nas plantas por causa da solidificação do orvalho sobre as partes aéreas das plantas, uma condição indesejável, pois prejudica a cultura, causando impacto negativo na produtividade e, por consequência, prejuízo econômico (OMETTO, 1981; XIMENES et al., 2004).

Os resíduos das culturas de outono/inverno influenciaram significativamente ($p \leq 0,05$) a produtividade da soja apenas no ano agrícola de 2013/2014 (Tabela 7). No ano agrícola 2013/2014, as menores produtividades foram verificadas quando a soja foi cultivada sobre resíduos culturais da *B. brizantha* cv. Marandu isolada (3592,8 kg ha^{-1}) ou em consórcio com milho (3835,8 kg ha^{-1}) (Figura 4).

Tabela 7. Resumo da análise de variância para produtividade da soja no ano agrícola de 2012/2013 e 2013/2014.

Ano agrícola 2012/2013			
Fonte de variação	**G.L.**	**QM**	**FCal**
Bloco	7	62,96	$1,59^{ns}$
Tratamento	3	95,82	$2,43^{ns}$
Resíduo	21	39,46	
Total	31	198,24	CV=8,91
Ano agrícola 2013/2014			
Fonte de variação	**G.L.**	**QM**	**FCal**
Bloco	7	62,48	$2,40^{ns}$
Tratamento	3	68,00	$2,62^{*}$
Resíduo	21	25,94	
Total	31		CV=7,51

** significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. *Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. ^{ns} Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Resultados diferentes aos observados neste trabalho foram verificados por Chioderoli et al. (2012) que não constataram diferença na produção de grãos de soja sobre os restos culturais da *B. brizantha*, *B. ruziziensis* e *B. decumbens*, quando semeadas na entrelinha e na ocasião da semeadura da cultura do milho em Selvíria, MS. Porém, Broch, Pitol e Borges (1997) estudando a cultura de soja sob o sistema plantio direto no Mato Grosso do Sul, evidenciaram melhores produtividades da soja cv. FT Líder em resíduos de *B. brizantha*. Veronese et al. (2012) estudando plantas de cobertura e calagem na implantação do sistema plantio direto, constataram que a introdução de *Brachiaria* ou milheto no sistema de produção aumentaram a produtividade de grãos de soja.

A redução da produtividade da soja observada na condução deste experimento pode ter sido em decorrência dos altos valores de massa seca de *B. brizantha* cv. Marandu remanescentes após a dessecação que podem ter sombreado as plântulas de soja, dificultando o seu estabelecimento e crescimento. De acordo com Terra-Lopes et al. (2009) o grande desafio é encontrar um nível de biomassa de forragem que permita alcançar alto rendimento de grãos na cultura subsequente.

Outra possível explicação para redução da produtividade da soja quando cultivada sob os resíduos culturais de *B. brizantha* cv. Marandu pode estar relacionado ao seu hábito de crescimento cespitoso com grande capacidade de formação de touceiras de até 1,0 m de diâmetro e afilho com altura de até 1,5 m (COSTA et at., 2004), o que pode ter interferido negativamente na semeadura da soja.

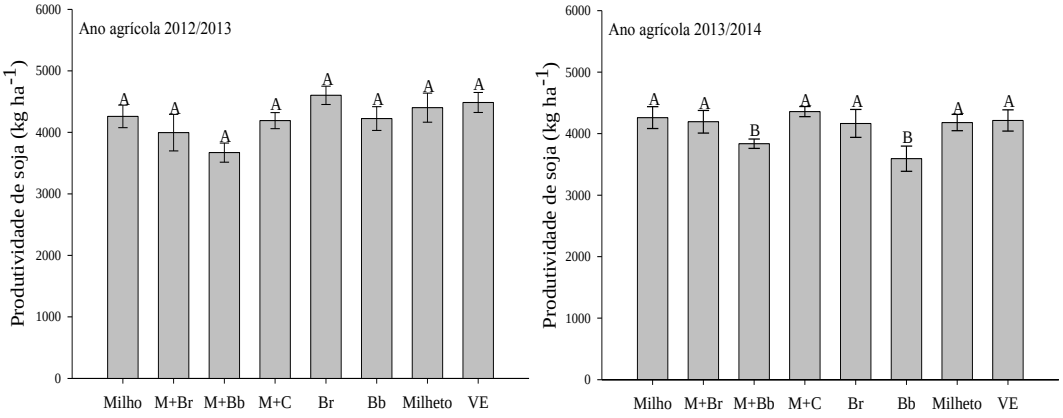

FIGURA 4. Produtividade de soja (kg ha^{-1}) sobre resíduos vegetais de culturas de cobertura em sistema plantio direto no Cerrado nos anos agrícolas de 2012/2013 e 2013/2014.

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si, pelo teste Scott-Knott até 5% de probabilidade. Legenda: M+Br (Milho de segunda safra + *B. ruziziensis*); M+Bb (Milho de segunda safra + *B. brizantha* cv. Marandu); M+C (Milho de segunda safra + *Crotalaria spectabilis*); Br (*B. ruziziensis*); Bb (*B. brizantha* cv. Marandu); VE (Vegetação espontânea).

Na comparação entre os anos, não houve diferença significativa entre os tratamentos avaliados (Tabela 8), sendo observada produtividade média de 4228,88 e 4088,88 kg ha^{-1} para o ano agrícola de 2012/2013 e 2013/2014, respectivamente. Valores superiores às médias nacionais que foram de 2938 e 2865 kg ha^{-1} para o ano agrícola de 2012/2013 e 2013/2014, respectivamente (CONAB, 2014).

Tabela 8. Valores das médias de produtividade da soja (kg ha^{-1}) nos anos agrícolas de 2012/2013 e 2013/2014.

Ano agrícola	Cultura de cobertura							
	Milho	M+Br	M+Bb	M+C	Br	Bb	Milheto	VE
2012/2013	4260A	3996A	3670,5A	4191A	4602A	4224A	4401A	4486,5A
2013/2014	3993,3A	4192,7A	3836,4A	4357,9A	4166,4A	3592,8A	4180,6A	4214,2A
Teste-t	0,336	0,594	0,774	0,320	0,361	0,129	0,447	0,657

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si para ano pelo teste-*t*. Legenda: M+Br (Milho de segunda safra + *B. ruziziensis*); M+Bb (Milho de segunda safra + *B. brizantha* cv. Marandu); M+C (Milho de segunda safra + *Crotalaria spectabilis*); Br (*B. ruziziensis*); Bb (*B. brizantha* cv. Marandu); VE (Vegetação espontânea).

4. CONCLUSÕES

O consórcio milho de segunda safra com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu e com *Crotalária spectabilis* reduziu a produtividade de grão do milho no ano agrícola 2012/2013.

O uso de *B. brizantha* cv. Marandu cultivada isolada ou em consorciação com o milho de segunda safra produziu quantidade de massa seca acima de 6 Mg ha^{-1} sendo eficiente para o sucesso e sustentabilidade do SPD no Cerrado Sul-Mato-Grossense.

Os resíduos culturais de *B. brizantha* cv. Marandu cultivada isolada ou em consorciação com o milho de segunda safra reduziu a produtividade da soja no ano agrícola 2013/2014.

Se o objetivo principal da consorciação do milho de segunda safra com forrageira for produtividade de grãos e o objetivo secundário for formação de cobertura vegetal, deve-se utilizar a *B. ruziziensis*.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARDUCCI, R.S.; COSTA, C.; CRUSCIOL, C.A.C.; BORGHI, É.; PUTAROV, T.C.; SARTI, L.M.N. Produção de *Brachiaria brizantha* e *Panicum maximum* com milho e adubação nitrogenada. **Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v.58, p.211-222, 2009.

BALDÉ, A.B.; SCOPEL, E.; AFFHOLDER, F.; CORBEELS, M.; da SILVA, F.A.M.; XAVIER, J.H.V.; WERY, J. Agronomic performance of no-tillage relay intercropping with maize under smalholder conditions in Central Brazil. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.124, n.2, p.240-251, 2011.

BARBOSA, C.E.M.; LAZARINI, E.; PICOLI, P.R.F.; FERRARI, S. Plantas de cobertura em região de inverno seco para semeadura direta de soja. **Científica**, Jaboticabal, v.39, n.1/2, p.52–64, 2011.

BOER, C.A.; ASSIS, R.L. de; SILVA, G.P.; BRAZ, A.J.B.P.; BARROSO, A.L. de L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; PIRES, F.R. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.2, p.1269-1276, 2007.

BORGHI, E.; CRUSCIOL, C.A.C.; COSTA, C. Desenvolvimento da cultura do milho em consorciação com *Brachiaria brizantha* em sistema plantio direto. **Energia na Agricultura**, Botucatu v.21, n.3, p.19-33, 2006.

BORGHI, E.; CRUSCIOL, C.A.C.; NASCENTE, A.S.; MATEUS, G.P.; MARTINS, P.O.; COSTA, C. Effects of row spacing and intercrop on maize grain yield and forage production of palisade grass. **Crop and Pasture Science**, Victoria, v.63, n.12, p.1106-1113, 2013.

BRAMBILLA, J.A.; LANGE, A.; BUCHELT, A.C.; MASSAROTO, J.A. Produtividade de milho safrinha no sistema de integração lavoura-pecuária, na região de Sorriso, Mato Grosso. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.8, n.3, p.263-274, 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: SNDA/DNDV CLAV, 1992. 365p.

BRAZ, A.J.B.P.; KLIEMANN, H.J.; da SILVEIRA, P.M. Produção de fitomassa de espécies de cobertura em Latossolo Vermelho Distroférrico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.35, n.1, p.55-64, 2005.

BROCH, D.L.; PITOL, C.; BORGES, E.P. **Integração agriculturapecuária: plantio direto de soja na integração agropecuária**. Maracajú: Fundação MS, 1997. 24p. (Informativo Técnico)

CALVO, C.L.; FOLONI, J.S.S.; BRANCALIÃO, S.R. Produtividade de fitomassa e relação C/N de monocultivos e consórcios de guandu-anão, milheto e sorgo em três épocas de corte. **Bragantia**, Campinas, v.69, n.1, p.77-86, 2010.

CARNEIRO, M.A.C. CORDEIRO, M.A.S.; ASSIS, P.C.R.; MORAES, E.S.; PEREIRA, H., PAULINO, H.B.; SOUZA, E.D. Produção de fitomassa de diferentes espécies de cobertura e suas alterações na atividade microbiana de solo de cerrado. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.2, p.455-462, 2008.

CARVALHO, M.A.C.; ATHAYDE, M.L.F.; SORATTO, R.P.; ALVES, M.C.; ARF, O. Soja em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, v.39, n.11, p.1141-1148, 2004.

CECCON, G. Milho safrinha com solo protegido e retorno econômico em Mato Grosso do Sul. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v.17, n.97, p.17-20, 2007.

CRUSCIOL, C.A.C.; SORATTO, R.P. Nutrição e produtividade do amendoim em sucessão ao cultivo de plantas de cobertura no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.11, p.1553-1560, 2007.

CRUSCIOL, C.A.C.; SORATTO, R.P. Nitrogen supply for cover crops and effects on peanut grown in succession under a no-till system. **Agronomy Journal**, Madison, v.101, n.2, p.40-46, 2009.

CHIODEROLI, C.A.; MELLO, L.M.M.; GRIGOLLI, P.J.; SILVA, J.O.; CESARIN, A.L Consorciação de braquiárias com milho outonal em plantio direto sob pivô central. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.6, p.1101-1109, 2010.

CHIODEROLI, C.A.; MELLO, L.M.M.; GRIGOLLI, P.J.; FURLANI, C.E.A.; SILVA, J.O.R.; CESARIN, A.L. Atributos físicos do solo e produtividade de soja em sistema de consórcio milho e braquiária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.1, p.37-43, 2012.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – **CONAB. 10° Levantamento da produção de grãos: safra 2013/2014**. Disponível em <www.conab.gov.br>. Acesso em: 23 de agosto de 2014. 89p.

CORREIA, N.M.; DURIGAN, J.C. Culturas de cobertura e sua influência na fertilidade do solo sob sistema de plantio direto (SPD). **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.24, n.4, p.20-31, 2008.

COSTA, N.R.; ANDREOTTI, M.; FERNANDES, J.C.; CAVASANO, F.A.; ULIAN, N.de A.; PARIZ, C.M.; SANTOS, F.G. Acúmulo de nutrientes e decomposição da palhada de braquiárias em função do manejo de corte e produção do milho em sucessão. **Agrária**, Recife, v.9, n.2, p.166-173, 2014.

COSTA, N. de L.; GONÇALVES, C.A.; OLIVEIRA, J.R. da C.; OLIVEIRA, M.A.S.; MAGALHÃES, J.A. Resposta de Brachiaria brizantha cv. Marandu a regimes de cortes. **Embrapa**, Porto Velho, Comunicado técnico n°279, 2004. 4p.

ESPINAL, C.; SILVA, E.C.; MURAOKA, T.; FRANZINI, V.I.; ALVAREZ VILLANUEVA, F.C. Aproveitamento do nitrogênio de adubos verdes pelo arroz de terras altas. **Cadernos de Agroecologia**, Cruz Alta, v.6, n.2, p.126-136, 2011.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO E IRRIGAÇÃO-FEBRAPDP. **Plantio direto**. Disponível em: <www.febradp.org.br>. Acesso em 25 de julho de 2014.

FERRARI NETO, J.; CRUSCIOL, C.A.C.; SORATTO, R.P.; da COSTA, C.H.M. Plantas de cobertura, manejo da palhada e produtividade da mamoeira no sistema 4plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, Ceará, v.42, n.4, p.978-985, 2011.

FERREIRA D.F **Sisvar: versão 5.3. DEX/UFLA**, Lavras, 2010.

GARCIA, C.M. de P.; ANDREOTTI, M; TARSITANO, M.A.A.; FILHO, M.C.M.T.; LIMA, A.E. da S.; BUZETTI, S. Análise econômica da produtividade de grãos de milho consorciado com forrageiras dos gêneros *Brachiaria* e *Panicum* em sistema plantio direto, **Revista Ceres**, Viçosa, v.59, n.2, p.157-163, 2012.

GAZOLA, R. de N.; de MELO, L.M.M.; DINALLI, R.P.; TEIXEIRA FILHO, M.C.M.; GARCIA, C.M. de P. Sowing depths of *Brachiaria* in intercropping with corn in no tillage planting. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.33, n.1, p.157-166.

GÖRGEN, C.A.; CIVARDI, E.A.; RAGAGNIN, V.A.; SILVEIRA NETO, A.N.; CARNEIRO, L.C.; LOBO JUNIOR, M. Redução do inóculo inicial de *Sclerotinia sclerotiorum* em soja cultivada após uso do sistema santa fé. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, n.10, p.1102-1108, 2010.

HEINRICHS, R.; VITTI, G.C.; MOREIRA, A.; FIGUEIREDO, P.A.M.; FANCELLI, A.L.; CORAZZA, E.J. Características químicas de solo e rendimento de fitomassa de adubos verdes e de grãos de milho, decorrente do cultivo consorciado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.1, p.71-79, 2005.

KÖPPEN, W. **Climatologia**: con un estudio de los climas de la tierra. México: Fondo de Cultura Económica, 1948. 478p.

MATHEIS, H.A.S.M.; AZEVEDO, F.A. de; VICTÓRIA FILHO, R. Adubação verde no manejo de plantas daninhas na cultura de citros. **Revista Laranja**, Cordeirópolis, v.27, n.1, p.101-110, 2006.

MENEZES, L.A.S.; LEANDRO, W.M.; OLIVEIRA JUNIOR, J.P. de; FERREIRA, A.C.B.; SANTANA, J. das G.; BARROS, R.G. Produção de fitomassa de diferentes espécies, isoladas e consorciadas, com potencial de utilização para cobertura do solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.25, n.1, p.7-12, 2009.

NASCENTE, A.S.; CRUSCIOL, C.A.C.; COBUCCI, T. The no-tillage system and cover crops-Alternatives to increase uplant rice yields. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v.45, p.124-131, 2013.

NUNES, U.R.; ANDRADE JÚNIOR, V.C.A.; SILVA, E.B.; SANTOS, N.F.; COSTA, H.A.O.; FEREIRA, C.A. Produção de palhada de plantas de cobertura e rendimento do feijão em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.6, p.943-948, 2006.

OLIVEIRA, P. **Consórcio do milho com adubos verdes e manejo da adubação nitrogenada no cultivo do feijão em sucessão no sistema de Integração Lavoura-Pecuária no Cerrado**. Tese de Doutorado, Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz, Piracicaba-SP, 2010, 125p.

OMETTO, J.C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 440p.

PACHECO, L.P.; BARBOSA, J.M.; LEANDRO, W.M.; MACHADO, P.L.O.de A.; de ASSIS, R.L.; MADARI, B.E.; PETTER, F.A. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura e produtividade de soja e arroz em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.48, n.9, p.1228-1236, 2013.

PACHECO, L.P.; LEANDRO, W.M.; MACHADO, P.O.A.; ASSIS, R.L.; COBUCCI, T.; MADARI, B.E.; PETTER, F.A. Produção de fitomassa e acúmulo e liberação de nutrientes por plantas de cobertura na safrinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.1, p.17-25, 2011.

PACHECO, L.P.; PIRES, F.R.; MONTEIRO, F.P.; PROCOPIO, S.O.; ASSIS, R.L.; CARMO, M.L.; PETTER, F.A. Desempenho de plantas de cobertura em sobressemeadura na cultura da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.7, p.815-823, 2008.

PARIZ, C.M.; ANDREOTTI, M.; TARSITANO, M.A.A.; BERGAMASCHINE, A. F.; BUZETTI, S.; CHIODEROLI, C.A. Desempenhos técnicos e econômicos da consorciação de milho com forrageiras dos gêneros *Panicum* e *Brachiaria* em sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n.4, p.360-370, 2009.

PAZ, L.B.; SOUZA, R.L.; GOMES, S.S.; SANTOS, L.C.; SILVA, R.F. Produtividade de milho safrinha em consórcio com leguminosas em sistema orgânico. **Cadernos de Agroecologia**, Glória de Dourados, v.7, n.2, p.1-5, 2012.

PEREIRA, A.L.; CAMPOS, M.C.C.; de SOUZA, Z.M.; CAVALCANTE, I.H.L.; da SILVA, V.A.; MARTINS FILHO, M.V. Atributos do solo sob pastagens em sistema de sequeiro e irrigado. **Ciência e Agroecologia**, Lavras, v.33, n.2, p.377-384, 2009.

PORTES, T.A. CARVALHO, S.I.C.; KLUTHCOUSKI, J. **Aspectos fisiológicos das plantas cultivadas e análise de crescimento da braquiária consorciada com cereais**. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. (ED.). Integração lavoura-pecuária. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p.303-330.

ROSSI, C.Q.; PEREIRA, M.G.; GIACOMO, S.G.; BETTA, M.; POLIDORO, J.C. Decomposição e liberação de nutrientes da palhada de braquiária, sorgo e soja em áreas de plantio direto no cerrado goiano. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.34, n.4, p.1523-1534, 2013.

SÁ, J.C.M.; CERRI, C.C.; DICK, W.A.; LAL, R.; VENZKE FILHO, S.P.; PICCOLO, M.C.; FEIGL, B.J. Organic mater dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.65, n.1, p.1486-1499, 2001.

SANTOS, H.G., JACOMINE, P.K.T., ANJOS, L.H.C., OLIVEIRA, V.A., LUBRERAS, J.F., COELHO, M.R., ALMEIDA, J.A., CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J.B. (ed.). 2013. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. edição revisada e ampliada. Brasília: Embrapa, 353 p.

STOTT, D.E.; STROO, H.F.; ELLIOTT, L.F.; PAPENDICK, R.I.; UNGER, P.W. Wheat residue loss from fields under no-till management. **Soil Science Society Amerian Journal**, Madison, v.54, n.1, p.92-98, 1990.

TEIXEIRA, C.M.; CARVALHO, G.J.; ANDRADE, M.J.B.; SILVA, C.A.; PEREIRA, J.M. Decomposição e liberação de nutrientes das palhadas de milheto e milheto+crotalária no plantio direto do feijoeiro. **Acta Scientiarum Agronomy**, Londrina, v.31, n.4, p.647-653, 2009.

TEIXEIRA, M.B.; LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; PIMENTEL, C. Decomposição e liberação de nutrientes da parte aérea de plantas de milheto e sorgo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n.3, p.867-876, 2011.

TERRA-LOPES, M.L.; CARVALHO, P.C.F.; ANGHINONI, I.; SANTOS, D.T.; AGHINADA, A.A.T.; FLORES, J.P.C.; MORAES, A. Sistema de integração lavoura-pecuária: efeito do manejo da altura em pastagem de aveia preta e azevém anual sobre o rendimento da cultura da soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.2, p.1499-1506, 2009.

TIMOSSI, P.C.; DURIGAN, J.C.; LEITE, G.J. Formação de palhada por braquiárias para adoção do sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v.66, n.4, p.617-622,2007.

TORRES, J.L.R.; PEREIRA, M.G.; FABIAN, A.J. Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.3, p.421-428, 2008.

TORRES, J.L.R.; PEREIRA, M.G.; CUNHA, M.A.; VIEIRA, D.M. da S.; RODRIGUES, E.S.R. Produtividade do milho cultivado em sucessão a crotalária, milheto e braquiária no cerrado mineiro. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.10, n.18; p.2490-2491, 2014.

VERONESE, M.; FRANCISCO, E.A.B.; ZANCANARO, L.; ROSOLEM, C.A. Plantas de cobertura e calagem na implantação do sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n.1, p.1158-1165, 2012.

XIMENES, A.C.A.; de SOUZA, L.C.F.; ROBAINA, A.D.; GONÇALVES, M.C. Avaliação da incidência de geadas em componentes de produtividade do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.3, n.2, p.214-22, 2004.

CAPÍTULO 2 – ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM DIFERENTES CULTURAS DE COBERTURA SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO NO CERRADO

RESUMO

A escolha das culturas de cobertura no sistema plantio direto (SPD) pode promover alterações nos atributos químicos do solo. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar, as alterações nos atributos químicos do solo cultivado sob diferentes culturas de cobertura em SPD na região do Cerrado Sul-Mato-Grossense. O estudo foi realizado no município de Maracaju-MS, em solo classificado como Latossolo Vermelho Distroférrico. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com oito tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos adotados foram diferentes culturas de cobertura de solo (milho de segunda safra, milho de segunda safra consorciado com *Brachiaria ruziziensis*, *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, *Crotalaria spectabilis*, cultivo isolado de *B. ruziziensis* e *B. brizantha* cv. Marandu, milheto e vegetação espontânea). As amostras de solo foram coletadas nos anos agrícolas de 2012/2013 e 2013/2014, após a dessecação das culturas de cobertura, nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Após as coletas foram determinados o pH, H+Al, P, K^+, Ca^{+2}, Mg^{+2}, Al^{+3} e calculadas a SB e a CTC. No ano agrícola de 2012/2013, o uso da vegetação espontânea e do milho consorciado com crotalária proporcionaram os menores valores de pH na camada de 0-5 cm. O uso da cobertura milho consorciado com crotalária também proporcionou a maior acidez potencial no ano agrícola de 2013/2014 na camada de 10-20 cm. Os valores de pH em $CaCl_2$ diminuíram e os valores de H+Al e Al^{+3} foram maiores com o aumento da profundidade do solo. Os maiores teores de cálcio, magnésio e potássio nos dois anos agrícolas estudados foram maiores na camada superficial do solo (0-5 cm). O uso da *B. ruziziensis*, *B. brizantha* cv. Marandu e do milheto como culturas de cobertura promoveram elevação dos teores de magnésio e potássio. A utilização do milho em consorciação com crotalária e a vegetação espontânea promoveram maior acidificação no solo. A adoção do sistema plantio direto com o uso de diferentes culturas de outono/inverno proporcionou aumento nos teores dos nutrientes na camada superficial do solo e maior acidificação nas camadas mais profundas do solo.

Palavras-chave: *Brachiaria*, rotação de culturas e fertilidade do solo.

ATTRIBUTES CHEMICAL SOIL IN SYSTEM UNDER COVER OF DIFFERENT CULTURES IN UNDER NO-TILL SYSTEM IN BRAZILIAN SAVANNA

ABSTRACT

The choice of cover crops in no-tillage system may provide changes in soil chemical properties. Therefore, the aim in develop this research was to assess the soil chemical properties under different cover crop in no-tillage system in Brazilian savannah. The study was carried out in the municipality of Maracaju, Brazil, in soil classified as Oxisol. The experimental design was in randomized blocks with eight treatments and four replications. The treatments adopted were formed by different cover crops (winter corn crop; intercropping winter corn with *Brachiaria ruziziensis*; intercropping winter corn with *Brachiaria brizantha* cv. Marandu; intercropping winter corn with *Crotalária spectabilis*; *B. ruziziensis*; *B. brizantha* cv. Marandu; *Penisetum glaucum* L. and reference area). The soil samples were collected in two cropping seasons (2012/2013 and 2013/2014) in 0-5 cm, 5-10 cm and 10-20 cm depth, after desiccation of cover crops. After the samples, it was determined pH, H^+ Al^{+3}, K^+, P, Ca^{+2}, Mg^{+2}, Al^{+3} and calculated the sum of base and CEC. In 2012/2013 cropping season, the adoption of reference are and the intercropping winter corn with *Crotalaria spectabilis* promoted smaller values of pH in 0-5 cm depth. The intercropping winter corn with *Crotalaria spectabilis* promoted higher potential acidity in 2013/2014 cropping season in 10-20 cm depth. The values of pH in $CaCl_2$ decreased and the values of $H+Al^{+3}$ and Al^{+3} were higher in deep layer. In 0-5 cm, it was observed higher content of Ca^{+2}, Mg^{+2} and K^+. The adoption of *B. ruziziensis*, *B. brizantha* cv. Marandu and *Penisetum glaucum* L. as cover crops promoted the increase of Mg^{+2} and K^+ contents. The intercropping winter corn crop with *Crotalaria spectabilis* and reference area promoted higher soil acidity. The adoption of no-tillage system under different above-ground dry matter from cover crops promoted increase in nutrient content in surface layer and higher acidity in soil deep layer.

Key-words: *Brachiaria*, crop rotation and soil fertility.

1. INTRODUÇÃO

Na região do Cerrado, na busca por contribuir para o desenvolvimento de uma agricultura sustentável, tem-se adotado sistemas de manejo que proporcionem benefícios quanto à conservação e melhoria das qualidades químicas, físicas e biológicas do solo. Dentro desse enfoque, a adoção do sistema plantio direto (SPD) tem-se mostrado como alternativa viável para assegurar a sustentabilidade do uso agrícola do solo (ARATANI et al., 2009; LEITE et al., 2010).

No entanto, devido às condições climáticas que limitam o acúmulo e a manutenção dos resíduos culturais durante longo período de tempo, a sustentabilidade do SPD no Cerrado é extremamente dependente da definição das espécies vegetais adequadas, para a produção e manutenção dos resíduos vegetais sobre o solo. Culturas como o milheto (*Pennisetum americanum* L.), crotalária (*Crotalaria spectabilis*) e forrageiras do gênero *Brachiaria* são algumas das opções que podem ser utilizadas (TORRES, PEREIRA e FABIAN, 2008; GARCIA et al., 2014).

De modo geral, as espécies vegetais a serem escolhidas devem ter boa produção de massa seca, seus resíduos devem apresentar persistência sobre a superfície do solo e capacidade de promover ciclagem de nutrientes (CRUSCIOL et al., 2005; NUNES et al., 2006; GARCIA et al., 2014).

Outro aspecto que também deve ser considerado na escolha das culturas de cobertura, refere-se às modificações que estas podem ocasionar nos atributos químicos do solo, uma vez que, cada espécie vegetal acumula e libera de maneira diferenciada elementos minerais no solo. Isto pode promover efeitos variáveis sobre estes atributos em decorrência da planta de cobertura utilizada.

As plantas de cobertura no SPD, em rotação ou consorciadas, podem absorver nutrientes em camadas profundas do solo e acumulá-los nas raízes ou na parte aérea. Quando depositados na superfície do solo, podem liberar parte dos nutrientes contidos no tecido para o solo, alterando o teor de nutrientes nas camadas mais superficiais ao longo do ciclo da próxima cultura (DUDA et al., 2003; PAULETTI et al., 2009).

De modo geral, entre os principais efeitos das culturas de cobertura nas propriedades químicas do solo estão a liberação de ácidos orgânicos solúveis em água, capazes de complexar o alumínio trocável e o manganês que se encontra em

níveis tóxicos no solo (OSTERROHT, 2002; ZAMBROSI, ALLEONI e CAIRES, 2008); maior disponibilidade de nutrientes; e maior capacidade de troca de cátions efetiva do solo e a mobilização de nutrientes lixiviados ou pouco solúveis que estejam nas camadas mais profundas do perfil do solo (CORREIA e DURIGAN, 2008; CUNHA et al., 2011).

Inúmeros estudos relatam o efeito do uso de diferentes espécies de planta de cobertura nos atributos químicos do solo. De acordo com Silveira et al. (2010), o plantio de milheto proporcionou aumento dos teores de fósforo, nas camadas subsuperficiais, em relação aos teores iniciais. Bressan et al. (2013) constataram que a utilização de milheto e *B. ruziziensis* como plantas de cobertura promoveram aumento do pH do solo e redução nos teores de alumínio, além disso o uso destas plantas de cobertura aumentaram os teores de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e soma de bases, principalmente nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, em relação à área de Cerrado nativo.

Santos et al. (2012) estudando o efeito da *B. brizantha* cv. Marandu,, milho em consórcio com *B. brizantha* cv. Marandu, milheto, *Panicum maximum* cv. Mombaça, sorgo granífero, guandu anão, estilosantes e crotalária verificaram que estas culturas de cobertura do solo afetaram diferentemente os valores de pH e os teores dos atributos químicos (cálcio, magnésio, potássio, fósforo, cobre, zinco e ferro). Correia e Durigan (2008), em experimento desenvolvido por dois anos de semeadura direta comparando diversas espécies de gramíneas usadas como cobertura do solo e a vegetação espontânea, observaram que esta última proporcionou maiores valores de pH, cálcio e magnésio trocáveis, saturação por bases e capacidade de troca de cátions efetiva, enquanto as gramíneas proporcionaram maior concentração de fósforo e matéria orgânica no solo.

Contudo, alguns estudos não constataram efeitos sobre os atributos químicos do solo em função da cultura de cobertura utilizada (MORETI et al., 2007; ALMEIDA et al., 2008; CUNHA et al., 2011).

Diante do exposto, há necessidade de se verificar a nível local a real contribuição das culturas de cobertura em alterar a fertilidade do solo em áreas sob SPD. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar, durante duas safras agrícolas, as alterações nos atributos químicos do solo cultivado com diferentes culturas de cobertura em sistema plantio direto na região do Cerrado Sul-Mato-Grossense.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no período de outubro de 2012 a fevereiro de 2014 no município de Maracaju-MS, cujas coordenadas geográficas são 21°36’52’’S e 55°10’06’’W, com altitude média de 384 m, em solo classificado como Latossolo Vermelho Distroférrico (SANTOS et al., 2013), com textura argilosa (310 g kg^{-1} de areia, 300 g kg^{-1} de silte e 390 g kg^{-1} de argila) na camada de 0-20 cm

O clima da região, segundo classificação de Koppen (1948), é do tipo Aw, os dados de pluviosidade e temperatura durante a realização do experimento estão apresentados na Figura 1.

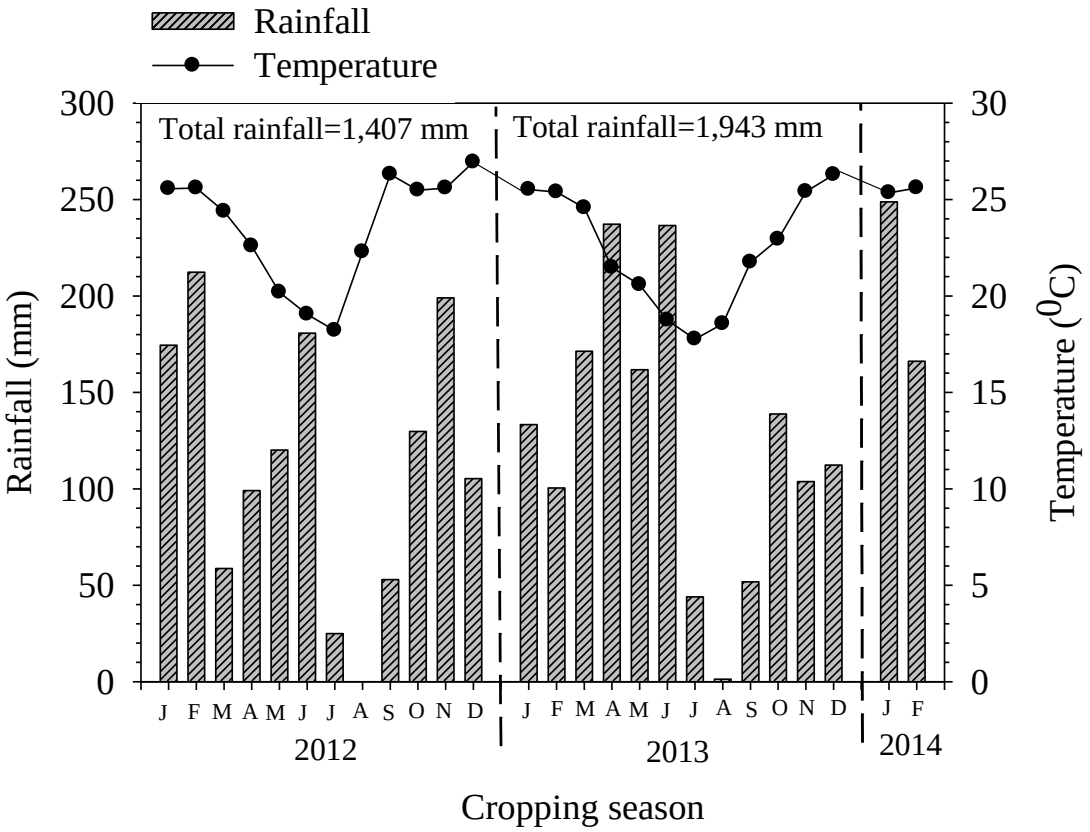

Figura 1. Dados climáticos no período de condução do experimento, em Maracaju, MS.

Durante dez anos, a área experimental foi utilizada para a produção de soja e milho em plantio direto. Antes da instalação do experimento coletaram-se amostras de solo nas camadas de 0-20 e 20-40 cm para determinação dos atributos químicos do solo (Tabela 1).

Tabela 1. Análise química iniciais do solo. Maracaju-MS.

	Profundidade	
	0-20 cm	20-40 cm
pH ($CaCl_2$)	5,10	4,66
MOS (g dm^{-3})	28,0	19,0
P (mg dm^{-3})	16,30	1,08
K^+ ($cmol_c$ dm^{-3})	0,41	0,10
Ca^{2+} ($cmol_c$ dm^{-3})	4,15	1,90
Mg^{2+} ($cmol_c$ dm^{-3})	1,30	0,75
H+Al ($cmol_c$ dm^{-3})	4,98	4,83
Al^{3+} ($cmol_c$ dm^{-3})	0	0,34
SB ($cmol_c$ dm^{-3})	5,86	2,75
CTC ($cmol_c$ dm^{-3})	10,84	7,58
V (%)	54,06	36,28

V (%)= Saturação por bases; SB= Soma de bases; CTC potencial a pH=7,0 = Capacidade de troca de cátions; MOS=Matéria orgânica do solo.

No ano de 2010, trinta dias antes da semeadura da soja, aplicou-se 2,4 Mg ha^{-1} de calcário dolomítico (PRNT= 64%), cuja composição apresentou 24% de óxido de cálcio (CaO) e 16% de óxido de magnésio (MgO), e 600 kg ha^{-1} de gesso agrícola. A calagem e a gessagem foram realizadas ao mesmo tempo e a lanço sem incorporação. No final de outubro de 2010 foi realizada a semeadura da soja e após a colheita da soja em 2011 foram semeadas as culturas de outono/inverno.

O experimento foi conduzido nos anos agrícolas de 2011/2012, 2012/2013 e 2013/2014 em delineamento experimental de blocos casualizados com oito tratamentos e quatro repetições, totalizando 32 parcelas com área de 30 m^2 (12 m de comprimento e 2,5 m de largura). Os tratamentos adotados foram diferentes culturas de cobertura de solo, antecedendo a semeadura da soja no verão, em sistema plantio direto (Tabela 2). As avaliações foram realizadas nos anos agrícolas de 2012/2013 e 2013/2014.

Tabela 2. Descrição dos tratamentos contendo as culturas de cobertura. Maracaju-MS.

Trat.	**Cultura de Outono/Inverno**	**Cultura de verão**
1	Milho de segunda safra	Soja
2	Milho de segunda safra consorciado com *B. ruziziensis*	Soja
3	Milho de segunda safra consorciado com *B. brizantha* cv. Marandu	Soja
4	Milho de segunda safra consorciado com *Crotalaria spectabilis*	Soja
5	*Brachiaria ruziziensis*	Soja
6	*Brachiaria brizantha* cv. Marandu	Soja
7	Milheto	Soja
8	Vegetação espontânea	Soja

A vegetação espontânea era constituída basicamente de picão-preto (*Bidens pilosa*), capim pé-de-galinha (*Eleusine indica*), leiteiro (*Euphorbia heterophylla*), espécies do gênero *Brachiaria* spp. e corda de viola (*Ipomoea grandifolia*).

A semeadura do milho nos anos agrícolas estudados foi realizada mecanicamente em plantio direto após a soja, utilizando-se a cultivar DKB 390 VTPRO (3 sementes/metro), no espaçamento de 50 cm. No momento da semeadura do milho realizou-se a adubação com 265 kg ha^{-1} da fórmula 12-15-15 (N-P_2O_5-K_2O), as sementes foram tratadas com 1750 mL de Imidacloprid + Tiodicarbe para cada 100 kg de sementes.

O consórcio do milho com as *Brachiaria*s foi realizado simultaneamente com a utilização de uma terceira caixa acoplada à semeadora do milho. A *Brachiaria* foi semeada utilizando-se o espaçamento de 21 cm entrelinha. O valor cultural (VC) da *B. ruziziensis* e da *B. brizantha* cv. Marandu utilizados foram de 50% (80% de germinação e 62,5% de pureza). Para formação do consórcio milho com *B. ruziziensis* e *B. brizantha* cv. Marandu foram utilizados 5 e 7 kg ha^{-1} de sementes puras viáveis, respectivamente. O cultivo isolado das forrageiras foi realizado a lanço utilizando-se 7 e 8 kg ha^{-1} de sementes puras viáveis da *B. ruziziensis* e da *B. brizantha* cv. Marandu, respectivamente.

A semeadura do milheto foi realizada no espaçamento de 50 cm utilizando-se uma terceira caixa acoplada à semeadora do milho. A cultivar de milheto utilizada foi a BRS 1501 (10 a 12 kg ha^{-1} de sementes). O consórcio do milho com *Crotalaria spectabilis* foi realizando utilizando-se 6 kg ha^{-1} de sementes, no espaçamento de 45 cm, sendo a crotalária semeada manualmente 15 dias após a semeadura do milho.

A semeadura da soja nos anos agrícolas estudados foi realizada mecanicamente no final de outubro de 2012 e 2013. Nesta ocasião, realizou-se adubação com 380 kg ha^{-1} da fórmula 02-20-20 (N-P_2O_5-K_2O) no sulco de plantio. A cultivar de soja semeada nos anos agrícolas de 2012/2013 e 2013/2014 foi a BMX Potência RR (99% de pureza e 80% de germinação), sendo semeadas 14 sementes/metro no espaçamento de 45 cm.

As sementes de soja foram tratadas utilizando (g i.a./80 kg de sementes) com Carboxin + Thiran (48 g L^{-1}), Fipronil (40 g L^{-1}), cobalto (2,32 g L^{-1}) e molibdênio (40,6 g L^{-1}). As sementes de soja foram inoculadas antes da semeadura

com inoculante à base de turfa, contendo as bactérias *Bradyrhizobium elkani* (Estirpe Semia 5019) e *Bradyrhizobium japonicum* (Estirpe Semia 5079), com concentração mínima de $5x10^9$ células viáveis por grama de inoculante, na dosagem de 100 mL de inoculante em 80 kg de semente de soja.

O manejo das plantas daninhas na cultura da soja e no milho solteiro e os tratos fitossanitários na cultura da soja e do milho quando necessários foram realizados de acordo com as recomendações técnicas para as culturas. A dessecação das plantas de cobertura foi realizada vinte dias antes da semeadura da soja, aplicando-se 1440 g/L ha^{-1} de ingrediente ativo de glifosato-sal de isopropilamina + 1209 g/L ha^{-1} de ingrediente ativo de 2,4-D-dimetilamina.

As amostras de solo foram coletadas nos anos agrícolas de 2012/2013 e 2013/2014, após a dessecação das culturas de cobertura, nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, por meio da abertura de trincheiras (30 cm x 40 cm x 40 cm) perpendiculares à linha de semeadura. Foram abertas dez trincheiras em cada unidade experimental, e coletadas dez subamostras em cada camada para compor uma amostra composta. Após as coletas, as amostras compostas de solo foram acondicionadas em sacos plásticos, identificadas e encaminhadas ao Laboratório de Solos da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD).

Para a caracterização química, as amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira com malha de 2 mm e determinado os valores de pH, H+Al, K^+, P, Ca^{+2}, Mg^{+2}, Al^{+3} e calculadas a soma de bases (SB) e capacidade de troca de cátions a pH 7,0 (CTC). O pH foi determinado em $CaCl_2$ (relação solo: solução 1:2,5); o H+Al foi extraído com solução de acetato de cálcio a 0,5 mol L^{-1} tamponada a pH 7,0, e determinado por titulação; o Ca^{2+}, Mg^{2+} e Al^{+3} trocáveis foram extraídos com KCl 1 mol L^{-1}, sendo o cálcio e magnésio determinados por absorção atômica e o alumínio por titulação com NaOH 0,025 mol L^{-1}. Fósforo e potássio foram extraídos com a solução de Mehlich 1 (HCl a 0,5 N + H_2SO_4 a 0,025N) e determinados, respectivamente, em colorímetro e fotômetro de chama (CLAESSEN, 1997).

Os dados foram submetidos à análise de variância e no caso de significância foi utilizado o teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$) para distinção entre médias, utilizando o aplicativo computacional SISVAR (FERREIRA, 2010). Também foi realizado o teste-*t* para comparação das médias entre os anos agrícolas, com nível de significância de $p \leq 0,05$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

De maneira geral, verificou-se pouco efeito das culturas de coberturas em promover alterações na acidez do solo, o que pode ser em decorrência dos efeitos promovidos pela calagem (efeito residual do calcário) no início do experimento (ano de 2010), o que contribuiu para redução da acidez ativa e potencial do solo em todos os tratamentos.

No ano agrícola de 2012/2013, as culturas de cobertura influenciaram significativamente ($p \leq 0,05$) os valores de pH para tratamento, apenas na camada de 0-5 cm, onde as áreas com vegetação espontânea (5,45) e milho consorciado com a crotalária proporcionaram os menores valores de pH (5,56) (Tabela 3).

Tabela 3. Valores de pH $CaCl_2$, H+Al e Al^{+3} em $cmol_c\ dm^{-3}$, em função das culturas de outono/inverno sob sistema plantio direto no Cerrado, nos anos agrícolas de 2012/2013 e 2013/2014, em três camadas.

Culturas de outono/inverno	**0-5 cm**		**5-10 cm**		**10-20 cm**	
	C1	**C2**	**C1**	**C2**	**C1**	**C2**
			pH $CaCl_2$			
Milho	5,97Aa	5,82Aa	5,53Aa	5,05Ab	4,87Aa	4,45Aa
Milho+*B. ruziziensis*	5,88Aa	5,73Aa	5,29Aa	5,00Ab	4,66Aa	4,68Aa
Milho+*B. brizantha* cv. Marandu	5,74Aa	5,61Aa	5,38Aa	4,60Ab	4,97Aa	4,43Ab
Milho+*Crotalaria spectabilis*	5,56Ba	5,50Aa	5,31Aa	4,65Ab	4,75Aa	4,22Ab
Brachiaria ruziziensis	5,85Aa	5,59Aa	5,33Aa	5,03Aa	4,92Aa	4,60Aa
B. brizantha cv. Marandu	5,88Aa	5,51Aa	5,54Aa	5,02Ab	5,03Aa	4,74Aa
Milheto	5,88Aa	5,73Aa	5,69Aa	5,11Ab	4,95Aa	4,48Ab
Vegetação espontânea	5,45Ba	5,52Aa	5,62Aa	5,22Aa	4,97Aa	4,74Aa
			H+Al			
Milho	2,89Aa	2,22Aa	2,64Ab	3,07Aa	3,20Aa	3,80Ba
Milho+*B. ruziziensis*	2,36Aa	2,16Aa	2,28Ab	3,02Aa	3,54Aa	3,05Ba
Milho+*B. brizantha* cv. Marandu	2,60Aa	2,22Aa	2,32Ab	3,57Aa	3,34Aa	3,39Ba
Milho+*Crotalaria spectabilis*	2,77Aa	2,31Aa	3,27Aa	3,55Aa	3,35Ab	4,55Aa
Brachiaria ruziziensis	2,60Aa	2,35Aa	3,01Aa	3,24Aa	3,67Aa	3,31Ba
B. brizantha cv. Marandu	2,32Aa	2,56Aa	2,66Aa	3,08Aa	3,04Aa	3,21Ba
Milheto	2,43Aa	2,22Aa	3,37Aa	2,90Aa	3,50Aa	3,59Ba
Vegetação espontânea	2,53Aa	2,30Aa	2,22Ab	2,98Aa	3,72Aa	3,16Ba
			Al^{+3}			
Milho	0,06Aa	0,00Aa	0,06Aa	0,12Aa	0,42Aa	0,58Aa
Milho+*B. ruziziensis*	0,00Aa	0,00Aa	0,21Aa	0,24Aa	0,30Aa	0,36Aa
Milho+*B. brizantha* cv. Marandu	0,00Aa	0,00Aa	0,09Aa	0,36Aa	0,18Ba	0,42Aa
Milho+*Crotalaria spectabilis*	0,00Aa	0,00Aa	0,12Aa	0,27Aa	0,30Aa	0,58Aa
Brachiaria ruziziensis	0,00Aa	0,00Aa	0,21Aa	0,18Aa	0,18Ba	0,36Aa
B. brizantha cv.Marandu	0,00Aa	0,00Aa	0,09Aa	0,12Aa	0,21Ba	0,24Aa
Milheto	0,00Aa	0,00Aa	0,09Aa	0,06Aa	0,15Ba	0,45Aa
Vegetação espontânea	0,00Aa	0,00Aa	0,18Aa	0,06Aa	0,33Aa	0,30Aa

Médias seguidas de letras iguais maiúsculas na coluna, não diferem entre si para tratamento, para o teste Scott-Knott até 5% de probabilidade. Médias seguidas de letras iguais minúsculas na linha não diferem entre si para ano agrícola, para o teste-*t* até 5% de probabilidade. Legenda: C1=Coleta realizada no ano agrícola 2012/2013 e C2=Coleta realizada no ano agrícola 2013/2014.

Na comparação entre os tratamentos, as culturas de outono/inverno não influenciaram significativamente ($p>0,05$) os valores de H+Al em nenhuma camada de solo no ano agrícola 2012/2013 (Tabela 3).

No ano agrícola de 2013/2014 não foram constatadas diferenças estatísticas ($p>0,05$) entre os tratamentos para os valores de pH. Já para os valores de H+Al houve diferenças estatísticas ($p\leq0,05$) entre os tratamentos na camada de 10-20 cm, sendo que o uso do milho consorciado com crotalária proporcionou o maior teor de acidez potencial (4,55 $cmol_c\ dm^{-3}$) (Tabela 3).

A maior acidificação do solo no tratamento milho consorciado com crotalária pode ser decorrente das exsudações ácidas das raízes das plantas que atuam diretamente no pH do solo. Associado ao fato da crotalária estar continuamente sendo decomposta pelos microrganismos formando ácido carbônico, o qual por sua vez, reage com os carbonatos de cálcio e magnésio no solo formando os bicarbonatos solúveis, que podem ser lixiviados, deixando o solo ácido (LOPES, 1995; MORETI et al., 2007). Além disso, as leguminosas apresentam maior absorção de cátions que as gramíneas, o que gera a liberação de mais íons H^+, o que também pode ter contribuído na diminuição do pH do solo (BOHNEN et al., 2006; SILVA et al., 2013).

Estudando atributos químicos de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo, adubações e plantas de cobertura, Moreti et al. (2007) também observaram o menor valor do pH e maior acidez potencial (H+Al) no tratamento com crotalária, em função da liberação de exsudações de ácidos pelas raízes que atuam diretamente no pH do solo.

Na área de vegetação espontânea, a maior acidificação do solo pode ser em função da menor produtividade de matéria seca, uma vez que, deve-se considerar a capacidade de neutralização da acidez do solo por resíduos vegetais (SCHLINDWEIN e GIANELLO, 2004; ANDRIOLE e PRADO, 2012).

As culturas de cobertura influenciaram significativamente ($p\leq0,05$) os teores de alumínio para tratamento apenas no ano agrícola de 2012/2013, na camada de 10-20 cm, onde o uso do milho solteiro, vegetação espontânea e milho consorciado com *Brachiaria ruziziensis* e com *Crotalaria spectabilis* apresentaram os maiores teores de alumínio.

A acidificação do solo verificada neste experimento com o uso destes tratamentos pode ser explicado pela maior extrusão do H^+ celular na solução do solo

durante o processo de absorção de cátions pelas raízes (MALAVOLTA, 2006). Além disso, o próprio tempo de cultivo pode promover a acidificação do solo, em decorrência da lixiviação e extração de bases, aliado a exsudação de ácidos orgânicos pelas raízes (COSTA et al., 2008).

Na comparação entre os anos agrícolas avaliados, não houve alteração significativa ($p>0,05$) nos valores de pH na camada de 0-5 cm (Tabela 3). Cunha et al. (2011), estudando atributos químicos de solo sob produção orgânica influenciados pelo preparo e por plantas de cobertura em Latossolo Vermelho Distrófico, não constataram alterações nos valores de pH do solo em função do tipo de cobertura utilizada. Almeida et al. (2008) também não verificaram, após três anos com plantio direto, efeito das plantas de cobertura sobre o pH do solo. No entanto, neste experimento foram verificadas alterações significativas ($p\leq0,05$) nos valores de pH nas camadas de 5-10 e 10-20 cm, sendo constatada uma redução do pH e aumento da acidez potencial no ano agrícola 2013/2014 em determinadas culturas de cobertura (Tabela 3).

A maior acidificação do solo ao longo do tempo de cultivo no SPD está relacionada à maior acidificação do solo promovida pela diminuição do efeito residual da calagem realizada em 2010 na área do experimento, associado à extração de bases pelas culturas (milho e soja) que foram cultivadas na área. De acordo com Ribeiro et al. (1999), é recomendado se realizar nova análise do solo três a quatro anos depois da calagem para obter informações sobre a necessidade ou não de uma nova correção.

O uso das culturas de cobertura não alteraram significativamente ($p>0,05$) os teores de alumínio para o ano de avaliação (Tabela 3). Resultado que pode ser atribuído à insolubilização do alumínio em decorrência dos valores pH do solo, o que consequentememte reduz o alumínio solúvel (SOUSA et al., 2007). De acordo com Raij (2010) valores de pH acima de 4,8 promovem a insolubilização do alumínio trocável fazendo com que este seja precipitado na forma de óxido reduzindo a sua concentração na solução do solo.

Houve diferenças significativas ($p\leq0,01$) entre as camadas de solo avaliadas para os valores de pH, H+Al e Al^{+3}, sendo que os valores pH em $CaCl_2$ diminuíram e os valores de H+Al e Al^{+3} foram maiores com o aumento da profundidade do solo (Figura 2). O decréscimo dos valores de pH e aumento da acidez do solo em maiores profundidades em SPD podem ser atribuídos à redução da

ação tamponante da matéria orgânica e/ou diminuição dos teores de cálcio e magnésio (Tabela 4).

Outra explicação está relacionada a maior acidificação do solo com o aumento da profundidade no SPD pode estar relacionado à ineficiência da aplicação superficial de calcário no solo em corrigir a acidez do subsolo.

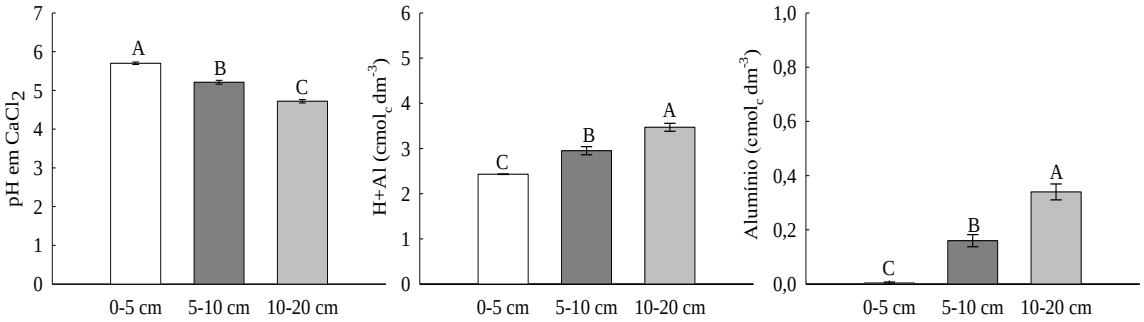

Figura 2. Valores de pH em $CaCl_2$, H+Al e alumínio em $cmol_c\ dm^{-3}$ em função da camada de solo avaliada. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si para o teste Scott-knott até 5% de probabilidade.

De acordo com Oliveira et al. (2002) e Abdollahi e Munkholm (2014), no sistema plantio direto os maiores valores de pH são encontrados na profundidade de até 10 cm. Dalchiavon et al. (2012) também observaram diminuição do pH em profundidade em decorrência dos menores teores de bases trocáveis nessas regiões do solo. Costa et al. (2007), estudando um Latossolo Vermelho Distroférrico sob plantio direto, verificaram que a tendência é de que ocorra redução dos teores das bases trocáveis à medida que aumenta a profundidade do solo, uma vez que o efeito da calagem nessas regiões é menos intenso.

Estudando atributos químicos no solo no Cerrado do Piauí, Matias et al. (2009) constataram que a adição de calcário, aplicado à superfície do solo não influenciou a correção da acidez em maiores profundidades (à partir de 20 cm) em SPD. De acordo com Flores et al. (2008) a realização da calagem de forma superficial em SPD diminui a eficiência na correção da acidez em profundidade, em função da baixa solubilidade do calcário. Dalchiavon et al. (2012) observaram para camada de 10-20 cm, índice de acidez muito alto (pH< 4,3), o que pode representar sérias restrições à produção agrícola. Estes autores atribuem essa condição em subsuperfície ao menor efeito do corretivo de acidez nessa região, uma vez que no SPD não há incorporação do calcário ao solo após a implantação do sistema.

Os teores de cálcio, magnésio e potássio nos dois anos agrícolas estudados e em todas as camadas de solo foram interpretados como médios a muito bom, de acordo com Ribeiro et al. (1999). Na comparação entre as camadas avaliadas, os maiores teores de cálcio, magnésio e potássio foram verificados na camada de 0-5 cm diferindo estatisticamente ($p \leq 0,05$) das demais camadas (Figura 3).

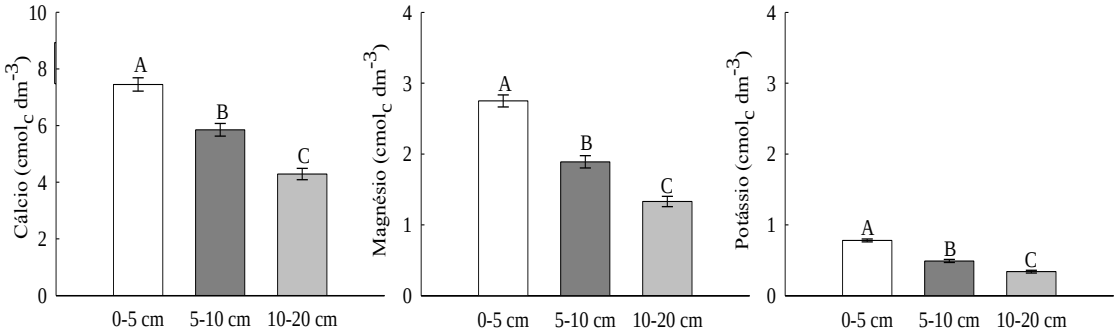

Figura 3. Valores de cálcio, magnésio e potássio em cmol$_c$ dm^{-3} em função da camada de solo avaliada. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si para o teste Scott-knott até 5% de probabilidade.

O acúmulo destes nutrientes na camada superficial do solo em sistema plantio direto deve-se ao não-revolvimento e ao maior aporte de material vegetal sobre a superfície do solo. Além disso, às condições climáticas da região do Cerrado favorecem a atividade dos microrganismos do solo levando a maior mineralização da matéria orgânica nesta camada (CAVALCANTE et al., 2007; PAVINATO e ROSOLEM, 2008; STEINER, et al., 2011; SANTOS et al., 2012).

Os teores de cálcio não foram influenciados significativamente ($p > 0,05$) pelos tratamentos em nenhuma camada de solo para os anos agrícolas avaliados (Tabela 4). Em relação aos valores de magnésio houve diferença estatística ($p \leq 0,05$) entre os tratamentos apenas no ano agrícola de 2012/2013, na camada de 0-5 cm, onde o uso das culturas de cobertura *B. ruziziensis*, *B. brizantha* cv. Marandu, milheto e vegetação espontânea apresentaram os maiores teores de magnésio (Tabela 4).

Para o potássio também houve diferenças estatísticas ($p \leq 0,05$) entre os tratamentos apenas para o ano agrícola de 2012/2013, onde os tratamentos milho consorciado com crotalária, cultivo isolado da *B. brizantha* cv. Marandu, milheto e

vegetação espontânea, apresentaram os maiores valores deste nutriente na camada de 5-10 cm (Tabela 4).

Tabela 4. Valores de cálcio, magnésio e potássio em $cmol_c\ dm^{-3}$, em função das culturas de outono/inverno sob sistema plantio direto no Cerrado, nos anos agrícolas de 2012/2013 e 2013/2014, em três camadas.

Culturas de outono/inverno	0-5 cm		5-10 cm		10-20 cm	
	C1	C2	C1	C2	C1	C2
			Ca^{+2}			
Milho	8,89Aa	6,32Ab	7,54Aa	4,58Ab	5,01Aa	2,72Ab
Milho+*B. ruziziensis*	9,34Aa	5,10Ab	7,30Aa	3,05Ab	5,70Aa	3,43Ab
Milho+*B. brizantha* cv. Marandu	8,74Aa	5,58Ab	7,23Aa	3,81Ab	6,09Aa	3,75Ab
Milho+*Crotalaria spectabilis*	8,52Aa	5,72Ab	7,27Aa	4,15Ab	4,52Aa	2,39Aa
Brachiaria ruziziensis	9,90Aa	6,00Ab	7,22Aa	4,79Ab	6,06Aa	3,19Ab
B. brizantha cv. Marandu	9,29Aa	5,77Ab	7,01Aa	5,10Ab	5,26Aa	3,52Ab
Milheto	8,81Aa	5,97Ab	7,44Aa	4,82Ab	5,40Aa	2,86Ab
Vegetação espontânea	9,27Aa	5,82Ab	7,30Aa	4,93Ab	5,29Aa	3,40Ab
			Mg^{+2}			
Milho	2,86Ba	2,20Ab	2,44Aa	1,30Ab	1,54Aa	0,73Ab
Milho+*B. ruziziensis*	3,14Ba	1,97Ab	2,18Aa	0,85Ab	1,72Aa	0,99Ab
Milho+*B. brizantha* cv. Marandu	3,17Ba	2,05Ab	2,27Aa	1,03Ab	1,84Aa	1,06Ab
Milho+*Crotalaria spectabilis*	3,10Ba	1,91Ab	2,36Aa	1,12Ab	1,38Aa	0,62Aa
Brachiaria ruziziensis	3,52Aa	2,24Ab	2,41Aa	1,42Ab	1,91Aa	0,90Ab
B. brizantha cv. Marandu	3,70Aa	2,23Ab	2,66Aa	1,53Ab	1,79Aa	1,02Ab
Milheto	3,44Aa	2,43Ab	2,74Aa	1,68Ab	1,94Aa	0,90Ab
Vegetação espontânea	3,55Aa	2,39Ab	2,64Aa	1,62Ab	1,86Aa	0,99Ab
			K^{+}			
Milho	0,71Aa	0,81Aa	0,42Ba	0,54Aa	0,33Aa	0,35Aa
Milho+*B. ruziziensis*	0,81Aa	0,73Ab	0,47Ba	0,36Aa	0,32Aa	0,34Aa
Milho+*B. brizantha* cv. Marandu	0,81Aa	0,86Aa	0,52Ba	0,32Ab	0,33Aa	0,35Aa
Milho+*Crotalaria spectabilis*	0,87Aa	0,81Aa	0,56Aa	0,42Aa	0,39Aa	0,33Aa
Brachiaria ruziziensis	0,76Aa	0,61Aa	0,42Ba	0,39Aa	0,21Aa	0,22Aa
B. brizantha cv. Marandu	0,88Aa	0,58Aa	0,58Aa	0,25Ab	0,31Aa	0,23Aa
Milheto	0,83Aa	0,65Ab	0,61Aa	0,49Aa	0,32Aa	0,30Aa
Vegetação espontânea	0,98Aa	0,73Ab	0,71Aa	0,71Aa	0,43Aa	0,56Aa

Médias seguidas de letras iguais maiúsculas na coluna, não diferem entre si para tratamento, para o teste Scott-Knott até 5% de probabilidade. Médias seguidas de letras iguais minúsculas na linha não diferem entre si para ano agrícola, para o teste-*t* até 5% de probabilidade. Legenda: C1=Coleta realizada no ano agrícola 2012/2013 e C2=Coleta realizada no ano agrícola 2013/2014.

De maneira geral, observou-se neste experimento, a maior capacidade das gramíneas (*Brachiaria* e milheto) no aumento dos teores de magnésio e potássio no solo. Os benefícios das gramíneas nos incrementos dos teores de nutrientes no solo estão relacionados ao fato de apresentarem boa adaptação às condições edafoclimáticas do Cerrado, sistema radicular bastante extenso e em constante renovação, que associado ao elevado potencial de produção de matéria seca, são capazes de, em pouco tempo, alterar os níveis de matéria orgânica e de nutrientes do solo. Andrioli e Prado (2012) avaliando plantas de cobertura em pré-safra e adubação nitrogenada na fertilidade do solo em diferentes camadas, cultivado com milho em

sistema plantio direto e convencional observaram que os maiores teores de potássio e magnésio foram obtidos no milheto.

Garcia et al. (2008) constataram que as gramíneas quando usadas como plantas de cobertura são eficientes na extração e ciclagem de potássio no solo, em sistema de rotação de culturas. Santos et al. (2012) constaram os maiores teores de potássio nos tratamentos *Brachiaria* e milheto demostrando que o uso da *Brachiaria* foi eficiente em reciclar este nutriente no solo. Silveira et al. (2010) avaliando os atributos químicos de solo cultivado com diferentes culturas de cobertura, concluíram que o solo sob cultivo de gramíneas apresentou os maiores valores nos atributos químicos em comparação ao solo sob o cultivo de leguminosas, destacando-se o milheto, quanto aos teores de potássio.

A capacidade das gramíneas (milheto e *Brachiaria*) em elevar os teores de magnésio e potássio também está relacionada com a quantidade e qualidade dos resíduos vegetais adicionados ao solo. Estudos mostram que os resíduos culturais são considerados um grande reservatório de potássio em curto prazo no SPD (ROSOLEM, CALONEGO e FOLONI, 2003). Torres, Pereira e Fabian (2008) verificaram maior acúmulo de K^+ em gramíneas e grandes liberações deste elemento no milheto e na *Brachiaria* nos primeiros 42 dias após o manejo. Além disso, a *B. brizantha* cv. Marandu e o milheto apresentaram o maior acúmulo de magnésio em seus resíduos vegetais com valores de 21,10 e 22,60 kg ha^{-1}, respectivamente.

Com relação, ao efeito do milho em consórcio com crotalária em promover aumentos nos teores de potássio do solo está relacionado à diversificação dos resíduos vegetais aportado ao solo, aliado à baixa relação C/N (18:1) da crotalária que possibilita alta taxa de decomposição dos seus resíduos, consequentemente, liberação de nutrientes durante sua decomposição (TEIXEIRA et al., 2009). Já em relação à área de vegetação espontânea, os maiores teores de magnésio e potássio verificados podem ser explicados pela maior disponibilidade destes nutrientes no solo, uma vez que, nesta área não foi semeado plantas de cobertura na entressafra resultando em menor absorção dos nutrientes pelas plantas.

Na comparação entre os anos agrícolas avaliados houve redução significativa ($p \leq 0,05$) nos teores de cálcio e magnésio no ano agrícola de 2013/2014, com exceção na camada de 10-20 cm, no tratamento milho em consórcio com crotalária para os teores de cálcio e de magnésio.

Os teores de potássio também foram reduzidos significativamente ($p \leq 0,05$) no ano agrícola 2013/2014, com uso do milho consorciado com *B. ruziziensis* e milheto na camada de 0-5 cm de solo, e com o uso da *B. brizantha* cv. Marandu em cultivo isolado ou consorciado com milho para camada de 5-10 cm. As quantidades de resíduos vegetais adicionadas ao solo ao longo do tempo contribuem para as variações nos teores de nutrientes entre os anos, associado ao menor efeito da calagem realizada na área.

Na comparação entre os tratamentos no ano agrícola 2012/2013 para os valores de fósforo houve diferenças significativas ($p \leq 0,05$) entre os tratamentos, na camada de 5-10 cm, onde o uso do milho solteiro ou consorciado com *B. ruziziensis* foram às coberturas vegetais que apresentaram os menores teores de fósforo no solo (Tabela 5).

Tabela 5. Valores de fósforo (mg dm^{-3}), SB e CTC em $cmol_c$ dm^{-3}, em função das culturas de outono/inverno sob sistema plantio direto no Cerrado, nos anos agrícolas de 2012/2013 e 2013/2014, em três camadas.

Culturas de outono/inverno	**0-5 cm**		**5-10 cm**		**10-20 cm**	
	C1	**C2**	**C1**	**C2**	**C1**	**C2**
			P			
Milho	23,7Aa	15,1Ba	19,9Bb	29,2Aa	23,5Aa	20,4Aa
Milho+*B. ruziziensis*	24,4Aa	23,0Aa	18,7Ba	25,7Aa	33,3Aa	20,4Aa
Milho+*B. brizantha* cv. Marandu	25,1Aa	25,4Aa	29,3Aa	24,2Aa	30,3Aa	27,4Aa
Milho+*Crotalaria spectabilis*	29,6Aa	18,5Bb	29,5Aa	26,4Aa	26,3Aa	24,2Aa
Brachiaria ruziziensis	21,2Aa	22,2Aa	25,6Aa	26,4Aa	24,8Aa	13,4Ba
B. brizantha cv. Marandu	29,8Aa	13,7Bb	28,8Aa	24,9Ab	27,7Aa	11,5Bb
Milheto	25,6Aa	13,7Bb	31,0Aa	16,4Bb	28,9Aa	14,0Bb
Vegetação espontânea	24,0Aa	17,8Ba	27,6Aa	20,6Bb	21,9Aa	13,3Ba
			SB			
Milho	12,5Aa	9,34Ab	10,4Aa	6,43Ab	6,90Aa	3,81Ab
Milho+*B. ruziziensis*	13,3Aa	7,80Ab	9,96Aa	4,27Ab	7,75Aa	4,77Ab
Milho+*B. brizantha* cv. Marandu	12,7Aa	8,49Ab	10,3Aa	5,17Ab	8,27Aa	5,18Ab
Milho+*Crotalaria spectabilis*	12,5Aa	8,45Ab	10,2Aa	5,71Ab	6,29Aa	3,34Aa
Brachiaria ruziziensis	14,2Aa	8,87Ab	10,1Aa	6,61Ab	8,19Aa	4,32Ab
B. brizantha cv. Marandu	13,9Aa	8,59Ab	10,3Aa	6,89Ab	7,37Aa	4,79Ab
Milheto	13,1Aa	9,05Ab	10,8Aa	6,99Ab	7,66Aa	4,07Ab
Vegetação espontânea	13,8Aa	8,94Ab	10,7Aa	7,28Ab	7,58Aa	4,96Ab
			CTC			
Milho	15,4Aa	11,5Ab	13,1Aa	9,50Ab	10,1Aa	7,62Ab
Milho+*B. ruziziensis*	15,7Aa	9,97Ab	12,3Aa	7,29Ab	11,3Aa	7,83Ab
Milho+*B. brizantha* cv. Marandu	15,4Aa	10,7Ab	12,4Aa	8,75Ab	11,6Aa	8,57Ab
Milho+*Crotalaria spectabilis*	15,3Aa	10,7Ab	13,5Aa	9,26Ab	9,65Aa	7,90Aa
Brachiaria ruziziensis	16,8Aa	11,2Ab	13,1Aa	9,86Ab	11,9Aa	7,63Ab
B. brizantha cv. Marandu	16,2Aa	11,2Ab	12,9Aa	9,97Ab	10,4Aa	8,00Ab
Milheto	15,5Aa	11,3Ab	14,2Aa	9,89Ab	11,2Aa	7,66Ab
Vegetação espontânea	16,3Aa	11,3Ab	12,9Aa	10,2Ab	11,3Aa	8,13Ab

Médias seguidas de letras iguais maiúsculas na coluna, não diferem entre si para tratamento, para o teste Scott-Knott até 5% de probabilidade. Médias seguidas de letras iguais minúsculas na linha não diferem entre si para ano agrícola, para o teste-*t* até 5% de probabilidade. Legenda: C1=Coleta realizada no ano agrícola 2012/2013 e C2=Coleta realizada no ano agrícola 2013/2014.

No entanto, os teores de fósforo verificados nestes tratamentos são considerados bons de acordo com as classes de interpretação da disponibilidade para o fósforo (RIBEIRO et al., 1999). Indicando que estas coberturas vegetais apesar de reduzirem estatisticamente os teores de fósforo no solo em relação aos demais tratamentos não interferiram negativamente na disponibilidade de fósforo para as plantas.

No ano agrícola 2013/2014 também foi verificada diferenças significativas ($p \leq 0,05$) em todas as camadas de solo avaliadas, na camada de 0-5 cm, os maiores teores de fósforo foram constatados nas áreas cultivadas com milho em consórcio com *Brachiaria ruziziensis* e *B. brizantha* cv Marandu, e na área com cultivo isolado de *B. ruziziensis*. Para a camada de 5-10 cm, o uso do milheto e da vegetação espontânea reduziram os teores de fósforo. Na camada de 10-20 cm, o uso do milho isolado ou consorciado (crotalária ou *Brachiaria*) promoveram os maiores valores de fósforo, diferindo significativamente dos demais tratamentos (Tabela 5).

De maneira geral, observou-se para o fósforo que o uso das gramíneas (milho e *Brachiaria*) no sistema promoveu incrementos nos teores deste nutriente em todo o perfil do solo, o que pode estar relacionado à ação do sistema radicular que apresenta grande eficiência na absorção desse nutriente (GARCIA et al., 2008).

Na comparação entre os anos agrícolas avaliados, o milho em consórcio com crotalária, cultivo isolado da *B. brizantha* cv. Marandu e milheto na camada de 0-5 cm, e a adoção da *B. brizantha* cv. Marandu, milheto e vegetação espontânea na camada de 5-10 e 10-20 cm, reduziram significativamente ($p \leq 0,05$) os teores de fósforo ano agrícola de 2013/2014 (Tabela 5).

No que se refere à SB e a CTC do solo houve diferenças significativas ($p \leq 0,05$) entre as camadas de solo, sendo que na camada superficial (0-5 cm) apresentou os maiores valores diferindo significativamente das demais camadas de solo (Figura 4).

Os maiores valores de SB e CTC na superfície do solo ocorre, provavelmente, pela adição de maiores quantidades de resíduos vegetais na superfície que pode promover, antes da humificação da matéria orgânica a elevação do pH, em razão da complexação de H e Al com compostos do resíduo vegetal, deixando Ca^{+2}, Mg^{+2} e K^{+} mais livres em solução, o que pode ocasionar aumento da CTC (PAVINATO e ROSOLEM, 2008).

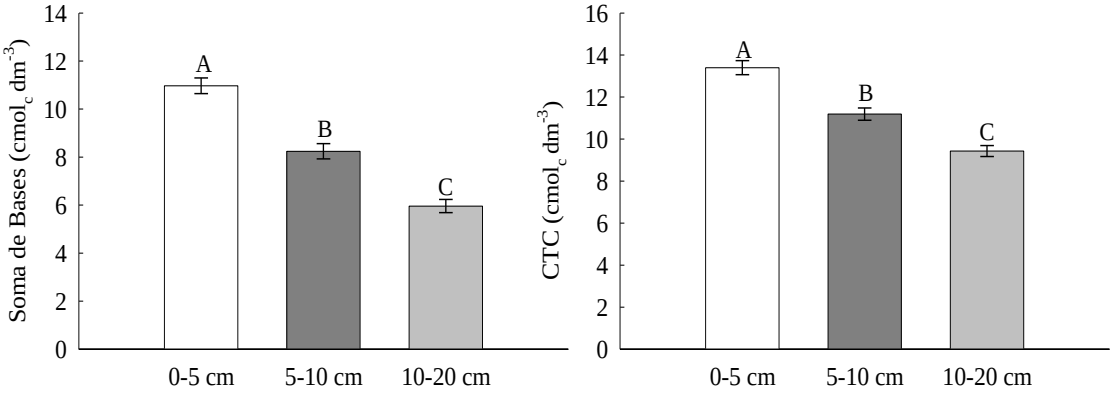

Figura 4. Valores de Soma de bases (SB) e Capacidade de troca de cátions (CTC) em $cmol_c dm^{-3}$ em função da camada de solo avaliada. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si para o teste Scott-knott até 5% de probabilidade.

A matéria orgânica do solo apresenta baixo pH no ponto de carga zero (PCZ) (SPOSITO, 1989) o que contribui para a aumento da CTC e consequentemente maior adsorção de cátions (maior SB). Além disso, em Latossolos a CTC é essencialmente dependente de cargas variáveis estando assim relacionada com a quantidade de matéria orgânica do solo. Como o acúmulo de matéria orgânica em SPD apresentam a tendência de ser maior nas camadas superficiais, consequente, a CTC também se apresenta maior nesta camada.

Resultados semelhantes aos obtidos por este trabalho foram constados por Arantes et al. (2012) os quais verificaram que o aporte de resíduos vegetais para a cobertura do solo no sistema plantio direto promove, na camada superficial do solo, aumentos dos valores de SB e CTC. Estes autores atribuíam estes aumentos as quantidades acumuladas na fitomassa das plantas de cobertura do solo e à disponibilização na camada superficial pela decomposição dos resíduos culturais.

Santos et al. (2001) observaram que a CTC do solo relacionou-se com o material orgânico presente no solo, de modo que, a utilização de espécies que apresentam uma cobertura vegetal diferenciada, consequentemente depositam um material orgânico diferenciado no solo, favorecendo a melhoria das características químicas do solo quando comparado à áreas com pouca diversificação de culturas de coberturas e com menor adição de resíduos vegetais.

Na comparação entre os tratamentos para os valores de SB e CTC não houve diferenças significativas ($p>0,05$) entre as culturas de cobertura nos anos

agrícolas avaliados em nenhuma camada de solo avaliada. Já na comparação entre os anos agrícolas constatou-se redução significativa no ano agrícola 2013/2014 dos valores de SB e CTC, com exceção do milho em consórcio com crotalária na camada de 10-20 cm (Tabela 5).

Esta redução está relacionada com a redução dos teores de cálcio e magnésio no ano agrícola de 2013/2014 (Tabela 4), que contribuíram consequentemente, na redução. Além disso, à exportação dos nutrientes ao longo do tempo de cultivo pelas culturas. Campos et al. (2011), avaliando os atributos químicos de um Latossolo Amarelo sob diferentes sistemas de manejo, observaram redução nos teores de Ca^{2+}, Mg^{2+} e em SB, no período posterior à colheita, provavelmente em razão da exportação dos nutrientes pelas culturas. Além disso, a redução dos efeitos da calagem ao longo do tempo de cultivo também contribuiu para tais resultados.

4. CONCLUSÕES

O uso da *Brachiaria ruziziensis*, *B. brizantha* cv. Marandu e do milheto como culturas de cobertura promoveram elevação dos teores de magnésio e potássio.

A utilização do milho em consorciação com crotalária e a vegetação espontânea promoveram maior acidificação no solo.

Houve redução do pH, H+Al, cálcio, magnésio, SB e CTC no ano agrícola de 2013/2014.

A adoção do sistema plantio direto com o uso de diferentes culturas de outono/inverno proporcionou aumento nos teores dos nutrientes na camada superficial do solo e maior acidificação nas camadas mais profundas do solo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDOLLAHI, L.; MUNKHOLM, L.J. Tillage system and cover crop effects on soil quality: I chemical, mechanical and biological properties. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.78, n.1, 262-270, 2014.

ARATANI, R.G.; FREDDI, O.S.; CENTURION, J.F.; ANDRIOLI, I. Qualidade física de um Latossolo Vermelho Acriférrico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n.6, p.677-687, 2009.

ALMEIDA, V.P.; ALVES, M.C.; SILVA, E.D.; OLIVEIRA, S.A. Rotação de culturas e propriedades físicas e químicas em Latossolo Vermelho de Cerrado sob preparo convencional e semeadura direta em adoção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.3, p.1227-1237, 2008.

ANDRIOLE, I.; PRADO, R. de M. Plantas de cobertura em pré-safra e adubação nitrogenada na fertilidade do solo em diferentes camadas, cultivado com milho em sistema de plantio direto e convencional . **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.33, n.3, p.963-978, 2012.

ARANTES, E.M.; CREMON, C.; LUIZ, M.A.C. Alterações dos atributos químicos do solo cultivado no sistema orgânico com plantio direto sob diferentes coberturas vegetais, **Agrarian**, Dourados, v.5, n.15, p.47-54, 2012.

BOHNEN, A.; MEURER, E.J.; BISSANI, C.A. **Solos ácidos e solos afetados por sais**. In: MEURER, E.J., ed. Fundamentos de química do solo. 3.ed. Porto Alegre, Evangraf, 2006. 285p.

BRESSAN, S.B.; NÓBREGA, J.C.A.; NOBREGA, R.S.A.; BARBOSA, R.S.; SOUSA, L.B. Plantas de cobertura e qualidade química de Latossolo Amareo sob plantio direto no Cerrado Maranhense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.4, p.371-378, 2013.

CAMPOS, L.P.; LEITE, L.F.C.; MACIEL, G.A.; IWATA, B. de F.; NOBREGA, J.C.A. Atributos químicos de um Latossolo Amarelo sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.12, p.1681-1689, 2011.

CAVALCANTE, E.G.S.; ALVES, C.A.; PEREIRA, G.T.; SOUZA, Z.M. Variabilidade espacial de MO, P, K e CTC do solo sob diferentes usos e manejos. **Ciência Rural**, Santa Marina, v.37, n.2, p.394-400, 2007.

CLAESSEN, M.E.C. (Org.). **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. revisão atualizada. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997, 212p.

CORREIA, N.M.; DURIGAN, J.C. Culturas de cobertura e sua influência na fertilidade do solo sob sistema plantio direto. **Bioscience Journal**, Umuarama, v.24, n.4, p.20-31, 2008.

COSTA, M.J.; ROSA JUNIOR, E.J.; JARDIM ROSA, Y.B.C.; SOUZA, L.C.F.; JARIM ROSA, C.B. Atributos químicos e físicos de um Latossolo sendo influenciados pelo manejo do solo e efeito da gessagem. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.29, n.5, p.01-708, 2007.

COSTA, K.A. de P.; FAGUIN, V.; OLIVEIRA, I.P.; RODRIGUES, C.; SEVERIANO, E. da C. Doses e fontes de nitrogênio em pastagem de capim-marandu, alterações nas características químicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.4, p.1591-1599, 2008.

CRUSCIOL, C.A.C.; COTTICA, R.L.; LIMA, E.V.; ANDREOTTI, M.; MORO, E.; MARCON, E. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.2, p.161-168, 2005.

CUNHA, E de Q.; STONE, L.F.; DIDONET, A.D.; FERREIRA, E.P. de B.; MOREIRA, J.A.A.; LEANDRO, W.M. Atributos químicos de solo sob produção orgânica influenciados pelo preparo e por plantas de cobertura**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.10, p.1021-1029, 2011.

DALCHIAVON, F.C.; CARVALHO, M. de P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob Sistema Plantio Direto. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.43, n.3, p. 453-461, 2012.

DUDA, G.P.; GUERRA, J.G.M.; MONTEIRO, M.T.; DE-POLLI, H.; TEIXEIRA, M.G. Perennial herbaceous legumes as live soil mulches and their effects on C, N and P of the microbial biomass. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.60, p.139-147, 2003.

FERREIRA D.F **Sisvar: versão 5.3. DEX/UFLA**, Lavras, 2010.

FLORES, J.P.C.; CASSOL, L.C.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C. de F. Atributos químicos do solo em função da aplicação superficial de calcário em sistema integração lavoura-pecuária submetidos a pressões de pastejo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.12, p.2385-2396, 2008.

GARCIA, C.M.P.; ANDREOTTI, M.; FILHO, M.C.M.T.; LOPES, K.S.M.; BUZETTI, S. Decomposição da palhada de forrageiras em função da adubação nitrogenada após o consórcio com milho e produtividade da soja em sucessão. **Bragantia**, Campinas, v.73, n.2, p.143-152, 2014.

GARCIA, R.A.; CRUSCIOL, C.A.C.; CALONEGO, J.C.; ROSOLEM, C.A. Potassium cycling in a corn-brachiaria cropping system. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v.28, n.4, p.579-585, 2008.

KÖPPEN, W. **Climatologia**: con un estudio de los climas de la tierra. México: Fondo de Cultura Económica, 1948. 478p.

LEITE. L.F.C.; GALVÃO, S.R.S.; NETO, M.R.H.; ARAÚJO, F.S.; IWATA, B.F. Atributos químicos e estoques de carbono em Latossolo sob plantio direto no cerrado do Piauí. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.12, p.1273-1280, 2010.
LOPES, A.S. **Manual internacional de fertilidade do solo**. Piracicaba, POTAFOS, 1995. 177p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição de plantas**. São Paulo, Ceres, 2006. 638p.

MATIAS, M. da C.B.; SALVIANO, A.A.C.; LEITE, L.F.C.; GALVÃO, S.R. da S. Propriedades químicas em Latossolo Amarelo de Cerrado do Piauí sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.40, n.3, p.356-362, 2009.

MORETI, D.; ALVES, M.C.; FILHO, W.V.V.; CARVALHO, M. de P. Atributos químicos de um latossolo vermelho sob diferentes sistemas de preparo, adubações e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.1, p.167-175, 2007.

NUNES, U.R; ANDRADE JÚNIOR, V.C.; SILVA, E. de B.; SANTOS, N.F.; COSTA, H.A.O.; FERREIRA, C.A. Produção de palhada de plantas de cobertura e rendimento do feijão em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.6, p.943-948, 2006.

OLIVEIRA, F.H.T.; NOVAIS, R.F; ALVAREZ, V.V.H.; CANTARUTTI, R.B.; BARROS, N.F. **Fertilidade do solo no sistema plantio direto**. In: Sociedade Brasileira De Ciência Do Solo, II- Tópicos em ciência do solo, Viçosa, 2002. p.393-486.

OSTERROHT, M.V. O que é uma adubação verde: Princípios e ações. **Agroecologia Hoje**, Botucatu, v.2, n.14, p.9-11, 2002.

PAULETTI, V.; MOTTA, A.C.V.; SERRAT, N.F.; dos ANJOS, A. Atributos químicos de um Latossolo bruno sob sistema plantio direto em função da estratégia de adubação e do método de amostragem de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n.3, p.581-590, 2009.

PAVINATO, P.S.; ROSOLEM, C.A. Disponibilidade de nutrientes no solo: decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.3, p.911-920, 2008.

RAIJ, B.V. **Melhorando o ambiente radicular em subsuperfície**. In: PROCHNOW, L.I.; SILVA, V.C.; STIPP, R. Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: contexto mundial e técnicas de suporte, 2010. p.351-382.

RIBEIRO, A.C.; GUIMARAES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359p.

ROSOLEM, C.A.; CALONEGO, J.C.; FOLONI, J.S.S. Lixiviação de potássio da palhada de espécies de cobertura de solo de acordo com a quantidade de chuva aplicada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.2, p.355-362, 2003.

SANTOS, H.G., JACOMINE, P.K.T., ANJOS, L.H.C., OLIVEIRA, V.A., LUBRERAS, J.F., COELHO, M.R., ALMEIDA, J.A., CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J.B. (ed.). 2013. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. edição revisada e ampliada. Brasília: Embrapa, 353 p.

SANTOS, G.G.; SILVEIRA, P.M.; MARCHÃO, R.L.; PETTER, F.A.; BECQUER, T. Atributos químicos e estabilidade de agregados sob diferentes culturas de cobertura em Latossolo do cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.11, p.1171–1178, 2012.

SANTOS, A.C.; SILVA, I.F.; LIMA, J.R.S.; ANDRADE, A.P.; CAVALCANTE, V.R. Gramíneas e leguminosas na recuperação de áreas degradadas: efeito nas características químicas de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.4, p.1063-1071, 2001.

SCHLINDWEIN, J.A.; GIANELLO, C. Necessidade de novos estudos de calibração e recomendação de fertilizantes para as culturas cultivadas sob sistema plantio direto. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v.79, n.1, p.12-15, 2004.

SILVA, A.B.S.; LIRA JUNIOR, M.A.; DUBEUX JUNIOR, J.C.B.; FIGUEIREDO, M.V.B.; VICENTIN, R.P. Estoque de serapilheira e fertilidade do solo em pastagem degradada de *Brachiaria decumbens* após implantação de leguminosas arbustivas e arbóreas forrageiras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.37, n.2, p.502-511, 2013.

SILVEIRA, P.M.; CUNHA, P.C.R.; STONE, L.F.; dos SANTOS, G.G. Atributos químicos de solo cultivado com diferentes culturas de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.10, n.3, p-283-290, 2010.

SOUSA, D.M.G.; MIRANDA, L.N.; OLIVEIRA, S.A. **Acidez do solo e sua correção**. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ VENEGAS, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L.N. (Ed.). Fertilidade do solo. Viçosa, MG: SBCS, 2007. p. 205-274.

SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. New York, Oxford University Press, 1989. 345p.

STEINER, F.; COSTA, M.S.S. de M.; COSTA, L.A. de M.; PIVETTA, L.A.; CASTOLDI, G. Atributos químicos do solo em diferentes sistemas de culturas e fontes de adubação. **Global Science and technology**, Rio Verde, v.4, n.1, p.16-22, 2011.

TEIXEIRA, C.M.; CARVALHO, G.J.; ANDRADE, M.J.B.; SILVA, C.A.; PEREIRA, J.M. Decomposição e liberação de nutrientes das palhadas de milheto e milheto+crotalária no plantio direto do feijoeiro. **Acta Scientiarum Agronomy**, Londrina, v.31, n.4, p.647-653, 2009.

TORRES, J.L.R.; PEREIRA, M.G.; FABIAN, A.J. Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.3, p.421-428, 2008.

ZAMBROSI, F.C.B.; ALLEONI, L.R.F.; CAIRES, E.F. Liming and ionic speciation of an Oxisol under no-till system. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.65, n.2, p.190-203, 2008.

CAPÍTULO 3 - COMPARTIMENTOS DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM FUNÇÃO DE CULTURAS DE COBERTURA SOB PLANTIO DIRETO NO CERRADO

RESUMO

A quantificação dos compartimentos da matéria orgânica do solo (MOS) é fundamental para determinar a qualidade do solo e o seu potencial mitigador de CO_2 atmosférico. Diante do exposto, a realização desta pesquisa teve como objetivo quantificar os compartimentos da MOS em função de culturas de coberturana região do Cerrado Sul-Mato-Grossense. O estudo foi realizado no município de Maracaju-MS, em solo classificado como Latossolo Vermelho Distroférrico. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com oito tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos adotados foram diferentes culturas de cobertura de solo (milho de segunda safra, milho de segunda safra consorciado com *Brachiaria ruziziensis*, *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, *Crotalaria spectabilis*, cultivo isolado de *Brachiaria ruziziensis* e *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, milheto e vegetação espontânea). As amostras de solo foram coletadas após a dessecação das coberturas vegetais nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Após as coletas foram determinados os estoques de carbono orgânico total e lábil, estoques de nitrogênio total e lábil, índice de manejo de carbono e realizado o fracionamento granulométrico da MOS. Na camada de 0-5 cm, a adoção do milho em consórcio com as *Brachiarias* e com crotalária proporcionaram efeitos benéficos sobre os estoques de carbono orgânico total (COT). Ao se realizar o fracionamento granulométrico da MOS, verificou-se que 94% dos estoques de carbono nos dois anos agrícolas avaliados estavam associados aos minerais em todos os tratamentos e camadas avaliadas. Com relação ao índice de manejo de carbono, o uso do milho, milho consorciado com *B. ruziziensis* e *B. brizantha* cv. Marandu possibilitaram incremento de 110,1; 144,2 e 130,2%, respectivamente, em comparação à área de vegetação espontânea. Os estoques de nitrogênio total do solo não diferiram entre si em função das plantas de cobertura avaliadas após quatro anos de adoção do SPD. O milho consorciado com *Brachiaria ruziziensis* e *B. brizantha* cv. Marandu promoveram incrementos nos estoques de carbono orgânico total e carbono orgânico associado aos minerais e no índice de manejo de carbono na camada subsuperficial do solo. O uso do milho em consorciação com crotalária, *Brachiaria ruziziensis* e *B. brizantha* cv. Marandu contribuíram para o aumento dos estoques de nitrogênio lábil. O carbono orgânico particulado e carbono lábil foram mais sensíveis em detectar as alterações nos estoques de carbono entre os anos agrícolas avaliados. As coberturas vegetais em sistema plantio direto ao longo do tempo de adoção do sistema proporcionaram manutenção e/ou aumento nos estoques de carbono orgânico total e carbono orgânico associado aos minerais.

Palavras-chave: Estoque de carbono orgânico, frações lábeis e fracionamento granulométrico.

QUANTIFICATION OF ORGANIC MATTER OF SOIL IN CROP FUNCTION UNDER NO-TILL SYSTEM IN BRAZILIAN SAVANNA.

ABSTRACT

The quantification of soil organic matter (SOM) storage is essential to determine the soil quality and its potential to CO_2 mitigation. Therefore, the aim of this research was to quantify the SOM storage in function of cover crops in Brazilian savannah. The study was carried out in the municipality of Maracaju, in soil classified as Oxisol. The experimental design was in randomized blocks with eight treatments and four replications. The treatments adopted were formed by different cover crops (winter corn crop; intercropping winter corn with *Brachiaria ruziziensis*; intercropping winter corn with *Brachiaria brizantha* cv. Marandu; intercropping winter corn with *Crotalária spectabilis*; *B. ruziziensis*; *B. brizantha* cv. Marandu; *Penisetum glaucum* L. and reference area). The soil samples were collected in two cropping season (2012/2013 and 2013/2014) in 0-5 cm, 5-10 cm and 10-20 cm depth, after desiccation of cover crops. For quantification of SOM storage, it were determined the total organic carbon stocks, labile organic carbon, total nitrogen stocks, labile nitrogen stocks, light organic matter in water, carbon management index and also performed the particle size fractionation of SOM. In 0-5 cm depth, the adoption of intercropping winter corn crop with *Brachiaria* sp and *Crotalaria spectabilis* promoted benefits on total organic carbon (TOC) stocks. It was observed that 94% of the organic carbon stocks were linked with soil minerals in both cropping seasons and all depths assessed. In relation to the carbon management index (CMI), the winter corn crop single and in intercropping with *B. ruziziensis* and *B. brizantha* cv. Marandu promoted increase of 110.1%, 144.2% and 130.2%, respectively, in comparison to reference area. The total nitrogen stocks in the soil did not differ among the treatments, in four years of no-tillage system. The intercropping winter corn crop with *B. ruziziensis* and *B. brizantha* cv. Marandu promoted increase in TOC and organic carbon linked to soil minerals and in the CMI in deep layer. The intercropping winter corn crop with *Crotalaria spectabilis*, *B. ruziziensis* and *B. brizantha* cv. Marandu contributed with the increase of labile nitrogen stocks. The organic carbon and labile carbon stocks were more sensitive in detect the alterations in carbon stocks between cropping seasons. The cover crops in no-tillage system through the time of adoption promoted maintainace and increase in the TOC stocks and organic carbon linked with soil minerals.

Key-words: Storage of organic carbon, labile fractions and particle size fractionation.

1. INTRODUÇÃO

O aquecimento global é um dos sérios problemas ambientais que a humanidade vem enfrentando. Tal problema ambiental está relacionado diretamente com as atividades antrópicas que intensificam o efeito estufa em função da maior liberação de gases, principalmente do dióxido de carbono (CO_2). Diante disso, nos últimos anos, o ciclo de carbono tem sido tema de diversos estudos, visto que, este elemento desempenha papel-chave nos processos que envolvem mudanças climáticas globais (CARVALHO et al., 2010).

De acordo com o ciclo de carbono, o carbono encontra-se distribuído em quatro reservatórios (terrestre, atmosfera, formações geológicas e oceanos) (LAL, 2005). No ecossistema terrestre, os solos constituem o principal reservatório de carbono (2500 Pg C), representando quatro vezes o compartimento de carbono da vegetação e 3,3 vezes o carbono da atmosfera (MACHADO, 2005).

A capacidade do carbono permanecer no solo está estritamente relacionada com as formas de uso do solo, que podem converter parte do CO_2 atmosférico para forma orgânica (CERRI et al., 2007; SÁ e LAL, 2009; BODDEY et al., 2010). De modo geral, a adoção de práticas agrícolas conservacionistas pode contribuir para manutenção ou até mesmo incrementos nos estoques de carbono orgânico do solo (COT), aumentando assim a sua capacidade de dreno de CO_2 atmosférico (BAYER et al., 2000; AMADO et al., 2001; BAYER et al., 2006).

Na busca por estimular a adoção destas práticas mais sustentáveis, o governo brasileiro criou o programa ABC (Agricultura de Baixo Carbono) em 2010, que disponibilizam incentivos e recursos para o agricultor que adotar técnicas agrícolas sustentáveis, com o objetivo de reduzir a emissão de gases do efeito estufa (GEEs) (BRASIL, 2010).

Dentre as práticas agrícolas que podem ser adotadas para mitigar as emissões de GEEs abrangidas no Programa de Agricultura de Baixo Carbono está o sistema plantio direto (SPD). No sistema plantio direto, o não-revolvimento do solo, intensificam a estabilização do carbono no solo, em função dos menores valores da taxa de decomposição da matéria orgânica do solo, por sua vez, os sistemas de cultura promovem variação no aporte de carbono fotossintetizado no solo (BAYER, 2011).

De acordo com Leite et al. (2010) o SPD tem atuado como dreno de CO_2 representando importante contribuição na agricultura conservacionista para atenuar a concentração de CO_2 na atmosfera e nas alterações climáticas globais. E o potencial para sequestar carbono no solo deste sistema, pode ser intensificado quando combinado a sistemas de cultura adequados (BAYER et al., 2006).

Com relação ao tipo de cultura de cobertura, Lal (2004a) constatou que a associação de sistemas de sucessão/rotação de culturas com grande aporte de resíduos em SPD favorece o acúmulo de grande quantidade de carbono orgânico, resultando em menores taxas de perdas e maiores taxas de adição de matéria orgânica ao sistema solo.

No solo, o acúmulo de carbono nas frações lábeis e estáveis da MOS é influenciado pela composição química (relação C/N dos resíduos vegetais), pela capacidade de aportar resíduos ao solo, por aspectos climáticos e, pelo manejo adotado (SILVA e MENDONÇA, 2007; ZHONGKUI, WANG e SUN, 2010). Para avaliar, o potencial mitigador de CO_2 no SPD e das plantas de cobertura escolhidas para integrar o sistema têm sido realizada a determinação dos diferentes compartimentos da MOS.

Dentre os compartimentos que podem ser utilizados para o monitoramento das alterações causadas, podemos citar a determinação dos estoques de carbono orgânico total (JERKE, SOUSA e GOEDERT, 2012; WINCK et al., 2014) e lábil (YANG et al., 2012; LEITE et al., 2013), fracionamento granulométrico da matéria orgânica do solo (FIGUEIREDO, RESCK e CARNEIRO, 2010; GUIMARÃES et al., 2012), índice de manejo de carbono (SCHIAVO et al., 2011; SILVA et al., 2011; BATISTA et al., 2013) e os estoques de nitrogênio total e lábil (SILVA et al., 2011; ENSINAS et al., 2014).

A determinação do estoque de carbono orgânico e nitrogênio total, por serem atributos de fácil e rápida medição, e pelo fato de correlacionar-se a outros atributos do solo são considerados um dos principais indicadores de qualidade do solo, permitindo avaliar a sustentabilidade do sistema de produção agrícola (LORENZ et al., 2007; JERKE, SOUSA e GOEDERT, 2012), no entanto, pequenas alterações nos estoques de carbono e nitrogênio totais são detectáveis em curto prazo (SILVA et al., 2011).

O carbono e o nitrogênio lábil englobam todos os compostos que podem ser prontamente oxidados pelo $KMnO_4$ como resíduos vegetais lábeis e os

polissacarídeos (YANG et al., 2012), sendo um compartimento que pode responder mais rapidamente as alterações ocasionadas pelas práticas de manejo (CONCEIÇÃO, 2010).

Com relação ao fracionamento granulométrico é possível determinar o carbono orgânico associado aos minerais (COM) e o carbono orgânico particulado (COP) (CAMBARDELLA e ELLIOTT, 1992). O COM apresentam um tempo maior de permanência no solo devido à proteção exercida pelos agregados do solo, sendo normalmente menos sensível às alterações de manejo, principalmente em curto prazo (ROSSI et al., 2012a). Já o COP representa uma fração lábil com maior taxa de reciclagem dos constituintes orgânicos, de modo que, normalmente seus estoques podem ser alterados em curto prazo (FELLER e BEARE, 1997; BAYER et al., 2002).

O índice de manejo de carbono (IMC) é uma ferramenta útil para obter informações acerca do efeito do sistema de uso do solo e culturas na quantidade e na qualidade da MOS (BLAIR, LEFROY e LISLE, 1995), pois, integra, numa mesma medida, as variações ocorridas nas diferentes frações da MOS (recalcitrantes e lábeis) (NICOLOSO et al., 2008).

Estudos que têm como finalidade avaliar a capacidade das plantas de cobertura na manutenção ou nos incrementos nos estoques de MOS em consórcio ou sucessão de culturas são necessários. Com base nesse ponto de vista, a realização desta pesquisa teve como objetivo quantificar os diferentes compartimentos da matéria orgânica do solo em função das culturas de cobertura utilizada durante dois anos agrícolas na região do Cerrado Sul-Mato-Grossense.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no período de outubro de 2012 a fevereiro de 2014 no município de Maracaju-MS, cujas coordenadas geográficas são 21°36’52’’S e 55°10’06’’W, com altitude média de 384 m, em solo classificado como Latossolo Vermelho Distroférrico (SANTOS et al., 2013), com textura argilosa (310 g kg^{-1} de areia, 300 g kg^{-1} de silte e 390 g kg^{-1} de argila) na camada de 0-20 cm

O clima da região, segundo classificação de Koppen (1948), é do tipo Aw, os dados de pluviosidade e temperatura durante a realização do experimento estão apresentados na Figura 1.

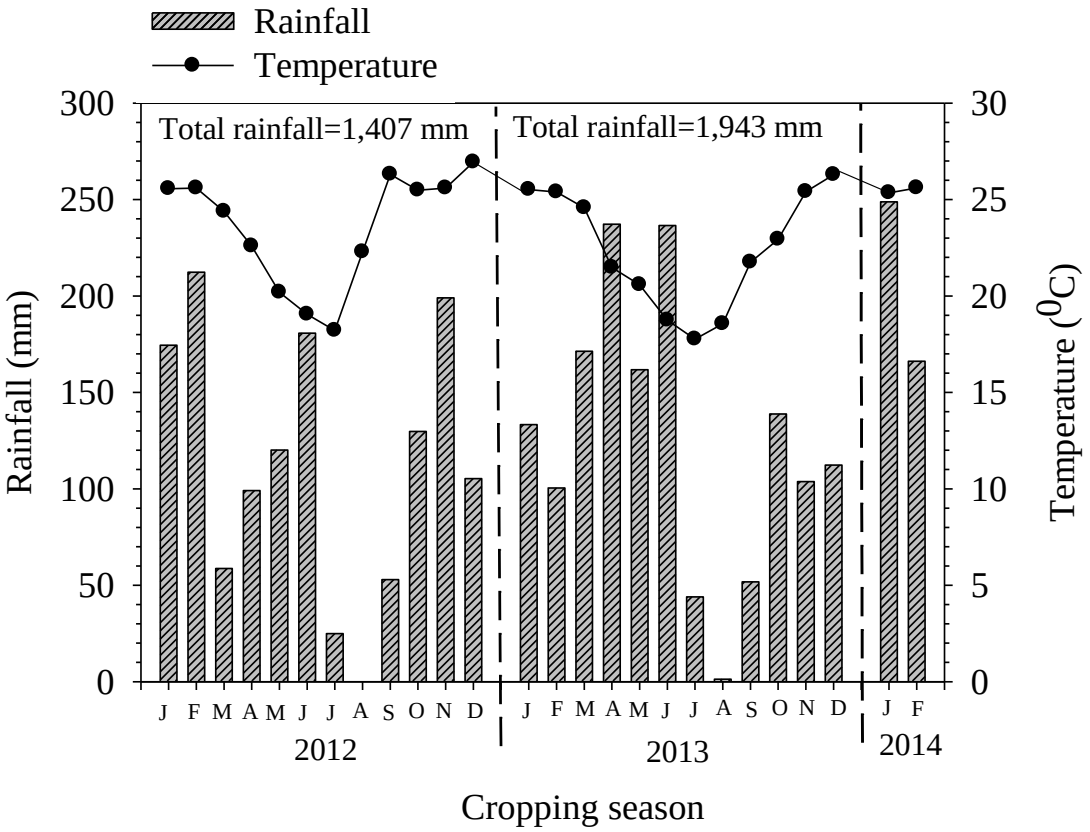

Figura 1. Dados climáticos no período de condução do experimento, em Maracaju, MS.

Durante dez anos, a área experimental foi utilizada para a produção de soja e milho em plantio direto. Antes da instalação do experimento coletaram-se amostras de solo nas camadas de 0-20 e 20-40 cm para determinação dos atributos químicos do solo (Tabela 1).

Tabela 1. Atributos químicos iniciais do solo. Maracaju-MS.

	Profundidade	
	0-20 cm	20-40 cm
pH ($CaCl_2$)	5,10	4,66
MOS (g dm^{-3})	28,0	19,0
P (mg dm^{-3})	16,30	1,08
K^+ ($cmol_c$ dm^{-3})	0,41	0,10
Ca^{2+} ($cmol_c$ dm^{-3})	4,15	1,90
Mg^{2+} ($cmol_c$ dm^{-3})	1,30	0,75
H+Al ($cmol_c$ dm^{-3})	4,98	4,83
Al^{3+} ($cmol_c$ dm^{-3})	0	0,34
SB ($cmol_c$ dm^{-3})	5,86	2,75
CTC ($cmol_c$ dm^{-3})	10,84	7,58
V (%)	54,06	36,28

V (%)= Saturação por bases; SB= Soma de bases; CTC potencial a pH 7,0 = Capacidade de troca de cátions; MOS=Matéria orgânica do solo.

No ano de 2010, trinta dias antes da semeadura da soja, aplicou-se 2,4 Mg ha^{-1} de calcário dolomítico (PRNT= 64%), cuja composição apresentou 24% de óxido de cálcio (CaO) e 16% de óxido de magnésio (MgO), e 600 kg ha^{-1} de gesso agrícola. A calagem e a gessagem foram realizadas ao mesmo tempo e a lanço sem incorporação. No final de outubro de 2010 foi realizada a semeadura da soja e após a colheita da soja em 2011 foram semeadas as culturas de outono/inverno.

O experimento foi conduzido nos anos agrícolas de 2011/2012, 2012/2013 e 2013/2014 em delineamento experimental de blocos casualizados com oito tratamentos e quatro repetições, totalizando 32 parcelas com área de 30 m^2 (12 m de comprimento e 2,5 m de largura). Os tratamentos adotados foram diferentes culturas de cobertura de solo, antecedendo a semeadura da soja no verão, em sistema plantio direto (Tabela 2). As avaliações foram realizadas nos anos agrícolas de 2012/2013 e 2013/2014.

Tabela 2. Descrição dos tratamentos contendo as culturas de cobertura. Maracaju-MS.

Trat.	**Cultura de Outono/Inverno**	**Cultura de verão**
1	Milho de segunda safra	Soja
2	Milho de segunda safra consorciado com *B. ruziziensis*	Soja
3	Milho de segunda safra consorciado com *B. brizantha* cv. Marandu	Soja
4	Milho de segunda safra consorciado com *Crotalaria spectabilis*	Soja
5	*Brachiaria ruziziensis*	Soja
6	*Brachiaria brizantha* cv. Marandu	Soja
7	Milheto	Soja
8	Vegetação espontânea	Soja

A vegetação espontânea era constituída basicamente de picão-preto (*Bidens pilosa*), capim pé-de-galinha (*Eleusine indica*), leiteiro (*Euphorbia heterophylla*), espécies do gênero *Brachiaria* spp. e corda de viola (*Ipomoea grandifolia*).

A semeadura do milho nos anos agrícolas estudados foi realizada mecanicamente em plantio direto após a soja, utilizando-se a cultivar DKB 390 VTPRO (3 sementes/metro), no espaçamento de 50 cm. No momento da semeadura do milho realizou-se a adubação com 265 kg ha^{-1} da fórmula 12-15-15 (N-P_2O_5-K_2O), as sementes foram tratadas com 1750 mL de Imidacloprid + Tiodicarbe para cada 100 kg de sementes.

O consórcio do milho com as *Brachiaria*s foi realizado simultaneamente com a utilização de uma terceira caixa acoplada à semeadora do milho. A *Brachiaria* foi semeada utilizando-se o espaçamento de 21 cm entrelinha. O valor cultural (VC) da *B. ruziziensis* e da *B. brizantha* cv. Marandu utilizados foram de 50% (80% de germinação e 62,5% de pureza). Para formação do consórcio milho com *B. ruziziensis* e *B. brizantha* cv. Marandu foram utilizados 5 e 7 kg ha^{-1} de sementes puras viáveis, respectivamente. O cultivo isolado das forrageiras foi realizado a lanço utilizando-se 7 e 8 kg ha^{-1} de sementes puras viáveis da *B. ruziziensis* e da *B. brizantha* cv. Marandu, respectivamente.

A semeadura do milheto foi realizada no espaçamento de 50 cm utilizando-se uma terceira caixa acoplada à semeadora do milho. A cultivar de milheto utilizada foi a BRS 1501 (10 a 12 kg ha^{-1} de sementes). O consórcio do milho com *Crotalaria spectabilis* foi realizando utilizando-se 6 kg ha^{-1} de sementes, no espaçamento de 45 cm, sendo a crotalária semeada manualmente 15 dias após a semeadura do milho.

A semeadura da soja nos anos agrícolas estudados foi realizada mecanicamente no final de outubro de 2012 e 2013. Nesta ocasião, realizou-se adubação com 380 kg ha^{-1} da fórmula 02-20-20 (N-P_2O_5-K_2O) no sulco de plantio. A cultivar de soja semeada nos anos agrícolas de 2012/2013 e 2013/2014 foi a BMX Potência RR (99% de pureza e 80% de germinação), sendo semeadas 14 sementes/metro no espaçamento de 45 cm.

As sementes de soja foram tratadas utilizando (g i.a./80 kg de sementes) com Carboxin + Thiran (48 g L^{-1}), Fipronil (40 g L^{-1}), cobalto (2,32 g L^{-1}) e

molibdênio (40,6 g L^{-1}). As sementes de soja foram inoculadas antes da semeadura com inoculante à base de turfa, contendo as bactérias *Bradyrhizobium elkani* (Estirpe Semia 5019) e *Bradyrhizobium japonicum* (Estirpe Semia 5079), com concentração mínima de $5x10^9$ células viáveis por grama de inoculante, na dosagem de 100 mL de inoculante em 80 kg de semente de soja.

O manejo das plantas daninhas na cultura da soja e no milho solteiro e os tratos fitossanitários na cultura da soja e do milho quando necessários foram realizados de acordo com as recomendações técnicas para as culturas.

A dessecação das plantas de cobertura foi realizada vinte dias antes da semeadura da soja, aplicando-se 1440 g/L ha^{-1} de ingrediente ativo de glifosato-sal de isopropilamina + 1209 g/L ha^{-1} de ingrediente ativo de 2,4-D-dimetilamina.

As amostras de solo foram coletadas nos anos agrícolas de 2012/2013 e 2013/2014, após a dessecação das culturas de cobertura, nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, por meio da abertura de trincheiras (30 cm x40 cm x 40 cm) perpendiculares à linha de semeadura. Foram abertas dez trincheiras em cada unidade experimental, e coletadas dez subamostras em cada camada para compor uma amostra composta. Coletou-se também amostras indeformadas de solo com auxílio de anel volumétrico metálico nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 cm em cada unidade experimental, para a determinação da densidade do solo (CLAESSEN, 1997).

Para a determinação do carbono orgânico total (COT), as amostras foram trituradas em almofariz e passadas em peneira com malha de 0,210 mm. O carbono orgânico total foi determinado segundo o método de oxidação via úmida, onde 0,2 a 0,5 g de solo foram colocadas em tubos de destilação, sendo posteriormente adicionado pela parede do tubo 5 mL $K_2Cr_2O_7$ 0,167 mol L^{-1} mais 7,5 de H_2SO_4 P.A. Os tubos foram colocados em bloco de digestão à temperatura de 170°C por 30 minutos. Em cada bateria de 40 amostras foram utilizadas quatro provas em branco controle aquecidas e quatro provas em branco controle sem aquecimento. Após o período de digestão, o conteúdo dos tubos foi transferido para um recipiente de 100 mL, onde foi adicionado 50 mL de água destilada. Para a titulação das amostras foi utilizado sulfato ferroso amoniacal [$Fe(NH_4)_2(SO_4)_2.6H_2O$] a 0,4 mol L^{-1}, na presença de três gotas do indicador ferroína (Orto-fenantrolina), até o aparecimento da cor vermelha (YEOMANS e BREMMER, 1988).

O cálculo do teor de COT foi determinado utilizando as seguintes fórmulas:

$$A = \left[(BQ - VT)\left(\frac{BF - BQ}{BF}\right)\right] + (BQ - VT)$$

$$COT = (A)(\text{molaridade do sulfato ferroso})(3)(100)(\text{peso da amostra em mg})$$

Sendo: BQ o volume gasto na titulação do branco controle com aquecimento; BF o volume gasto na titulação do branco controle sem aquecimento; VT o volume gasto na titulação da amostra.

Para o fracionamento granulométrico da matéria orgânica do solo foi utilizada a metodologia de Cambardella e Elliott (1992) obtendo-se o carbono orgânico particulado (COP) e carbono orgânico associado aos minerais (COM). Para isso foi utilizado 20 g de terra fina seca ao ar (TFSA) e 60 mL de solução de hexametafosfato de sódio (5 g L^{-1}), os quais foram agitados em agitador horizontal por um período de 15 horas. Posteriormente, a suspensão foi passada por peneira de 0,053 mm. O material retido na peneira (COP) foi seco em estufa a 50°C, moído em gral de porcelana e analisado em relação ao teor de carbono por oxidação via úmida segundo Yeomans e Bremmer (1988). O COM foi obtido a partir da diferença entre o COT e o COP.

Para determinação do teor de carbono oxidado por $KMnO_4$, doravante denominado carbono lábil (CL), 1 g de solo triturado foi passado em peneira de 0,210 mm, sendo, posteriormente, acondicionados em tubo de centrífuga de 50 mL, juntamente com 25 mL de solução de $KMnO_4$ (0,033 mol L^{-1}) (SHANG e TIESSEN, 1997). Esta suspensão foi agitada em agitador horizontal a 130 rpm por 1 h, e centrifugada a 960 *g* por 5 minutos. Após a centrifugação foi pipetado 100 µL do sobrenadante em tubos de ensaio e o volume foi completado com 10 mL de água destilada. As dosagens do CL foram realizadas em espectrofotômetro em comprimento de onda de 565 nm, sendo o CL estimado a partir da equação da curva padrão. A curva padrão foi obtida utilizando-se as concentrações de 0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 e 1 mL da solução de $KMnO_4$ (0,033 mol L^{-1}) que foram acondicionadas em balão volumétrico de 100 mL, completando-se o volume restante com água destilada.

Para a determinação do nitrogênio lábil foi pipetado 10 mL do sobrenadante da solução que foi agitada em agitador horizontal a 130 rpm por 1 h, e

centrifugada a 960 *g* em tubo de Kjedahl. Não foi realizada a etapa de digestão, sendo levada para destilação, adicionando 25 mL de NaOH (10 mol L^{-1}), e, posteriormente, titulada com HCl 0,002 mol L^{-1}.

Para a determinação do nitrogênio total foi utilizado o método de Kjedahl descrito por Tedesco, Wolkweiss e Bohnen (1985), onde 0,3 g de solo foram transferidas para tubos de destilação juntamente com 5 mL de H_2SO_4 P.A. e mistura digestora (K_2SO_4, $CuSO_4$ e selênio) na proporção 100:10:1. A digestão das amostras foi realizada em bloco digestor até atingir a temperatura de 350°C. Em cada bateria de 40 amostras foram utilizadas duas provas de branco controle. Após a digestão, as amostras foram levadas ao destilador e a destilação foi realizada com NaOH (10 mol L^{-1}) e solução indicadora de ácido bórico. A solução indicadora de ácido bórico foi preparada dissolvendo-se 20 g de ácido bórico em aproximadamente 800 mL de água quente, misturada a uma solução de verde de bromocresol e de vermelho de metila. A solução foi transferida para um balão volumétrico de 1000 mL completando o volume restante com água destilada. A titulação foi realizada com solução de HCl 0,1 mol L^{-1}

Os valores totais do nitrogênio total (dag kg^{-1}) no solo foram calculados utilizando a seguinte equação:

$$N = \frac{(\text{Vam} - \text{Vbr})(\text{Hidrogênio})(1{,}4)}{\text{Peso do solo (g)}}$$

Sendo: Vam = volume de HCl gastos na titulação da amostra; Vbr = volume de HCl na titulação do branco; $[H^+]$ = molaridade do ácido clorídrico (mol L^{-1}); 1,4 = peso equivalente do N(14) dividido por 10 (conversão de unidade – g kg^{-1} para dag kg^{-1}).

O índice de manejo de carbono foi calculado após quatro anos de adoção das coberturas vegetais em sistema plantio direto. Para sua determinação foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, em uma área de referência (vegetação nativa), caracterizada como área de reserva, sem interferência antrópica, localizada a 100 metros da área do experimento. Para o cálculo do IMC foram calculados os índices de compartimento de carbono (ICC), calculado como: ICC = COT cultivado/COT referência. Com base nas mudanças da proporção de CL (labilidade = CL/CNL) no solo, calculou-se o índice de labilidade (IL) por IL = L cultivado/L referência.

Estes dois índices foram usados para calcular o índice de manejo de carbono (IMC), obtido pela expressão $\mathrm{IMC} = \mathrm{ICC} \times \mathrm{IL} \times 100$, conforme metodologia descrita por Blair, Lefroy e Lisle (1995).

Os estoques de carbono e nitrogênio em cada uma das camadas amostradas foram estimados a partir da expressão: $\mathrm{Est} = \frac{\mathrm{teor} \times \mathrm{Ds} \times \mathrm{E}}{10}$ (CARDOSO et al., 2010).

Sendo: Est o estoque de carbono ou nitrogênio em Mg ha^{-1}; Teor = o teor de carbono orgânico total ou nitrogênio total em g kg^{-1}; Ds é a densidade do solo no horizonte estudado em kg dm^{-3}; E é a espessura da camada em cm.

Os dados foram submetidos à análise de variância e no caso de significância foi utilizado o teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$) para distinção entre médias, utilizando o aplicativo computacional SISVAR (FERREIRA, 2010). Também foi realizado o teste-*t* para comparação das médias entre os anos agrícolas, com nível de significância de $p \leq 0,05$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As culturas de outono/inverno influenciaram significativamente ($p \leq 0,01$) o estoque de carbono orgânico total (COT) e o estoque de carbono orgânico associado aos minerais (COM) para tratamento no ano agrícola 2012/2013. Na camada de 0-5 cm, a adoção do milho em consórcio com a *B. ruziziensis e B. brizantha* e com crotalária proporcionou efeitos benéficos sobre os estoques de COT e COM em relação às demais coberturas vegetais.

Na camada de 5-10 cm, o uso do milho em consórcio com *Brachiaria* proporcionou os maiores valores de COT e COM. Na camada mais profunda do solo (10-20 cm) o uso do milho solteiro ou em consórcio com as *Brachiarias* foi eficiente nos incrementos dos estoques de COT e COM (Tabela 3).

Tabela 3. Estoques de carbono orgânico total (COT), carbono orgânico associado aos minerais (COM) e carbono orgânico particulado (COP) em Mg ha^{-1}, em diferentes culturas de outono/inverno sob sistema plantio direto no Cerrado, nos anos agrícolas de 2012/2013 e 2013/2014, em três camadas de solo.

Culturas de outono/inverno	**0-5 cm**		**5-10 cm**		**10-20 cm**	
	C1	**C2**	**C1**	**C2**	**C1**	**C2**
			COT			
Milho	20,3Ba	21,8Aa	22,7Ba	26,3Aa	24,5Aa	24,5Aa
Milho+*B. ruziziensis*	27,0Aa	28,3Aa	26,7Aa	29,4Aa	27,8Aa	29,5Aa
Milho+*B. brizantha* cv. Marandu	26,5Aa	29,1Aa	27,9Aa	29,5Aa	27,5Aa	27,8Aa
Milho+*Crotalaria spectabilis*	24,8Aa	26,9Aa	19,5Ba	21,9Aa	19,4Ba	26,4Aa
Brachiaria ruziziensis	20,9Bb	27,9Aa	21,5Ba	28,5Aa	20,5Bb	25,2Aa
B. brizantha cv. Marandu	20,1Bb	28,4Aa	21,5Bb	28,5Aa	19,9Bb	28,1Aa
Milheto	19,8Ba	25,5Aa	20,3Bb	27,9Aa	21,1Ba	25,5Aa
Vegetação espontânea	21,7Bb	25,2Aa	20,6Ba	25,7Aa	21,4Ba	24,1Aa
			COM			
Milho	18,8Ba	20,3Aa	21,4Ba	25,2Aa	23,3Aa	23,6Aa
Milho+*B. ruziziensis*	25,2Aa	26,5Aa	25,4Aa	28,5Aa	26,6Aa	28,4Aa
Milho+*B. brizantha* cv. Marandu	24,8Aa	27,3Aa	26,6Aa	28,4Aa	26,7Aa	27,1Aa
Milho+*Crotalaria spectabilis*	23,3Aa	25,5Aa	18,2Ba	20,9Aa	18,4Ba	25,5Aa
Brachiaria ruziziensis	18,9Bb	26,4Aa	19,7Ba	26,9Aa	19,3Bb	24,2Aa
B. brizantha cv. Marandu	18,2Bb	26,5Aa	19,9Bb	27,3Aa	18,5Bb	26,9Aa
Milheto	17,2Ba	23,5Aa	18,4Bb	26,4Aa	19,8Ba	24,1Aa
Vegetação espontânea	19,2Bb	23,2Aa	18,7Ba	23,9Aa	20,2Ba	22,9Aa
			COP			
Milho	1,50Aa	1,50Aa	1,34Aa	1,08Aa	1,21Aa	1,02Aa
Milho+*B. ruziziensis*	1,84Aa	1,80Aa	1,35Aa	0,94Ab	1,25Aa	1,05Aa
Milho+*B. brizantha* cv.Marandu	1,67Aa	1,79Aa	1,33Aa	1,11Aa	0,75Aa	0,88Aa
Milho+*Crotalaria spectabilis*	1,62Aa	1,36Aa	1,35Aa	1,03Aa	0,95Aa	0,92Aa
Brachiaria ruziziensis	1,94Aa	1,60Aa	1,61Aa	1,61Aa	1,19Aa	1,18Aa
B. brizantha cv. Marandu	1,84Aa	1,86Aa	1,60Aa	1,20Ab	1,38Aa	1,17Aa
Milheto	2,28Aa	2,09Aa	1,89Aa	1,51Aa	1,27Aa	1,42Aa
Vegetação espontânea	2,20Aa	1,97Aa	1,82Aa	1,73Aa	1,22Aa	1,21Aa

Médias seguidas de letras iguais maiúsculas na coluna, não diferem entre si para tratamento, para o teste Scott-Knott até 5% de probabilidade. Médias seguidas de letras iguais minúsculas na linha não diferem entre si para ano agrícola, para o teste-*t* até 5% de probabilidade. Legenda: C1=Coleta realizada no ano agrícola 2012/2013 e C2=Coleta realizada no ano agrícola 2013/2014.

Os maiores estoques de COT com o uso de gramíneas isoladas ou consorciadas são decorrentes do maior aporte de resíduos vegetais destas espécies. De maneira geral, em sistemas em que há associação de culturas com grande aporte de resíduos em plantio direto ocorre o acúmulo de grande quantidade de carbono orgânico, resultando em menores taxas de perdas e maiores taxas de adição de matéria orgânica ao sistema solo (LAL et al., 2004b).

O sistema radicular das gramíneas também favorece este aporte tanto em superfície como em maiores profundidades. Silva et al. (2011) estudando áreas com integração lavoura-pecuária no Cerrado após quatro e oito anos de implantação observaram elevados estoques de COT neste sistema. Estes autores atribuem estes resultados ao maior aporte de resíduos em superfície e pelo revolvimento somente na linha de plantio.

Souza et al. (2009) também observaram aumento no estoque de carbono orgânico total em sistemas de integração gramíneas com soja em plantio direto. Rossi et al. (2012), estudando frações lábeis da matéria orgânica em sistema de cultivo com cobertura de *Brachiaria* e sorgo, observaram que a introdução de *Brachiaria* no cultivo da soja em sistema plantio direto proporcionou acúmulo de carbono orgânico no solo quando comparadas com a área de referência.

O benefício do milho consorciado com crotalária em elevar os estoques de carbono pode estar relacionado à diversidade de espécies em rotação de culturas, o que aumenta de forma significativa a retenção de carbono no solo. Além disso, a crotalária disponibiliza nitrogênio à cultura do milho no consórcio, o que ocasiona aumento da biomassa que retorna ao solo como aporte de carbono no SPD (PEDRA et al., 2012).

Na coleta realizada no ano agrícola de 2013/2014 não houve diferenças significativas ($p>0,05$) entre os tratamentos para o estoque de COT. Nesta safra os estoques de COT variaram de 21,8 a 29,5 Mg ha^{-1}. Os resultados dos estoques de COT verificados neste estudo são considerados altos se comparados com outros trabalhos da literatura para o SPD (VEZZANI e MIELNICZUK, 2011; HICKMANN e COSTA, 2012; MATHIAS et al., 2012). No entanto, o acúmulo do estoque de COT no solo é bastante variável em função das condições climáticas (CARVALHO et al., 2010), tipo de solo (BAYER e MIELNICZUK, 1999), manejo aplicado e tempo de implantação do SPD (CARVALHO et al., 2009).

Para os estoques de carbono associado aos minerais (COM) também não foram observadas diferenças estatísticas ($p>0,05$) entre os tratamentos para o ano agrícola 2013/2014 (Tabela 3).

Há ausência do efeito das plantas de cobertura sobre os estoques de COT também foram verificados por Steiner et al. (2012) e Calegari et al. (2006). Esses resultados indicam que o revolvimento do solo apenas na linha de plantio e adição de resíduos pelas plantas de coberturas no SPD não foram suficientes para que as diferenças estatísticas entre os tratamentos se acentuassem em curto prazo de avaliação, período de tempo que ainda é considerado um período de adaptação e estabelecimento das plantas de cobertura (PILLON et al., 2007).

O fator climático também pode ter contribuído para o pouco efeito das plantas de cobertura em promover acúmulo nos estoques de COT e COM, visto que, em regiões tropicais como no caso da região em estudo ocorre rápida mineralização dos resíduos vegetais adicionados ao solo.

Com relação ao COM, estudos também indicam que a ausência dos efeitos das coberturas vegetais sobre os seus estoques, deve-se à natureza dessa fração de carbono orgânico, que, por constituir-se de interações com as argilas do solo, é a mais estável, proporcionando respostas de maneira mais lenta aos efeitos dos sistemas de manejo e culturas empregadas no sistema, especialmente, em solos com maiores teores de argila (DIEKOW et al., 2005; FIGUEIREDO, RESCK e CARNEIRO, 2010).

Ao se realizar o fracionamento granulométrico da matéria orgânica do solo, verificou-se que 94% dos estoques de carbono nos dois anos agrícolas avaliados estavam associados aos minerais em todos os tratamentos e camadas avaliadas (Tabela 3). Resultados semelhantes foram constatados por Guimarães et al. (2012) que observaram que 69% do carbono orgânico total era representado pelo COM. Wink et al. (2014) verificaram que as maiores proporções do estoque total ocorreram na MO associada aos minerais, com valores entre 64 e 69%. Batista et al. (2013) constataram que a participação de COM representou 86, 87 e 90% do COT para as camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm, respectivamente.

A maior permanência do carbono nas frações mais recalcitrantes (COM) pode ser explicada pela interação dos complexos organo-minerais que se formam em Latossolos, ocorrendo assim fortes associações da matéria orgânica humificada com argilas cauliníticas e oxídicas, características desses solos. Além disso, o maior teor

de argila neste tipo de solo aumenta o número de microporos e com isso os potenciais de estabilização da matéria orgânica contra ataques biológicos (HARTMAN et al., 2014).

De acordo com Figueiredo, Resck e Carneiro (2010), também há uma correlação negativa entre COP e COM, indicando que os processos de formação dessas frações são opostos, ou seja, para que se tenha maiores teores de COM no solo é necessário que ocorra maior decomposição (diminuição) dos teores de COP para posterior associação com os minerais do solo nos tamanhos de silte e argila. Este padrão foi observado neste experimento, pois, independente da cobertura vegetal utilizada houve maiores estoques de COM e menores de COP.

Para os anos agrícolas de 2012/2013 e 2013/2014, o COP representou aproximadamente 6% do COT. Resultado semelhante foi observado por Bayer et al. (2004) que estudando o armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto em clima tropical quente e úmido verificaram que os estoques de COP representaram na camada de 0-20 cm de 11 a 15% do COT. Hartman et al. (2014) observaram que a fração de COP variou de 14 a 19% do COT em sistema plantio direto em condições tropicais. Estes valores são considerados extremamente baixos, uma vez que, em solos de regiões frias e ou semiárida foram observados valores em torno de 50% (CAMBARDELLA e ELLIOT, 1992; CHAN, 1997). Costa et al. (2004) estudando o fracionamento químico da matéria orgânica sob sistema plantio direto em clima subtropical verificou que o COP representou de 24 a 31% do COT.

Os baixos valores de COP na condição deste experimento ocorrem em função das condições climáticas (altas temperaturas e umidade) que favorecem a atividade microbiana, uma vez que, esta fração é considerada a mais lábil da MOS, constituindo-se numa reserva frágil de carbono no solo e pode ser rapidamente decomposta e perdida quando o solo é submetido ao cultivo (GUIMARÃES et al., 2012).

Na comparação entre os anos agrícolas avaliados, o uso do SPD associado com plantas de coberturas foi eficiente em proporcionar a manutenção e/ou aumento significativo no estoque de COT e COM em todas as camadas de solo no ano de 2013/2014 (Tabela 3). Resultados que indicam que este sistema associado a espécies vegetais com grande capacidade de aporte de resíduos orgânicos e o não-revolvimento do solo é capaz de contribuir na mitigação do CO_2 atmosférico. De

acordo com Costa et al. (2008), o SPD associado a sistemas de cultura com alta adição de resíduos vegetais ricos em carbono e nitrogênio proporciona um balanço positivo de carbono no solo.

Para o estoque de carbono orgânico particulado (COP) na comparação entre os tratamentos não foram diferenças estatísticas (p>0,05) para os anos agrícolas de 2012/2013 e 2013/2014. Já na comparação entre os anos agrícolas avaliados, o uso do milho em consórcio com *B. ruziziensis* e *B. brizantha* cv. Marandu na camada de 0-5 cm reduziram significativamente os estoques de COP no ano agrícola de 2013/2014 (Tabela 3).

Na comparação entre os anos agrícolas para os estoques de CL também foram verificadas reduções significativas com o uso do milho consorciado com B. *brizantha* cv. Marandu e com crotalária, milho consorciado com *B. ruziziensis* e com crotálaria e com milho solteiro e cultivo isolado de *B. ruziziensis*, para as camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, respectivamente (Tabela 4).

Tais resultados estão associados as variações das quantidades de resíduos aportados ao solo e a maior taxa de mineralização do carbono do solo, principalmente em frações lábeis da MOS, devido as altas temperaturas. A redução da COP e CL também estão relacionadas à menor estabilidade destas frações no solo, visto que, representam frações mais lábeis da MOS, sendo portanto mais susceptíveis a decomposição microbiana (CAMPOS et al., 2013).

Tabela 4. Estoques de carbono orgânico lábil (CL) em Mg ha^{-1} em função das culturas de outono/inverno sob sistema plantio direto no Cerrado, nos anos agrícolas de 2012/2013 e 2013/2014, em três camadas.

Culturas de outono/inverno	**0-5 cm**		**5-10 cm**		**10-20 cm**	
	C1	**C2**	**C1**	**C2**	**C1**	**C2**
			CL			
Milho	2,21Aa	2,11Aa	2,55Aa	1,73Aa	3,20Aa	1,63Ab
Milho+*B. ruziziensis*	2,93Aa	2,88Aa	3,05Aa	1,86Ab	3,05Aa	2,03Aa
Milho+*B. brizantha* cv. Marandu	2,83Aa	2,38Ab	3,16Aa	2,09Aa	3,08Aa	2,11Aa
Milho+*Crotalaria spectabilis*	2,96Aa	2,12Ab	2,68Aa	1,78Ab	2,44Ba	1,42Aa
Brachiaria ruziziensis	2,74Aa	1,39Aa	2,67Aa	1,86Aa	2,36Ba	1,47Aa
B. brizantha cv. Marandu	2,63Aa	2,04Aa	2,35Aa	1,78Aa	2,54Ba	1,68Ab
Milheto	2,60Aa	2,38Aa	2,91Aa	2,24Aa	1,65Ba	1,86Aa
Vegetação espontânea	2,88Aa	2,65Aa	3,43Aa	2,04Aa	3,95Aa	2,33Aa

Médias seguidas de letras iguais maiúsculas na coluna, não diferem entre si para tratamento, para o teste Scott-Knott até 5% de probabilidade. Médias seguidas de letras iguais minúsculas na linha não diferem entre si para ano agrícola, para o teste-*t* até 5% de probabilidade. Legenda: C1=Coleta realizada no ano agrícola 2012/2013 e C2=Coleta realizada no ano agrícola 2013/2014.

Na comparação entre os tratamentos para o estoque de carbono lábil (CL) (Tabela 4) houve diferenças significativas (p≤0,05) entre os tratamentos apenas no

ano agrícola de 2012/2013 na camada de 10-20 cm, sendo os maiores estoques observados nas áreas com milho solteiro (3,20 Mg ha^{-1}), milho consorciado com *B. ruziziensis* (3,05 Mg ha^{-1}) e com *B. brizantha* cv Marandu (3,08 Mg ha^{-1}) e na área com vegetação espontânea (3,95 Mg ha^{-1}).

Estes resultados estão diretamente associados aos maiores aportes de resíduos vegetais, tanto da parte aérea como das raízes, adicionados por estas espécies vegetais. Salton et al. (2011) observaram que em sistemas com *Brachiaria* spp. apresentaram os maiores estoques de carbono nas frações mais lábeis da matéria orgânica do solo.

Chan, Bownan e Oates (2001) verificaram que o uso de culturas agrícolas e/ou sistemas de manejo que favorecem adições frequentes de material orgânico ao solo tendem a apresentar maior proporção de carbono na fração lábil. No experimento também foi verificado teores elevados de CL na área de vegetação espontânea, apesar da menor adição de resíduos vegetais, os maiores teores de CL podem estar associados a maior disponibilidade de material orgânico facilmente mineralizável.

Com relação ao índice de manejo de carbono (IMC), o menor índice na camada de 0-5 cm foi verificado na área sobre vegetação espontânea (Figura 2) com valor de 28,34, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos ($p \leq 0,01$). Na camada de 5-10 cm, o cultivo do milho solteiro e consorciado com *Brachiaria* e o cultivo isolado da *B. ruziziensis* proporcionaram os maiores valores de IMC. Em comparação à área de vegetação espontânea, o uso do milho, milho consorciado com *B. ruziziensis* e *B. brizantha* cv. Marandu possibilitaram incremente de 110,1, 144,2 e 130,2%, respectivamente. Para a camada de 10-20 cm foi observado resultados semelhantes, onde o uso do milho em consórcio com *B. ruziziensis* e *B. brizantha* cv. Marandu, elevaram em 145,6 e 157,95%, respectivamente, o IMC em comparação à área com vegetação espontânea.

Com os resultados obtidos neste experimento, verificou-se que o consórcio milho com *Brachiaria* proporciona efeito positivo sobre o IMC, em especial para as camadas mais profundas de solo, uma vez que, nestas camadas os valores de IMC foram superiores a 100, o que indicam que estas coberturas vegetais em SPD são eficientes em manter ou até mesmo elevar os estoques de matéria orgânica (BLAIR et al., 1995; DE BONA, 2005).

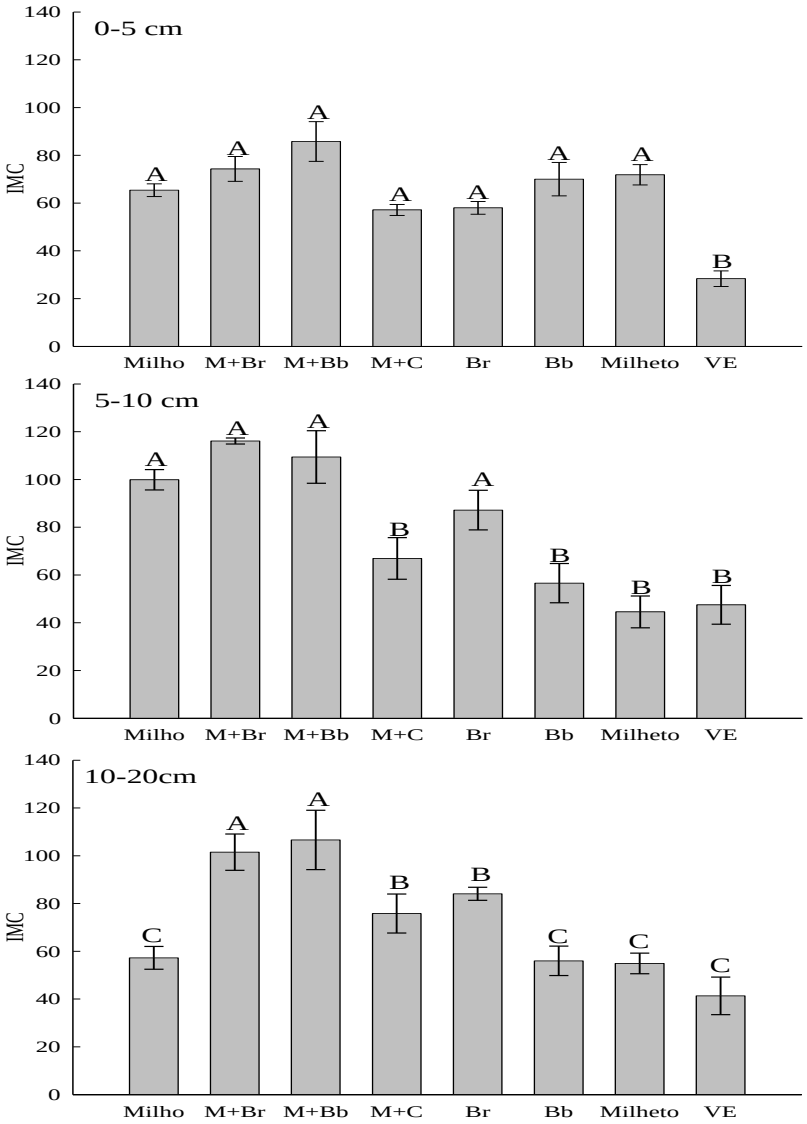

FIGURA 2. Índice de manejo de carbono (IMC) em função de culturas de outono/inverno em sistema plantio direto no Cerrado.

Médias seguidas de letras iguais, não diferem entre si, pelo o teste Scott-Knott até 5% de probabilidade. Legenda: M+Br (Milho de segunda safra + *B. ruziziensis*); M+Bb (Milho de segunda safra + *B. brizantha* cv. Marandu); M+C (Milho de segunda safra + *Crotalaria spectabilis*); Br (*B. ruziziensis*); Bb (*B. brizantha* cv. Marandu); VE (Vegetação espontânea).

O efeito benéfico das *Brachiarias* sobre o IMC também foram verificados por Rossi et al. (2012b) que concluíram que o sistema plantio direto com soja sobre resíduos de *Brachiaria* apresentaram efeito positivo no IMC, em todas as

camadas avaliadas. Schiavo et al. (2011) estudando índice de manejo de carbono e atributos químicos de Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo, verificaram o maior IMC na área com uso de *Brachiaria* com 44 e 111,61, nas profundidades de 5-10 e 10-20 cm, respectivamente.

Salton et al. (2005) estudando a matéria orgânica e agregação do solo em rotação lavoura-pecuária em ambiente tropical sob Latossolo Vermelho Distroférrico no município de Dourados-MS constatou valores de IMC superiores nos sistemas com a presença de pastagem, com valores de IMC de 137 para sistema de pastagem permanente e 104 para sistema lavoura-pecuária (soja-*Brachiaria*), os quais superaram a área de referência e os sistemas apenas com lavouras anuais com IMC de 82 para SPD.

Os estoques de nitrogênio total do solo não diferiram estatisticamente ($p>0,05$) entre si em função das plantas de cobertura avaliadas após quatro anos de adoção do SPD (Figura 3). Resultados semelhantes foram observados por D'Andrea et al. (2004) que em Latossolo Vermelho Distroférrico em SPD não observaram diferenças para o estoque de nitrogênio total. Bayer e Mielniczuk (1997), em sistema sem revolvimento do solo também não verificaram incrementos nos estoques de nitrogênio total. Tais resultados podem estar associados ao tempo de adoção do SPD com as coberturas vegetais, que pode não ter sido suficiente para que houvesse alterações evidentes no nitrogênio total do solo.

Independente da cobertura vegetal, foi observado estoque médio de nitrogênio total de 1,7 Mg ha^{-1} até a profundidade de 20 cm no SPD, resultados semelhantes aos observados por Ensinas et al. (2014) que verificaram estoque de 1,6 Mg ha^{-1} no sistema plantio direto até a profundidade de 0-20 cm. Campos et al. (2013) estudando diferentes tempos de adoção do SPD constataram estoque médio de nitrogênio total menores com valores de 0,87 Mg ha^{-1} nesta mesma camada de solo, com adoção do SPD com três, cinco e nove anos.

Observou-se neste experimento que os maiores estoques de nitrogênio no SPD encontram-se na camada superficial do solo (0-5 cm). Caetano et al. (2013) e Mascarenhas et al. (2011) também observaram os maiores teores de nitrogênio na superfície do solo, em razão principalmente do seu aporte pela decomposição dos resíduos culturais pelos sucessivos cultivos agrícolas. Além disso, a matéria orgânica é a maior reserva de nitrogênio no solo, e o seu estoque é mais elevado em camadas superficiais do solo no SPD (SOUZA et al., 2009; SILVA et al., 2011).

Para o nitrogênio lábil houve diferenças significativas ($p \leq 0,01$) em todas as camadas de solo estudadas, resultados que evidenciam à maior capacidade deste compartimento em identificar mudanças no sistema de uso do solo (Figura 3).

Na camada de 0-5 cm, a adoção da *B. ruziziensis* e *B. brizantha* cv. Marandu, proporcionaram os maiores estoque de nitrogênio lábil com 0,57 e 0,47 Mg ha^{-1}, respectivamente, diferindo estatisticamente das demais coberturas vegetais. Tais resultados são em função do maior aporte de resíduos orgânicos pelas *Brachiaria*, o que contribui para elevação dos estoques de frações mais lábeis da MOS.

No que se refere à camada de 5-10 cm, o uso do milho em consórcio com crotalária (0,37 Mg ha^{-1}) e com *B. ruziziensis* (0,55 Mg ha^{-1}) apresentaram os maiores estoques de nitrogênio lábil. Para a camada de 10-20 foram observados resultados semelhantes, visto que, novamente o uso do milho em consorciação com crotalária e com a *B. ruziziensis* e o cultivo isolado da *B. ruziziensis* foram os tratamentos mais eficientes em aumentar os estoques de nitrogênio lábil diferindo estatisticamente dos demais tratamentos.

De acordo com Silva et al. (2011), em sistemas conservacionistas, com revolvimento do solo somente na linha de plantio, rotação de culturas, manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo, proporciona decomposição lenta do material vegetal depositado favorecendo assim o acúmulo de nitrogênio lábil no solo. Foi possível observar também que a utilização de leguminosa (crotalária) em sistemas de rotação de culturas influenciou de maneira benéfica os estoques de nitrogênio lábil no solo nas camadas mais profundas.

Amado et al. (1999) e Pedra et al. (2012) demonstraram que a utilização de leguminosas por longo tempo, pode proporcionar aumento no estoque de nitrogênio, aumentando a capacidade de fornecimento de N do solo às culturas comerciais.

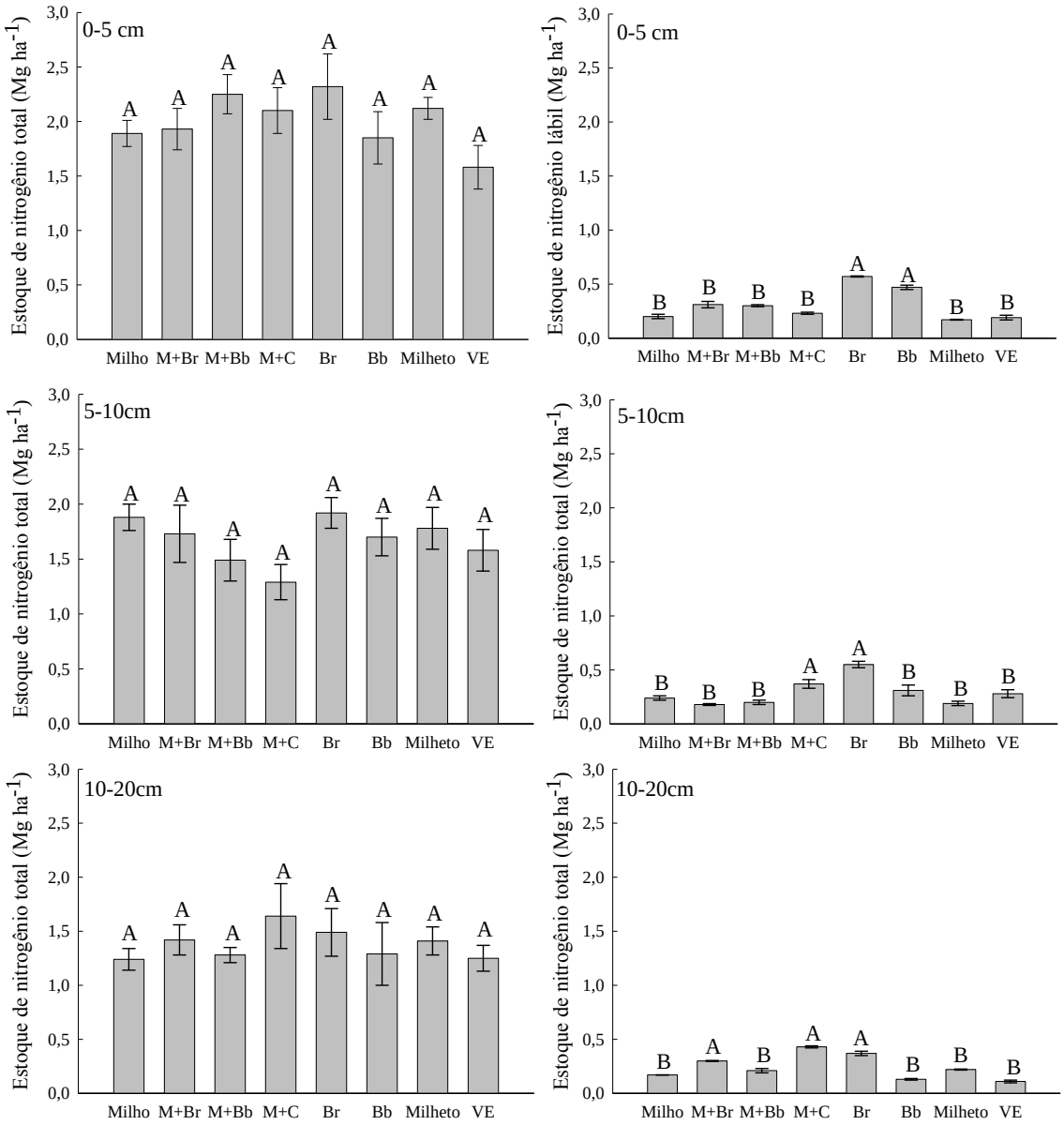

FIGURA 3. Estoque de nitrogênio total e lábil em função de culturas de outono/inverno em sistema plantio direto no Cerrado.

Médias seguidas de letras iguais, não diferem entre si, pelo o teste Scott-Knott até 5% de probabilidade. Legenda: M+Br (Milho de segunda safra + *B. ruziziensis*); M+Bb (Milho de segunda safra + *B. brizantha* cv. Marandu); M+*C (*Milho de segunda safra + *Crotalaria spectabilis*); Br (*B. ruziziensis*); Bb (*B. brizantha* cv. Marandu); VE (Vegetação espontânea).

4. CONCLUSÕES

O milho consorciado com *Brachiaria ruziziensis* e *B. brizantha* cv. Marandu promoveram incrementos nos estoques de carbono orgânico total e carbono orgânico associado aos minerais e no índice de manejo de carbono na camada subsuperficial do solo.

As coberturas vegetais em sistema plantio direto contribuíram para maior concentração de carbono associado aos minerais.

O uso do milho em consorciação com crotalária, *Brachiaria ruziziensis* e *B. brizantha* cv. Marandu contribuíram para o aumento dos estoques de nitrogênio lábil.

O carbono orgânico particulado e carbono lábil foram mais sensíveis em detectar as alterações nos estoques de carbono entre os anos agrícolas avaliados.

As coberturas vegetais em sistema plantio direto ao longo do tempo de adoção do sistema proporcionaram manutenção e/ou aumento nos estoques de carbono orgânico total e carbono orgânico associado aos minerais.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; ELTZ, F.L.F.; BRUM, A.C.R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.1, p.189-197, 2001.

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; FERNANDES, S.B.V.; BAYER, C. Culturas de cobertura, acúmulo de nitrogênio total no solo e produtividade de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.1, p.679-686, 1999.

BATISTA, I.; PEREIRA, M.G.; CORREIA, M.E.F.; BIELUCZYK, W.; SCHIAVO, J.A.; ROWS, J.R.C. Teores e estoques de carbono em frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica do solo sob integração lavoura-pecuária no bioma cerrado. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.34, n.6, p.3377-3388, 2013.

BAYER, C. **Estabilização do carbono no solo e mitigação das emissões de gases de efeito estufa na agricultura conservacionista**. Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011. v.7, p.55-117.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Nitrogênio total de um solo submetido a diferentes métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, n.4, p.235-239, 1997.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. **Dinâmica e função da matéria orgânica**. In: SANTOS, G. de A.; CAMARGO, F.A. de O. (Ed.). Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Genesis, 1999. p.1-26.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN NETO, L.; ERNANI, P.R. Stocks and humification degree of organic matter fractions as afeccted by no-tillage on a subtropical soil. **Plant and Soil**, Austrália, v.238, n.1, p.133-140, 2002.

BAYER, C.; AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN NETO, L.; FERNANDES, S.V. Tillage and cropping system effects on organic matter storage in an Acrisol soil in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdan, v.54, n.1, p.101-109, 2000.

BAYER, C.; MARTIN NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.7, p.677-683, 2004.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.86, n.2, p.237-245, 2006.

BLAIR, G.J.; LEFROY, D.B.; LISLE, L. Soil carbon fractions, based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. **Australian Journal of Agricultural Research**, Australia, v.46, n.7, p.1459-1466, 1995.

BODDEY, R.M.; JANTALIA, C.P.; CONCEIÇÃO, P.C.; ZANATTA, J.A.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; DIECKOW, J.; DOS SANTOS, H.P.; DENARDIN, J.E.; AITA, C.; GIACOMINI, S.J.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S. Carbon accumulation at depth in Ferralsols under zero-till subtropical agriculture, **Global Change Biology**, Llinois, v.16, n.2, p.784-795, 2010.

BRASIL. **Decreto n° 7.390, de 9 de dezembro de 2010**. Regulamenta os artigos 6, 11, 12 da lei n° 12187, de 29 de dezembro de 2009, que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), e dá outras providências. Brasília: Presidência da República, 2010.

CAETANO, J.O.; BENITES, V. de M.; SILVA, G.P.; da SILVA, I.R.; ASSIS, R.L.; FILHO, A.C. Dinâmica da matéria orgânica de um neossolo quartzarênico de cerrado convertido para cultivo em sucessão de soja e milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.37, n.5, p.1245-1255, 2013.

CALEGARI, A.; CASTRO FILHO, C. de; TAVARES FILHO, J.; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M.F. Melhoria da agregação do solo através do sistema plantio direto. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.27, n.2, p.147-158, 2006.

CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOT, E.T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.56, n.1, p.777-783, 1992.

CAMPOS, L.P.; LEITE, L.F.C.; MACIEL, G.A.; BRASIL, E.L.; IWATA, B.F. Estoques e frações de carbono orgânico em Latossolo Amarelo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.48, n.3, p.304-312, 2013.

CARDOSO, E.L.; SILVA, M.L.N.; SILVA, C.A.; CURI, N.; FREITAS, D.A.F. de. Estoques de carbono e nitrogênio em solo sob florestas nativas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, n.9, p.1028- 1035, 2010.

CARVALHO, J.L.N.; AVANZI, J.C.; SILVA, M.L.N.; MELO, C.R. de; CERRI, C.E.P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil**. Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, v.34, n.2, p.277-290, 2010.

CARVALHO, J.L.N.; CERRI, C.E.P.; FEIGL, B.J.; PICOLLO, M.C.; GODINHO, V.P.; CERRI, C.C. Carbon sequestration in agricultural soils in the Cerrado region of the Brazilian Amazon. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam v.103, n.2, p.342-349, 2009.

CERRI, C.E.P.; SPAROVEK, G.; BERNOUX, M.; EASTERLING, W.E.; MELILLO, J.M.; CERRI, C.C. Tropical agriculture and global warming: Impacts and mitigation options, **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.64, n.1, p.83-99, 2007.

CHAN, K.Y. Consequences of changes in particulate organic carbon in vertisols under pasture and cropping. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.61, n.5, p.1376-1382, 1997.

CHAN, K.Y.; BOWMAN, A.; OATES, A. Oxidizible organic carbon fraction and soil quality changes in an Paleustalf under different pasture leys. **Soil Science**, Baltimore, v.166, n.1, p.61-67, 2001.

CLAESSEN, M.E.C. (Org.). **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. revisão atualizada. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997, 212p.

CONCEIÇÃO, A.M.S.B. **Estoque de carbono e qualidade do solo em cambissolo do semiárido Baiano**. 2010. 59 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Bahia-BA.

COSTA, F. de S.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J.A.; FONTOURA, S.M.V. Aumento de matéria orgânica num latossolo bruno em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.2, p.587-589, 2004.

COSTA, F.S.; BAYER, C.; ZANATTA, J.A.;MIELNICZUK, J. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.1, p.323-332, 2008.

D'ANDREA, A.F.; SILVA, M.L.N., CURI, N.; GUILHERME, L.R.G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.2, p.179-186, 2004.

DE BONA, F.D. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas irrigados por aspersão sob plantio direto e preparo convencional**. 2005. 154f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS.

DIEKOW, J.; MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D.P.; KÖGEL-KNABNER, I. Carbon and nitrogen stocks in physical fractions of a subtropical Acrisol as influenced by long-term no-till cropping systems and N fertilization. **Plant and Soil**, Austrália, v.268, n.1, p.319-328, 2005.

ENSINAS, S.C.; MARCHETTI, M.E.; da SILVA, E.F.; POTRICH, D.C.; MARTINEZ, M.A. Atributos químicos, carbono e nitrogênio total em Latossolo submetico a diferentes sistemas de uso do solo. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v.7, n.7, p.24-36, 2014.

FELLER, C.; BEARE, M.H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. **Geoderma**, Amsterdam, v.79, n.01/04, p.69-116, 1997.

FERREIRA D.F **Sisvar: versão 5.3. DEX/UFLA**, Lavras, 2010.

FIGUEIREDO, C.C.; RESCK, D.V.S.; CARNEIRO, M.A.C. Labile and stable fractions of soil organic matter under management systems and native cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.34, n.3, p.907-916, 2010.

GUIMARÃES, D.V.; GONZAGA, M.I.S.; MELO NETO, J.O.; REIS, A.F.; LIMA, T.S.; SANTANA, I.L. Qualidade da matéria orgânica do solo e estoques de carbono e nitrogênio em fragmento de Mata Atlântica do Município de Neópolis. **Scientia Plena**, Sergipe, v.8, n.4, p.1-5, 2012.

HARTMAN, D.D.C.; SÁ, J.C. de M.; BRIEDIS, C.; dos SANTOS, J.Z.; SCHIMIGUEL, R. Evidências de saturação de carbono em solos sob plantio direto em agro-ecosistemas subtropical e tropical no Brasil. **Synergismus Scyentifica**, Pato Branco, v.9, n.1, p.1-6, 2014.

HICKMANN, C.; COSTA, L.M. Estoque de carbono no solo e agregados em Argissolo sob diferentes manejos de longa duração. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.10, p.1055-1061, 2012.

JERKE, C.; de SOUSA, D.M.G.; GOEDERT, W.J. Distribuição do carbono orgânico em Latossolo sob manejo da adubação fosfatada em plantio direto no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n.3, p.442-448, 2012.

KÖPPEN, W. **Climatologia**: con un estudio de los climas de la tierra. México: Fondo de Cultura Económica, 1948. 478p.

LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma**, Amsterdam, v.123, n.1, p.1-22, 2004a.

LAL R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. **Science**, Amsterdam, v.304, n.1, p.1623-1627, 2004b.

LAL, R. Forest soils and carbono sequestration. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.220, n.2, p.242-258, 2005.

LEITE, F.C.; ARRUDA, F.P.; COSTA, C. do N.; FERREIRA, J. da S.; NETO, M.R.H. Qualidade química do solo e dinâmica de carbono sob monocultivo e consórcio de macaúba e pastagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.12, p.1257-1263, 2013.

LEITE, F.P.; SILVA, I.R.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. Alterations of soil chemical properties by eucalyptus cultivation in five regions in the Rio Doce Valley. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.3, p.821-831, 2010.

LORENZ, K.; LAL, R.; PRESTON, C.M.; NIEROP, K.G.J. Strengthening the soil organic carbon pool by increasing contributions from recalcitrant aliphatic bio(macro)molecules. **Geoderma**, Amsterdam, v.142, n.1, p.1-10, 2007.

MACHADO, P.L.O. de A. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. **Química Nova**, São Paulo, v.28, n.2, p.329-334, 2005.

MASCARENHAS, H.A.A.; ESTEVES, J.A.F.; WUTKE, E.B.; LEÃO, P.C.L. Nitrogênio residual da soja na produtividade de gramíneas e do algodão. **Nucleus**, Ituverava, v.8, n.2, p.15-34, 2011.

MATIAS, S.S.R.; CORREIA, M.A.R.; CAMARGO, L.A.; FARIAS, M.T.; CENTURION, J.F.; NOBREGA, J.C.A. Influência de diferentes sistemas de cultivo nos atributos físicos e no carbono orgânico do solo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.7, n.3, p.414-420, 2012.

NICOLOSO, R. da S.; LOVATO, T.; AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; LANZANOVA, M.E. Balanço do carbono orgânico no solo sob integração lavoura-pecuária no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.6, p.2425-2433, 2008.

PEDRA, W.N.; PEDROTTI, A.; SILVA, T.O.; MACEDO, F.L.; GONZAGA, M.I.S. Estoques de carbono e nitrogênio sob diferentes condições de manejo de um Argissolo Vermellho Amarelo, cultivado com milho doce nos tabuleiros costeiros de Sergipe. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.33, n.6, p.2075-2090, 2012.

PILLON, C.N.; SCIVITTARO, W.B.; POTES, M.L.P.; MORAES, C.S.; MICHELS, G.H.; PEREIRA, J.S. Acúmulo de carbono orgânico por sistemas de cultura sob plantio direto em terras baixas. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Curitiba, v.2, n. 1, p.1040-1043, 2007.

ROSSI, C.Q.; PEREIRA, M.G.; GIÁCOMO, S.G.; BETTA, M.; POLIDORO, J.C. Frações lábeis da matéria orgânica em sistema de cultivo com palha de braquiária e sorgo. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.43, n.1, p.38-46, 2012a.

ROSSI, C.Q.; PEREIRA, M.G.; GIÁCOMO, S.G.; BETTA, M.; POLIDORO, J.C. Frações orgânicas e índice de manejo de carbono do solo em Latossolo Vermelho sob plantio de soja no cerrado goiano. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.7, n.2, p.233-241, 2012b.

SÁ, J.C.M.; LAL, R. Stratification ratio of soil organic matter pools as an indicator of carbon sequestration in a tillage chronosequence on a Brazilian Oxisol, **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.103, n.1, p.46-56, 2009.

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRICIO, A.C.; MACEDO, M. C.M.; BROCH, D.L.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P.C. **Matéria orgânica do solo na integração lavoura-pecuária em Mato Grosso do Sul**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2005. 58p. (Embrapa Agropecuária Oeste, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 29).

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

SANTOS, H.G., JACOMINE, P.K.T., ANJOS, L.H.C., OLIVEIRA, V.A., LUBRERAS, J.F., COELHO, M.R., ALMEIDA, J.A., CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J.B. (ed.). 2013. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. edição revisada e ampliada. Brasília: Embrapa, 353 p.

SCHIAVO, J.A.; ROSSET, J.S.; PEREIRA, M.G.; SALTON, J.C. Índice de manejo de carbono e atributos químicos de Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.10, p.1332-1338, 2011.

SHANG, C.; TIESSEN, H. Organic matter lability in tropical Oxisol: Evidence from shifting cultivation, chemical oxidation, particle size, and magnetic fractionations. **Soil Science**, Baltimore, v.162, n.11, p.795-807, 1997.

SILVA, E.F.; LOURENTE, E.P.R.; MARCHETTI, M.E.; MERCANTE, F.M.; FERREIRA, A.K.T.; FUJII, G.C. Frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica em solos sob integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.10, p.1321-1331, 2011.

SILVA, I.R.; MENDONÇA, E.S. **Matéria orgânica do solo**. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F. de; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). Fertilidade do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.275-374.

SOUZA, E.D.; COSTA, S.E.V.G.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C.F.; ANDRIGUETI, M.; CAO, E. 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, v.33, n.1, p.1829-1836, 2009.

STEINER, F.; PIVETTA, L.A.; ZOZ, T.; PINTO JUNIOR, A.S. Estoque de carbon orgânico no solo afetado por adubação orgânica e sistemas de culturas no Sul do Brasil. **Semina:Ciências Agrárias**, Londrina, v.33, n.1, p.2775-2788, 2012.

TEDESCO, J.M.; WOLKWEISS, S.J.; BOHNEN, H. **Análise de solo, planta e outros materiais**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1985. 156p. Boletim Técnico, 5.

VEZZANI, F.M.; MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n.2, p.213-223, 2011.

WINCK, B.R.; VEZZANI, F.M.; DIECKOW, J.; FAVARETTO, N.; MOLIN, R. Carbono e nitrogênio nas frações granulométricas da matéria orgânica do solo em sistemas de culturas sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.38, n.3, p.980-989, 2014.

YANG, X.; REN, W.; SUN, B.; ZHANG, S. Effects of contrasting soil management regimes on total and labile soil organic carbon fractions in a loess soil in China. **Geoderma**, Amsterdam, v.177/178, n.1, p.49-56, 2012.

YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, London, v.19, n.13, p.1467-1476, 1988.

ZHONGKUI, L.; WANG, E.; SUN, O.J. Soil carbon change and its responses to agricultural practices in Australian agro-ecosystems: a review and synthesis. **Geoderma**, Amsterdam, v.155, n.3/4, p.211-223, 2010.