

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

PRODUÇÃO DE BIOMASSA DE DIFERENTES COBERTURAS: O APORTE DE
MATÉRIA ORGÂNICA E AS ALTERAÇÕES CAUSADAS NOS ATRIBUTOS DO
SOLO

JOSÉ CARLOS MAZETTO JÚNIOR

2018

JOSÉ CARLOS MAZETTO JÚNIOR

PRODUÇÃO DE BIOMASSA DE DIFERENTES COBERTURAS: O APORTE DE
MATÉRIA ORGÂNICA E AS ALTERAÇÕES CAUSADAS NOS ATRIBUTOS DO
SOLO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de
Uberlândia, como parte das exigências do Programa de
Pós-graduação em Agronomia – Mestrado, na área de
concentração em Solos, para obtenção do título de
“Mestre”.

Orientador

Prof. Titular Dr. José Luiz Rodrigues Torres

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS-BRASIL
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

M476p

2018

Mazetto Júnior, José Carlos, 1990

Produção de biomassa de diferentes coberturas: o aporte de matéria orgânica e as alterações causadas nos atributos do solo / José Carlos Mazetto Júnior. - 2018.

67 f. : il.

Orientador: José Luiz Rodrigues Torres.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia.

Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2018.770>

Inclui bibliografia.

1. Agronomia - Teses. 2. Plantas forrageiras - Teses. 3. Biomassa - Teses. 4. Solos - Propriedades - Teses. I. Torres, José Luiz Rodrigues, . II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDU: 631

Angela Aparecida Vicentini Tzi Tziboy – CRB-6/947

JOSÉ CARLOS MAZETTO JÚNIOR

PRODUÇÃO DE BIOMASSA DE DIFERENTES COBERTURAS: O APORTE DE
MATÉRIA ORGÂNICA E AS ALTERAÇÕES CAUSADAS NOS ATRIBUTOS DO
SOLO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Mestrado, na área de concentração em Solos, para obtenção do título de “Mestre”.

APROVADO em 28 de fevereiro de 2018.

Prof. Dr. Beno Wendling

UFU

Prof. Dr. Reginaldo de Camargo

UFU

Prof. Dr. Antônio Carlos Barreto

IFTM

Prof. Dr. José Luiz Rodrigues Torres
IFTM – UFU (Orientador)

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS-BRASIL
2018

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus na figura de Cristo, por me ensinar que a vida em si é um aprendizado, que podemos aprender até com aqueles que nos perseguem e nas situações mais críticas.

A minha família pelo apoio incondicional que me proporcionou concluir esta caminhada.

Ao meu orientador, Dr. José Luiz Rodrigues Torres, que trilhou este caminho junto a mim, orientando-me, aconselhando e ensinando.

À equipe de trabalho do Grupo de pesquisa em Manejo e Conservação de Água e Solo no Cerrado, credenciado junto ao CNPq e com membros atuantes no IFTM Campus Uberaba, representados principalmente pelos colegas Danylo Denner de Almeida Costa e Venâncio Rodrigues e Silva.

Ao Grupo de estudo de Matéria Orgânica – UFU, pela parceria.

A todos os colegas e professores da UFU que fizeram parte de minha formação.

MUITO OBRIGADO!

SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	8
2. CAPÍTULO I.....	10
2.1 RESUMO	11
2.2 ABSTRACT.....	12
2.3 INTRODUÇÃO.....	13
2.4 MATERIAL E MÉTODOS	15
2.4.1 Localização	15
2.4.2 Clima	15
2.4.3 Solo	16
2.4.4 Delineamento Experimental	16
2.4.5 Histórico da área	17
2.4.6 Manejo plantas de cobertura: plantio, condução e manejo	17
2.4.7 Avaliações	18
2.4.7.1 Biomassa fresca, biomassa seca e teor de biomassa seca.	18
2.4.7.2 Taxa de decomposição e tempo de meia vida dos resíduos culturais.....	18
2.4.7.3 Carbono orgânico total e seu estoque no solo	19
2.4.7.4 Estimativa da quantidade de matéria orgânica do solo a partir do de carbono orgânico total do solo.	20
2.4.7.5 Fracionamento da matéria orgânica no solo.....	20
2.4.7.6 Determinação da humina	21
2.4.7.7 Ácidos húmicos e fúlvicos	21
2.4.8 Análise estatística.....	22
2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
2.5.1 Biomassa fresca, seca e teor de biomassa seca	22
2.5.2 Taxa de decomposição e tempo de meia vida da biomassa.....	23
2.5.3 Estimativa da quantidade de matéria orgânica do solo a partir do de carbono orgânico total do solo.....	25
2.5.4 Determinação do Ácido Húmico, Ácido Fúlvico e Humina.	30
2.6 CONCLUSÕES.....	32
3. CAPÍTULO II	33
3.1 RESUMO.....	34
3.2 ABSTRACT	35

3.3 INTRODUÇÃO.....	36
3.4 MATERIAL E MÉTODOS	38
3.4.1 Localização	38
3.4.2 Clima	38
3.4.3 Solo	39
3.4.4 Delineamento Experimental	39
3.4.5 Histórico da área	40
3.4.6 Manejo das plantas de cobertura: plantio, condução e manejo	40
3.4.7 Atributos físicos avaliados.....	41
3.4.7.1 Resistência mecânica à penetração do solo.....	41
3.4.7.2 Umidade do solo.....	41
3.4.7.3 Densidade do solo, macro e microporosidade, volume total de poros	42
3.4.7.4 Agregação do solo	42
3.4.8 Análise estatística.....	44
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
3.5.1 Densidade, resistência mecânica à penetração e umidade do solo	44
3.5.2 Densidade do solo, macro (Ma) e microporosidade (Mi), volume total de poros (VTP), diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e índice de estabilidade de agregados (IEA).....	48
3.6 CONCLUSÕES.....	56
4. REFERÊNCIAS	57

RESUMO

MAZETTO JÚNIOR, JOSÉ CARLOS. **Produção de biomassa de diferentes coberturas: o aporte de matéria orgânica e as alterações causadas nos atributos do solo.** Uberlândia: UFU, 2018. 64f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia/MG.¹

Nestes últimos 50 anos, desde sua introdução na década de 70 no Brasil como um sistema conservacionista de solo, o sistema de plantio direto consolidou-se como um dos mais modernos sistemas de produção agrícola sustentável para o cerrado brasileiro, pois o não revolvimento do solo, a manutenção dos resíduos sobre sua superfície e um eficiente sistema de rotação de cultura, possibilitaram alterações positivas nos atributos físicos, químicos e biológicos dos Latossolos do cerrado. O objetivo deste estudo foi avaliar o uso de diferentes coberturas vegetais e quantificar as alterações causadas nos atributos físicos e na matéria orgânica do solo, em área cultivada com hortaliças irrigadas por aspersão convencional. O estudo foi realizado em área experimental do Instituto Federal do Triângulo Mineiro Campus Uberaba-MG. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, sendo avaliadas sete diferentes coberturas do solo: 1- braquiária (B) (*Urochloa brizantha* cv *marandú*), 2- crotalária (C) (*Crotalaria juncea*), 3- milheto (M) (*Pennisetum glaucum* L.), 4- B+C, 5- B+M, 6- C+M, mais um tratamento adicional (Mata Nativa), todos com três repetições cada. Foram avaliados a produção de biomassa, taxa de decomposição dos resíduos, o carbono orgânico total, coeficiente da matéria orgânica do solo e suas frações químicas (ácido húmico, ácido fúlvico e huminas). Também foram avaliados os atributos físicos: Densidade do Solo (Ds), a Macroporosidade (Ma), Microporosidade (Mi), o Volume Total de Poros (VTP), a Agregação do solo (DMG, DMP e IEA), a Resistência à Penetração (RP) e a Umidade Volumétrica (UV), nas profundidades de 0 até 60 cm, diferindo em cada um dos atributos levantados. O tratamento com a mistura de milheto + crotalária apresentou os maiores valores de carbono orgânico total e coeficiente da matéria orgânica na profundidade até 5 cm. Já em relação aos atributos avaliados o milheto foi a planta de cobertura que apresentou os melhores resultados. A mistura braquiária + milheto foi a melhor combinação de plantas de cobertura para melhorar a qualidade física do solo em profundidade.

Palavras-chave: Plantas de cobertura, mineralização, ciclagem, atributos físicos e químicos.

¹Orientador: José Luiz Rodrigues Torres – IFTM/Uberaba-MG e UFU/Uberlândia-MG

ABSTRACT

MAZETTO JÚNIOR, JOSÉ CARLOS. **Biomass production of different cover crops: the contribution of organic matter and changes in soil attributes.** Uberlândia: UFU, 2018. 64p. Dissertation (Master degree in Agronomy/Soils) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia/MG.¹

In the last 50 years, since its introduction in the 1970s in Brazil as a soil conservation system, the no-tillage system was consolidated as one of the most modern systems of sustainable agricultural production in Brazilian *cerrado*, since no soil mobilization, maintenance of crop residues on the soil surface and an efficient system of crop rotation caused positive changes in the physical, chemical and biological attributes of the Latosols of the cerrado. The objective of this study was to evaluate the use of cover crops e quantify the changes caused in the physical attributes and soil organic matter, in irrigated area with conventional sprinkler irrigation. The work was developed in an experimental area of the Instituto Federal do Triângulo Mineiro (IFTM), Campus Uberaba-MG. Was adopted the completely randomized block design, with seven soil covers: 1 - brachiaria (B) (*Urochloa brizantha* cv. marandú), 2- crotalaria (C) (*Crotalaria juncea*), 3- millet ADR 500 (M) (*Pennisetum glaucum* L.), 4- B + C, 5- B + M, 6- C + M, with 3 repetitions. In addition, soil samples were collected under native forest, characterizing an additional treatment. Were evaluated the biomass production, the residues decomposition rate, the total organic carbon, soil organic matter coefficient and its fractionation (Humic Acid, Fulvic Acid and Humin). Were also evaluated the soil physical attributes: Bulk Density (BD), Macroporosity (Ma), Microporosity (Mi), Total Porosity (TP), the Soil Aggregation (MWD, GMD and AEI), the Penetration Resistance (PR) and Volumetric Moisture (VM). The depths considered ranged from 0 to 60 cm, differing according to the attribute. The treatment with millet + crotalaria showed the highest values of total organic carbon and coefficient of organic matter in the depth up to 5 cm. Regarding the evaluated attributes, the millet was the cover plant that presented the best results. Brachiaria + millet was the best combination of cover crops to improve soil physical quality in depth.

Keywords: cover crops, mineralization, cycling, chemical and physical attributes.

¹Major Professor: José Luiz Rodrigues Torres – IFTM/Uberaba-MG e UFU/Uberlândia-MG

1. INTRODUÇÃO GERAL

A produção brasileira de grãos vem crescendo significativamente nos últimos anos, como pode ser evidenciado pelos valores oficiais registrados na safra de 2000/2001, quando a produção de grãos atingiu os 46,9 milhões de toneladas e na safra 2016/2017, quando estes valores aumentaram cinco vezes e alcançaram os 238,01 milhões de toneladas de grãos (CONAB, 2017). No entanto, como consequência deste aumento de produção, tem ocorrido uma intensa utilização do solo, que se não for realizado com práticas de manejo eficientes, pode causar a sua degradação.

Essa possibilidade de degradação gera a busca por sistemas produtivos que aliam altas produtividades e práticas conservacionistas, que permitam uma produção mais sustentável. Com esta premissa, o sistema plantio direto (SPD) foi introduzido nas áreas agrícolas brasileiras na década de 1970 e expandiu-se gradativamente no país, atingindo 1 milhão de hectares (MHa) na safra 1989/90. Dados da Embrapa (2002) registraram crescimento da área cultivada para 15 MHa, atingindo, na safra 2005/06, 25,5 MHa, que aumentaram para 31,5 MHa na safra 2011/2012 (FEBRAPDP, 2012) e na sequência 32 MHa na safra 2014/2015 (MHa) (MOTTER e GOELZER, 2015). Segundo a previsão do MAPA (2011), em 2020 a área em SSD no país atingirá 33 MHa. Mesmo com uma área total cultivada de 32 MHa sob SPD, no cenário global o Brasil ainda ocupa a segunda posição, ficando atrás apenas dos Estados Unidos com uma área total de 35,6 milhões de hectares sob SPD (FAO, 2009).

Os benefícios proporcionados pelo SPD são diversos e estão diretamente relacionados à proteção e ciclagem de nutrientes decorrentes da manutenção dos resíduos vegetais das plantas de cobertura sobre a superfície do solo. Dentre estes benefícios pode-se destacar a diminuição do impacto das gotas de chuva, a manutenção da umidade, a proteção contra a radiação solar direta, o auxílio no controle de plantas daninhas e na reestruturação do solo. Além disso, a decomposição dos resíduos vegetais restitui quantidades consideráveis de nutrientes aos cultivos subsequentes, uma vez que essas plantas absorvem nutrientes das camadas subsuperficiais do solo e os liberam, posteriormente, na camada superficial, como consequência ocorre a melhoria da qualidade do solo (BOER et al., 2008).

A decomposição dos resíduos vegetais e a mineralização desta matéria orgânica que foi depositada sobre o solo ou dos remanescentes de sistema radicular das plantas que foram incorporadas ao sistema solo, contribuem diretamente para o aumento e/ou manutenção dos teores de matéria orgânica no solo (MOS). Esta MOS ao ser incorporada

lentamente ao sistema, causa alterações nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo.

Com relação aos atributos químicos, a decomposição da matéria orgânica altera positivamente a capacidade de troca catiônica (CTC), melhora a disponibilidade de nutrientes das plantas cultivadas em sucessão, complexa elementos tóxicos e disponibilizam micronutrientes (BAYER e MIELNICZUK, 2008). Dependendo do teor de MOS e das características texturais e granulométricas do solo, essa pode representar cerca de 20 a 90% da CTC (MIELNICZUK, 2008). Esta relação ocorre devido a geração de cargas provenientes das substâncias húmicas presentes nas frações mais recalcitrantes da MOS (CANELLAS et al., 2003).

Com relação aos atributos físicos, alguns estudos têm evidenciado que o SPD altera a qualidade estrutural do solo à medida que os cultivos forem se sucedendo, devido ao contínuo aporte de material orgânico na superfície do solo e a ação benéfica das raízes das plantas em subsuperfície (LIMA et al., 2013). Contudo pode haver problemas de compactação, pois ocorrem alterações no arranjo estrutural, na consistência, volume e tamanho dos poros e na difusão de gases (RAMOS et al., 2010), que afetará o crescimento das raízes, sendo que todas essas alterações ocorrem devido à compactação causada pelo tráfego intenso de máquinas e implementos de grande porte (SILVEIRA JUNIOR et al., 2012).

A necessidade de se estabelecer os parâmetros qualitativos e quantitativos das condições estruturais do solo deve-se a demanda de obter informações sobre a eficiência do manejo e suas influências na produção agrícola (ROSSETTI e CENTURION, 2013). Neste contexto, Torres et al. (2015a) inferiram que alguns indicadores e índices de qualidade do solo quando utilizados de forma conjunta podem indicar as alterações ocorridas nos sistemas de manejo, como a resistência à penetração, estabilidade de agregados, densidade e porosidade do solo, entre outros.

Vale ressaltar que a qualidade física do solo, a taxa de decomposição da palhada e o aporte de matéria orgânica são influenciados pelas condições de temperatura e umidade presentes no agroecossistema. Com isso a utilização de sistemas de irrigação pode mudar a dinâmica de tais fatores, acelerando os processos de decomposição da palhada e mineralização da matéria orgânica (SOUZA et al., 2010; BICALHO, 2012) O objetivo deste estudo foi avaliar o uso de diferentes coberturas vegetais e quantificar as alterações causadas nos atributos físicos e na matéria orgânica do solo, em área sob cultivo irrigado por aspersão convencional.

2. CAPÍTULO I

PRODUÇÃO DE BIOMASSA, DECOMPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS E RELAÇÕES COM AS FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO

2.1 RESUMO

Produção de biomassa, decomposição dos resíduos e relações com as frações matéria orgânica do solo

O objetivo deste estudo foi quantificar a produção de biomassa, decomposição dos resíduos e relacionar com as alterações causadas nas frações da matéria orgânica do solo, em área sob cultivo irrigado, em Uberaba-MG. O delineamento utilizado foi o de blocos ao acaso, com sete tipos de cobertura do solo: 1- braquiária (B) (*Urochloa brizantha* cv marandú), 2- crotalária (C) (*Crotalaria juncea*), 3- milheto ADR 500 (M) (*Pennisetum glaucum* L.), 4- Mistura B+C, 5- B+M, 6- C+M, com três repetições cada. Além disso, foram feitas coletas em solo sob Mata Nativa, caracterizando um tratamento adicional. Avaliou-se a produção de biomassa fresca (BF) e seca (BS), a taxa de decomposição utilizando as sacolas de nylon (litter bags) aos 15, 30, 90 e 120 dias, avaliou-se o carbono orgânico total (CO), o estoque de carbono (EstC) e o coeficiente de matéria orgânica do solo (QMOS) nas profundidades de 0 a 5 e 5 a 10 cm. A taxa de decomposição foi mais elevada e os $T_{1/2}$ vida menores devido ao uso da irrigação durante o processo de decomposição da palhada; A braquiária apresentou a maior quantidade de biomassa seca produzida e a maior taxa de decomposição dos resíduos; A mistura de sementes de Fabáceas e Poáceas para produção de biomassa para áreas de plantio direto apresentou os melhores resultados para todos os parâmetros avaliados, quando comparado a plantas em monocultivo; O tratamento com a mistura de milheto + crotalária apresentou os maiores valores de carbono orgânico total e coeficiente da matéria orgânica na profundidade até 5 cm; Dentre as frações mais recalcitrantes da matéria orgânica, existe um predomínio das huminas na camada mais superficial áreas nos tratamentos avaliados.

Palavras-chave: plantas de cobertura, matéria orgânica, mineralização, carbono orgânico total.

2.2 ABSTRACT

Biomass production, residues decomposition and its relation to the soil organic matter fractions

The objective of this study was to quantify the biomass production, residues decompositions and to relate to the changes caused in the fractions of the soil organic matter, in irrigated area of Uberaba-MG. The experimental design was the completely randomized block, with seven soil covers: 1 - Brachiaria (B) (*Urochloa brizantha* cv. marandú), 2- Crotalaria (C) (*Crotalaria juncea*), 3- Millet (M) (*Pennisetum glaucum* L.), 4- B + C, 5- B + M, 6- C + M, with 3 repetitions. In addition, soil samples were collected under native forest, characterizing an additional treatment. Were evaluated the fresh (FB) e dry (DB) biomass production, decomposition rate using nylon bags at 15, 30, 90 and 120 days, total organic carbon (TOC), carbon stock (CEst) and soil organic matter coefficient (SOMQ) at depths of 0 to 5 and 5 to 10 cm. The decomposition rate was higher and the half-life shorter due to the use of irrigation system during the straw decomposition process. Brachiaria presented the highest values of dry biomass and decomposition rates of residues; the mixture of fabaceae and poaceae seeds to biomass production in no-tillage system presented the best results for all the parameters evaluated when compared to plants in monoculture; the treatment with the mixture millet + crotalaria presented highest values of total organic carbon and organic matter coefficient at 0-5 cm depth; among the most recalcitrant fractions of the organic matter there is a predominance of Humin in the superficial layer considering the treatments evaluated.

Keywords: cover crops; organic matter; mineralization, total organic carbon.

2.3 INTRODUÇÃO

O cerrado brasileiro ocupa uma área de 204 milhões de hectares, sendo considerado uma das principais fronteiras agrícolas do Brasil e que ainda está em franca expansão. É uma das regiões importantes para manutenção do nível elevado da produção brasileira de grãos no país (BRAZ et al., 2010), que atingiu 238,01 milhões de toneladas na safra 2016/2017 (CONAB, 2017).

Parte desta produção ocorreu em áreas cultivadas sob sistema plantio direto, que é o sistema mais indicado para manejo dos solos tropicais, por isso atingiu uma área total cultivada no país de 31,5 milhões de hectares (MHa) na safra 2001/12 (FEBRAPDP, 2012), 32 MHa na safra 2014/2015 (MHa) (MOTTER e GOELZER, 2015), com estimativa de atingir 33 MHa até 2020 (MAPA, 2011).

Este crescimento exponencial está comumente associado ao desenvolvimento de novas tecnologias de manejo de plantas invasoras, de rotação de culturas, do conhecimento das alternativas plantas de cobertura utilizadas no sistema para produção de biomassa, da decomposição e ciclagem de nutrientes proporcionados por estas plantas (TORRES et al., 2015a; 2016a).

Dentre as espécies utilizadas como cobertura vegetal na rotação de culturas no sistema plantio direto (SPD) no Cerrado, as mais utilizadas e que estão mais bem adaptadas às condições edafoclimáticas da região são as braquiárias, milheto e a crotalária (ASSIS et al., 2017; TORRES et al., 2017; PACHECO et al., 2017). Tais coberturas apresentam elevada capacidade de produção de biomassa seca no período chuvoso e seco, favorecem a cobertura do solo por um maior período de tempo, que após a decomposição dos seus resíduos vegetais e raízes proporcionam a manutenção ou aumento dos níveis de matéria orgânica e ciclagem de nutrientes ao solo (CARVALHO et al., 2011; ASSIS et al., 2013; TORRES e PEREIRA 2014)

No entanto, após o manejo da biomassa, a manutenção dos resíduos sobre o solo, a decomposição e ciclagem de nutrientes destes resíduos ocorre de maneira diferenciada, pois em condições naturais o processo é mais lento e em áreas irrigadas mais acelerado. Isto ocorre devido à decomposição da matéria orgânica ser diretamente influenciada pelas condições de temperatura e umidade do solo (TORRES et al., 2008; LEITE et al., 2010; PACHECO et al., 2011).

Alguns estudos têm mostrado que o estoque de matéria orgânica do solo (MOS) sob Cerrado apresenta rápida queda quando estes solos são submetidos a sistemas de manejo com intenso revolvimento, que podem se manter estáveis ou até aumentar quando

não ocorre o revolvimento (LOSS et al., 2016). Esta perda, manutenção ou ganho de MOS reflete diretamente sobre os atributos físicos e químicos do solo (BAYER et al. 2004).

Segundo Bernoux et al. (2006), 58% da MOS é constituída de carbono orgânico total (COT). Zotarelli et al. (2012) destacam que a rotação de culturas associada ao uso de plantas de cobertura pode reduzir as perdas de COT do solo pela manutenção dos resíduos vegetais na superfície do solo e proteção física da MOS no interior dos agregados. Lal (2004) aponta que o menor revolvimento do solo, a rotação de culturas, intercalando Poáceas e Fabáceas, aumenta a biodiversidade do solo, devido à adição de diversos materiais orgânicos, que tornam o ambiente capaz de absorver e acumular mais carbono em relação a ambientes de menor biodiversidade.

Algumas frações da MOS possuem compartimentos que podem expressar as alterações ocorridas na qualidade do solo em função do manejo adotado. Pode-se utilizar o carbono das frações húmicas da MOS (PEREIRA et al., 2012), o carbono oxidável (LOSS et al., 2013), o carbono das frações granulométricas da MOS (ROSSI et al., 2012) e o carbono da matéria orgânica leve em água (GUARESCHI et al., 2012) como indicadores para avaliar as mudanças no uso da terra.

Segundo Benites et al. (2003) os ácidos húmicos são responsáveis pela maior capacidade de troca catiônica (CTC) de origem orgânica nas camadas superficiais do solo, onde estão concentrados os resíduos culturais.

Avaliando as frações húmicas da MOS em área de soja cultivada sobre resíduos de braquiária e sorgo, Rossi et al. (2011) observaram que quanto às frações químicas da matéria orgânica, observou-se que houve um predomínio da fração humina, em relação às frações ácido húmico e ácido fúlvico, que o teor de COT difere entre os diferentes sistemas utilizados nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, que a introdução de braquiária no cultivo da soja em SPD proporcionou efeito positivo, favorecendo o acúmulo de carbono na fração humina, nas épocas avaliadas nas duas coletas avaliadas.

O presente estudo teve como objetivo quantificar a produção de biomassa, decomposição dos resíduos e relacionar com as alterações causadas nas frações da matéria orgânica do solo, em área sob cultivo irrigado, em Uberaba-MG.

2.4 MATERIAL E MÉTODOS

2.4.1 Localização

O estudo foi realizado em área experimental do Instituto Federal do Triângulo Mineiro (IFTM) Campus Uberaba/MG nas seguintes coordenadas 19°39'43.4" de latitude Sul e 47°57'57.8" de longitude Oeste a uma altitude de 795 m, entre setembro/2016 a agosto/2017.

2.4.2 Clima

O clima da região é classificado como Aw tropical quente, segundo Koppen (1948), com inverno frio e seco. A média anual de precipitação é de 1600 mm/ano e temperatura média de 22,6°C (SDET, 2009).

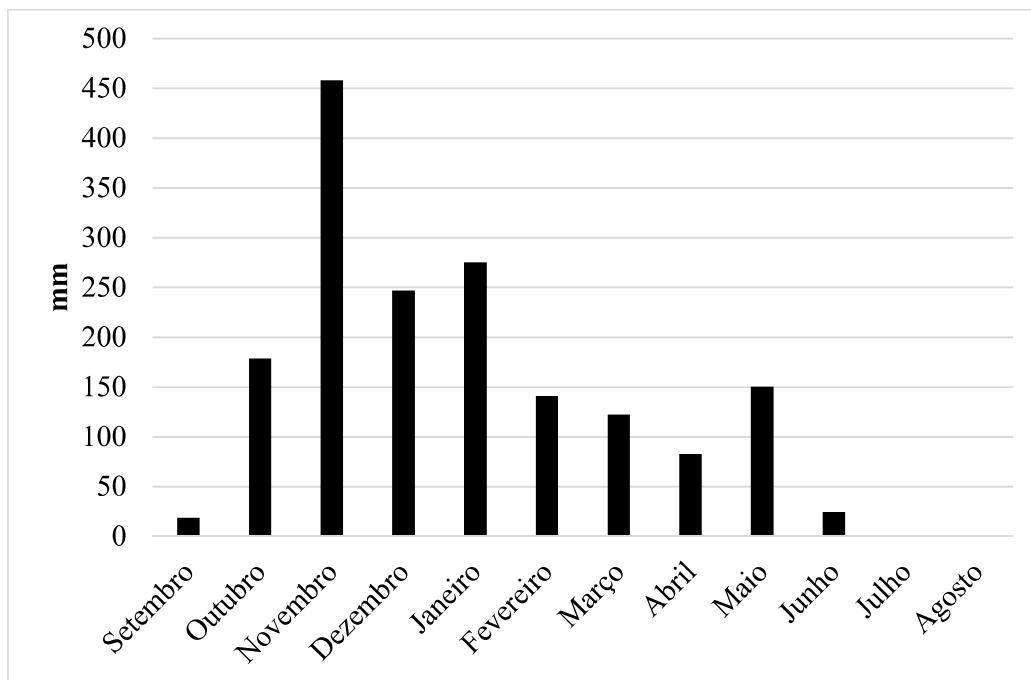


Figura 1. Chuvas acumuladas mensalmente durante o período de execução do experimento na região de Uberaba - MG. Fonte: INMET (2018).

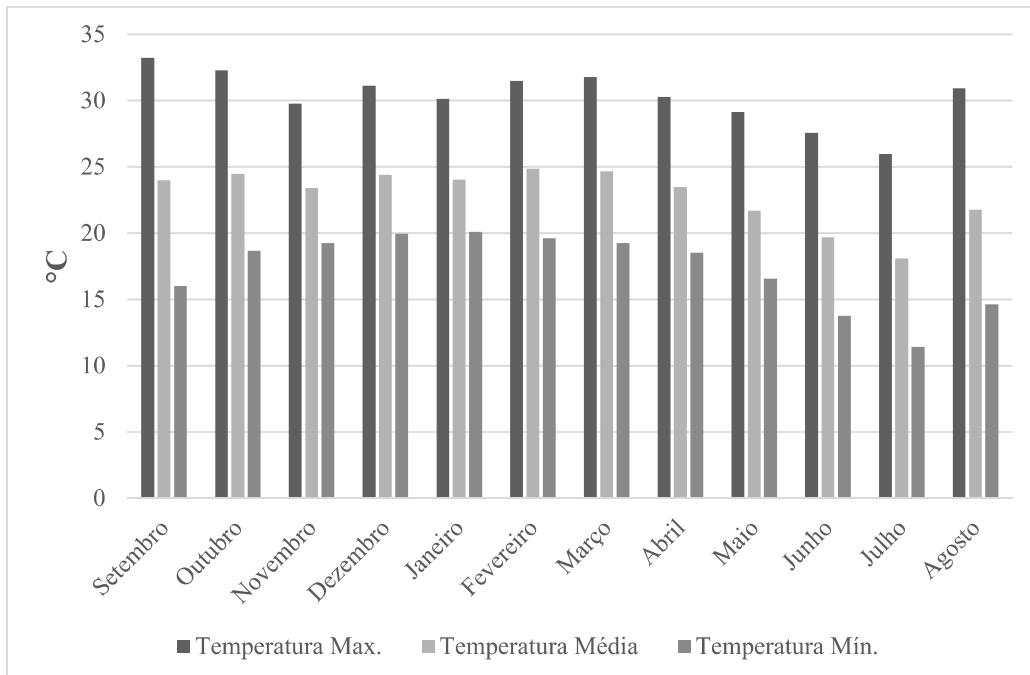


Figura 2. Temperatura Máxima, Mínima e Média, durante o período de execução do experimento na região de Uberaba - MG. Fonte: INMET (2018).

2.4.3 Solo

O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico (LVd) de textura média (EMBRAPA, 2013), apresentando na camada arável: pH em água = 5,67; 31,67 mg dm³ de P; 0,25 cmol_c dm³ de K; 1,57 cmol_c dm³ de Ca; 0,37 cmol_c dm³ de Mg e 3 cmol_c dm³ de H + Al. A topografia da região é caracterizada por superfícies planas ou ligeiramente ondulada, geologicamente formada por rochas sedimentares, basicamente o arenito (CANDIDO, 2008).

2.4.4 Delineamento Experimental

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, sendo utilizadas sete tipos de cobertura do solo: 1- braquiária (B) (*Urochloa brizantha* cv marandú), 2- crotalária (C) (*Crotalaria juncea*), 3- milheto ADR 500 (M) (*Pennisetum glaucum* L.), 4- B + C, 5- B + M, 6- M + C. Cada parcela compreendia uma área de 10 m x 6 m (60 m²) perfazendo no total 1080 m². Além disso, foram feitas coletas em solo sob Mata Nativa, caracterizando um tratamento adicional.

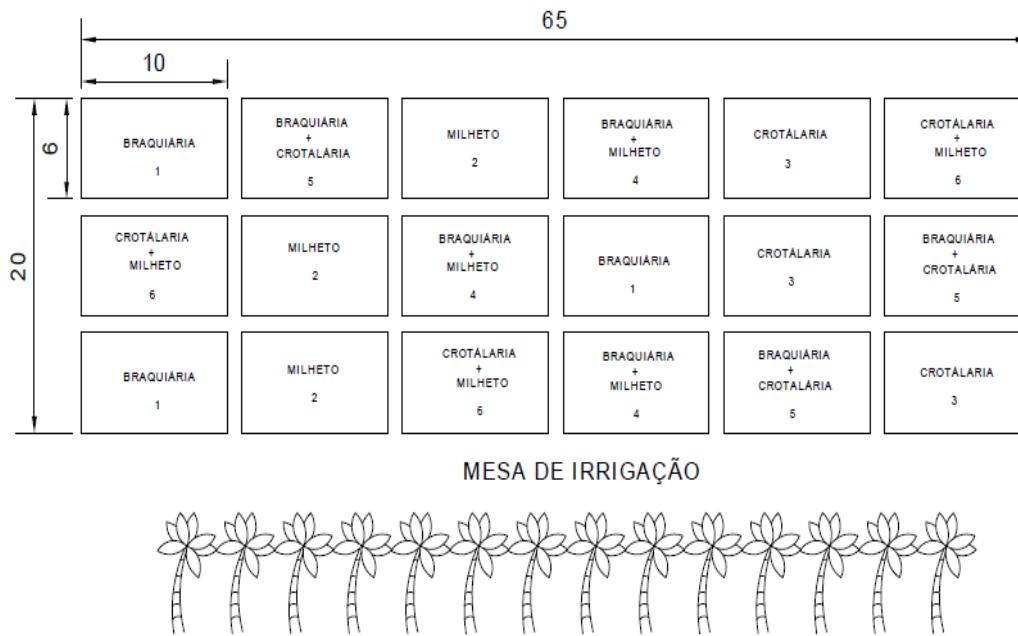


Figura 1. Croqui da área representando o delineamento experimental e os tratamentos.

2.4.5 Histórico da área

Nos últimos quatro anos a área foi cultivada sequencialmente com couve-flor, brócolis e repolho em sistema de plantio direto, sobre os resíduos culturais de braquiária, crotalária e milheto, irrigado via aspersão convencional. As mudas foram plantadas em covas, após atingiram o tamanho recomendado em bandejas de isopor em estufas.

2.4.6 Manejo plantas de cobertura: plantio, condução e manejo

A sulcagem e semeadura das culturas de cobertura de solo foram feitas de forma mecanizada com espaçamento de 0,50 m entre as linhas de plantio, sendo utilizadas 25, 50 e 50 sementes por metro de crotalária, braquiária e milheto, respectivamente.

O experimento foi conduzido entre os meses de setembro e novembro de 2016, quando 50% das plantas atingiram o máximo florescimento foram feitas amostragens em uma área útil de 2 m² por parcela. Este material foi levado à estufa de circulação forçada de ar, seco a 65 °C por 72 horas, pesado e os resultados expressos em kg ha⁻¹.

Após as amostragens, as plantas foram manejadas (dessecadas) em área total, utilizando-se os princípios ativos Glifosato 792,5 g kg⁻¹ + Sal de dimetilamina do ácido diclorofenoziacético 840 g L⁻¹, nas doses de 2 kg ha⁻¹ e 2 L ha⁻¹ do produto comercial, respectivamente.

2.4.7 Avaliações

2.4.7.1 Biomassa fresca, biomassa seca e teor de biomassa seca.

No material amostrado das diferentes coberturas foi determinada a biomassa fresca (BF), biomassa seca (BS) e o teor de biomassa seca (TBS), que estima a massa acumulada pela planta de cobertura no período avaliado.

2.4.7.2 Taxa de decomposição e tempo de meia vida dos resíduos culturais

Para avaliação da taxa de decomposição dos resíduos vegetais foi utilizado o método das sacolas de decomposição (litter bags) com malha de 2 mm, com dimensões de 0,20 x 0,20 m, conforme descrito por Santos e Whilford (1981). Logo após o manejo das plantas de cobertura, foram coletadas amostras da parte aérea, foram secas em estufa a 65°C até massa constante. A seguir foram coletadas 20 g deste material seco e colocado nas sacolas de decomposição (litter bags). Posteriormente foram distribuídas quatro sacolas contendo a massa seca das coberturas vegetais na respectiva parcela, onde cada amostra foi colhida. Estas sacolas foram coletas aos 15, 30, 90 e 120 dias após a distribuição das sacolas no campo. Em cada amostragem foram coletadas três sacolas por tratamento (1/parcela). Após a coleta das amostras, o resíduo vegetal de cada sacola foi limpo manualmente sobre peneira de malha de 0,053 mm, secado em estufa de circulação forçada de ar a 65°C até massa constante, depois moído e armazenado em local adequado, para posterior análise.

Para descrever a decomposição dos resíduos vegetais foi aplicado o modelo matemático exponencial descrito por Thomas e Asakawa (1993), do tipo $X = X_0 e^{-kt}$, em que X é a quantidade de biomassa seca remanescente após um período de tempo t , em dias; X_0 é a quantidade inicial de biomassa seca e k é a constante de decomposição do resíduo.

Com o valor de k , foi calculado o tempo de meia-vida ($T^{1/2}$) dos resíduos remanescentes, com o uso da fórmula $T^{1/2} = 0,693/k$, proposta por Paul e Clark (1996), que expressa o período de tempo necessário para que metade dos resíduos se decomponha. Foram elaboradas equações matemáticas da decomposição de biomassa seca, utilizando o Software SigmaPlot, versão 10.

2.4.7.3 Carbono orgânico total e seu estoque no solo

Foram coletadas 3 amostras de solo deformadas em todas as parcelas nas profundidades de 0,00 a 0,05 m e 0,05 a 0,10 m, com auxílio do trado holandês. Após a coleta, as amostras foram secas ao ar durante 72 h, destorroadas e passadas em peneira de 2 mm de malha, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA).

Para determinação do Carbono orgânico total (COT) utilizou-se a metodologia de Walkley e Black (1934) adaptado por Yeomans e Bremner (1988), onde é utilizada uma amostra de 0,5 g de solo, que são macerados e passados por peneira de 60 mesh. O material obtido foi colocado em erlenmeyer de 250 mL e posteriormente adicionado 5 mL de $K_2Cr_2O_7$ a uma concentração de 0,1667 mol L^{-1} e 10 mL de H_2SO_4 concentrado a cada amostra, em quatro tubos vazios (brancos).

Os tubos foram acometidos em bloco digestor pré-aquecido a 150°C durante 30 minutos, sob exaustão. Posteriormente o conteúdo dos tubos foram transferidos para frascos Erlenmeyer de 125 mL (amostras + dois brancos aquecidos + dois brancos sem aquecimento), onde foi adicionado 3 gotas de indicador Ferroin titulou-se com sulfato ferroso amoniacial com concentração igual a 0,25 mol L^{-1} sob agitação. Posteriormente a coleta dos dados o COT em cada amostra foi determinado pela equação 2.

$$COT = V \times (M \times (Peq) \times 100) / Pam$$

Equação 1

Em que M = concentração da solução de sulfato ferroso amoniacial; Peq = peso equivalente de C (0,003 mg); e Pam = peso da amostra de solo (mg).

Para o cálculo do volume de sulfato ferroso amoniacial gasto na titulação (V) foi utilizada a seguinte equação 3.

$$V = (V_{bc} - V_a) (V_s - V_{bc}) / V_{bs} + (V_{bc} - V_a)$$

Equação 2

Em que V_{bc} = volume de sulfato ferroso amoniacial utilizado na titulação do branco com aquecimento (mL); V_{bs} = volume de sulfato ferroso amoniacial usado na titulação do branco sem aquecimento (mL); e V_a = volume de sulfato ferroso amoniacial utilizado na titulação da amostra (mL).

2.4.7.4 Estimativa da quantidade de matéria orgânica do solo a partir do de carbono orgânico total do solo.

A partir dos valores calculados de COT, estimou-se a QMOS utilizando a metodologia proposta pelo IPCC (2003).

- Cálculo do acúmulo ou quantidade da matéria orgânica do solo

Para o cálculo da QMOS foi utilizada a fórmula:

$$\text{QMOS} = \text{Ds} \times \text{h} \times \text{MOS} \times 10 \quad \text{Equação 3}$$

Em que: QMOS = quantidade de matéria orgânica do solo (Mg ha^{-1}); DS = densidade do solo (g cm^{-3}); h = espessura da camada do solo (cm); MOS = teor de matéria orgânica do solo (dag kg^{-1}).

2.4.7.5 Fracionamento da matéria orgânica no solo

As substâncias húmicas foram separadas em três frações: ácido fúlvico (AF), ácidos húmicos (AH) e humina (HUM), sendo utilizada a técnica de solubilidade diferencial estabelecida pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas conforme técnica adaptada e apresentada por Benites et al. (2003).

- Preparo das amostras

Inicialmente pesou-se uma amostra de solo (TFSA) de 2 g que continha aproximadamente 30 mg de carbono orgânico total (COT). Posteriormente transferiu-se o solo para tubos tipo falcon e adicionou-se 20 mL de NaOH a uma concentração de 0,1 mol L. Em seguida agitou-se manualmente as amostras deixando-as em repouso por 24 h. Após o tempo em descanso as amostras foram centrifugadas a 5000 g por 30 min e separou-se o sobrenadante em copos plásticos descartáveis de 50 mL.

Às amostras foram adicionados mais 20 mL de NaOH a uma concentração de 0,1 mol L⁻¹ e agitou-se até o desprendimento e ressuspensão do precipitado. Deixou-se a suspensão em repouso por 1 h e logo após o tempo de descanso foi centrifugada novamente a 5000 g por 30 min. Recolheu-se o sobrenadante adicionando-o a um extrato alcalino (pH = 13,0) e reservou-se o precipitado.

Posteriormente ajustou-se o extrato alcalino para pH 1,0 ($\pm 0,1$), pela adição de gotas de solução de H₂SO₄ 20%, dentro de copo plástico de 50 mL, deixando descansar por 18 h. Posteriormente o precipitado foi filtrado em filtro com membrana de 0,45 μm

sob vácuo. O conteúdo filtrado foi recolhido e seu volume aferido para 50 mL usando água destilada (fração ácidos fúlvicos) e adicionou-se NaOH a uma concentração de 0,1 mol L⁻¹ sobre o precipitado até lavagem completa do filtro e aferiu-se seu volume para 50 mL usando água destilada (fração ácidos húmicos).

2.4.7.6 Determinação da humina

Para a determinação do teor de carbono orgânico total (COT) na fração humina, inicialmente transferiu-se 10 mL do precipitado dos tubos da centrífuga de 50 mL para tubos de digestão. Secou-se em estufa aquecida a 65°C até secagem completa. Posteriormente adicionou-se 5 mL DE K₂Cr₂O₇ a uma concentração de 0,1667 mol L⁻¹ e 10 mL de H₂SO₄ concentrado a cada amostra e em quatro tubos vazios (brancos).

Os tubos foram acometidos em bloco digestor pré-aquecido a 150°C durante 30 minutos, sob exaustão. Posteriormente o conteúdo dos tubos foi transferido para frascos Erlenmeyer de 125 mL (amostras + dois brancos aquecidos + dois brancos sem aquecimento). Adicionou-se 3 gotas de indicador FERROIN titulou-se com sulfato ferroso amoniacial com concentração igual a 0,25 mol L⁻¹ sob agitação. A quantidade de C na forma de humina foi calculada mediante a seguinte equação 5.

$$X = (V_{baq} - V_{am}) \text{NSFA}_{corr} \times 12 \div 4 \times 1 \div \text{peso da amostra(g)} \quad \text{Equação 4}$$

Em que: X = mg C na forma de humina (mg de C humina g⁻¹ solo); V_{baq} = Volume (mL) de Sulfato Ferroso Amoniacal (SFA) consumido na titulação do branco aquecido; V_{am} = Volume (mL) de SFA consumido na titulação da amostra; NSFA_{corr} = Normalidade do SFA corrigida pela equação 6.

$$\text{NSFA}_{corr} = \frac{\text{vol. de dicromato} \times \text{normalidade do dicromato}}{\text{vol de SFA consumido na titulação do branco s/aquecimento}} \quad \text{Equação 5}$$

2.4.7.7 Ácidos húmicos e fúlvicos

Para determinação do teor de carbono orgânico total (COT) na fração ácido húmico e ácido fúlvico inicialmente transferiu-se uma alíquota de 5 mL da solução de ácido húmico e fúlvico, separadamente, para tubos de digestão, utilizando uma pipeta automática. Posteriormente adicionou-se 1 mL de K₂Cr₂O₇ a uma concentração de 0,042 mol L⁻¹ e 5 mL de H₂SO₄ concentrado a cada amostra e em quatro tubos contendo 5 mL

de água destilada (brancos). Os tubos foram acometidos em bloco digestor pré-aquecido a 150°C durante 30 minutos, sob exaustão.

Posteriormente o conteúdo dos tubos foi transferido para frascos Erlenmeyer de 125 mL (amostras + dois brancos aquecidos + dois brancos sem aquecimento). Adicionou-se 3 gotas de indicador Ferroin titulou-se com sulfato ferroso amoniacial com concentração igual a 0,0125 mol L⁻¹ sob agitação. A quantidade de C na forma de ácido húmico ou fúlvico foi calculada mediante a seguinte equação 7.

$$X = (V_{baq} - V_{am}) \text{NSFA}_{corr} \times 12 / 4 \times 50 / \text{alíquota (mL)} \times 1 / \text{peso amostra(g)} \quad \text{Equação 6}$$

Em que: X = mg C na forma de ácido húmico ou ácido fúlvico por grama de solo; V_{baq} = Volume (mL) de SFA consumido na titulação do branco aquecido; V_{am} = Volume (mL) de SFA consumido na titulação da amostra; NSFA_{corr} = Normalidade do SFA corrigida pela Equação 4.

2.4.8 Análise estatística

Os dados foram coletados e tabulados e posteriormente realizou-se análise de variância seguida de teste de agrupamento de Scott-Knott ($p < 0,05$) e gerados gráficos para melhor entendimento. Para tal foi utilizado o programa estatístico R.

2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.5.1 Biomassa fresca, seca e teor de biomassa seca

Analizando os valores obtidos para produção de biomassa fresca (BF) e seca (BS) (Tabela 1), observou-se que a braquiária teve desempenho destacado quando cultivada isoladamente (23,35 e 11,90 Mg ha⁻¹) e quando consorciada com crotalária (34,48 e 11,90 Mg ha⁻¹), respectivamente, onde ocorreram as maiores produções.

Com relação ao teor de biomassa seca (TBS), a braquiária apresentou a maior porcentagem (51%), seguida pela mistura braquiária + milheto (37,97%), o que indica que estas plantas acumularam mais BS e absorveram menos água em todo o seu processo de desenvolvimento.

Estes resultados comprovam a boa adaptação destas plantas de cobertura em monocultivo ou em misturas às condições edafoclimáticas do Cerrado, que ao serem semeadas no início do período chuvoso na região (setembro a dezembro de 2016) (Figura

1), produziram elevadas quantidades de biomassa fresca, superiores a outros estudos conduzidos em áreas próximas na região.

Tabela 1. Produção de biomassa fresca (BF), seca (BS) e teor de biomassa seca (TBS) das diferentes coberturas cultivadas em Uberaba-MG, no ano agrícola 2016/2017.

Coberturas	BF	BS	TBS
 Mg ha ⁻¹	%	
Braquiária (B)	23,35 b	11,90 a	50,96
Milheto (M)	25,90 b	8,30 b	31,97
Crotalária (C)	16,63 c	5,00 c	30,01
M + C	23,87 b	6,93 b	29,03
B + C	34,48 a	7,24 b	21,00
B + M	18,20 c	6,92 b	37,97
F	40,81*	30,41*	---
CV (%)	7,25	9,43	---

* = Significativo ($p<0,05$). Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p<0,05$).

A produção de BS obtida neste estudo ficou dentro das faixas de 6,0 e 13,0 Mg ha⁻¹, 7,0 a 12,0 Mg ha⁻¹ e 4,0 e 9,0 Mg ha⁻¹, relatadas em outros estudos conduzidos no cerrado, para braquiária, milheto e crotalária, respectivamente (CRUSCIOL e SORATTO 2009; CARVALHO et al., 2011; TORRES et al., 2015a).

2.5.2 Taxa de decomposição e tempo de meia vida da biomassa

Analizando a taxa de decomposição dos resíduos observou-se que as maiores taxas ocorreram na braquiária e pousio, que ao final de 120 dias apresentavam somente 39,7 e 44,0% dos resíduos depositados na superfície de o solo, enquanto que a mistura M + B e milheto em monocultivo apresentavam 58,2 e 56,5%, respectivamente, o que demonstra que estas taxas são alteradas quando as plantas são misturadas, que provavelmente também altera o processo de ciclagem e liberação de nutrientes para as culturas subsequentes.

Analizando a taxa de decomposição dos resíduos observou-se que a maior taxa ocorreu na braquiária (58,05%) e a menor na mistura braquiária (B) + milheto (M) (41,45%), que ao final dos 120 dias avaliados ainda restavam 41,95% e 58,55% da BS remanescente sobre a superfície do solo (Figura 2).

Esperava-se que as maiores taxas de decomposição ocorressem na crotalária, por ser uma Fabácea e ter uma menor relação carbono/nitrogênio (C/N), quando comparado às Poáceas, como comprovado em alguns outros estudos conduzidos no cerrado (LEITE

et al., 2010; PACHECO et al., 2011; TORRES et al., 2015a; 2017). Contudo isto não ocorreu neste estudo, sendo que este comportamento foi comprovado na braquiária em monocultivo, que talvez seja justificado pelo menor TBS, ou seja, foi a planta que absorveu mais água no estudo.

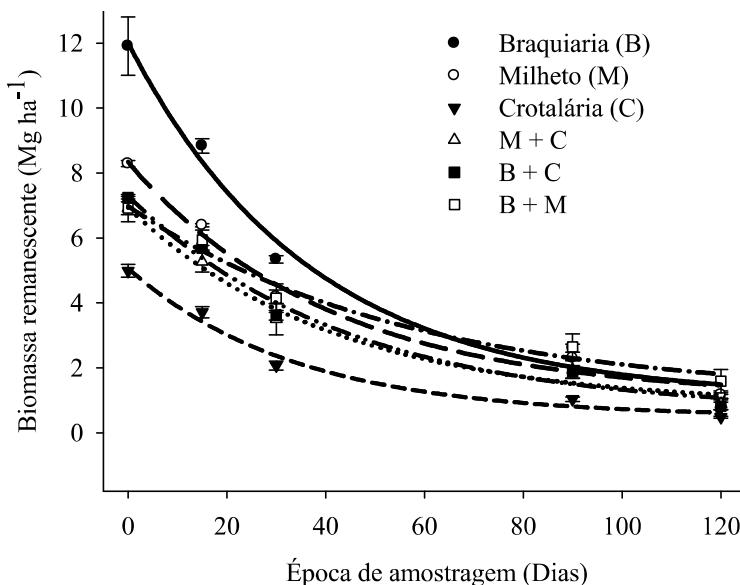


Figura 2. Biomassa seca remanescente dos resíduos de diferentes coberturas, em área sob cultivo direto de hortaliças.

Através da constante de decomposição (k) das curvas de regressão pode-se estimar o tempo de meia vida ($T^{1/2}$ vida) dos resíduos, que mostra que a decomposição é mais acelerada nas áreas irrigadas, pois este $T^{1/2}$ vida é mínimo e variou entre 23,33 a 38,93 dias (Tabela 2).

Este comportamento pode ser explicado pelas condições de temperatura e umidade elevadas neste período do ano, além da área ser irrigada diariamente para produção de hortaliças, o que acelera o processo de decomposição.

Em condições naturais na mesma região, em estudo semelhante avaliando a produção de biomassa e a mineralização dos resíduos de diferentes plantas de cobertura em plantio direto, em áreas cultivadas com milho e soja, Torres et al. (2008) verificou $T^{1/2}$ vida superiores para o milheto (131 dias), Crotalária (98 dias) e Braquiária (56 dias), valores estes superiores aos obtidos neste estudo, evidenciasse que as condições de umidade e temperatura existente na área irrigada aumentaram significativamente a taxa de decomposição dos resíduos, acelerando o processo.

Tabela 2. Constante de decomposição (k) e tempo de meia-vida ($T^{1/2}$ vida) da biomassa remanescente de diferentes coberturas do solo em área sob plantio direto irrigado.

Coberturas	Biomassa			
	Total		Remanescente	
	Mg ha ⁻¹	k g g ⁻¹	T ^{1/2} vida dias	r ²
Braquiária (B)	11,90 a	0,0272	25,48	0,99
Milheto (M)	8,30 b	0,0245	28,28	0,99
Crotalária (C)	5,00 c	0,0297	23,33	0,99
M+C	6,93 b	0,0242	28,64	0,99
B + C	7,24 b	0,0228	30,39	0,99
B + M	6,92 b	0,0178	38,93	0,99
F	30,41*	--	--	--
CV (%)	9,43	--	--	--

* = Significativo (p<0,05); r² = Coeficiente de determinação.

Porém é possível notar que mesmo nas condições de altas temperaturas e umidade da área irrigada, o tratamento composto por duas Poáceas apresentou o maior $T^{1/2}$ vida (38,93 dias). Avaliando a taxa de decomposição de resíduos vegetais oriundos de diferentes coberturas vegetais, Rossi et al. (2013) alcançaram resultados semelhantes, constatando que mesmo em elevadas condições térmicas e de umidade as Poáceas apresentaram maior $T^{1/2}$ vida que as demais coberturas.

Alguns estudos conduzidos avaliando a decomposição dos resíduos de milheto, crotalária e braquiária em condições naturais evidenciaram que as maiores taxas sempre ocorrem nas Fabáceas e os menores nas Poáceas (KLIEMANN et al., 2006; CARVALHO et al., 2011; ASSIS et al. 2013; TORRES et al., 2008; 2015a, 2017), que os valores são diretamente influenciados pela umidade do solo, pois a decomposição aumenta paralelamente ao aumento da umidade que ocorre no período chuvoso e diminuem, a valores mínimos, no período seco do ano (TORRES et al., 2008; BOER et al., 2008; LEITE et al., 2010; PACHECO et al., 2017).

2.5.3 Estimativa da quantidade de matéria orgânica do solo a partir do carbono orgânico total do solo

De forma geral, na profundidade até 5 cm, as misturas milheto (M) + crotalária (C) (1,94 dag kg⁻¹) e braquiária (B) + C (1,79 dag kg⁻¹) apresentaram os maiores teores de COT, que foram significativamente diferentes dos demais tratamentos e estatisticamente iguais ao valor da mata nativa (1,80 dag kg⁻¹), representado pela linha tracejada na figura 3. Enquanto que na profundidade entre 5 e 10 cm, não houve diferença

entre os tratamentos, mesmo a mistura M + C tendo o maior valor numérico, todos os tratamentos ficaram com valor abaixo da mata nativa ($1,64 \text{ dag kg}^{-1}$) (Figura 3).

Contudo, torna-se importante destacar que os menores valores de COT na profundidade até 5 cm foram observados nas áreas com milheto e crotalária em monocultivo, que ao ter suas sementes misturadas passaram a apresentar os melhores resultados. Isto sugere que a mistura de sementes de Fabáceas e Poáceas em uma mesma parcela, diminuiu a relação C/N de ambas as plantas, que é comprovado pelo aumento do $T^{1/2}$ vida destas misturas, quando comparado com a planta em monocultivo (Tabela 2).

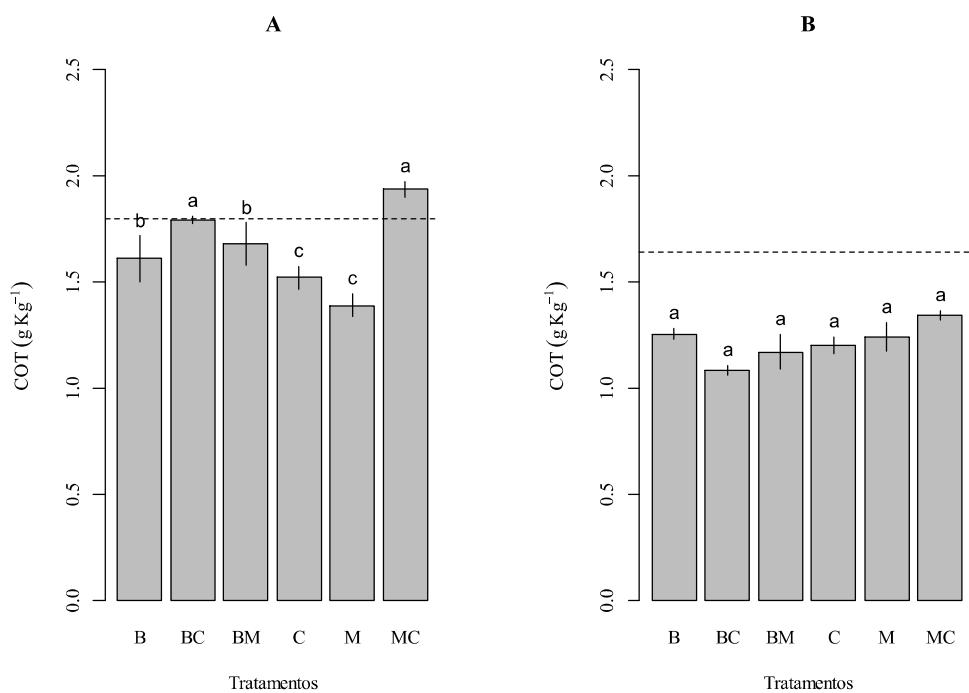


Figura 3. Carbono Orgânico Total (COT) avaliados do solo avaliado sob diferentes coberturas vegetais e suas misturas, nas profundidades de 0 a 5 (A) e 5 a 10 cm (B), em comparação a mata nativa (Linha tracejada).

Segundo Giacomini et al. (2003), a mistura de Fabáceas e Poáceas em uma mesma área vem sendo realizada com o objetivo de proporcionar uma cobertura que permaneça mais tempo sobre a superfície do solo, pois o consorcio destas sementes produzem resíduos com relação C/N intermediária, quando comparado aquela das espécies em cultivo isolado, o que resulta em uma menor taxa de decomposição dos resíduos da Fabácea.

Em seus estudos, Bettoli e Sá (2013) e Siqueira Neto et al. (2014) observaram que nas misturas onde tem a presença da crotalária ocorre um aumento na produção de biomassa, talvez pelo fornecimento de nitrogênio via fixação biológica, que favorece o desenvolvimento da Poáceas.

Em estudo com diferentes coberturas vegetais comparando diferentes sistemas de manejo, Pereira et al. (2010) constataram que a utilização do milheto como cobertura vegetal auxilia na incorporação mais profunda do carbono do solo, que está relacionado ao maior desenvolvimento do sistema fasciculado de suas raízes e por ter menor relação C/N, com isso decompõe seus resíduos mais lentamente.

Quando comparadas as profundidades em cada tratamento, foi possível observar que em todas as coberturas vegetais na camada mais superficial (0 a 5 cm), os valores foram significativamente superiores ($p<0,05$), quando comparado à camada de 5 a 10 cm. Isto ocorre nas áreas sob SPD, pois os teores de matéria orgânica são concentrados majoritariamente nas camadas mais superficiais do solo (Figura 4).

Segundo Anghinoni (2007), nos primeiros 5 anos de uso, o SPD está em sua fase inicial de adoção, na qual se tem no solo baixos teores de COT, baixo acúmulo de palhada, restabelecimento da atividade microbiana, entre outras, mesmo assim, os maiores valores de COT são observados nas camadas mais superficiais do solo. Pereira et al. (2010) estudando diferentes coberturas vegetais e sua influência nos teores de COT de um Latossolo Vermelho distrófico típico, quando comparando as profundidades avaliadas, constatou valores superiores de COT nas camadas mais superficiais, a semelhança dos resultados aqui apresentados.

Em áreas com sistema plantio direto implementados por um longo período de tempo, Bayer et al. (2004) e Jantalia et al. (2003) destacam que a profundidade de concentração da MOS permanece superficial, devido a uma alta taxa de mineralização encontrada em solos tropicais (LAL, 2006).

Avaliando o estoque de carbono (EstC) em diferentes sistemas de manejo, Pereira et al. (2010) constaram que o uso do milheto possibilitou maiores valores médios de EstC na camada de 0 a 20 cm, em comparação a outras coberturas vegetais tais como crotalária e vegetação espontânea. No mesmo estudo foi verificado que a utilização do milheto auxilia na incorporação do carbono em profundidade, pois teve melhor desempenho em monocultivo ou em misturas.

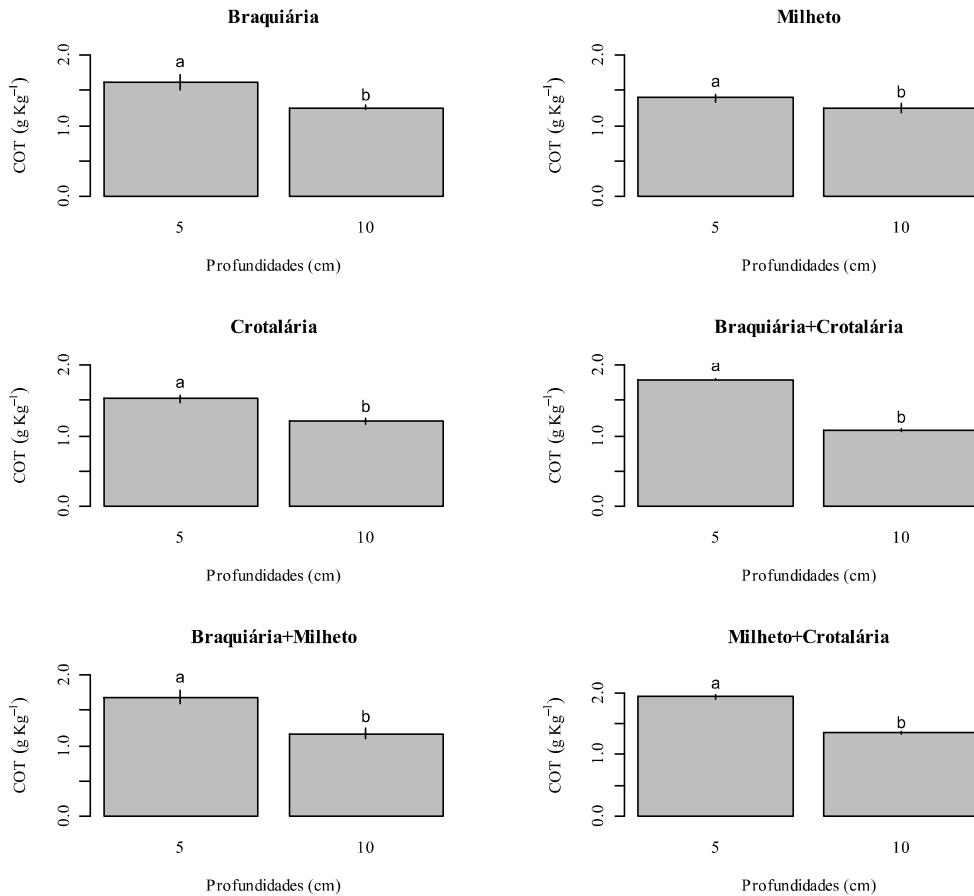


Figura 4. Carbono Orgânico Total (COT) entre as profundidades de 0 a 5 (5) e 5 a 10 (10) cm, por cobertura avaliada, em Uberaba-MG.

Segundo Lal (2006), a fixação do carbono no solo é um processo natural que envolve a transferência do carbono atmosférico para o solo, via transformações físicas e químicas, até que ocorra o processo de humificação da serapilheira, sendo que somente de 5 a 15% desta biomassa depositada na superfície do solo é humificada, que este processo depende, dentre outros fatores, da qualidade e quantidade do material depositado e do manejo utilizado. Ruthner e Sevegnani (2012) destacam que o maior acúmulo de serapilheira na superfície do solo se deve à menor taxa de decomposição, que proporciona maior proteção do solo e retenção de carbono nos resíduos ao longo do tempo.

Com relação ao coeficiente da matéria orgânica do solo (QMOS), os valores são significativamente maiores nas áreas com misturas ($p<0,05$), na camada mais superficial, com destaque para M + C ($34,22 \text{ Mg ha}^{-1}$), B + C ($30,87 \text{ Mg ha}^{-1}$) e B + M ($28,07 \text{ Mg ha}^{-1}$), quando comparados à mata nativa ($22,65 \text{ Mg ha}^{-1}$) (Figura 5). Este comportamento

pode ser explicado pela maior produção biomassa das misturas, ter decomposição mais lenta devido a menor relação C/N, que aumenta o tempo de meia vida dos resíduos vegetais, que por sua vez são incorporados lentamente na camada superficial do solo.

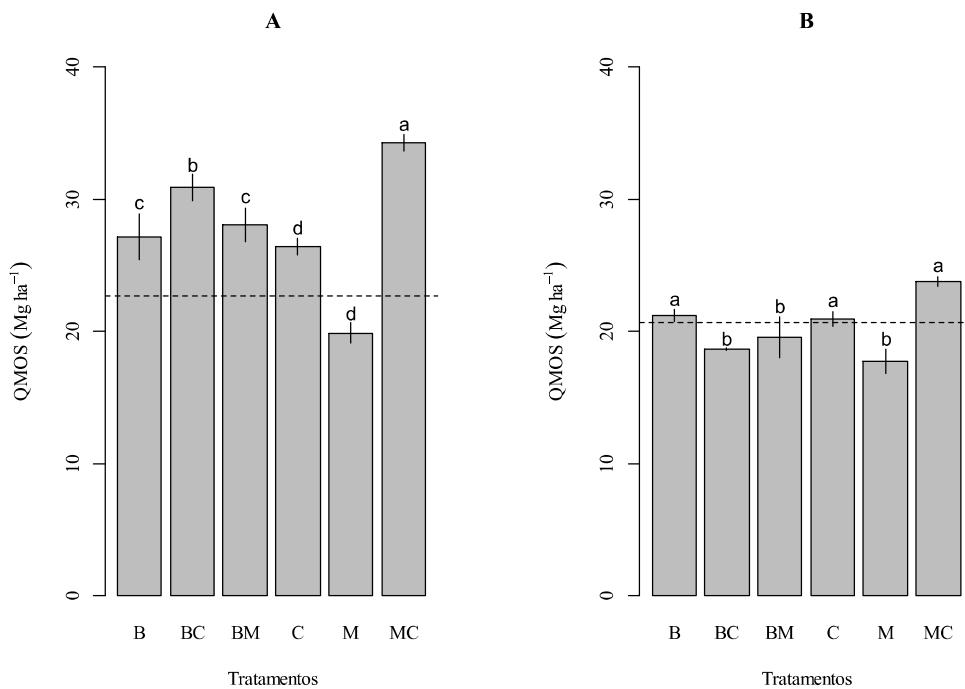


Figura 5. Quantidade de matéria orgânica estimada (QMOS) sob diferentes coberturas vegetais, nas profundidades de 0 a 5 (A) e 5 a 10 cm (B), em comparação a mata nativa (Linha tracejada).

Segundo Lal (2006) o aumento do COT e do estoque de carbono (EstC) no solo ocorrem lentamente, via biomassa depositada na superfície do solo e de raízes mortas. Denef et al. (2008) destacam ainda que ocorre maiores aumentos de COT nas áreas manejadas com irrigação, decorrentes da maior deposição de resíduos vegetais na superfície do solo, como consequência alteram os coeficientes da MOS do solo.

Analizando a fertilidade e COT oxidável de um Latossolo no cerrado sob pastagem, Loss et al. (2013) observaram que nas áreas irrigadas os teores de COT foram maiores, justificando que isto se deve ao maior aporte de biomassa aérea e radicular, que este aumento é mais perceptível nas frações lábeis da MOS.

Na profundidade de 5 a 10 cm, os maiores QMOS ocorreu nas áreas com mistura M + C (23,77 Mg ha⁻¹), braquiária (21,17 Mg ha⁻¹) e crotalária (20,95 Mg ha⁻¹) se diferiram dos demais tratamentos.

Em ambas as profundidades avaliadas (0 – 5 e 5 – 10 cm), QMOS foi maior nas áreas onde havia Poácea em monocultivo ou na mistura, pois estas plantas apresentam enraizamento amplo e profundo, que promovem um maior fluxo da matéria orgânica entre as camadas do solo (OSTERROHT, 2002).

2.5.4 Determinação do Ácido Húmico, Ácido Fúlvico e Humina.

Analizando os teores das frações da matéria orgânica (ácidos húmicos, fúlvicos e humina) nas profundidades, observou-se que os valores sempre foram significativamente maiores ($p<0,05$) na profundidade até 5 cm, quando comparados a camada entre 5 – 10 cm, o que é comum ocorrer nesta camada, pois todo o aporte de resíduos vegetais é depositado na superfície do solo, sem incorporação, com a mineralização da matéria orgânica esta camada recebe o maior aporte de matéria orgânica oriunda de tal processo (Figura 6).

Segundo Kuzyakov e Domanski (2000), quando os componentes das plantas apresentam maiores concentrações de lignina e compostos aromáticos (maior relação C/N), esse material apresenta uma decomposição mais lenta, contribuindo para a manutenção de substâncias orgânicas no solo nas camadas mais superficiais.

Em área de mata nativa no estado do Pernambuco, o teores de C das substâncias húmicas da MOS foram quantificados por Pessoa et al. (2012). Para a camada de 0-5 cm, os valores encontrados foram de 4,7; 11,0 e 20,5 g kg⁻¹ para as frações ácido fúlvico, ácido húmico e humina, enquanto que na camada de 5 – 10 cm, os teores de foram de 4,1; 8,9 e 15,2 g kg⁻¹, respectivamente.

Estudando as alterações físicas e químicas em um Argissolo Amarelo distrófico, Araújo et al. (2004) evidenciaram resultados semelhantes aos encontrados neste estudo, constatando que as maiores variações das frações são encontradas nas camadas mais superficiais do solo.

No que concerne aos teores de ácido húmico, fúlvico e humina, não houve interação entre os tratamentos envolvendo as coberturas vegetais e estas frações da matéria orgânica, contudo, foi possível verificar que dentre as frações existe um predomínio da humina em relação aos teores de ácido fúlvico e ácido húmico na camada

de 0 a 10 cm, que apresentaram os valores de 9,96; 2,04 e 1,33 g kg⁻¹, respectivamente. Isto ocorre devido às huminas apresentarem maior estabilidade quando comparadas aos ácidos húmicos e ácidos fúlvicos, que por possuírem uma menor estabilidade são mais facilmente mineralizados conforme também constatado por Fontana et. al. (2010).

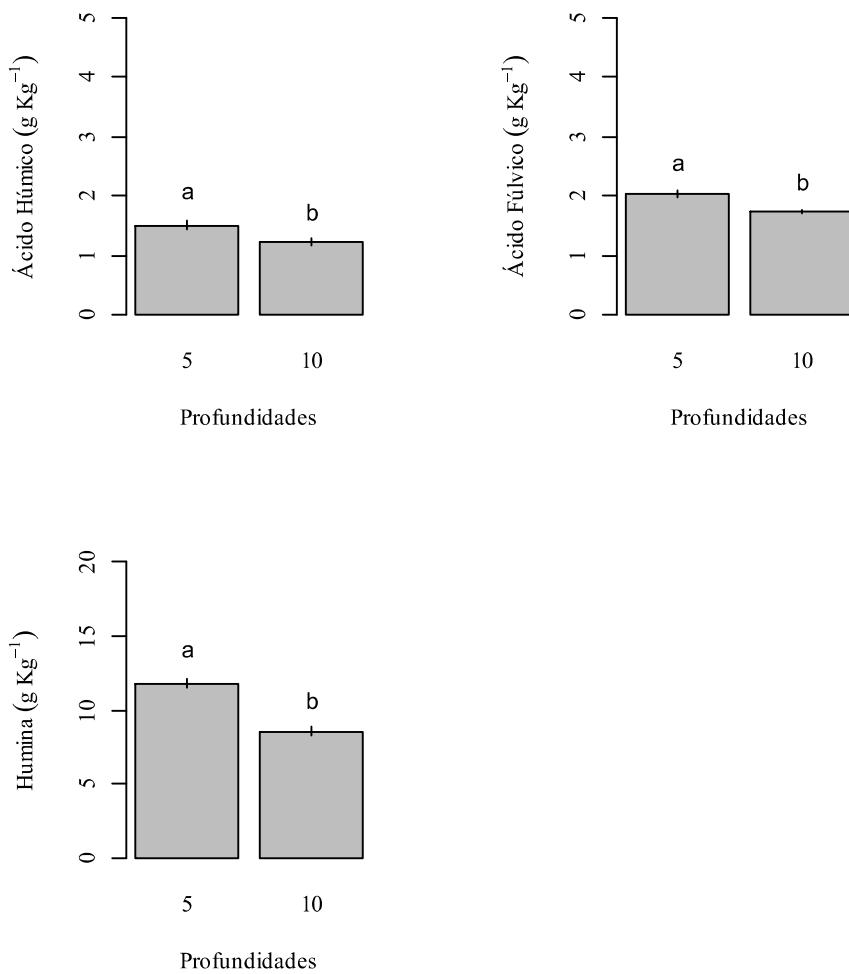


Figura 6. Valores médios de ácido húmico, ácido fúlvico e humina entre as profundidades de 0 a 5 e 5 a 10 cm, em Latossolo Vermelho, em Uberaba, MG.

De forma geral, a fração humina apresentou os maiores teores de carbono quando comparado às demais frações de ácidos húmicos e fúlvicos. Em diversos estudos onde foi avaliado o uso e o manejo dos solos também foi observado o predomínio do carbono da fração humina em relação às outras frações (ASSIS et al., 2006; CAMPOS et al., 2013; GUARESCHI et al., 2013; BEZERRA et al., 2013).

2.6 CONCLUSÕES

A braquiária apresentou a maior produção de palhada e cobertura do solo dentre as coberturas vegetais estudadas.

As misturas de sementes de Fábaceas e Poáceas apresentaram os melhores resultados para todos os parâmetros avaliados.

Dentre as frações mais recalcitrantes da matéria orgânica (Huminas, Ac. Húmicos e Ac. Fúlvicos) existe um predomínio das Huminas nos perfis estudados, além de haver suas maiores concentrações nas camadas mais superficiais do solo em Sistema Plantio Direto.

3. CAPÍTULO II

QUALIDADE FÍSICA SOLO CULTIVADO COM DIFERENTES COBERTURAS VEGETAIS SOB PLANTIO DIRETO IRRIGADO

3.1 RESUMO

Qualidade física solo sob diferentes coberturas vegetais sob plantio direto irrigado

O aporte contínuo de material orgânico, a ação benéfica das raízes das plantas e a proteção oferecida pelos resíduos culturais à superfície do solo têm causado alterações positivas na qualidade estrutural do solo à medida que os cultivos vão se sucedendo nas áreas em sistema de plantio direto (SPD). O objetivo deste estudo foi avaliar a qualidade física do solo em áreas cultivadas com diferentes coberturas, antecedendo o cultivo de hortaliças irrigadas. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, sendo seis tipos de cobertura do solo: 1- braquiária (B); 2 - crotalária juncea (C); 3 - milheto ADR 500 (M); 4 - B + C; 5 - B + M; 6 - C + M, com 3 repetições. Para termos comparativos foi coletado as mesmas amostras em solo sob mata nativa. Foram avaliados a Resistência mecânica a penetração (RP), de 10 em 10 cm até 60 cm de profundidade, utilizando um penetrômetro de impacto. A densidade do solo (Ds), umidade volumétrica (Uv), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), volume total de poros (VTP) foram determinadas em amostras com estrutura indeformada pelo método do anel volumétrico, coletadas em anéis de 48 mm de diâmetro por 53 mm de altura, com o trado de Uhland nas profundidades de 0,0 a 40 cm. A estabilidade dos agregados, diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e o índice de estabilidade dos agregados (IEA) foram determinadas em amostras deformadas pelo método denominado padrão, com agitação vertical no aparelho de Yoder. Observou-se que os atributos físicos e indicadores avaliados foram suficientes para analisar a qualidade do solo em estudo; o milheto foi a planta de cobertura que apresentou os melhores resultados para a maioria dos atributos avaliados; a mistura braquiária + milheto foi a melhor combinação de plantas de cobertura para melhorar a qualidade física do solo em profundidade.

Palavras-chave: atributos físicos; plantas de cobertura, matéria orgânica, decomposição.

3.2 ABSTRACT

Physical soil quality under different cover crops under irrigated no-tillage

The continuous contribution of the organic material, the benefits of the plant roots and the protection offered by the crop residues at the surface of the soil have caused positive changes in the structural quality of the soil as the crops succeed in areas under no-tillage system. The objective of this study was to evaluate the physical quality of the soil in cultivated areas with different cover crops, preceding irrigated vegetable crops. The experimental design was the completely randomized block, with seven soil covers: 1 - brachiaria (B) (*Urochloa brizantha* cv. marandú), 2- crotalaria (C) (*Crotalaria juncea*), 3- millet ADR 500 (M) (*Pennisetum glaucum* L.), 4- B + C, 5- B + M, 6- C + M, with 3 repetitions. For comparative terms, the same samples were collected in soil under native forest. The mechanical penetration resistance of the roots (RP) was evaluated every 10 cm, until the depth of 60 cm, using a penetrometer of impact. The bulk density (BD), volumetric moisture (VM), macroporosity (Ma), microporosity (Mi) e total porosity (TP) were determined with undisturbed soil samples by the volumetric ring method, collected in 48 mm diameter and 53 mm height rings, with Uhland soil sampler at 0 to 40 cm depths. The aggregate stability, mean weight diameter (MWD), geometric mean diameter (GMD) and the aggregate stability index (AEI) were determined in deformed samples by the standard method, with vertical agitation in Yoder's equipment. Was observed that the physical attributes were sufficient to analyze the quality of the soil; the millet was the cover crop that presented the best results for most attributes evaluated; the mixture brachiaria + millet was the best combination of cover crops to improve the physical quality of the soil in depth.

Keywords: physical attributes; cover crops; organic matter; decomposition.

3.3 INTRODUÇÃO

O sistema de plantio direto (SPD) reúne uma série de técnicas que preconizam o não revolvimento do solo, a semeadura direta sobre os resíduos vegetais de plantas de cobertura e um eficiente sistema de rotação de culturas. O continuo aporte de material orgânico na superfície do solo, a ação benéfica das raízes das plantas provenientes das culturas antecessoras e a proteção oferecida à superfície, altera a qualidade estrutural do solo à medida que os cultivos forem se sucedendo (LIMA et al., 2013).

Segundo Torres et al. (2015b) e Loss et al (2017), as estratégias de manejo que mantêm ou adicionam matéria orgânica causam melhorias na qualidade física e química do solo, favorecendo o desenvolvimento das plantas, que pode causar alterações positivas na produtividade das culturas cultivadas em sucessão.

Alguns atributos físicos do solo têm sido utilizados como indicadores das alterações que ocorrem na qualidade do solo, dentre eles, sua densidade (Ds), agregação, compactação, macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (VTP), capacidade de retenção d'água e estabilidade de agregados (EA) tem sido os mais utilizados (RAMOS et al., 2010; PEZARICO et al., 2013; TORRES et al., 2015a; 2017).

Segundo Lima et al. (2017) estes indicadores refletem a qualidade física e o estado de conservação do solo, pois permitem identificar os locais com impedimentos físicos causados pela movimentação de máquinas e implementos agrícolas na área. Coutinho et al. (2010) destacam ainda que estes indicadores são uma alternativa de baixo custo que proporcionam um eficiente diagnóstico da qualidade do solo

A qualidade estrutural do solo no SPD é alterada à medida que os cultivos forem se sucedendo, pois nas áreas cultivadas com culturas anuais aumentou o uso de máquinas de grande porte, com maior massa e potência, que aumenta o rendimento das operações, o que vem agravando os problemas com compactação, alterando a dinâmica do ar e água no solo, prejudicando as trocas gasosas entre o solo e atmosfera e o desenvolvimento das plantas (SILVEIRA JUNIOR et al., 2012; TORRES et al., 2015c).

Nas áreas cultivadas com hortaliças em SPD, o transito de máquinas pesadas é menor, mas eles ainda ocorrem no manejo das plantas de cobertura (CRUSCIOL e SORATTO, 2009; PERIN et al., 2015; TORRES et al., 2017), na incorporação dos resíduos e confecção de canteiros em áreas cultivadas convencionalmente (OLIVEIRA et al., 2008; SANTOS, 2009).

Quando há necessidade de descompactar o solo, esta operação geralmente é feita com escarificadores, subsoladores e arados, mas o efeito causado por esta mobilização

mecânica tende desaparecer em razão da reconsolidação do solo, que ocorre devido aos ciclos de umedecimento, secagem e ao tráfego das máquinas agrícolas utilizadas no manejo da cultura (REICHERT et al., 2009). Entretanto, esta reconsolidação é minimizada quando está associada à descompactação biológica do solo proporcionada por algumas plantas de cobertura com sistema radicular pivotante, que são capazes de crescer em camadas de solo compactado (MAGALHÃES et al., 2009).

Algumas Fabáceas, Poáceas e plantas de outras famílias vêm sendo utilizadas como adubação verde, para auxiliar na descompactação e reagregação das partículas do solo em áreas cultivadas com hortaliças, pois o sistema radicular destas plantas são capazes de ciclar nutrientes, desenvolver em solos compactados, formar bioporos estáveis, melhorar a infiltração de água e reagrupar as partículas do solo (GONÇALVES et al., 2006; MAGALHÃES et al., 2009; VEZZANI e MIELNICZUK, 2009; TORRES et al., 2015d; TAMBURUS, 2017).

Avaliar a qualidade física do solo em áreas agrícolas é uma atividade importante a ser realizada para o planejamento das práticas de cultivo a serem adotadas, contudo, monitorar as alterações causadas aos atributos físicos decorrentes do uso de diferentes coberturas do solo que antecedeu o plantio das hortaliças em áreas irrigadas, é uma atividade que precisa ser melhor avaliada. Neste contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar a qualidade física do solo em áreas cultivadas com diferentes coberturas, antecedendo o cultivo de hortaliças irrigadas.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

3.4.1 Localização

O estudo foi realizado em área experimental do Instituto Federal do Triângulo Mineiro (IFTM) Campus Uberaba/MG, localizado entre as coordenadas $19^{\circ}39'43.4''$ de latitude Sul e $47^{\circ}57'57.8''$ de longitude Oeste, a 795 m de altitude, entre setembro/2016 a agosto/2017.

3.4.2 Clima

O clima da região é classificado como Aw tropical quente, segundo Koppen (1948), com inverno frio e seco. A média anual de precipitação é de 1600 mm/ano e temperatura média de $22,6^{\circ}\text{C}$ (SDET, 2009).

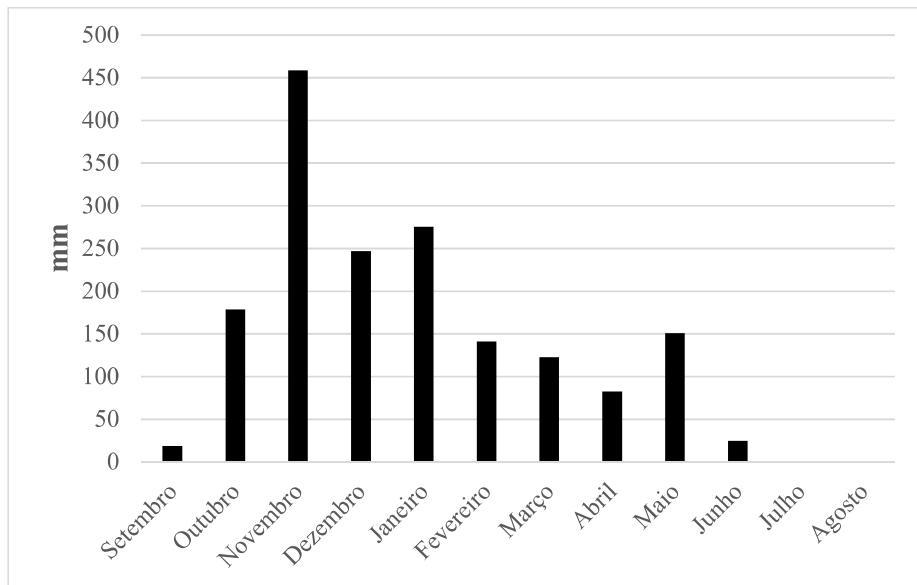


Figura 1. Chuvas acumuladas mensalmente durante o período de execução do experimento na região de Uberaba - MG. Fonte: INMET (2018).

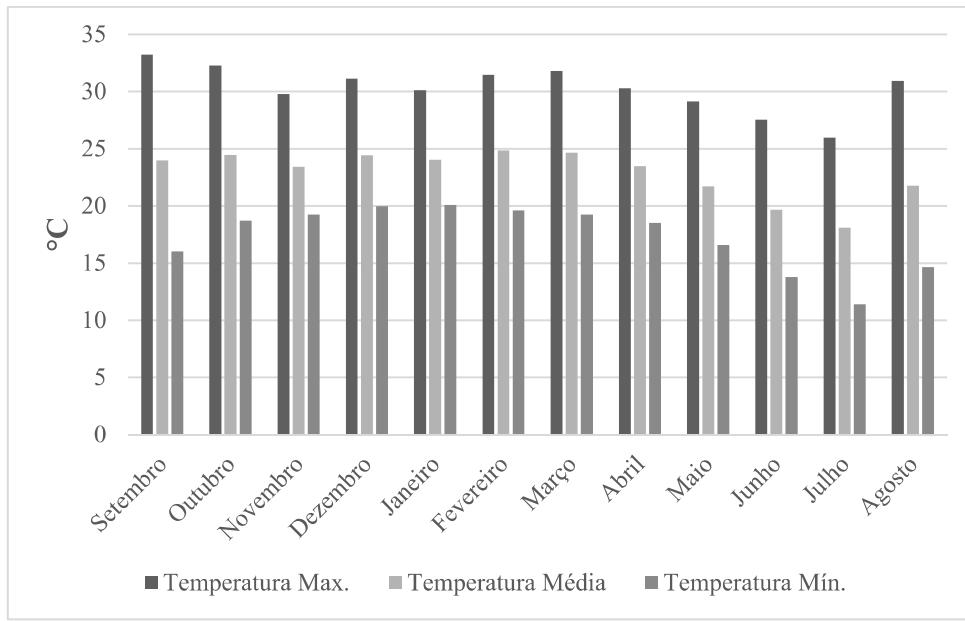


Figura 2. Temperatura Máxima, Mínima e Média, ocorridas no período de execução do experimento na região de Uberaba - MG. Fonte: INMET (2018).

3.4.3 Solo

O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico (LVd) de textura média (EMBRAPA, 2013), apresentando na camada arável: pH em água = 5,67; 31,67 mg dm³ de P; 0,25 cmol_c dm³ de K; 1,57 cmol_c dm³ de Ca; 0,37 cmol_c dm³ de Mg e 3 cmol_c dm³ de H + Al. A topografia da região é caracterizada por superfícies planas ou ligeiramente ondulada, geologicamente formada por rochas sedimentares, basicamente o arenito (CANDIDO, 2008).

3.4.4 Delineamento Experimental

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, sendo utilizadas sete tipos de cobertura do solo: 1- braquiária (B) (*Urochloa brizantha* cv marandú), 2- crotalária (C) (*Crotalaria juncea*), 3- milheto (M) (*Pennisetum glaucum* L.), 4- B + C, 5- B + M, 6- M + C. Cada parcela compreendeu uma área de 10 x 6 m (60 m²) perfazendo no total 1080 m². Além disso foram feitas coletas em solo sob Mata Nativa, caracterizando um tratamento adicional.

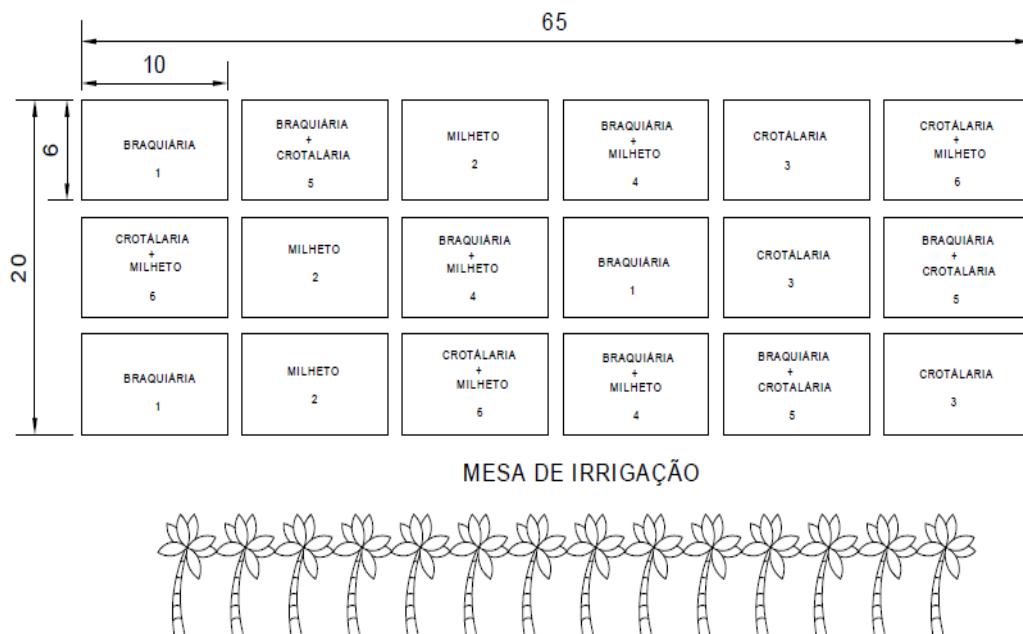


Figura 3. Croqui da área representando o delineamento experimental e os tratamentos.

3.4.5 Histórico da área

Nos últimos quatro anos a área foi cultivada com brássicas em sistema de plantio direto, sobre os resíduos culturais de braquiária, crotalária e milheto, irrigado via aspersão convencional. As mudas foram produzidas em bandejas de isopor em estufas, após atingiram o tamanho recomendado foram levadas para o campo e plantadas em covas.

3.4.6 Manejo das plantas de cobertura: plantio, condução e manejo

A sulcagem e semeadura das culturas de cobertura de solo foram feitas de forma mecanizada com espaçamento de 0,50 m entre as linhas de plantio, sendo utilizadas 25, 50 e 50 sementes por metro de crotalária, braquiária e milheto, respectivamente.

O experimento foi conduzido entre os meses de setembro a novembro de 2016, quando 50% destas plantas atingiram o máximo florescimento foram feitas amostragens em uma área útil de 2 m² de cada parcela. Este material vegetal foi levado a estufa de circulação forçada de ar, seco a 65 °C por 72 horas, pesado e os resultados expressos para kg ha⁻¹.

Após as amostragens, as plantas foram manejadas (dessecadas) em área total, utilizando-se os princípios ativos Glifosato 792,5 g kg⁻¹ + Sal de dimetilamina do ácido

diclorofenoxyacético 840 g L⁻¹, nas doses de 2 kg ha⁻¹ e 2 L ha⁻¹ do produto comercial, respectivamente.

3.4.7 Atributos físicos avaliados

As avaliações foram efetuadas 120 dias após ter sido feito o manejo (dessecação) das plantas de cobertura avaliadas, ou seja, logo após a finalização das avaliações relacionadas a taxa de decomposição da palhada sobre o solo.

3.4.7.1 Resistência mecânica à penetração do solo

A determinação da resistência mecânica do solo à penetração (RP) foi determinada nas profundidades de 0,00-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30, 0,30-0,40, 0,40-0,50 e 0,50-0,60 m utilizando o penetrômetro de impacto, modelo IAA/Planalsucar, com capacidade de carga de 150 kgf, precisão de 0,001 kgf, provido de uma haste de 0,65 m de comprimento, equipado com cone confeccionado em aço (INOX AISI 516) com inclinação de 30° e diâmetro de 0,2027 mm (STOLF, 1991), contudo para análises estatísticas só foram utilizados os dados até 0,40 m de profundidade.

Os dados de campo foram obtidos em números de impactos (dm⁻¹), tendo sido transformados em kgf cm⁻² por meio da equação 1: R (kgf cm⁻²) = 5,6 + 6,98 N (SENE et al., 1985). Estes valores foram multiplicados pela constante 0,098 e transformados em unidades MPa (ARSHAD et al., 1996).

3.4.7.2 Umidade do solo

Amostras para avaliar o conteúdo de água no solo (CAS) foram coletadas nos mesmos dias e profundidades avaliadas (0,0 a 0,60 m), sendo tomadas duas amostras por parcela e homogeneizadas, para obtenção da massa úmida e seca. As amostras foram acondicionadas em latas de alumínio, pesadas e colocadas para secar em estufas de circulação forçada de ar a 105 °C por 24 horas. Após a obtenção da umidade gravimétrica (Ug), esta foi multiplicada pela densidade do solo e determinou-se a umidade volumétrica (Uv) do solo (EMBRAPA, 2011).

A partir dos valores obtidos a umidade volumétrica (UV) foi determinada utilizando-se a seguinte equação 2:

$$UV \text{ (cm}^3 \text{ cm}^{-3}\text{)} = \frac{pu-ps}{ps} \times Ds \quad \text{Equação 2}$$

Em que: pu = peso úmido (g); ps = peso seco (g); Ds = densidade do solo (g cm⁻³).

3.4.7.3 Densidade do solo, macro e microporosidade, volume total de poros

A densidade do solo (Ds) foi determinada em amostras com estrutura indeformada pelo método do anel volumétrico, que foram coletadas em anéis de 48 mm de diâmetro por 53 mm de altura com o trado de Uhland, nas profundidades de 0,00-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m, sendo as amostras pesadas ainda quando úmidas, a seguir foram secas a 105°C por 24 horas e pesadas novamente (EMBRAPA, 2011).

Nestas amostras foram determinadas a distribuição de poros do solo por tamanho, que foram previamente saturadas por 24 horas, utilizando uma unidade de sucção a 0,60 m de altura de coluna de água. A macroporosidade (Ma) foi calculada pela diferença entre o volume total de poros (VTP) determinada e a microporosidade (Mi) (EMBRAPA, 2011).

A partir dos dados coletados, a Ds foi determinada pela seguinte equação:

$$Ds \text{ (g cm}^{-3}\text{)} = \frac{ps-pa}{va} \quad \text{Equação 3}$$

Em que: ps = peso seco (g); pa = peso do anel (g); va = volume do anel (cm³).

Já para o cálculo da Ma utilizou-se a equação:

$$Ma \text{ (\%)} = \frac{psat-pd}{va} \times 100 \quad \text{Equação 4}$$

Em que: psat = peso saturado (g); pd = peso drenado (g); va = volume do anel (cm³).

Em relação a Mi foi utilizou-se a seguinte equação:

$$Mi \text{ (\%)} = \frac{pd-ps}{va} \times 100 \quad \text{Equação 5}$$

Em que: pd = peso drenado (g); ps = peso seco (g); va = volume do anel (cm³).

E o VTP foi obtido a partir da seguinte equação:

$$VTP(\%) = \frac{psat-ps}{va} \times 100 \quad \text{Equação 6}$$

Em que: psat = peso saturado (g); ps = peso seco (g); va = volume do anel (cm³).

3.4.7.4 Agregação do solo

3.4.7.4.1 Avaliação da estabilidade dos agregados

A estabilidade dos agregados estáveis em água foi avaliada pelo método descrito por Kemper e Chepil (1965), denominado de padrão, que consiste em pesar amostras de 50 g de solo, secas ao ar, em duplicatas constituídas de agregados de diâmetro entre 9,51 a 4,76 mm, os quais foram umedecidos por capilaridade durante 12 horas. A seguir as amostras foram transferidas para um jogo de peneiras de 4,00; 2,00; 1,00; 0,50; 0,25 e 0,13 mm de malha e submetidas a agitação vertical no aparelho de Yoder, calibrado na velocidade 10 durante 15 minutos em água, com oscilação vertical, durante 15 minutos, sendo três repetições por parcela.

O conteúdo de cada peneira foi separado em latas de alumínio e secas durante 24 h em estufa de circulação forçada a 105°C e então pesados, descartando-se o peso dos recipientes.

3.4.7.4.2 Diâmetro médio ponderado e diâmetro médio geométrico

A partir dos valores de massa dos agregados calculou-se o diâmetro médio ponderado (DMP) (Equação 7) que é maior quanto maior for a percentagem de agregados grandes retidos nas peneiras com malhas maiores e o Diâmetro médio geométrico (DMG) (Equação 8) representa uma estimativa do tamanho da classe de agregados de maior ocorrência.

$$DMP = \sum (x_i w_i) \quad \text{Equação 7}$$

Em que: DMP = Diâmetro médio ponderado; x_i = diâmetro médio das classes (mm); w_i = proporção de cada classe em relação ao total (DEMARCHI et al., 2011).

$$DMG = \exp\{\sum [(\ln [x_i] [p_i])] \div \sum [p_i]\} \quad \text{Equação 8}$$

Em que: $\ln [x_i]$ = logaritmo natural do diâmetro médio das classes; p_i = peso retido em cada peneira (g); x_i = diâmetro médio das classes (mm) (DEMARCHI et al., 2011).

3.4.7.4.3 Índice de estabilidade de agregados

O índice de estabilidade de agregados (IEA) (Equação 9) representa a proporção de agregados maiores que 2 mm.

$$IEA = \{(P.A. - wp < 0,25) \div (P.A.)\} \times 100 \quad \text{Equação 9}$$

Em que: P.A = peso da amostra (g); wp < 0,25 = peso dos agregados da classe < 0,25 mm (g) (DEMARCHI et al., 2011).

3.4.8 Análise estatística

Para Ds, Ma, Mi, VTP, DMP, DMG, IEA foi realizado análise de componentes principais seguido de uma análise de agrupamento com auxílio do programa R. Já em relação a RP foi realizada análise de variância com auxílio do programa estatístico SISVAR, aplicando-se o teste F para significância e as médias comparadas pelo teste t Scott-Knott ($p<0,05$).

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.5.1 Densidade, resistência mecânica à penetração e umidade do solo

A análise dos valores de resistência mecânica à penetração (RP) permitiu a observação de diferenças significativas ($p<0,05$) entre os tratamentos, contudo não foi observada nenhuma camada compactada até a profundidade de 40 cm (Tabela 1). Isto pode ser justificado pelo curto período que esta área vem sendo cultivado em plantio direto, além do efeito positivo que o sistema radicular das plantas de cobertura está causando no local, realizando uma descompactação biológica ao longo destes últimos quatro anos de cultivados com hortaliça. Resultados semelhantes foram como constatados por Gonçalves et al. (2006) e Magalhães et al. (2009) em seus estudos.

Em geral, os valores de resistência a penetração em torno de 2,5 Mpa são considerados baixos, valores em torno de 3,5 a 6,5 Mpa são considerados capazes de causar problemas para o crescimento radicular de Fabáceas e Poáceas (TORRES e SARAIVA, 1999). Os valores registrados para RP na área, para todas as coberturas vegetais avaliadas, estão abaixo destes níveis considerados críticos ao desenvolvimento radicular, o que comprova a contribuição benéfica do sistema plantio direto para a qualidade e conservação do solo na área.

Avaliando formas de descompactação mecânica com escarificador e subsolador associado a descompactação biológica com milheto e crotalária, Tamburus (2017) observou que os tratamentos para descompactação mecânica e biológica avaliados não influenciaram nenhuma das características agronômicas do milho, que em áreas com RP de até 3,3 Mpa não é necessário utilizar qualquer forma de descompactação, pois estas características e a produtividade de milho não é afetada.

Tabela 1. Resistência à penetração (RP), densidade do solo (Ds) e Umidade volumétrica (Uv) avaliada num Latossolo Vermelho distrófico cultivado com diferentes coberturas vegetais, em Uberaba-MG.

Cobertura	RP	Ds	Uv
	MPa	kg dm ⁻³	cm ³ cm ⁻³
0,00 - 0,10 m			
Braquiaria (B)	1,94 aC*	1,68 bA*	0,33 a*
Crotalária (C)	2,17 aA	1,74 bA	0,32 a
Milheto (M)	1,66 aB	1,43 aA	0,25 b
B + C	1,43 aA	1,72 bA	0,30 a
B + M	1,62 aB	1,67 bA	0,30 a
M + C	1,89 aB	1,76 bB	0,33 a
0,10 - 0,20 m			
Braquiaria (B)	1,66 aB	1,78 bA	0,33 a
Crotalária (C)	1,80 aA	1,71 bA	0,32 a
Milheto (M)	1,89 aC	1,73 bB	0,25 b
B + C	2,17 aA	1,77 bA	0,30 a
B + M	1,61 aB	1,71 bA	0,30 a
M + C	1,75 aB	1,75 bB	0,33 a
0,20 - 0,30 m			
Braquiaria (B)	1,39 aA	1,73 bA	0,33 a
Crotalária (C)	1,71 bA	1,77 bA	0,32 a
Milheto (M)	1,57 aB	1,69 bB	0,25 b
B + C	1,89 bA	1,70 bA	0,30 a
B + M	1,48 aB	1,73 bA	0,30 a
M + C	1,52 aA	1,66 bA	0,33 a
0,30 - 0,40 m			
Braquiaria (B)	1,34 aA	1,61 aA	0,33 a
Crotalária (C)	1,71 bA	1,65 bA	0,32 a
Milheto (M)	1,38 aA	1,53 aA	0,25 b
B + C	1,66 bA	1,71 bA	0,30 a
B + M	1,25 aA	1,70 bA	0,30 a
M + C	1,43 aA	1,58 aA	0,33 a
F	2,25	2,25	3,25
CV (%)	4,24	5,60	9,40

* = Significativo (p<0,05). Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna compararam tratamentos (coberturas do solo) e maiúscula na coluna compararam profundidades, não diferem entre si pelo teste de Scott Knoch (p<0,05).

Relacionando compactação com tempo de adoção do sistema plantio direto (SPD), tendo como comparação uma mata nativa e uma área com sistema de manejo convencional, Assis e Lanças (2005) constataram que nas áreas com SPD instalado a 5 e 12 anos, as camadas do solo de 10-20 cm e 20 a 30 cm apresentaram valores superiores ao nível crítico. Resultados estes divergentes aos obtidos neste estudo, o que pode ser justificado pelo menor tráfego de máquinas na área, já que se trata de uma área para a produção de hortaliças.

Analizando a qualidade física de um Latossolo sob plantio direto e sistema convencional no semiárido, Sales et al. (2016) obtiveram resultados semelhantes, pois constataram que o maior índice de compactação ocorreu nas camadas superficiais do solo sob SPD, porém os valores de RP não prejudicaram o desenvolvimento radicular das plantas cultivadas, pois se mantinham inferiores ao limite de 2,0 Mpa, valor este considerado por muitos autores como o valor limite, a partir do qual começa ocorrer restrição ao crescimento radicular (ARSHAD et al., 1996; SILVA et al., 2008).

Com relação à densidade do solo (Ds), todos os valores variaram entre 1,61 a 1,78 kg dm⁻³, com exceção do milheto na profundidade de 0-10 e 30 – 40 cm. Todos os valores estão acima de 1,60 kg dm⁻³, estabelecido por Silva e Rosolem (2002) como crítico para o desenvolvimento destas culturas. Reinert et al. (2001) propõem valores críticos para Ds, caracterizando o solo como compactado quando atingir o valor de 1,55 kg dm⁻³, se o mesmo tiver teor de argila variando entre 200 e 550 g kg⁻¹ de argila, como ocorre neste estudo.

Avaliando a Ds em áreas sob diferentes coberturas vegetais, dentre elas milheto, braquiária e crotalária, e sua influência sobre a qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico, Andrade et al. (2009) não observaram diferenças significativas entre os tratamentos nas camadas de 0 a 10 e 10 a 20 cm. Em estudo semelhante avaliando a contribuição de diferentes plantas de cobertura (pousio, crotalária, guandu, mucuna e sorgo) na qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico, Cunha et al. (2011) também não observaram diferenças entre a DS nos tratamentos, nas camadas de 0 a 10 e 10 a 20 cm, resultados estes semelhantes aos encontrados neste estudo.

No entanto em estudo avaliando os atributos físicos de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado com plantas de cobertura, Torres et al. (2015a) observaram a diminuição da Ds na camada de 10 a 20 cm dos solos cultivados com milheto e crotalária.

Com relação ao conteúdo de água do solo, observou-se que os valores se mostraram constantes para todas as profundidades, com exceção das áreas sob milheto, onde o valor foi menor, o que é justificado pela utilização do sistema de irrigação por aspersão sempre repondo a lamina evapotranspirada.

Em área próxima e no mesmo solo, Torres et al. (2016b) observaram valores de Uv menores ao obtido com milheto neste estudo, com médias que variaram de 0,20 a 0,23 cm³cm⁻³, contudo o estudo aconteceu ambiente não irrigado, o que justifica os valores observados neste estudo.

As variáveis RP, Ds e UV apresentaram correlações significativas entre si, sendo positiva para RP e Ds nas profundidades até 30 cm, negativa para RP e Uv até 30 cm, sendo positiva na camada de 30 a 40 cm, e positiva para Ds e Uv até 40 cm de profundidade (Tabela 2).

Tabela 2. Correlações de Pearson entre os valores de resistência a penetração (RP), densidade do solo (Ds) e Umidade volumétrica (Uv) entre tratamentos e profundidades avaliadas, em Uberaba-MG.

Variável analisada	Coeficiente de correlação		Significância %
	r^2		
0,00 - 0,10 m			
RP x Ds	0,31ns		ns
RP x Uv	- 0,54**		99**
Ds x Uv	0,91**		99**
0,10 - 0,20 m			
RP x Ds	0,32*		99**
RP x Uv	- 0,37**		99**
Ds x Uv	0,38ns		ns
0,20 - 0,30 m			
RP x Ds	0,12*		99**
RP x Uv	- 0,21**		99**
Ds x Uv	0,03ns		ns
0,30 - 0,40 m			
RP x Ds	0,30ns		ns
RP x Uv	0,12**		99**
Ds x Uv	0,24ns		ns

* Significativo ($p<0,05$); ** Significativo ($p<0,01$); ns = Não significativo

Quando a correlação é positiva, como ocorre com RP x Ds e Ds x Uv, significa que as variáveis estão interligadas, que aumentam ou diminuem simultaneamente, sendo isto foi constatado neste estudo, pois nos tratamentos onde a RP foi de 2,17 Mpa na crotalária de 0 a 10 cm e de 2,17 Mpa na mistura braquiária + crotalária de 10 a 20 cm, os valores de Ds também foram os maiores, de 1,74 e 1,77 kg dm^{-3} . Quando negativa, como ocorre com RP x Uv, para uma aumentar a outra tem que diminuir, sendo que isto ocorreu nas profundidades entre 10 - 20 e 20 - 30 cm, onde a RP aumentou e a Uv diminuiu, com isso, menor foi a retenção de água nesta faixa do solo.

Avaliando a qualidade física de um solo cultivado sob cana-de-açúcar, Torres et al. (2016a) observaram resultados semelhantes quanto a correlação positiva entre a Ds x RP, tanto no 5° e 6° corte da cana-de-açúcar. No entanto no mesmo trabalho a correlação entre RP x Uv e Ds x Uv foram negativas, contrastando os resultados obtidos neste

trabalho nas camadas de 0 a 10 e 30 a 40 cm, e se assemelhando aos observados nas camadas de 10 a 20 e 20 a 30 cm para a interação negativa entre RP x Uv.

3.5.2 Densidade do solo, macro (Ma) e microporosidade (Mi), volume total de poros (VTP), diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e índice de estabilidade de agregados (IEA).

Analizando os atributos físicos e os indicadores de agregação do solo observou-se que ocorreram interações significativas entre si, dentre elas estão tais como Ma x Ds, VTP x Ds, VTP x Ma, DMG x Ds, DMG x IEA, DMP x DMG na profundidade até 10 cm (Tabela 3), o que comprova que a qualidade do solo pode ser definida por diferentes atributos que estão interligados entre si.

Tabela 3. Coeficientes de correlação de Pearson entre atributos físicos do solo sob diferentes coberturas vegetais e Mata Nativa, coletados na camada de 0 a 10 cm.

Variável	Ma	Mi	VTP	DMP	DMG	IEA
Ds	-0.8642*	-0.1099	-0.9673*	-0.7413	-0.7746*	-0.6822
Ma		-0.3523	0.8471*	0.4439	0.4934	0.4974
Mi			0.1990	0.3054	0.2800	0.1990
VTP				0.6383	0.6757	0.6136
DMP					0.9875*	0.7449
DMG						0.7449

*Significativo a 5% pelo teste t.

Os atributos que apresentaram correlação negativa na profundidade de 0 a 10 cm foram Ds x Ma e VTP x DMG, estas correlações evidenciam que o aumento da Ds contribuiu naturalmente com a redução da porosidade, que o aumento da VTP causa a diminuição do DMG, ou seja, a menor porosidade do solo está diretamente relacionada a diminuição do tamanho os agregados. A correlação positiva que ocorreu entre VTP x Ma comprova a ocorrência do efeito da diminuição da porosidade, pois os dois aumentaram simultaneamente.

Em seu estudo, Vischi Filho et al. (2017) constataram resultados semelhantes, pois observaram que ocorreu a redução da Ds em dois cultivos de cana-de-açúcar ao mesmo tempo em que observaram o aumento da porosidade total do solo.

Os resultados mostraram que houve correlação positiva entre IEA x DMG e DMP x DMG, que evidencia que o aumento da estabilidade dos agregados do solo estão relacionados ao aumento do DMG, que o DMP aumenta simultaneamente ao DMG. Estes atributos indicam a qualidade da agregação das partículas do solo que se correlacionam diretamente, à medida que melhora um destes índices o outro também é beneficiado.

Através da análise dos componentes principais e de um teste de agrupamento é possível verificar as distribuições destes atributos físicos e dos indicadores de agregação na profundidade até 10 cm (Figura 4). Através destas análises foi possível separar as coberturas vegetais em grupos distintos, tomando como base de comparação a mata nativa como ambiente ideal, pois esta mata apresenta as características que exemplificam um solo conservado e que tenha uma qualidade física tal que promova o pleno crescimento radicular das diferentes espécies vegetais.

Dentre as coberturas, o milheto e a mata nativa se diferenciaram dos demais tratamentos em um grupo distinto (Figura 4), o que é justificado pelo benefício incorporado ao sistema pelo seu sistema radicular fasciculado, que é profundo e amplo, que influencia diretamente na descompactação do solo e consequente redução da Ds, com efeito direto na aeração do solo. Avaliando a influência de plantas de cobertura em semeadura direta nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho distrófico, Torres et al. (2015a) verificaram correlações semelhante ao presente estudo.

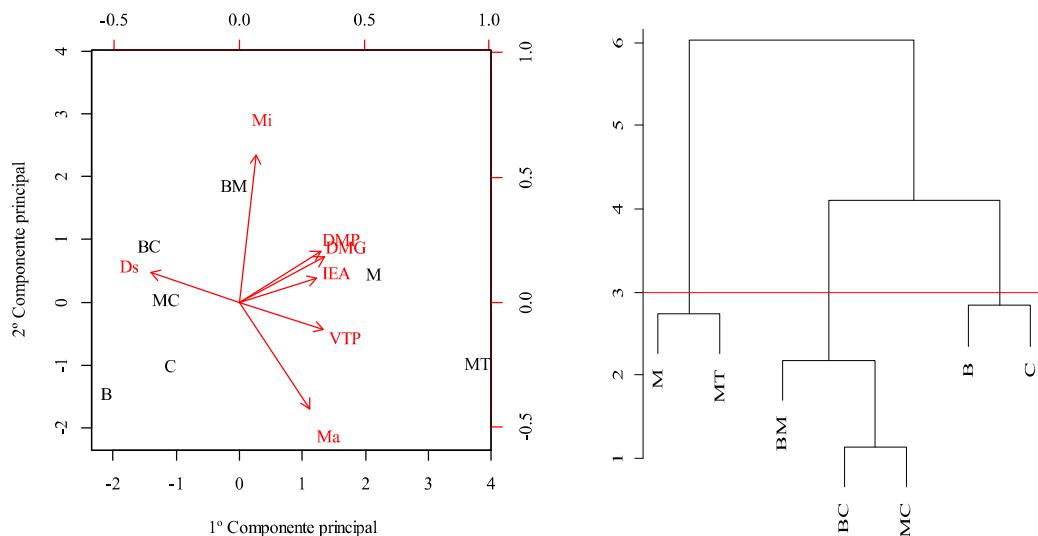


Figura 4. Análise de Componentes principais e análise de Agrupamento das diferentes coberturas vegetais e mata nativa levando-se em consideração os atributos físicos coletados na camada de 0 a 10 cm.

Nas áreas sob cobertura de milheto foi observado que houve uma melhora acentuada na agregação do solo, apresentando resultados semelhantes ao encontrado na mata nativa, que apresentaram IEA de 0,959 e 0,952; DMG de 1,70 e 1,77 (mm); DMP de 4,31 e 4,58 (mm), respectivamente, quando comparado aos demais, isso se deve ao

tipo de vegetação cultivado, já que as Poáceas são mais eficientes em aumentar e manter a estabilidade de agregados quando comparadas às Fabáceas (CARPENEDO e MIELNICZUK, 1990). Tal contribuição positiva na agregação do solo, facilita o crescimento e a penetração de raízes, com isso favorecendo o desenvolvimento da microbiota do solo (KONDO et al., 2012).

Resultados semelhantes foram obtidos por Rosa Júnior (2000), que ao avaliarem as características físicas de um LATOSSOLO ROXO Distrófico, posteriormente a semeadura direta do milho safrinha, concluíram que o cultivo prévio do milheto trouxe benefícios quanto aos aspectos físicos do solo, principalmente em relação a sua densidade.

Em estudos avaliando a cultura da soja antecedida pelo cultivo de diferentes coberturas vegetais, Silva et al. (2002) verificaram que a utilização do Milheto, favoreceu o crescimento radicular da soja abaixo das camadas compactadas de um Latossolo Vermelho.

Avaliando a camada de 10 a 20 cm os fatores Ma, VTP, DMP e DMP apresentaram correlação negativa com a Ds (Tabela 4), ou seja, quanto maior o valor referente a estes indicadores menor será a Ds, exemplificando o que ocorre na realidade, como por exemplo quanto maior for a quantidade de macroporos menor será a densidade do solo encontrada.

Tabela 4. Coeficientes de correlação de Pearson entre atributos físicos do solo sob diferentes coberturas vegetais e Mata Nativa, coletados na camada de 10 a 20 cm.

Variável	Ma	Mi	VTP	DMP	DMG	IEA
Ds	-1*	-0,7	-0,97*	-0,68	-0,27	0,96*
Ma		0,68	0,97*	0,63	0,21	-0,97*
Mi			0,84*	0,22	-0,19	-0,81*
VTP				0,54	0,09	-0,99*
DMP					0,89*	-0,47
DMG						0

*Significativo a 5% pelo teste t.

Ao avaliar a formação dos grupos mediante análise de componentes principais, pode ser observado que nenhuma das coberturas apresentou resultados semelhantes a da mata nativa (Figura 5), sendo agrupadas em um único grupo distinto, ou seja, a qualidade física encontrada na camada de 10 a 20 cm dos solos sob as coberturas vegetais avaliadas não se equipararam ao ambiente ideal encontrado em mata nativa e não diferiram entre si.

Como parâmetro têm-se os valores referentes a Ds para braquiária = 1,78; milheto = 1,73; crotalária = 1,72; B + M = 1,71; B + C = 1,77 e M + C = 1,75 kg dm⁻³, que se apresentaram consideravelmente mais altos que os encontrados em mata nativa (1,38 kg dm⁻³). Tal fato também é evidenciado mediante os valores de Ma e VTP referentes a braquiária = 11,91 e 48,65; milheto = 12,58 e 49,64; crotalária = 14,01 e 44,02; B + M = 15,39 e 47,73; B + C = 12,25 e 45,76 e M + C = 11,33 e 46,14 %, quando comparados a mata nativa de 22,54 e 59,81 %, respectivamente.

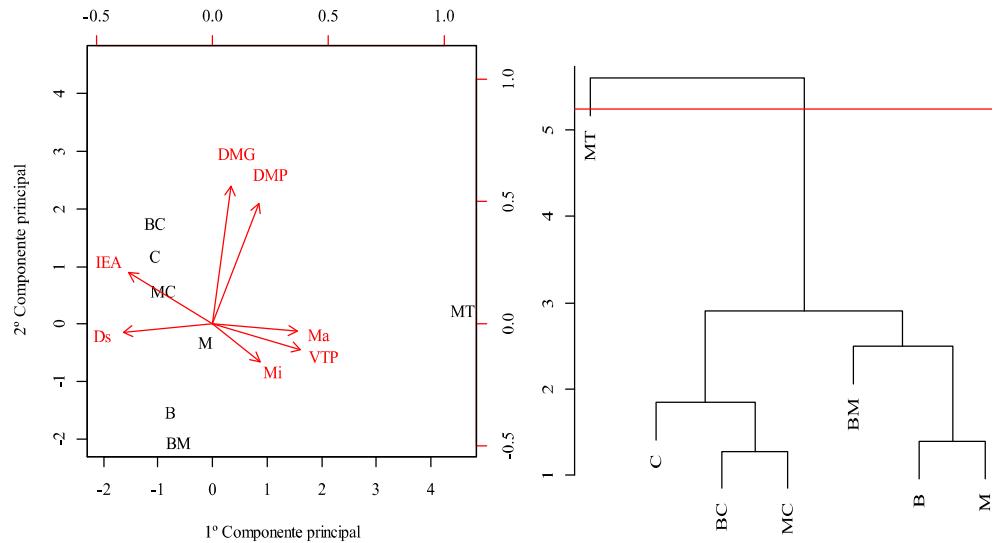


Figura 5. Análise de componentes principais e análise de agrupamento das diferentes coberturas vegetais e mata nativa levando-se em consideração os atributos físicos coletados na camada de 10 a 20 cm.

O curto tempo de introdução do sistema de plantio direto, sucedendo um sistema de cultivo convencional, justificaria a diferença na qualidade física entre as camadas de 0 a 10 e 10 a 20 cm. Além disso, o solo sob mata nativa apresenta melhores condições quanto à sua Ds e VTP por não sofrer com o tráfego de máquinas encontrado no sistema plantio direto.

Avaliando a influência de diferentes sistemas de manejo e a utilização de culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho, Cunha et al. (2011) apresentaram resultados semelhantes aos obtidos no presente trabalho, não encontrando diferença entre as coberturas vegetais avaliando as variáveis Ds, Ma e Mi. Neste mesmo estudo os autores constataram também menores valores de Ds e maiores valores de Ma e VTP, em solo sob

mata nativa na camada de 10 a 20 cm quando comparadas a solos sob sistema plantio direto.

Na camada de 20 a 30 cm, novamente foram observadas correlações negativas e positivas entre as variáveis analisadas. Ocorreram correlações positivas entre atributos Mi x Ma, VTP x Ma, além do VTP x Mi, evidenciando que todos os atributos voltados a porosidade do solo são incrementados ou reduzidos em conjunto, o mesmo é visto quanto aos indicadores de agregação DMG e DMP (Tabela 5).

Tabela 5. Coeficientes de correlação de Pearson entre atributos físicos do solo sob diferentes coberturas vegetais e Mata Nativa, coletados na camada de 20 a 30 cm.

Variável	Ma	Mi	VTP	DMP	DMG	IEA
Ds	-0,95*	-0,97*	-0,98*	-0,14	0,06	0,84*
Ma		0,93*	0,97*	-0,12	-0,31	-0,93*
Mi			0,99*	-0,01	-0,21	-0,9*
VTP				-0,06	-0,25	-0,93*
DMP					0,98*	0,43
DMG						0,6

*Significativo a 5% pelo teste t.

Em contrapartida, os que apresentaram correlação negativa foram Ma x Ds, Mi x Ds, apontando que a aproximação de partículas reduz, também, os poros de menor diâmetro, sendo assim o VTP e a Ds apresentaram a mesma correlação. O IEA também apresentou correlação negativa com Ma, Mi e VTP, apontando que a porosidade do solo, de modo geral, reduz conforme o aumento de sua agregação ou vice-versa.

Seguindo o mesmo padrão ao que ocorreu na camada de 10 a 20 cm, não foi possível destacar nenhuma cobertura vegetal que tenha se assemelhado às características obtidas na mata nativa (Figura 6). Isto pode ser justificado pelo curto tempo de implementação do sistema plantio direto na área (quatro anos), sendo necessário um maior tempo para verificar a evolução na qualidade física deste solo na camada avaliada.

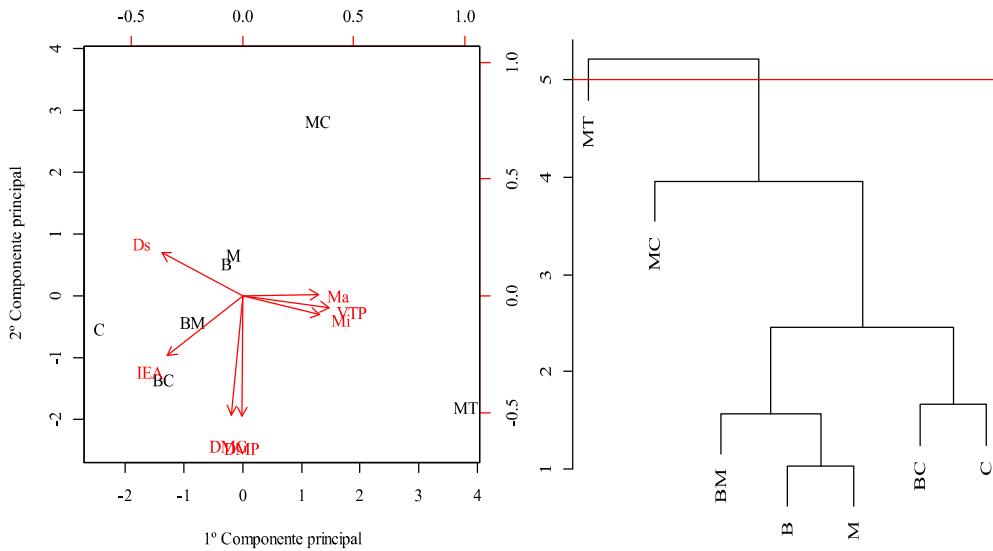


Figura 6. Análise de Componentes principais e análise de Agrupamento das diferentes coberturas vegetais e Mata Nativa levando-se em consideração os atributos físicos coletados na camada de 20 a 30 cm.

Na camada de 30 a 40 cm os atributos que apresentaram correlação positiva significativa foram VTP x Ma, DMG x IEA, DMP x IEA, DMP x DMG, sendo que os que apresentaram correlação negativa significativa foram Ma x Ds, Mi x Ds, VTP x Ds, IEA x Ma, DMG x Ma (Tabela 6). Tais correlações demonstram que o aumento da Ds contribui diretamente para a diminuição da Ma, Mi e VTP, ou seja, a diminuição da porosidade do solo está diretamente ligada ao tamanho dos agregados. Também é possível verificar que os indicadores de agregação do solo (DMG, DMP e IEA) estão interligados entre si positivamente, ou seja, o aumento gradual de um ocasiona o aumento dos outros indicadores.

Tabela 6. Coeficientes de correlação de Pearson entre atributos físicos do solo sob diferentes coberturas vegetais e Mata Nativa, coletados na camada de 30 a 40 cm.

Variável	Ma	Mi	VTP	DMP	DMG	IEA
Ds	-0,85*	-0,69	-0,96*	0,25	0,33	0,52
Ma		0,26	0,94*	-0,71	-0,77*	-0,87*
Mi			0,58	0,35	0,29	0,06
VTP				-0,47	-0,55	-0,72
DMP					1*	0,95*
DMG						0,97*

*Significativo a 5% pelo teste t.

Mediante análise de Componentes Principais e posterior análise de Agrupamento, é possível destacar a o tratamento composto pela cobertura vegetal B + M, que apresentou as condições mais favoráveis, entre os atributos físicos, para a o estado de conservação do solo na camada de 30 a 40 cm, estando até mesmo acima das características encontradas na mata nativa (Figura 7).

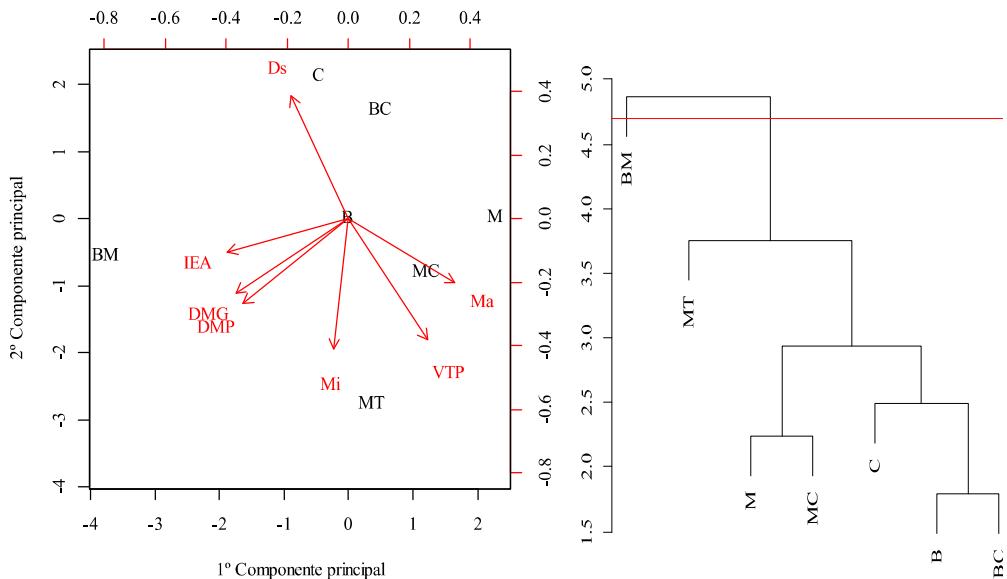


Figura 7. Análise de Componentes principais e análise de Agrupamento das diferentes coberturas vegetais e mata nativa levando-se em consideração os atributos físicos coletados na camada de 30 a 40 cm.

Os valores relacionados aos indicadores de agregação demonstram tal superioridade da mistura em relação aos demais tratamentos. Pode se observar valores superiores da B + M quanto ao IEA (0,94), DMG (1,63 mm) e também ao DMP (4,05 mm), quando comparados aos tratamentos com braquiária = 0,89, 1,30 e 3,20; milheto = 0,87, 1,14 e 2,61; crotalária = 0,91, 1,27 e 3,03; B + C = 0,88, 1,22 e 2,92; M + C = 0,89, 1,31 e 3,26; mata nativa = 0,91, 1,43 e 3,61 para IEA, DMG (mm) e DMP (mm), respectivamente.

Tal fato está ligado à ação conjunta dos sistemas radiculares do milheto e braquiária, ou seja, a utilização de duas Poáceas em uma mesma área amplificou a ação das coberturas vegetais sob a agregação do solo na camada mais profunda avaliada (30 a 40 cm).

Estudando o efeito de diferentes coberturas vegetais sobre os atributos físicos do solo, Kondo et al. (2012) concluíram que Poáceas com sistema radicular agressivo podem promover a melhora nas qualidades físicas do solo, tal como visto no presente trabalho.

3.6 CONCLUSÕES

Os atributos físicos e indicadores avaliados foram suficientes para analisar a qualidade do solo em estudo.

O milheto foi a planta de cobertura que apresentou os melhores resultados para a maioria dos atributos avaliados.

A mistura braquiária + milheto foi a melhor combinação de plantas de cobertura para melhorar a qualidade física do solo em profundidade.

4. REFERÊNCIAS

- ANDRADE, R. S.; STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. da. **Culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 13, n. 4, p. 411-418, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662009000400007>
- ANGHINONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo no sistema plantio direto. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do Solo**;Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, v. 1, p. 873-928.
- ARAÚJO, A. E.; LANI, J. L.; AMARAL, E. A.; GUERRA, A. Uso da terra e propriedades físicas e químicas de Argissolo Amarelo Distrófico na Amazônia ocidental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 307-315, 2004.
- ARSHAD, M. A.; AZOOZ, R. H. Tillage effects on soil thermal properties in a semiarid cold region. **Soil Science Society of America**, Madison Wis., v. 60, n. 2, p. 561-567, 1996. <https://doi.org/10.2136/sssaj1996.03615995006000020032x>
- ASSIS, R. L; LANÇAS, K. P. Avaliação dos atributos físicos de um Nitossolo Vermelho distroférreo sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 515-522, 2005. <https://doi.org/10.1017/S0014479717000333>
- ASSIS, C. P.; JUCKSCH, I.; SÁ MENDONÇA, E.; NEVES, J. C. L. Carbono e nitrogênio em agregados de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 10, p. 1541-1550, 2006.
- ASSIS, R. L.; FREITAS, R. S.; MASON, S. C. Pearl millet production practices in Brazil: a review. **Experimental Agriculture**, v. 53, p 1-20, 2017.
- ASSIS, R. L.; OLIVEIRA, C. A. O.; PERIN, A.; SIMON, G. A.; SOUZA JUNIOR, B. A. Produção de biomassa, acúmulo de nitrogênio por plantas de cobertura e efeito na produtividade do milho safrinha. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, p. 1769-1775, 2013.
- 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.; MIELNICKZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo:** ecossistemas tropicais e subtropicais. Ed. 2, Porto Alegre: Metrópole, p. 7-18, 2008.

BENITES, V. M.; MADARI, B.; MACHADO, P. L. O. A. **Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2003. (Comunicado Técnico).

BERNOUX, M., CERRI, C. C., CERRI, C. E. P., SIQUEIRA NETO, M., METAY, A., PERRIN, A. S., SCOPEL, E., RAZFIMBELO, T., BLAVET, D., PICCOLO, M. C., PAVEI, M., MILNE, E. Cropping systems, carbon sequestration and erosion in Brazil: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 26, p. 1-8, 2006. <https://doi.org/10.1051/agro:2005055>

BETTIOL, J. V. T.; SÁ, M. E. **Plantas de cobertura, utilizando *Urochloa ruziziensis* solteira e em consórcio com leguminosas e seus efeitos sobre a produtividade de sementes do feijoeiro.** Ilha Solteira: Fundação Agrisus, 2013. (Relatório Final do Processo 1056/12).

BEZERRA, R. P. M.; LOSS, A.; PEREIRA; M. G; PERIN, A. Formas de carbono em Latossolo sob sistemas de plantio direto e integração lavoura-pecuária no cerrado, Goiás. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 6, p. 2637-2654, 2013. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n6p2637>

BICALHO, I. M. Alteração na agregação e carbono orgânico total em solo cultivado com café sob diferentes sistemas de manejo. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v. 7, n. 12, p. 1-14, 2011.

BOER, C. A.; ASSIS, R. L.; SILVA, G. P.; BRAZ, A. J. B. P.; BARROSO, A. L. L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; PIRES, F. R. Biomassa, decomposição e cobertura do solo ocasionada por resíduos culturais de três espécies vegetais na região Centro-Oeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 843-851, 2008.

BRAZ, A. J. B. P.; KLIEMANN, H. J.; SILVEIRA P. M. Produtividade de palhada de plantas de cobertura. In: SILVEIRA e STONE. **Plantas de cobertura dos solos do Cerrado.** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, ed. 1, p. 12-43, 2010.

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. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000300009>

CANDIDO, H. G. **Degradação Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Uberaba – MG.** 2008. 96 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.

CANELAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X.; MARCIANO, C. R.; RAMALHO, J. F. G. P.; RUMJANEK, V. M.; RESENDE, C. E.; SANTOS, G. A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação de palhiço e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 935-944, 2003.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade dos agregados de latossolos roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 14, p. 99-105, 1990.

CARVALHO, A. M.; SOUZA, L. L. P.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; ALVES, P. C. A. C.; VIVALDI, L. J. Cover plants with potential use for crop-livestock integrated systems in the Cerrado region. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1200-1205, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000012>

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB (Brasil). **Séries históricas de área plantada, produtividade e produção, relativas às safras 1976/77 a 2015/16 de grãos, 2001 a 2016 de café, 2005/06 a 2016/17 de cana-de-açúcar**. Brasília, 2017. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252eordem=produtoePagina_objcmsconteudos=3#A_objcmsconteudos>. Acesso em: 12 jan. 2018.

COUTINHO, F. S.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; RODRIGUES JÚNIOR, D. J.; TORRES, J. L. R. Estabilidade de agregados e distribuição do carbono em Latossolo sob sistema plantio direto em Uberaba, Minas Gerais. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 1, n. 2, p. 100-105, 2010.

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**, v. 101, p. 40-46, 2009. <https://doi.org/10.2134/agronj2008.0054>

CUNHA, E. de Q.; STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A.; FERREIRA, E. P. de B.; DIDONET, A. D.; LEANDRO, W. M. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. I – Atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 589-602, 2011.

DENEF, K.; STEWART, C.E.; BRENNER, J.; PAUSTIAN, K. Does long-term center-pivot irrigation increase soil carbon stocks in semi-arid agro-ecosystems? **Geoderma**, Amsterdam, v. 145, p. 121-129, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.03.002>

DEMARCHI, J. C.; PERUSI, M. C.; PIROLI, E. L. Análise da estabilidade de agregados de solos da microbacia do Ribeirão São Domingos, Santa Cruz do Rio Pardo - SP, sob diferentes tipos de uso e ocupação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava, v. 4, n. 2 p. 7-29, 2011.

EMBRAPA. **Plataforma plantio direto**. [S.l.] 2002 Disponível em <<http://www.embrapa.br/plantio direto>>. Acesso em 31 jan. 2018.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisas do Solos, 2011.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2013.

FAO – Food and Agriculture Organization of United Nations. **Conservation Agriculture Worldwide**. 2012. Disponível em: <<http://www.fao.org/ag/ca/6c.html>> Acesso em 10 jan. 2018.

FAO – Food and Agriculture Organization of United Nations. **Conservation Agriculture Worldwide**. 2009. Disponível em: <<http://www.fao.org/ag/ca/6c.html>> Acesso em 10 jan. 2018.

FEBRAPDP. **Evolução do plantio direto no Brasil. 2012.** Disponível em <<http://www.febrapdp.org.br/port/plantiodireto.html>>. Acesso em: 07 fev. 2018.

FONTANA, A.; BRITO, R. J.; PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; BENITES, V. M. Caracterização de substâncias húmidas da camada superficial do solo sob diferentes coberturas vegetais. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 22, n. 1, p. 49-56, 2010.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; VENDRUSCOLO, E. R. R. O.; CUBILLA, M.; NICOLOSO, R. S.; FRIES, M. R. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 325-334, 2003.

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.

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Deposição de Resíduos Vegetais, Matéria Orgânica Leve, Estoques de Carbono e Nitrogênio e Fósforo Remanescente Sob Diferentes Sistemas de Manejo no Cerrado Goiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p. 909-920, 2012. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n6p2615>

GUARESCHI, R. G.; PEREIRA; M. G.; PERIN, A. Frações da matéria orgânica em áreas de Latossolo sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado do estado de Goiás. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 6, p. 2615-2628, 2013.

IPCC. **Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry**. IGES, 2003.

INMET. **Gráficos**. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=tempo/graficos>>. Acesso em: 08 de jan. 2018.

JANTALIA, C. P; RESCK, D. V. S.; ALVES, B. J. R.; ZOTARELLI, L.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Tillage effect on C stocks of a clayey Oxisol under a soybean-based crop rotation in the Brazilian Cerrado region. **Soil and Tillage Research**, v. 95, p. 97-109, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.still.2006.11.005>

KEMPER, W. D., CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregation. In: Black, C.A. (ed.) Methods of Soils Analysis. **American Society of Agronomy**, v. 39, p. 499- 510, 1965.

KLIEMANN, H. J.; BRAZ, A. J. P. B.; SILVEIRA, P. M. Taxas de decomposição de resíduos de espécies de cobertura em Latossolo Vermelho Distroférrico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 36, n. 1, p. 21-28, 2006.

KONDO, M. K.; ALBUQUERQUE, C. J. B.; WENDLING, B.; SILVA, P. B. da; CARDOSO, M.M. Efeito de coberturas vegetais sobre os atributos físicos do solo e características agronômicas do sorgo granífero. **Biosciense Journal**, Uberlândia, v. 28, p. 33-40, 2012.

Köppen, W. Climatología: con un estudio de los climas de la tierra. **Fondo de Cultura Económica**. México, p. 479, 1948.

Köppen, W. **Climatología**: con un estudio de los climas de la tierra. México: Fondo de Cultura Económica, 1948.

KUZYAKOV, Y.; DOMANSKI, G. Carbon input by plants into the soil. **Journal Plant Nutrition and Soil Science**, v. 163, n. 421-431, 2000.

LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate Changes. **Geoderma**, Amsterdam, v. 123, n. 2, p.1-12, 2004.

LAL, R. Soil carbon sequestration in Latin America. In: LAL, R.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; ETCHEVERS, J.; CERRI, E. (Eds), **Carbon sequestration in soil of Latin America**. FPP, New York, 554p, 2006.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.01.032>

LEITE, L. F. C.; FREITAS, R. C. A.; SAGRILO, E.; GALVÃO, S. R. S. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos vegetais depositados sobre Latossolo Amarelo no Cerrado Maranhense. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 1, p. 29-35, 2010.

LIMA, J. S. DE S.; SILVA, S. DE A.; SILVA, J. M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado em plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 1, p. 16-23, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902013000100003>

LIMA, D. T.; PAULA, A. D. M.; LEMES, E. M.; RODRIGUES, G. I.; TORRES, J. L. R.; VIEIRA, D. M. S. Organic carbon and carbon stock: relations with physical indicator and soil aggregation in áreas cultivated with sugar cane. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, v. 20, p. 341-352, 2017.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A.; BEUTLER, S. J., ANJOS, L. H. C. Oxidizable carbon and humic substances in rotation systems with brachiaria/livestock and pearl

millet/no livestock in the Brazilian Cerrado. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 11, p. 217-231, 2013.

LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; TORRES, J.L.R. Carbono orgânico no solo sob sistemas conservacionistas no Cerrado. In: AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; CHAGAS, C. I.; ZONTA, E. (Org.). **Impactos Ambientais Provenientes da Produção Agrícola: Experiências Argentinas e Brasileiras**. 1^aed. São Paulo: Rio de Janeiro: Livre Expressão, v.1, p.259-282, 2016. <https://doi.org/10.17584/rcch.2017v11i1.6144>

LOSS, A.; SHMITZ, D.; SANTOS JUNIOR, E.; KURTZ, C.; VEIGA, M.; COMIN, J. J. Atributos físicos do solo sob sistemas de plantio direto e preparo convencional em cultivo de cebola. **Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas**, v. 11, p. 105-113, 2017.

MAGALHÃES, E. N.; OLIVEIRA, G. C.; SEVERIANO, E. C.; COSTA, K. A. P. e CASTRO, M. B. Recuperação estrutural e produção do capim-Tifton 85 em um Argissolo Vermelho-Amarelo compactado. **Ciência Animal Brasileira**, v. 10, n. 1, p. 68-76, 2009.

MAPA. Programa Agricultura de Baixo Carbono. 2011. Disponível em <<http://www.agricultura.gov.br/abc>>. Acesso em: 12 fev. 2018.

MIELNICZUK, J. Mateira organic e a sustentabilidade dos sistemas agrícolas. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P. e CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo – ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole, ed. 2, p. 1-5, 2008.

MOTTER, P.; GOELZER, H. A. **Plantio direto**: a tecnologia que revolucionou a agricultura brasileira. Foz do Iguaçu: Parque Itaipu , 144 p, 2015.

OLIVEIRA, F. L.; GUERRA, J. G. M.; JUNQUEIRA, R. M.; SILVA, E. E.; OLIVEIRA, F. F.; ESPINDOLA, J. A. A.; ALMEIDA, D. L.; RIBEIRO, R. L. D.; URQUIAGA, S. 2006. Crescimento e produtividade do inhame cultivado entre faixas de guandu em sistema orgânico. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 24, n. 01, p.53-58, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362006000100011>

OSTERROHT, M. VON. O que é uma adubação verde: Princípios e ações. **Agroecologia hoje**, v. 14, p. 9-11, 2002.

PACHECO, L. P.; LEANDRO, W. M.; MACHADO, P. L. 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, p. 17-25, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011000100003>

PACHECO, L. P.; MIGUEL, A. S.D. C. S.; SILVA, R. G. da; SOUZA, E. D. de; PETTER, F. A., KAPPES, C. Biomassa yield in production systems of soybean sown in succession to annual crops and cover crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 52, n. 8, p. 582-591, 2017. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2017000800003>

PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; BEUTLER, S. J.; TORRES, J. L. R. Carbono, matéria orgânica leve e fósforo remanescente em áreas de Cerrado sob plantio direto, MG. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, p. 1-6, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X201000500010>

PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; BEUTLER, S. J.; TORRES, J. L. R. Granulometric and humic fractions carbon stocks of soil organic matter under no-tillage system in Uberaba, Brazil. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, v. 15, p. 01-13, 2012.

PERIN, A.; CRUVINEL, D. A.; FERREIRA, H. S.; MELO, G. B.; LIMA, L. E.; ANDRADE, J. W. S. Decomposição da palhada e produção do repolho em sistema de plantio direto. **Global Science and Technology**, v. 8, p. 153-159, 2015. <https://doi.org/10.14688/1984-3801/gst.v8n2p153-159>

PESSOA, P. M. A.; DUDA, G. P.; BARROS, R. B.; FREIRE, M. B. G. S.; NASCIMENTO, C. W. A.; CORREA, M. M. Frações de carbono orgânico de um latossolo húmico sob diferentes usos no agreste brasileiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p. 97-104, 2012.

PEZARICO, C. R.; VITORINO, A. C. T.; MERCANTE, F. M.; DANIEL, O. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. **Revista Ciências Agrárias**, v. 56, n. 1, p. 40-47, 2013. <https://doi.org/10.4322/rca.2013.004>

RAMOS, F. T.; MONARI, Y. C.; NUNES, M. C. M.; CAMPOS, D. T. S.; RAMOS, D. T. Indicadores de qualidade em um Latossolo Vermelho-Amarelo sob pastagem extensiva no pantanal matogrossense. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, n. 1, p. 112-120, 2010.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J.; HORN, R. e HÅKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil Tillage Research**, v. 102, p. 242-254, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.still.2008.07.002>

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SILVA, V. R. Propriedades físicas de solos em sistema de plantio direto irrigado. In: CARLESSO, R.; PETRY, M. T.; ROSA, G. M.; CERETTA, C. A. (Ed.). **Irrigação por aspersão no Rio Grande do Sul**. Santa Maria: UFSM, 165p, 2001.

ROSA JÚNIOR, E. J. **Efeito do sistema de manejo do solo sobre o desenvolvimento do milho safrinha e em alguns parâmetros físicos e químicos de Latossolo Roxo de Dourados**. 2000. 83 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura). Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.

ROSSETTI, K. V.; CENTURION, J. F. Sistemas de manejo e atributos físico-hídricos de um Latossolo Vermelho cultivado com milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 5, p. 472-479, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000500002>

ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; GIACOMO, S. G.; BETTA, M.; POLIDORO, J. C. Frações húmicas da matéria orgânica do solo cultivado com soja sobre palhada de braquiária e sorgo. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 3, p. 622-630, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052011000300018>

ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; GIACOMO, S. G.; BETTA, M.; POLIDORO, J. C. Carbono em frações lábeis da matéria orgânica do solo em sistema de cultivo com palha de braquiária e sorgo. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 22, p. 59-67, 2012.

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. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n4p1523>

RUTHNER, R. R.; SEVEGNANI, L. Teores de carbono armazenado no solo e na serapilheira sob floresta ombrófila densa de terras baixas e submontanha do Vale do Itajaí, SC. **Revista Científica Semana Acadêmica**, v. 1, n. 1, p. 1-26, 2012.

SALES, R. P.; PORTUGAL, A. F.; MOREIRA, J. A. A.; KONDO, M. K.; PEGORARO, R. F. Qualidade física de um latossolo sob plantio direto e preparo convencional no semiárido. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 3, p. 429-438, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20160052>

SANTOS, C.A.B. **Consórcios de espécies de cobertura de solo para adubação verde, antecedendo ao cultivo milho e repolho sob manejo orgânico**. 2009. 80f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2009.

SANTOS, P. F.; WHILFORD, W. G. The effects of microarthropods on litter decomposition in a chihuazhuan ecosystem. **Ecology**, v. 62, p. 654-669, 1981. <https://doi.org/10.2307/1937733>

SDET – Secretaria de Desenvolvimento Econômico e Turismo. **Uberaba em dados**. Prefeitura municipal de Uberaba, p. 23, 2009.

SENE, M.; VEPRAAKAS, M. J.; NADERMAN, G. C.; DENTON, H. P. Relationships of soil texture and structure to corn yield response to subsoiling. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 49, n. 2, p. 422-427, 1985.

SILVA, R.H. da; ROSOLEM, C.A. Crescimento radicular de soja em razão da sucessão de cultivos e da compactação do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 6, p. 855-860, 2002. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2002000600015>

SILVA, G. J.; VALADÃO JÚNIOR, D. D.; BIANCHINI, A.; AZEVEDO, E. C.; MAIA, J. C. S. Variação de atributos físico-hídricos em Latossolo Vermelho-amarelo do cerrado

Mato-grossense sob diferentes formas de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 5, p.2135-2143, 2008.

SILVEIRA JUNIOR, S. D.; SILVA, A. P.; FIGUEIREDO, G. C.; TORMENA, C. A.; Giarola, N. F. B. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob plantio direto submetido à descompactação mecânica e biológica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p. 1854-1867, 2012.

SIQUEIRA NETO, M.; VENZKE FILHO, S. P.; PICCOLO, M. C.; CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C. Rotação de culturas no sistema plantio direto em Tibagi (PR). I - Sequestro de carbono no solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 1012-1022, 2009.

SOUZA, A. P.; LIMA, M. E.; CARVALHO, D. F.; GUERRA, J. G. M. G.; ANDRADE, I. P. S.; ROCHA, H. S. Influência da decomposição de diferentes resíduos vegetais submetidos a lâminas de irrigação no comportamento da vegetação espontânea. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 2, p. 317-324, 2010.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação de dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 15, p. 229-235, 1991.

TAMBURUS, A. Y. **Formas de descompactação mecânica e biologia em um Latossolo Vermelho e relação com o rendimento do milho**. 2017. 20f. Monografia (Graduação em Engenharia Agronômica). Instituto Federal do triângulo Mineiro, Uberaba, 2017.

THOMAS, R. J. e ASAOKAWA, N. M. Decomposition of leaf litter from tropical forage grasses and legumes. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, p. 1351-1361, 1993. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(93\)90050-L](https://doi.org/10.1016/0038-0717(93)90050-L)

TORRES, E.; SARAIVA, O. F. **Camadas de impedimento do solo em sistemas agrícolas com a soja**. Londrina: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 58p, 1999. (Circular Técnica, 23).

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, p. 421-428, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2008000300018>

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G. Produção e decomposição de resíduos culturais antecedendo milho e soja num Latossolo no cerrado mineiro. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 5, p. 419-426, 2014.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; ASSIS, R. L. de; SOUZA, Z. M. de. Atributos físicos de um latossolo vermelho cultivado com plantas de cobertura, em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, p. 428-437, 2015a.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; RODRIGUES JUNIOR, D. J.; LOSS, A. Production, decomposition of residues and yield of maize and soybeans grown on cover crops. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 46, n. 3, p. 451-459, 2015b. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20150026>

TORRES, J. L.R.; COSTA, D. D. A.; SILVA NETO, O. F. S; ARAÚJO, A. S.; SILVA, V. R.; VIEIRA, D. M. S. Avaliação da resistência à penetração e densidade do solo num Latossolo sob semeadura direta há doze anos. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 08, n. 01, p.131-140, 2015c.

TORRES, J. L. R.; ARAUJO, A. S.; BARRETO, A. C.; SILVA NETO, O. F.; SILVA, V. R.; VIEIRA, D. M. S. Desenvolvimento e produtividade da couve-flor e repolho influenciados por tipos de cobertura do solo. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 4, p. 510-514, 2015d. <https://doi.org/10.1590/S0102-053620150000400017>

TORRES, J. L. R.; SILVA, V. R. e; ASSIS, R. L. de; SOUZA, Z. M. de; VIEIRA, D. M. S.; TAMBURÚS, A. Y. Soil physical quality after the fifth and sixth harvest of sugarcane in Brazilian Cerrado. **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, p. 1306-1311, 2016a. <https://doi.org/10.21475/ajcs.2016.10.09.p7776>

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; LOSS, A. Produção, decomposição e ciclagem de nutrientes das coberturas de solo utilizadas no sistema de semeadura direta no cerrado. In: AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; CHAGAS, C. I.; ZONTA, E. (Org.). **Impactos Ambientais Provenientes da Produção Agrícola: Experiências Argentinas e Brasileiras**. 1^aed. São Paulo: Livre Expressão, v. 1, p. 305-338, 2016b.

TORRES, J. L. R.; GOMES, F. R. C.; BARRETO, A. C.; TAMBURÚS, A. Y.; VIEIRA, D. M. S.; SOUZA, Z. M.; MAZETTO JÚNIOR, J. C. Application of different cover crops and mineral fertilizer doses for no-till cultivation of broccoli, cauliflower and cabbage. **Australian Journal of Crop Science**, v.11, n.10, p.1339-1345, 2017. <https://doi.org/10.21475/ajcs.17.11.10.pne645>

TORRES, J. L. R.; GOMES, F. R. C.; BARRETO, A. C.; TAMBURÚS, A. Y.; VIEIRA, D. M. S.; SOUZA, Z. M.; MAZETTO JÚNIOR, J. C. Application of different cover crops and mineral fertilizer doses for no-till cultivation of broccoli, cauliflower and cabbage. **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, n. 10, p. 1339-1345, 2017. <https://doi.org/10.21475/ajcs.17.11.10.pne645>

VEZZANI, F. M. e MIELNICZUK, J. Uma visão sobre a qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 743-755, 2009.

VISCHI FILHO, O. J.; SOUZA, Z. M.; SOUZA, G. S.; SILVA, R. B.; TORRES, J. L. R.; LIMA, M. E.; TAVARES, R. L. M. **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, n. 2, p. 169-176, 2017. <https://doi.org/10.21475/ajcs.17.11.02.p215>

WALKLEY, A.; I. A. BLACK. An examination of the Degtjareff method for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. **Soil Science**, v. 63, p. 251-263, 1934. <https://doi.org/10.1097/00010694-194704000-00001>

YEOMANS, J. C e BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of carbon in soil. **Commun. in Soil Sci. Plant Anal.**, v. 19, p. 1467-1476, 1988. <https://doi.org/10.1080/00103628809368027>

ZOTARELLI, L.; ZATORRE, N. P.; BODDEY, R. M.; JANTALIA, C. P.; URQUIAGA, S.; FRANCHINI, J. C.; ALVES, B. R. Influence of no-tillage and frequency of a green manure legume in crop rotations for balancing N outputs and preserving soil organic C stocks. **Field Crops Research**, v. 132, p. 185-195, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.12.013>