



MARINA NEVES MERLO

**INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO E EROSÃO
HÍDRICA EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE GRÃOS**

Lavras – MG

2019

MARINA NEVES MERLO

**INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO E EROSÃO HÍDRICA EM SISTEMAS
DE PRODUÇÃO DE GRÃOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte das
exigências do curso de Engenharia Ambiental e
Sanitária, para obtenção do título de Bacharel.

Professor DSc. Junior Cesar Avanzi
Orientador

LAVRAS – MG

2019

MARINA NEVES MERLO

**INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO E EROSÃO HÍDRICA EM SISTEMAS
DE PRODUÇÃO DE GRÃOS
INDICATORS OF SOIL QUALITY AND WATER EROSION IN PRODUCTION
SYSTEM OF GRAINS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte das
exigências do curso de Engenharia Ambiental e
Sanitária, para obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 28 de junho de 2019
Prof. DSc Bruno Montoani Silva
Profa. DSc. Érika Andressa da Silva
Doutorando Osnar Obede da Silva Aragão

Prof. DSc Junior Cesar Avanzi
Orientador

LAVRAS – MG

2019

*“So understand
Don't waste your time always searching for those wasted years
Face up, make your stand
And realize you're living in the golden years” – Adrian Smith (Iron Maiden)*

AGRADECIMENTOS

No fim desta etapa tão importante, manifesto meu sincero agradecimento à Deus por conduzir meus passos possibilitando tantas conquistas e permitindo cruzar o caminho de pessoas que hoje tenho o prazer de homenagear.

Aos meus pais, Antônio e Francisca, com todo o meu amor, agradeço por todos os esforços que possibilitaram estes anos de estudo, além das palavras de motivação, sorrisos e conselhos. Aos meus irmãos, Sabrina e Rafael, pelo apoio, carinho e confiança. Ao André, meu companheiro de todos os dias, pelo amor, carinho, encorajamento, compreensão e paciência.

Ao querido Professor e orientador Junior Cesar Avanzi, pelos anos de convivência, pela orientação, disponibilidade, paciência e confiança. Ao Professor Bruno Montoani, pelas instruções. À Professora Érika Andressa da Silva, por tornar motivador meu primeiro contato com a pesquisa e pela paciência. Ao doutorando Osnar Obede da Silva Aragão, pela tranquilidade, amizade e ensinamentos. Ao mestrando Lucas de Castro Moreira, pela disponibilidade, ajuda, paciência e amizade.

Aos amigos e colegas, pelos anos de convivência, conselhos e desabafos, em especial à Larissa Amarante e Amanda Nascimento.

À toda equipe do Solos por compartilharem as tarefas, sorrisos e conhecimentos.

À Professora Fátima Moreira por disponibilizar os equipamentos e os reagentes do Laboratório de Microbiologia do Solo.

Ao Departamento de Ciências do Solo (DCS/UFLA) pela oportunidade.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos.

Aos técnicos do DCS pela convivência e ajuda nas análises laboratoriais, especialmente Dulce e Teo.

À EMBRAPA Milho e Sorgo pela disponibilidade da área experimental.

À Universidade Federal de Lavras pelo excelente curso de graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária e aos queridos professores da Ambiental, que contribuíram para minha formação profissional e crescimento pessoal.

A todos, o meu carinho, a minha admiração e o meu sincero: “muito obrigada”!!!

RESUMO

O plantio direto é uma prática conservacionista que reduz as perdas de solo (PS) e de água (PA) devido a permanência da cobertura vegetal e ao mínimo revolvimento do solo. Estes resíduos vegetais, além de proteger o solo contra o impacto direto da gota de chuva, aumenta o estoque de carbono no solo, que é fundamental para os processos bioquímicos. Os microrganismos são bons indicadores de qualidade do solo, pois são sensíveis às mudanças que ocorrem nesse ecossistema. Assim, o objetivo deste estudo foi relacionar os atributos físicos, químicos e microbiológicos com a PS e PA em áreas com diferentes sistemas de cultivo em plantio direto no cerrado e estimar de maneira indireta a erodibilidade do solo. As análises foram conduzidas entre dezembro/2018 e março/2019, no município de Sete Lagoas-MG, em um Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVd) com os tratamentos: monocultura de soja (S) e milho (M), rotação milho-soja (M/S), rotação milho-braquiária-soja-braquiária (MBSB), dois tratamentos com alto investimento em fertilidade (MBSB-AI) e (M/S-AI), e solo descoberto (SD). Foram implantadas 3 parcelas de erosão em cada tratamento, de 1 m² (0,5 x 2,0 m) com o comprimento no sentido do declive e um tanque coletor de 20 L na extremidade para armazenamento da enxurrada. Uma alíquota de 250 mL foi amostrada para a quantificação da PS e PA e, então levada à estufa a 105 °C. Coletou-se amostras compostas de solo de 0-10cm, para determinação dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, nas três parcelas de erosão de cada tratamento, dividindo-os em linha e entrelinha da cultura, excetuando-se o tratamento SD. Além disso, foram coletadas amostras indeformadas em anéis volumétricos na camada superficial do solo. Foi medida a resistência à penetração por meio do penetrômetro de impacto de Stolf. O delineamento foi inteiramente casualizado com três repetições, duas posições (linha e entrelinha) e sete tratamentos. Os dados foram submetidos ao teste de normalidade (teste de Shapiro Wilk). Após validação dos modelos estatísticos realizou-se análise de variância e teste Tukey a 5% de probabilidade. Aplicou-se a matriz de correlação entre os atributos da linha e da entrelinha de cultivo com PA e PS. As maiores PS e PA foram nos tratamentos S e SD. Para a linha de cultivo, o carbono da biomassa microbiana (CBM) foi maior para MBSB e MBSB-AI; o M teve menor CBM e maiores respiração basal do solo (RBS) e quociente metabólico (qCO_2). Na entrelinha, o menor de CBM foi em M/S, o qual também teve alta respiração e o maior valor do qCO_2 ; o MBSB-AI teve maior CBM. Na matriz de correlação, a RBS mostrou-se inversamente relacionada à PS e PA; e a PA evidenciou sua estrita relação com PS. A erodibilidade do solo foi estimada em 0,0029 Mg ha h MJ⁻¹ mm⁻¹ ha⁻¹, confirmando a elevada resistência do LVd à erosão hídrica. O maior resíduo vegetal orgânico em superfície promove o aumento da CBM e a redução da RBS e do qCO_2 , como ocorreu tanto na linha de cultura como na entrelinha para o tratamento MBSB-AI. As maiores PS e PA ocorreram no M e no SD, justificando a importância da permanência da palhada sobre o solo como agente de proteção e conservação. Os sistemas com consórcio de braquiária apresentaram maior CBM, indicando melhor qualidade do solo. Os valores obtidos para a RBS e para o qCO_2 para a entrelinha foram superiores à linha, mostrando que a cobertura do solo é necessária para o equilíbrio do ecossistema.

PALAVRAS-CHAVE: perda de solo, perda de água, indicadores físicos, indicadores químicos, indicadores biológicos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Localização do bioma Cerrado em Minas Gerais e imagem aérea para identificação das áreas experimentais no período de entressafra, situadas na Embrapa Milho e Sorgo em Sete Lagoas – MG.	24
Figura 2 - Representação do capim-piatã (<i>Brachiaria brizantha</i> cv. BRS Piatã) consorciado com milho em plantio simultâneo na mesma linha de cultura.	25
Figura 3 - Trabalho desenvolvido in situ: A: parcela de erosão; B: coleta de amostras indeformadas; C: medida da resistência à penetração pelo penetrômetro de impacto de Stolf.	29
Figura 4 - Etapas do trabalho desenvolvido no Laboratório de Física do Solo para determinação da porosidade e densidade do solo: A: amostra indeformada saturada; B: amostra no funil de sucção a 6kPa; C: parte do conjunto de funis de placa porosa.	30
Figura 5 - Etapas do trabalho desenvolvido no Laboratório de Física do Solo para determinação da estabilidade dos agregados do solo: A: equipamento utilizado para medição da estabilidade de agregados em água; B: jogo de peneiras (2; 1; 0,5; 0,25 e 0,106 mm) com os agregados retidos.	30
Figura 6 - Etapas do trabalho desenvolvido no Laboratório de Física do Solo para determinação da textura: A: agitador de Wagner para determinação da textura; B: coleta da alíquota de 10 mL a 5 cm de profundidade da proveta de 500 mL após o tempo de sedimentação para determinação da fração argila.	31
Figura 7 - Etapas do trabalho desenvolvido no Laboratório de Microbiologia do Solo pra quantificação do Carbono da Biomassa Microbiana : A: pesagem de solo; B: incubação das amostras; C: processo de filtragem do solo com sulfato de potássio pós agitação para obtenção do extrato com carbono orgânico; D: extrato com ácido sulfúrico e ácido fosfórico pós aquecimento com (coloração azul escura) e sem (coloração amarela) indicador difenilamina; E: amostra pós titulação com sulfato ferroso amoniacal (coloração verde garrafa).	32
Figura 8 - Etapas do trabalho desenvolvido no Laboratório de Microbiologia do Solo para quantificação da Respiração Basal do Solo: A: pesagem de solo para respiração do solo; B: solo umedecido para incubação; C: incubação das amostras e hidróxido de sódio; D: hidróxido de sódio com cloreto de bário 0,5M para interromper a reação e indicador fenolftaleína; E: amostras pós titulação com ácido clorídrico 0,05M.	33
Figura 9 - Comparação entre os tratamentos da perda de solo devido à erosão hídrica no período	

de dezembro de 2018 a março de 2019. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.	35
Figura 10 - Comparação entre os tratamentos da perda de água proveniente de escoamento superficial no período de dezembro de 2018 a março de 2019. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.	36
Figura 11 - Comparação entre os tratamentos para a resistência à penetração com as respectivas médias (em MPa) e letras de agrupamento do teste Tukey a 5% de probabilidade. As médias seguidas da mesma letra não diferem entre si.	38
Figura 12 – Matriz de correlação entre os atributos da linha de cultura. (p-valor < 0,05)	43
Figura 13 - Matriz de correlação entre os atributos da entrelinha. (p-valor < 0,05).....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Atributos do solo para os diferentes tratamentos. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.	37
Tabela 2 - Umidade gravimétrica do solo in situ nas profundidades de 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm para avaliação da resistência à penetração. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.	39
Tabela 3 - Atributos do solo para os diferentes tratamentos considerando a linha de cultura na camada de 0-10 cm. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.	41
Tabela 4 - Atributos do solo para os diferentes tratamentos considerando a entrelinha na camada de 0-10 cm. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.	44

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	11
2.	REVISÃO DE LITERATURA.....	12
	2.1. Latossolos	12
	2.2. Resistência do solo à penetração	12
	2.3. Conservação do solo e da água	13
	2.4. Erosão hídrica e perda de solo.....	14
	2.4.1. Erodibilidade do solo.....	15
	2.5. Sistema Plantio Direto.....	16
	2.6. Qualidade do solo e seus indicadores	16
	2.6.1. Atributos físicos do solo.....	16
	2.6.2. Atributos químicos	18
	2.6.3. Atributos microbiológicos.....	18
	2.6.3.1. Respiração basal.....	19
	2.6.3.2. Carbono da Biomassa Microbiana	19
	2.6.3.3. Quociente metabólico.....	19
	2.7. Manejo conservacionista para cultivo de grãos	20
3.	MATERIAL E MÉTODOS	22
	3.1. Local e caracterização da área experimental.....	22
	3.2. Avaliação da erosão hídrica.....	26
	3.3. Indicadores de qualidade	27
	3.1. Análise estatística.....	34
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
	4.1. Perda de solo, perda de água e atributos físicos.....	35
	4.2. Atributos químicos e microbiológicos do solo na linha de cultivo.....	39
	4.3. Atributos químicos e microbiológicos do solo na entrelinha de cultivo 43	
	4.4. Estimativa da erodibilidade do solo	46
5.	CONCLUSÕES	47

1. INTRODUÇÃO

O plantio direto é uma prática conservacionista que reduz a erosão hídrica e é caracterizada pela permanência da cobertura vegetal sobre o solo e a ausência do revolvimento do mesmo. Esta prática reduz as perdas de solo e de água provenientes do impacto direto da gota de chuva, da desagregação do solo e do arraste de sedimentos, matéria orgânica e nutrientes, podendo atingir o ecossistema aquático e levar ao assoreamento e à eutrofização. Este problema atinge os níveis ambientais, sociais e econômicos, uma vez que há o empobrecimento das áreas produtivas e a contaminação da bacia hidrográfica que está associada à dessedentação de animais e potabilidade da água para o consumo humano.

Além disso o plantio direto leva ao aumento do estoque de carbono no solo, à redução da evaporação de água e da amplitude térmica do solo, que são importantes para a sobrevivência dos microrganismos do solo. Os microrganismos são sensíveis indicadores de qualidade do solo, uma vez que suas atividades metabólicas de degradação da matéria orgânica são influenciadas pelo tipo de manejo, disponibilidade hídrica, aeração e cobertura vegetal. Essas atividades bioquímicas refletem a velocidade da decomposição da matéria orgânica, podendo caracterizar um aspecto positivo como a liberação de nutrientes para as plantas, ou negativo, como a perda de carbono do solo pela intensificação da respiração dos microrganismos. O aumento da respiração comparado à quantidade de biomassa microbiana do solo pode indicar situação de estresse no ecossistema. Assim, por meio dos indicadores microbiológicos é possível detectar perturbações ambientais antes que alterações nos atributos físicos e químicos sejam percebidas.

Portanto, o propósito deste estudo foi relacionar os atributos microbiológicos com a erosão hídrica em áreas com diferentes tratamentos culturais sob plantio direto no cerrado brasileiro, investigando se as práticas de manejo adotadas estão ou não contribuindo para melhorar a qualidade do solo, já que na literatura são poucas as evidências de tais relações.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Latossolos

Os Latossolos “encontram-se amplamente distribuídos pelo território nacional com destaque para os estados do Mato Grosso do Sul, Goiás, Minas Gerais, Paraná, São Paulo, Mato Grosso e Rio Grande do Sul” (KER, 1997, p.21). Ainda segundo este autor, estudos de levantamento de classes de solos no Brasil apontaram, contudo, a ocorrência do solo supracitado no domínio Amazônico.

De acordo com EMBRAPA (2018), os Latossolos possuem:

(...) um horizonte mineral subsuperficial cujos constituintes evidenciam avançado estágio de intemperização explícito pela transformação quase completa dos minerais facilmente alteráveis, seguida de intensa dessilicificação, lixiviação de bases e concentração residual de sesquióxidos e/ou argilominerais do tipo 1:1 e minerais resistentes ao intemperismo. Em geral, o horizonte B latossólico é constituído por quantidades variáveis de óxidos de ferro e de alumínio, argilominerais do tipo 1:1, quartzo e outros minerais mais resistentes ao intemperismo. Além disso, o horizonte B latossólico apresenta diferenciação pouco nítida entre os seus sub-horizontes, com transição de maneira geral difusa. A estrutura neste horizonte pode ser fortemente desenvolvida, quando os elementos de estrutura forem granulares, de tamanho muito pequeno e pequeno, ou fraca e mais raramente de desenvolvimento moderado, quando se tratar de estrutura em blocos subangulares. (Arquivo digital).

Representando mais de 50% do território brasileiro, os Latossolos são os mais importantes em termos agrícolas, pois sua aptidão abrange culturas anuais, perenes, pastagens e reflorestamento, uma vez que são solos que possuem relevo plano a suave ondulado, cuja declividade média situa-se em torno de 7%. Esta característica traz facilidade aos processos de mecanização (OLIVEIRA, 2005; SOUSA; LOBATO, 2007). Segundo Sousa e Lobato (2007), os Latossolos são possuem elevada profundidade e porosidade, boa condutividade hidráulica e permeabilidade mesmo quando muito argilosos, porém os autores expõem como fator limitante desta classe de solo a baixa fertilidade natural. No entanto, ressaltam que aplicações apropriadas de corretivos e fertilizantes no período adequado para a cultura propiciam boas produções.

2.2. Resistência do solo à penetração

Tratando-se de degradação física do solo, para Azevedo et al. (2018):

Um dos principais processos de degradação física do solo é a compactação, que é a redução da porosidade do solo e aumento da densidade do mesmo quando este é sujeito a uma grande pressão ou esforço. Isto acontece, na

maioria das vezes, devido a compressão de máquinas agrícolas, pisoteio do gado, manejo inadequado do solo em geral e as condições ambientais do meio. A compactação pode causar a redução da aeração do solo, alteração da estrutura e lugar onde as raízes se desenvolvem, elevação da resistência do solo, redução da infiltração da água, redução da drenagem interna e da redistribuição da água, aumento do escoamento superficial e do risco de erosão e propicia crescimento restrito às raízes.

Por estes motivos e em razão do baixo custo do equipamento, o penetrômetro de impacto está se difundindo no campo para identificar a compactação proveniente de uso e manejo do solo. Para mais, a facilidade de utilização por parte do operador é outro fator positivo (BEUTLER; CENTURION; SILVA, 2007; CASAGRANDE, 2001; TORMENA; ROLOFF, 1996).

Este equipamento mede a resistência da penetração (RP) de raízes no solo, por meio de um peso que cai em queda livre de uma altura constante e promove um impacto no solo (STOLF, 1991; STOLF et al., 2014).

Dentre outros fatores físicos como a densidade, a textura, o material orgânico, a umidade e a resistência do solo à penetração de raízes são atributos que podem indicar o a compactação existente no solo (VALENTE et al., 2019).

2.3.Conservação do solo e da água

A conservação dos recursos ambientais é um tema bastante preocupante na atualidade e tem chamado a atenção em esfera mundial. O mau uso do solo, aliado à redução da capacidade de produção e as elevadas taxas de erosão entram em conflito com a necessidade crescente por alimento demandado pelo aumento exponencial da população (KHANCHOU; BOUBEHZIZ, 2019; MELLO et al., 2006).

Segundo Ferreira, Pereira e Kalantari (2018), a população mundial elevou-se em sete vezes entre os anos de 1820 e 2012, chegando a 7 bilhões e possui projeção populacional para o ano de 2056 de 10 bilhões de pessoas. Assim, evidencia-se a necessidade de práticas conservacionistas, de avaliação dos impactos ambientais e quantificação das perdas de solo em busca da real capacidade de uso do solo e da contenção dos processos erosivos causados pelas modificações antrópicas de uso e manejo da terra. Desta forma, a adoção de sistemas de cultivo e manejo do solo pode intensificar e favorecer a produtividade e a renda dos produtores. Caso contrário, o manejo insustentável pode promover taxas de erosão que excedem a taxa de

formação do solo (BLAKE et al., 2018; BORRELLI, 2014; MELLO et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2015).

Neste sentido, ressalta Marouelli et al. (2008), que o sistema plantio direto, o qual fundamenta-se na permanência de resíduos vegetais sobre o solo, no mínimo revolvimento e na rotação de culturas vem apresentando vantagens quanto à redução das perdas de solo e água, uma vez que este sistema aumenta a infiltração e retenção de água, além de melhorar a estrutura do solo.

2.4.Erosão hídrica e perda de solo

A erosão do solo é um problema que atinge os níveis ambientais, sociais e econômicos, pois empobrece a área e os sedimentos podem poluir toda uma bacia hidrográfica (BAGIO et al., 2017; WANG et al., 2013).

Baldassarini e Nunes (2018) ressaltam em seu trabalho que o “solo é um recurso natural de grande relevância por sustentar a biodiversidade, por ser um componente essencial dos ecossistemas e dos ciclos naturais e enquanto suporte da produção de alimentos e das atividades humanas”. Entretanto, os autores salientam que a degradação solo é um dos grandes problemas ambientais que mais afetam a modernidade.

A erosão hídrica dos solos é um processo que pode ser entendido como:

Desprendimento e arraste de partículas do solo, causado pela água ou pelo vento, sendo considerada a principal causa do depauperamento acelerado das terras. Neste sentido, em solos tropicais, a erosão hídrica ocorre com maior frequência devido às taxas elevadas de precipitação e a alta capacidade de remoção e transporte de sedimentos. (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2014, p. 68).

Verifica-se que o processo de erosão hídrica ocorre em bacias hidrográficas e abrange todas as regiões do globo. Além disso, as interferências antrópicas nos ecossistemas intensificam estes processos de degradação ambiental – local e nas imediações mais distantes – transportando sedimentos e removendo nutrientes, carbono orgânico e contaminantes agroquímicos, o que promove, conseqüentemente, a diminuição da produtividade do solo. Este encadeamento de acontecimentos ocasiona danos ambientais e ao setor agrícola. Ademais, o manejo inadequado do solo pode provocar problemas econômicos e de qualidade do abastecimento de água, assoreamento dos corpos hídricos lânticos e lóticos e alterar a vida aquática devido ao enriquecimento das águas com fósforo e nitrogênio, promovendo a eutrofização (AVANZI et al., 2013; BARROS et al., 2018; BISPO et al., 2017; MARTINS et al., 2003).

No entanto, a erosão hídrica é multifatorial, abrangendo aspectos físicos, morfológicos, químicos e biológicos, os quais são procedentes do material de origem e, podem ser ocasionalmente alterados pela intervenção humana, basicamente associados às ocupações rurais e manejo agrícola. Por isso, as correlações dos elementos citados são importantes para o planejamento do manejo conservacionista e recuperação ambiental (BALDASSARINI; NUNES, 2018).

Quanto a suscetibilidade do solo à erosão, a declividade do terreno é um fator importante, pois retrata as restrições de uso e pode intensificar os processos erosivos. Neste contexto, as influências sobre perda de solo (PS) e de água (PA) devido ao escoamento superficial direto estão ligadas à precipitação local, cobertura vegetal do solo e as práticas conservacionistas adotadas pelos produtores, podendo os dois últimos citados serem ajustados de forma a promover a redução da erosão hídrica em sistemas agrícolas. (CARVALHO, 2018; GUADAGNIN et al., 2005; ZOLIN et al., 2016).

Para a estimativa da erosão, o modelo frequentemente utilizado é a Equação Universal de Perda de Solo (USLE), elaborada por Wischmeier e Smith (1978) nos Estados Unidos, em que são relacionadas as variáveis: erosividade da chuva, ou energia cinética do impacto das gotas e do escoamento superficial (fator R), erodibilidade do solo (fator K), comprimento de rampa e declividade do terreno (fatores LS), cobertura vegetal (fator C) e as práticas conservacionistas do solo (fator P). No âmbito nacional, a Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE) tem sido o modelo mais utilizado.

2.4.1. Erodibilidade do solo

A erodibilidade do solo refere-se à vulnerabilidade deste ao processo de desagregação e arraste de partículas, apresentando perda de sedimentos, matéria orgânica e nutrientes, sendo estimado por meio de propriedades físicas, como textura, estrutura e permeabilidade (MEDEIROS et al., 2014; NASCIMENTO; ROMÃO; SALES, 2018), entre outros atributos.

Há três maneiras de estimar o fator K. A primeira delas é realizada em condições de campo e sob chuva natural, entretanto a prática envolve altos custos e grandes períodos de tempo para obtenção de dados. O segundo método é análogo ao supracitado, todavia sob chuva simulada. E o terceiro fundamenta-se em regressões múltiplas cujas variáveis independentes são atributos do solo associadas à erodibilidade do solo, sendo estas alcançadas com base nos dois métodos anteriores tidos como padrão (SILVA et al., 1999).

Para condução do experimento em campo, Laflen (1982) recomenda que o tempo mínimo para obtenção de dados seja de cinco anos, o que evitaria a variabilidade temporal do fator K. Por este motivo, autores como Silva et al. (2000) testaram 23 modelos para a estimativa da erodibilidade para Latossolos, e Marques et al. (1997) avaliaram 13 modelos indiretos para a estimativa do fator K, em solos com horizontes B textural.

2.5.Sistema Plantio Direto

Atualmente os produtores estão buscando alternativas que sejam menos agressivas ao ambiente. Neste sentido, o sistema plantio direto (SPD) constitui um manejo no qual a palhada da cultura anterior não é retirada do solo, fazendo com que haja permanência de cobertura vegetal. Assim, há a redução da evaporação de água do solo e dos riscos erosivos (ALMEIDA et al, 2018; RIBEIRO et al, 2018).

O uso deste sistema promove menor grau de perturbação e maiores estabilidade e diversidade biológica ao ecossistema agrícola quando comparado àqueles que fazem revolvimento do solo. Desta forma, o SPD favorece a agregação das partículas primárias do solo, reduz as taxas de mineralização da matéria orgânica e as de erosão. Além disso, a cobertura do solo propicia o controle natural de pragas, doenças e plantas invasoras. Sendo assim, colhem-se benefícios no sentido da redução de energia fóssil e de agrotóxicos e do estímulo à microbiota do solo (BARETTA et al., 2003; BARTZ et al., 2013; BARTZ et al., 2014; BROWN et al., 2003; COMIN, 2018; DERPSCH et al., 1991; PIERI et al., 2002).

Diferente disso, de acordo com Pereira e Rodrigues (2013), o sistema de cultivo convencional abrange o revolvimento superficial do solo com maquinário de arado e gradeamento. Neste tipo de manejo no qual o revolvimento do solo é constante há redução da qualidade e diversidade biológica da fauna e flora local (ALTIERI, 1999; BEGON et al., 2006; SWIFT et al., 2004).

2.6.Qualidade do solo e seus indicadores

2.6.1.Atributos físicos do solo

Ao considerar os aspectos físicos do solo, a estrutura é um dos atributos mais importantes, haja vista sua relação com a resistência à penetração de raízes e com a disponibilidade de água e ar às plantas, impactando diretamente no suprimento de nutrientes.

Desta forma, esta característica torna-se essencial ao desenvolvimento do sistema radicular propiciando condições para atingir altas produtividades (CORRÊA, 2002).

Entretanto, com a intensificação do cultivo e do revolvimento do solo aliados às propriedades intrínsecas de cada classe de solo, pode haver uma tendência à perda da estrutura original devido à fragmentação dos agregados maiores, ocasionando a redução dos macroporos (poros com diâmetro maior que 0,05 mm) e do teor de matéria orgânica, que é um importante agente cimentante dos agregados do solo. Estes efeitos trazem redução da infiltração de água no solo, da retenção de água, da aeração e o aumento da resistência à penetração de raízes, além de tornar maior o número de microporos (poros com diâmetro menores que 0,05 mm) e a densidade do solo. Os fatores citados atuam no sentido de acrescer a suscetibilidade do solo frente à erosão, acarretando na perda de sedimentos e na compactação pela baixa resistência mecânica do solo (CARPENEDO; MIELNICZUK, 1990; REICHERT; REINERT; BRAIDA, 2003).

As propriedades físicas do solo podem ser modificadas em função dos diferentes sistemas de produção quando comparado ao cultivo do solo em monocultura ou quando está descoberto (RAPOSO et al., 2018).

Para mais, Laudicina et al. (2017) apontam que uma das características mais importantes do solo é a sua qualidade, uma vez que esta afeta a “produção de recursos em campos agrícolas”. Neste sentido, a densidade do solo (D_s) vem sendo utilizada para medir a qualidade do solo, pois está diretamente relacionada a outras propriedades como porosidade, umidade e permeabilidade (COSTA et al., 2007; DAM et al., 2005; MARTINS et al., 2009; THIMÓTEO et al., 2001). Além disso, a D_s pode ser aplicada para indicar o grau de compactação do solo (REICHARDT; TIMM, 2004), uma vez que este sendo um material repleto de poros, a compressão causa redução do volume para a mesma medida de massa (PIRES et al, 2011). Esta compactação, segundo o mesmo autor, afeta a estrutura, o arranjo e o volume de poros, e conseqüentemente, a retenção de água nestes. Assim, há uma redução significativa da permeabilidade do solo (SOUZA; ALVES, 2003), impactando diretamente no escoamento superficial de água e conseqüentemente nas taxas de erosão. A importância desse espaço poroso pode ser expressa ao movimento de água, gases e baixa resistência à penetração de raízes (RAPOSO et al., 2018).

2.6.2. Atributos químicos

É no solo que as plantas se desenvolvem, assim, é importante verificar se os nutrientes que estão presentes são capazes de suprir as necessidades da cultura. Portanto, para que haja desenvolvimento vegetal adequado de modo a alcançar boas produtividades, a fertilidade do solo é fundamental. Os Latossolos, entretanto, devido à elevada intemperização sofrida, apresentam baixa fertilidade e reserva natural (MUNIZ et al., 2018) mas são amplamente utilizados para a produção de grãos.

Bernardi et al. (2002) ainda ressaltam a baixa capacidade de troca catiônica (CTC) desta classe de solo, além das elevadas capacidade de fixação de fósforo e acidez trocável (Al^{3+}), e os baixos teores de macro (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (B, Zn e Cu).

2.6.3. Atributos microbiológicos

No sistema plantio direto, a permanência da matéria orgânica sobre o solo promove o incremento dos estoques de carbono, o qual é de grande importância para a agregação do solo e para sobrevivência da microbiota (HOLLFMANN et al, 2018). Portanto, a forma com é conduzido o manejo do solo e da cultura influi na qualidade do solo, visto que a estrutura e alguns atributos microbiológicos sofrem influência direta de certas perturbações. Estas mudanças na atividade metabólica da microbiota podem ser detectadas antes mesmo que as características físicas e químicas sejam afetadas e percebidas. Por este motivo, a atividade dos microrganismos no solo pode ser considerada como bom indicador de qualidade (GOLÇALVES et al., 2019; SOUZA et al., 2012; VENZKE FILHO et al., 2008).

Devido à sensibilidade às modificações do meio, análises do carbono da biomassa microbiana, da respiração basal e, conseqüentemente, do quociente metabólico podem ser utilizados como indicadores dos processos ecológicos do solo (CRECCHIO et al., 2007). Assim, as variações na atividade microbiana podem influenciar a fertilidade do solo e o crescimento das plantas.

2.6.3.1. Respiração basal

A respiração basal do solo (RBS) está ligada à decomposição do material orgânico por parte dos microrganismos como fungos e bactérias, na qual libera-se dióxido de carbono (CO₂). Os processos metabólicos realizados durante a respiração refletem a velocidade dessa decomposição, podendo ter um aspecto positivo, como a liberação de nutrientes para as plantas, ou negativo, como a perda de carbono do solo. Além disso, a respiração relaciona-se com fatores abióticos como a umidade, temperatura e aeração que do solo (SILVA; AZEVEDO; DE-POLLI, 2007; SOUZA et al., 2010). Ademais, estudos como o de Cattelan e Vidor (1990) mostraram que a quantidade de carbono presente no solo contribui para o aumento da RBS.

2.6.3.2. Carbono da Biomassa Microbiana

Dentre os atributos microbiológicos, a biomassa microbiana do solo realiza os processos na ciclagem tanto de nutrientes e como da fração orgânica do solo rapidamente decomposta, além de ser responsável pelo fluxo de energia dentro do solo. Essa biomassa microbiana varia em função do tempo e da disponibilidade hídrica do solo (JENKINSON; LADD, 1981; PATEL et al., 2010; WARDLE; HUNGRIA, 1994).

Para mais, a BMS sofre influência do clima local, da aeração, da disponibilidade de nutrientes e da quantidade de resíduos orgânicos presentes no solo, sendo este último é fonte de energia da biomassa, promovendo aumento da população e, conseqüentemente, da atividade metabólica (CATTELAN; VIDOR, 1990).

Para HOLLFMANN et al. (2018), estudar a matéria orgânica do solo, principalmente pela quantificação do carbono da biomassa microbiana (CBM), pode revelar dados importantes sobre o estoque dos elementos orgânicos no solo, os quais estão ligados intimamente à qualidade deste. Assim, a manutenção do manejo une-se com a sustentabilidade dos sistemas de produção e ao melhor desenvolvimento das plantas e, portanto, traz melhorias para a preservação e conservação do meio ambiente.

2.6.3.3. Quociente metabólico

O quociente metabólico (qCO_2) é um parâmetro que estima o efeito de uma mudança ambiental na população microbiana, podendo ser utilizado como indicador de estresse. É

definido como a razão entre a respiração basal do solo e o carbono da biomassa, fornecendo a quantidade de CO₂ liberada por unidade de biomassa. Em outras palavras, o qCO_2 indica a eficiência da biomassa microbiana em biossintetizar o carbono disponível no solo, estimando, assim, a atividade biológica e a qualidade do substrato. Assim, esta relação permite uma avaliação mais conclusiva no tocante à atividade microbiana ligada aos efeitos ambientais sobre a população, pois o aumento da respiração para uma mesma biomassa aponta maior gasto de energia e, supostamente, reflete um ambiente fora do estado de equilíbrio (ANDERSON; DOMSH, 1993; COLOZZI FILHO et al., 2001; FARIAS et al., 2018; MERCANTE et al., 2008; SAVIOZZI et al, 2002).

2.7. Manejo conservacionista para cultivo de grãos

Com vistas à conservação do solo e da água e conseqüentemente do meio ambiente frente ao sistema de cultivo convencional e à monocultura, o sistema em consórcio permitem adentrar às premissas básicas para a sustentabilidade no campo. Assim, podem ser almejadas estratégias de preservação ambiental, recuperação de áreas degradadas e o aumento da competitividade no mercado agrícola devido à redução de custos de produção e agregação de valor, com produção diversificada durante o ano e alta produtividade. Neste contexto, a permanência de palhada sobre a superfície do solo contribui para a expansão do sistema plantio direto na região do cerrado e trará resultados econômicos e ambientais positivos (PARIZ et al., 2011).

Deste modo, a adoção do consórcio milho/braquiária no outono/inverno e a rotação soja/braquiária é uma alternativa para a cobertura do solo cujos inúmeros benefícios podem ser ressaltados como produção de resíduos de raízes e parte aérea da forrageira, redução da perda de água por evaporação, aumento da infiltração e da disponibilidade de água e redução da erosão hídrica e da perda de nutrientes (ANDRADE; WOLFE; FERERES, 1994; DERPSCH et al., 1991; MECCHI et al., 2018; MELO FILHO; SILVA, 1993).

O agronegócio brasileiro tornou-se um dos principais setores da economia (SOUZA et al., 2017). O milho é o segundo grão mais exportado pelo país. Além disso, os autores ressaltam que o ganho de espaço no cenário nacional fez com que o milho representasse um dos principais segmentos econômicos (DE SOUZA et al., 2018).

Além da considerável relevância socioeconômica que o cultivo deste grão traz, também pode ser citada fabricação de diversos produtos que utilizam este cereal como principal ou um

dos principais ingredientes como: ração para nutrição animal; óleo e farinha para consumo humano; indústria alimentícia e de bebidas; matriz energética na forma de biocombustíveis como o etanol (CONAB, 2017; SIMIONI et al., 2017).

Outro grão de relevância nacional é a soja, a qual apresenta elevada adaptação às diferentes condições edafoclimáticas do país, o que possibilitou seu cultivo nas mais diversas regiões. Assim, com a conquista deste grão dos solos brasileiros, pôde-se perceber não só sua importância na economia, mas também o impulsionamento de outros setores devido à geração direta e indireta de empregos. Para mais, as principais utilizações do farelo de soja são para alimentação proteica de aves, suínos, bovinos, humana e industrial (CONAB, 2017; ROCHA et al., 2018).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido no campo experimental da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e as análises realizadas na Universidade Federal de Lavras (UFLA) no Departamento de Ciência do Solo (DCS). Foram estudados diferentes sistemas de produção de grãos, todos sob plantio direto, cujo investimento tecnológico relacionado à fertilidade do solo foi feito em dois níveis.

Os tratamentos da área experimental situam-se na unidade da Embrapa - Milho e Sorgo, localizada a 12 km da cidade de Sete Lagoas, na região central de Minas Gerais, com coordenadas geográficas 19° 28' 30" de latitude sul e 44° 15' 08" de longitude oeste, com altitude de 732 metros. A área vem sendo utilizada para plantio de grãos há vinte anos.

O solo estudado foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVd) (SANTOS et al., 2013), e possui declividade média de aproximadamente 8% sendo, portanto, caracterizado como relevo suave ondulado.

O clima local, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwa (clima temperado úmido com inverno seco e verão quente), temperatura média anual de 21,9 °C (BORGES JUNIOR, et al., 2017) e precipitação média anual de 1.271,8 mm (GALVÃO et al., 2017).

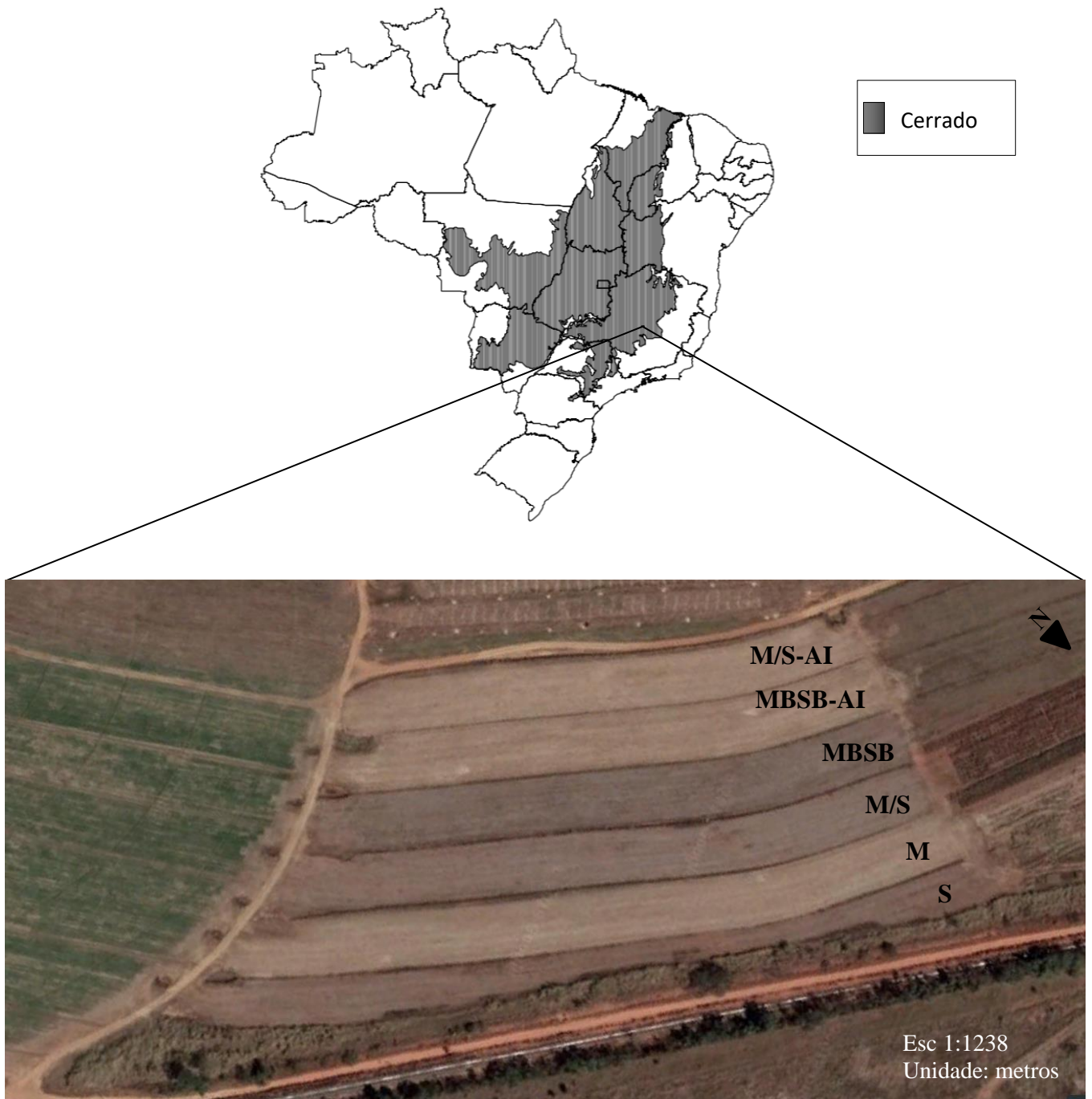
A implantação do experimento teve início na safra 2014/2015. Em 2014 realizou-se as operações de mobilização do solo em toda a área para incorporação dos insumos: subsolagem, aiveca, grade aradora e grade niveladora. O pH do solo foi corrigido e a fertilidade ajustada de acordo com a análise de solo e os objetivos pretendidos. Destaca-se que as operações de revolvimento inicial visaram alcançar profundidade superior aos 20 cm convencionais utilizados na região. Na etapa inicial, em toda a área foram aplicados corretivos (calcário e gesso) e fertilizantes (fosfatados, potássicos e micronutrientes) para condicionamento do perfil e uniformização do solo, sendo incorporados alternadamente por meio de subsolagem, grade aradora e niveladora. As operações de tratos culturais, semeadura e posterior colheita foram efetuadas mecanicamente para obtenção de dados que fossem condizentes ao modelo de lavouras comerciais.

Os tratamentos, com diferentes níveis de investimento em fertilidade (adubação e tratos culturais) na produção de grãos (Figura 1) foram: 1. Soja em monocultura e adubação recomendada à cultura (S); 2. Milho em monocultura e adubação recomendada à cultura (M); 3. Milho e soja rotacionados e adubação recomendada às culturas (M/S); 4. Milho e soja

rotacionados e adubação recomendada à cultura, com inclusão de braquiária em consórcio nos cultivos de milho (MBSB); 5. Milho e soja rotacionados e adubação recomendada acrescido da exportação pela cultura, com braquiária em consórcio nos cultivos de milho e de soja (MBSB-AI); 6. Milho e soja rotacionados e adubação recomendada acrescido da exportação pela cultura (M/S-AI); e 7. Solo descoberto para avaliar a máxima taxa de erosão (SD).

Destaca-se que a braquiária em consórcio é da espécie *Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã, cujo nome popular é capim-piatã. Seu consórcio com o milho, foi realizado em plantio simultâneo na mesma linha de cultura (Figura 2). Com a soja, entretanto, a braquiária foi plantada no estágio fenológico R5, ou seja, ocasião de enchimento de grãos da soja. Além disso, sua semeadura foi feita à lanço (sementes distribuídas ao acaso).

Figura 1- Localização do bioma Cerrado em Minas Gerais e imagem aérea para identificação das áreas experimentais no período de entressafra, situadas na Embrapa Milho e Sorgo em Sete Lagoas – MG.



Fonte: MMA e Google Earth (2019)

Figura 2 - Representação do capim-piatã (*Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã) consorciado com milho em plantio simultâneo na mesma linha de cultura.



Fonte: Do autor (2019)

3.2. Avaliação da erosão hídrica

Em cada tratamento da área experimental foram implantadas, em dezembro de 2018, três parcelas de erosão padrão ou unitárias (WISCHMEIER; SMITH, 1978) de 1 m², as quais possuíam largura de 0,5 m e comprimento de 2 m, sendo este no sentido do declive. Na extremidade inferior da parcela havia um recipiente coletor de 20 L para armazenamento de água e sedimentos, provenientes do escoamento superficial e arraste de partículas de solo (Figura 3A).

No período de dezembro de 2018 a março de 2019 foram coletadas sete amostras de afluente oriundas da água da chuva nos tanques. O volume total escoado foi medido e uma alíquota foi amostrada em um recipiente de 250 mL, os quais foram levados à estufa a 105°C. Assim, possibilitou-se a quantificação da perda de solo e de água total. Posteriormente realizou-se a correção da declividade para 9%, conforme padronizado por Wischmeier e Smith (1978).

A estimativa da erodibilidade do solo foi realizada pelo método indireto, utilizando de base o nomograma proposto por Wischmeier et al. (1971). Neste sentido, para uma melhor definição do valor deste fator, a equação de aproximação do nomograma, desenvolvido por ARS-USDA (1994) foi utilizada (Equação 1).

$$K = (2,10 \times 10^{-4} \cdot M^{1,14} \cdot (12 - ka) + 3,25 (kb - 2) + 2,5 (kc - 3)) \cdot 0,001317 \quad \text{Equação 1}$$

Em que: K é a erodibilidade do solo (Mg ha h MJ⁻¹ mm⁻¹ ha⁻¹); M: (% de silte + areia muito fina) x (100 - % argila); ka: % de matéria orgânica; kb: coeficiente relativo à estrutura do solo, sendo b = 1 para estrutura granular muito fina; b = 2 para estrutura granular fina; b = 3 para estrutura granular média ou grossa; b = 4 para estrutura em blocos, laminar ou massiva; e kc: classe de permeabilidade, sendo c = 1 para permeabilidade rápida; c = 2 para permeabilidade moderada a rápida; c = 3 para permeabilidade moderada; c = 4 para permeabilidade lenta a moderada; c = 5 para permeabilidade lenta; e c = 6 para permeabilidade muito lenta.

Com base nestas classificações, o Latossolo Vermelho distrófico típico muito argiloso em estudo foi caracterizado com estrutura granular média (kb=3) e permeabilidade moderada a rápida (kc=2). A porcentagem de areia muito fina somada com o silte e a porcentagem de argila encontrados em laboratório foram 14,06% e 77%, consecutivamente.

3.3. Indicadores de qualidade

Foram coletadas amostras compostas, para determinação dos atributos do solo, nas três parcelas de erosão dos sete tratamentos, dividindo-os em linha e entrelinha da cultura, excetuando-se o tratamento de solo descoberto, totalizando 39 amostras. No período da coleta de solo, março de 2019, a soja e o milho estavam em fase de maturação.

Para que a coleta pudesse ser realizada, foi removido todo o material orgânico sobre o solo. Então, com o auxílio de um enxadão, retirou-se uma camada de solo de 0 a 10 cm, por considerar esta a camada mais facilmente removida por erosão hídrica. Além disso, foram coletadas 21 amostras indeformadas em anéis volumétricos (Figura 3B), sendo 3 anéis para cada tratamento.

Ainda em campo, foi medida a resistência à penetração por meio do penetrômetro de impacto de Stolf (Figura 3C), realizando triplicatas em cada parcela de erosão e coletando a umidade do solo, com um trado holandês, nas seguintes profundidades: 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm.

No Laboratório de Física do Solo, do Departamento de Ciência do Solo da UFLA, as amostras de umidade do solo foram imediatamente pesadas, colocadas na estufa a 105 °C e posteriormente quantificadas.

O excesso de solo das amostras indeformadas foi cuidadosamente retirado. Então, colocou-se um pequeno tecido permeável na base do anel, o qual foi fixado por um elástico. Transferidas para uma bandeja de plástico, colocou-se lentamente água destilada até atingir 2/3 da altura do anel. Assim, as amostras foram saturadas por capilaridade em um período de 48 horas, até que todos os poros estivessem preenchidos por água. Tal condição pode ser visualizada quando se forma sobre a amostra uma superfície espelhada (Figura 4A). À vista disso, os anéis foram colocados nos funis de sucção à 6 kPa, ou 0,06 atm, (Figura 4B e 4C) nos quais permaneceram por três dias. Foram, então, retirados dos funis, pesados, levados para a estufa à 105°C, até atingirem peso constante, e pesados novamente.

A determinação da densidade do solo foi feita pelo método do anel volumétrico (GROSSMAN; REINSCH, 2002), dividindo-se o peso seco do solo pelo volume do anel. A porosidade total, a macro e microporosidade foram encontradas pelo método dos funis de placa porosa (funis de Buchner) à 0,06 atm (GROHMANN, 1960; OLIVEIRA, 1968), utilizando-se dos valores encontrados para o peso do solo saturado, a 6kPa e seco, além da densidade do solo.

As amostras deformadas foram secas à temperatura ambiente e peneiradas com o objetivo de separar os agregados de diâmetro entre 8 a 4,75 mm para estimativa da estabilidade

dos agregados em água (Figura 5); as partículas menores que 2 mm, para realização das análises de textura (Figura 6), fertilidade e matéria orgânica; e partículas menores que 1 mm, mantidas sob refrigeração, para as análises microbiológicas de carbono da biomassa microbiana (Figura 7) e respiração basal do solo (Figura 8).

A estabilidade dos agregados imersos em água foi feita pelo método de Yoder (DONAGEMA et al., 2011), no qual os torrões são adicionados na peneira superior do jogo (2; 1; 0,5; 0,25 e 0,106 mm) e permanecem sob agitação durante 15 minutos. Os agregados, então, são transferidos para latinhas numeradas e taradas e levados à estufa à 105°C. Assim, pode-se determinar o peso e a porcentagem de agregados em cada classe de tamanho.

Para a quantificação da textura do solo pelo método da pipeta proposto por Gee e Or (2002) foram pesados 10g de terra fina seca ao ar (TFSA) e adicionadas nas garrafas do agitador de Wagner juntamente com 10g de areia muito grossa (> 2 mm), 10 ml de hidróxido de sódio para auxiliarem na dispersão da argila e água destilada para completar a metade do volume da garrafa. As amostras ficaram sob agitação durante 16 horas. Posteriormente as amostras passaram por uma peneira de 0,2 mm para a separação da fração mais fina da areia e colocadas nas provetas de 500 ml. Considerando a densidade de partículas como 2,65 g.cm⁻³, o tempo de sedimentação foi calculado. Em seguida, coletou-se uma alíquota de 10 ml de argila a 5 cm de profundidade da proveta, a qual foi levada para estufa a 105°C e pesada. A areia coletada foi para a estufa a 105°C e posteriormente peneirada para separação da porção muito fina (<106 mm).

Quanto à fertilidade do solo, analisou-se o pH em água; fósforo e potássio que foram obtidos pelo método Mehlich 1; cálcio e magnésio foi determinado por meio do extrator cloreto de potássio (KCl); e o teor de matéria orgânica foi estimada por oxidação.

A respiração basal do solo foi estimada pelo método da incubação (Jenkinson e Powlson, 1976), pesando 20 g de TFSA e umedecendo o solo para a incubação. Em um recipiente hermeticamente fechado, colocou-se o solo e o hidróxido de sódio (NaOH) para a captura do dióxido de carbono (CO₂) liberado pelos microrganismos. Após 3 dias de incubação, adicionou-se nos copinhos com NaOH a solução de cloreto de bário 0,5M para interromper a reação com o CO₂ do ar. O indicador de reação utilizado foi a fenolftaleína e o titulante, o ácido clorídrico 0,05M.

O carbono da biomassa microbiana foi quantificado pelo método da fumigação-extração (VANCE et al., 1987), utilizando 20 g de TFSA e dividindo as amostras em controle e fumigadas. Sob esta mesma divisão as amostras foram colocadas no respectivo dessecador. No dessecador com as mostras fumigadas, adicionou-se um pequeno béquer com clorofórmio e

pérolas de vidro e efetuou-se vácuo até que o borbulhamento do clorofórmio, permanecendo por 5 minutos. Após o período de incubação de 24h, as amostras foram transferidas para um erlenmeyer de 250 ml e adicionou-se sulfato de potássio, levando as amostras para agitação a 120 rpm por 30 min. Em seguida, realizou-se a filtragem obtendo o extrato com carbono. Em um erlenmeyer, adicionou-se uma alíquota de 8 ml do extrato de carbono, 2 ml de dicromato de potássio, 10 ml de ácido sulfúrico e 5 ml de ácido fosfórico, o quais foram levados para a chapa aquecedora por 5 min contados após a fervura. Com o retorno a temperatura ambiente, foram colocados em cada amostra 10 ml de água destilada e o indicador difenilamina para a titulação com sulfato ferroso amoniacal.

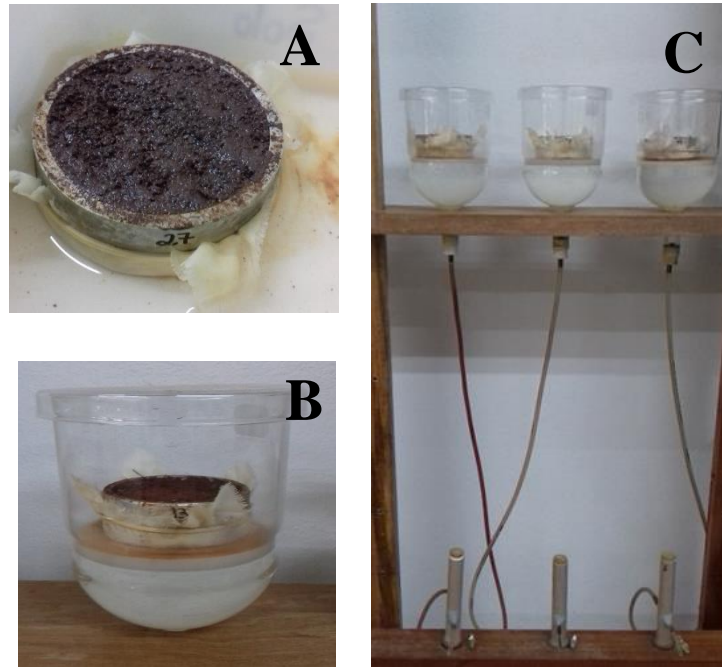
A determinação do quociente metabólico foi pelo método aplicado foi de Anderson e Domsch (1990), realizando a divisão da RBS e do CBM.

Figura 3 - Trabalho desenvolvido in situ: A: parcela de erosão; B: coleta de amostras indeformadas; C: medida da resistência à penetração pelo penetrômetro de impacto de Stolf.



Fonte: Do autor (2019)

Figura 4 - Etapas do trabalho desenvolvido no Laboratório de Física do Solo para determinação da porosidade e densidade do solo: A: amostra indeformada saturada; B: amostra no funil de sucção a 6kPa; C: parte do conjunto de funis de placa porosa.



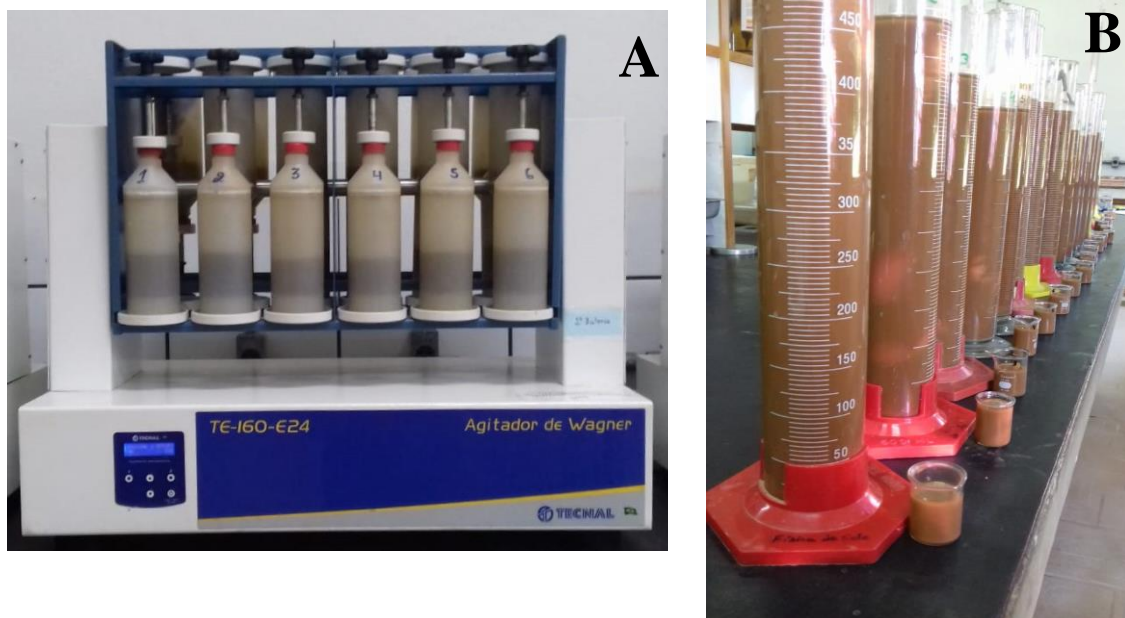
Fonte: Do autor (2019)

Figura 5 - Etapas do trabalho desenvolvido no Laboratório de Física do Solo para determinação da estabilidade dos agregados do solo: A: equipamento utilizado para medição da estabilidade de agregados em água; B: jogo de peneiras (2; 1; 0,5; 0,25 e 0,106 mm) com os agregados retidos.



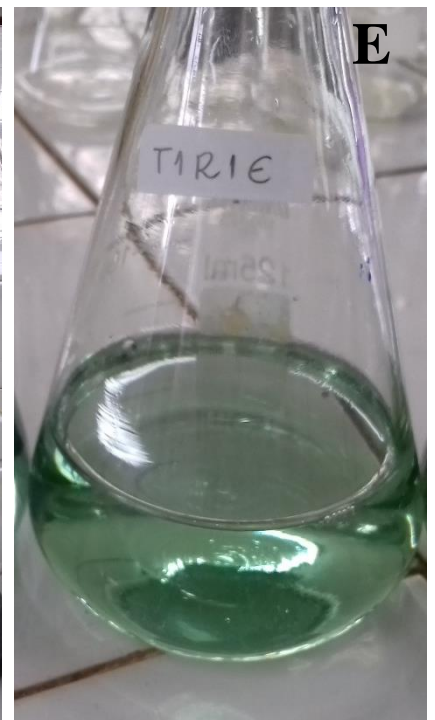
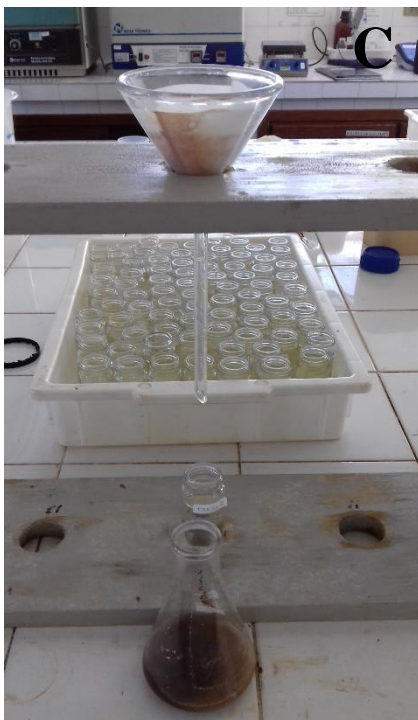
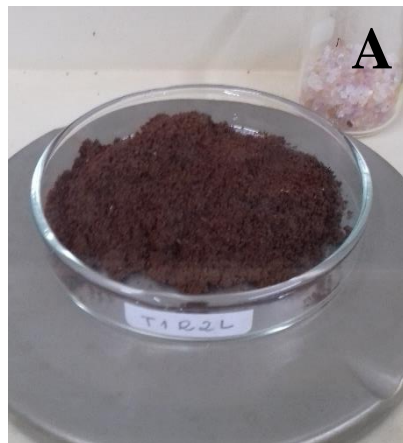
Fonte: Do autor (2019)

Figura 6 - Etapas do trabalho desenvolvido no Laboratório de Física do Solo para determinação da textura: A: agitador de Wagner para determinação da textura; B: coleta da alíquota de 10 mL a 5 cm de profundidade da proveta de 500 mL após o tempo de sedimentação para determinação da fração argila.



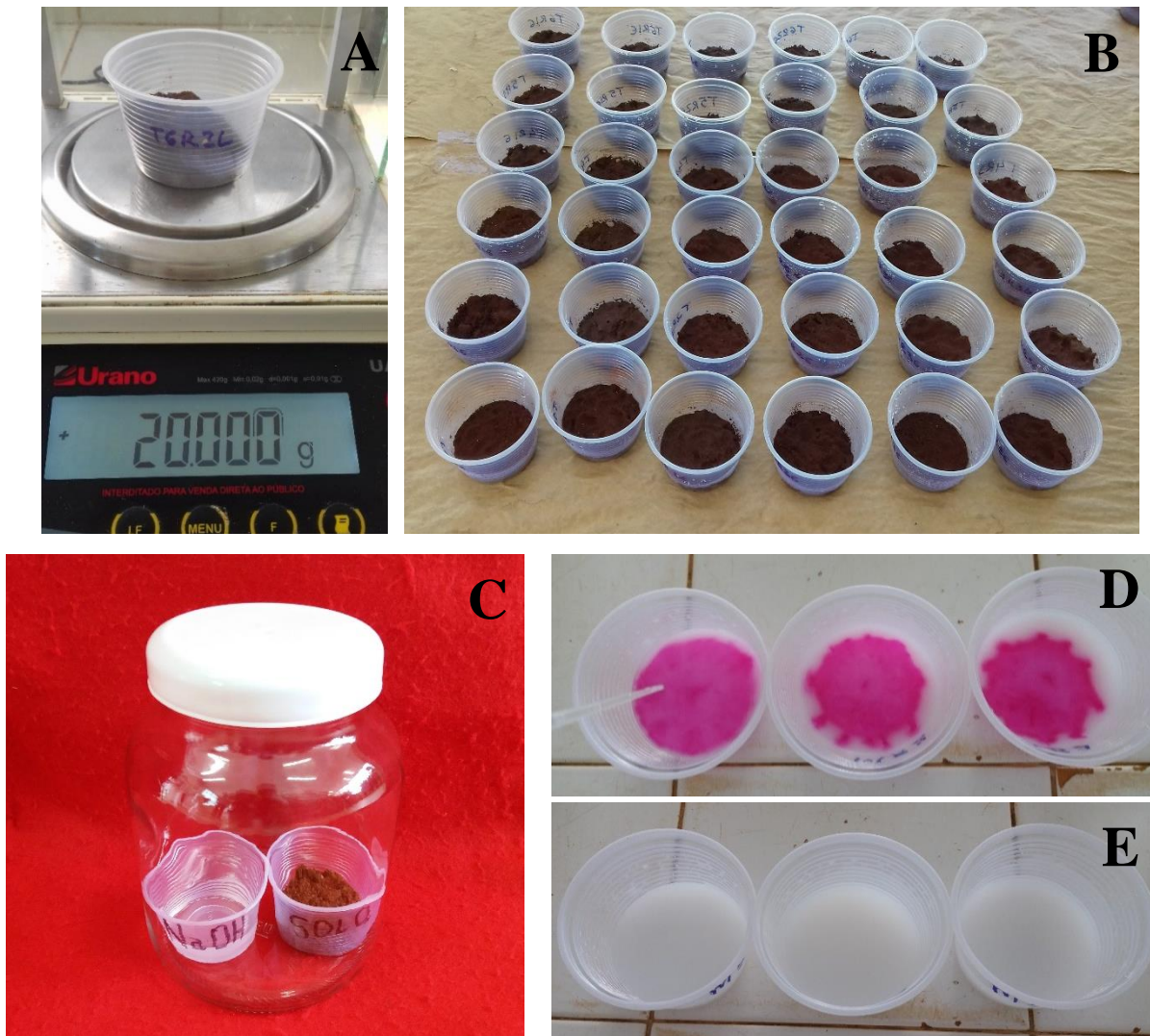
Fonte: Do autor (2019)

Figura 7 - Etapas do trabalho desenvolvido no Laboratório de Microbiologia do Solo pra quantificação do Carbono da Biomassa Microbiana : A: pesagem de solo; B: incubação das amostras; C: processo de filtragem do solo com sulfato de potássio pós agitação para obtenção do extrato com carbono orgânico; D: extrato com ácido sulfúrico e ácido fosfórico pós aquecimento com (coloração azul escura) e sem (coloração amarela) indicador difenilamina; E: amostra pós titulação com sulfato ferroso amoniacal (coloração verde garrafa).



Fonte: Do autor (2019)

Figura 8 - Etapas do trabalho desenvolvido no Laboratório de Microbiologia do Solo para quantificação da Respiração Basal do Solo: A: pesagem de solo para respiração do solo; B: solo umedecido para incubação; C: incubação das amostras e hidróxido de sódio; D: hidróxido de sódio com cloreto de bário 0,5M para interromper a reação e indicador fenolftaleína; E: amostras pós titulação com ácido clorídrico 0,05M.



Fonte: Do autor (2019)

3.1. Análise estatística

Devido à configuração do experimento em faixas paralelas com parcelas-padrão de erosão em triplicata, este experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), conforme defendem os autores Ferreira, Cargnelutti Filho e Lúcio (2012). Assim, o delineamento experimental para as variáveis perda de solo, perda de água, resistência à penetração, porosidade total, macroporosidade, microporosidade e densidade do solo constituiu em manejo (sete tratamentos) e repetição (três). Para as demais variáveis, o delineamento experimental foi em manejo (sete tratamentos), posição (linha e entrelinha) e repetição (três).

Realizou-se a análise de variância (ANOVA) e o teste de Shapiro-Wilk para avaliação da normalidade das variáveis respostas, ou seja, para os atributos físicos, químicos e biológicos do solo para cada tratamento. Em seguida, aplicou-se o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade com o auxílio do software R Studio. Além disso, foi feita uma matriz de correlação para atributos da linha de cultura, entrelinha, perda de solo e perda de água.

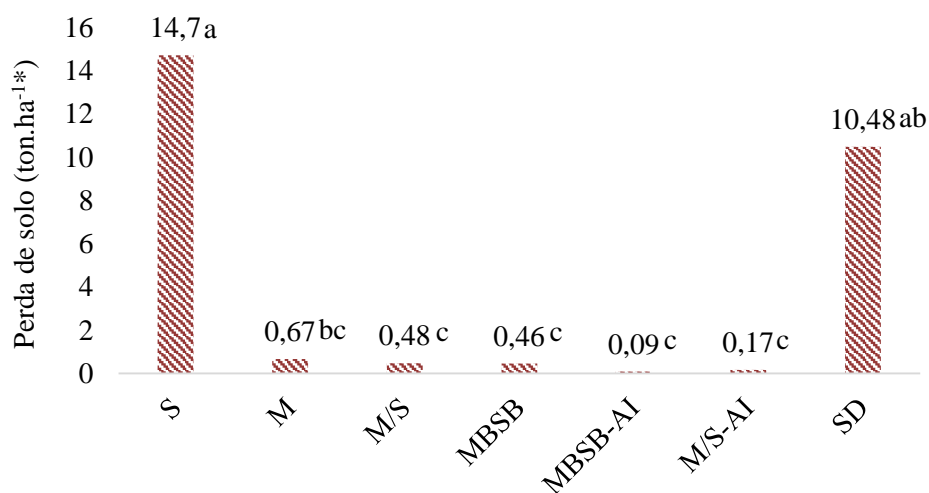
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Perda de solo, perda de água e atributos físicos

Na Figura 9 são apresentadas as perdas de solo em cada um dos sete tratamentos. Pode-se observar que as maiores perdas de sedimentos estão nos tratamentos com monocultura de soja e no solo descoberto, indicando que a cobertura vegetal não está atuando como uma camada de proteção do solo contra a erosão hídrica. Isto pode ser justificado devido à baixa relação carbono/nitrogênio da palhada de soja, o que promove rápida decomposição e conseqüentemente menor durabilidade da palhada na superfície do solo desfavorecendo a eficiência da cobertura vegetal (ANDRADE et al., 2018), equiparando-se ao solo sem cobertura vegetal.

Os menores valores, por outro lado, foram observados nos cultivos em rotação que promoveram maior cobertura do solo, como: M/S, MBSB, MBSB-AI e M/S-AI. Neste sentido, ressalta-se a importância da rotação de culturas e a adoção de forrageiras, como o capim-piatã, para a produção de palhada na superfície do solo (MENDONÇA et al., 2015), uma vez que favorecem a agregação das partículas do solo e reduzem o processo erosivo (ALMEIDA et al., 2016). O monocultivo de milho não difere estatisticamente do solo descoberto.

Figura 9 - Comparação entre os tratamentos da perda de solo devido à erosão hídrica no período de dezembro de 2018 a março de 2019. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



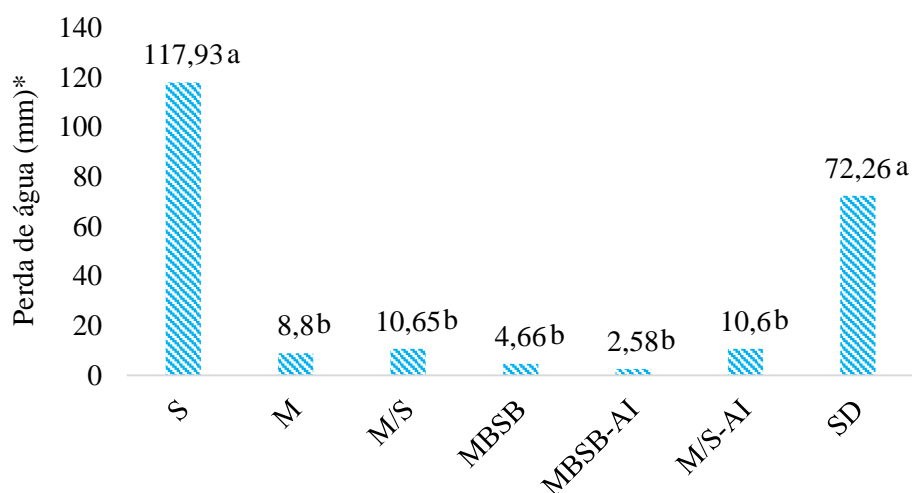
S: soja em monocultura; M: milho em monocultura; M/S: milho e soja rotacionados e adubação recomendada às culturas; MBSB: milho e soja rotacionados, com inclusão de braquiária em consórcio nos cultivos de milho; MBSB-AI: milho e soja rotacionados e adubação recomendada acrescido da exportação pela cultura, com braquiária em consórcio nos cultivos de milho e de soja; M/S-AI: milho e soja rotacionados e adubação recomendada acrescido da exportação pela cultura; SD: solo descoberto; abc: diferença estatística entre os tratamentos.

*No período avaliado.

Para perdas de água por escoamento superficial, os tratamentos de monocultura de soja e solo descoberto apresentaram os maiores valores e não diferiram entre si a 5% de probabilidade (Figura 10). O selamento da superfície e a compactação do solo devido ao impacto direto da gota de chuva podem estar associados a esses resultados, uma vez que promovem redução da infiltração de água no solo e, conseqüentemente, aumenta o escoamento superficial (DEBIASI; FRANCHINI; GOLÇALVES, 2008).

Os demais tratamentos, contudo, diferiram dos tratamentos S e SD. Este fato pode estar associado à proteção do solo em virtude da cobertura vegetal que intercepta e impede o impacto direto da gota de chuva, protegendo o solo contra o selamento superficial, reduzindo as perdas de água. Além disso, pode haver maior infiltração e menor evaporação de água (SATURNINO; LANDERS, 1997), possibilitando o maior armazenamento de água no solo.

Figura 10 - Comparação entre os tratamentos da perda de água proveniente de escoamento superficial no período de dezembro de 2018 a março de 2019. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



S: soja em monocultura; M: milho em monocultura; M/S: milho e soja rotacionados e adubação recomendada às culturas; MBSB: milho e soja rotacionados, com inclusão de braquiária em consórcio nos cultivos de milho; MBSB-AI: milho e soja rotacionados e adubação recomendada acrescido da exportação pela cultura, com braquiária em consórcio nos cultivos de milho e de soja; M/S-AI: milho e soja rotacionados e adubação recomendada acrescido da exportação pela cultura; SD: solo descoberto; abc: diferença estatística entre os tratamentos.

*No período avaliado.

Para os atributos físicos do solo (Tabela 1), a porosidade total, macro e microporosidade e densidade do solo não apresentaram diferenças estatísticas entre os tratamentos. Neste sentido, Santana e Bahia Filho (1998) relataram que estes atributos, além da estabilidade dos agregados (Tabelas 3 e 4), podem não refletir mudanças a curto prazo na qualidade física do solo.

Tabela 1 - Atributos do solo para os diferentes tratamentos. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

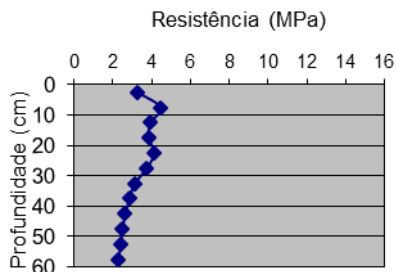
Tratamento	¹ PT	² Macro	³ Micro	⁴ Ds
S	0,612 a	0,196 a	0,416 a	0,958 a
M	0,593 a	0,180 a	0,414 a	1,018 a
M/S	0,589 a	0,171 a	0,418 a	1,013 a
MBSB	0,589 a	0,156 a	0,433 a	0,993 a
MBSB-AI	0,599 a	0,184 a	0,415 a	0,902 a
M/S-AI	0,581 a	0,150 a	0,432 a	1,038 a
SD	0,606 a	0,192 a	0,414 a	0,951 a

¹Porosidade total ($m^3.m^{-3}$); ²Macroporosidade ($m^3.m^{-3}$); ³Microporosidade ($m^3.m^{-3}$); ⁴Densidade do solo ($g.cm^{-3}$). S: soja em monocultura; M: milho em monocultura; M/S: milho e soja rotacionados e adubação recomendada às culturas; MBSB: milho e soja rotacionados, com inclusão de braquiária em consórcio nos cultivos de milho; MBSB-AI: milho e soja rotacionados e adubação recomendada acrescido da exportação pela cultura, com braquiária em consórcio nos cultivos de milho e de soja; M/S-AI: milho e soja rotacionados e adubação recomendada acrescido da exportação pela cultura; SD: solo descoberto.

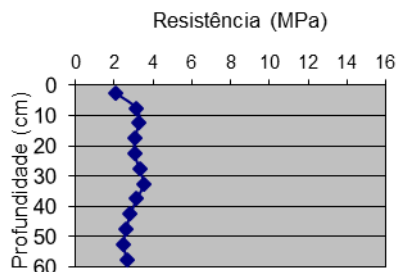
A resistência do solo à penetração e a umidade do solo em campo nas profundidades de 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm no momento da quantificação da RP estão representadas pela Figura 11 e Tabela 2, respectivamente. Foram detectadas diferenças estatísticas entre as umidades dos perfis do solo no momento do ensaio de RP. Portanto, não há evidências suficientes para afirmar que as diferenças de resistência à penetração entre os tratamentos e entre as profundidades não estejam associadas às diferenças da umidade *in loco* (STOLF et al., 1983).

Figura 11 - Comparação entre os tratamentos para a resistência à penetração com as respectivas médias (em MPa) e letras de agrupamento do teste Tukey a 5% de probabilidade. As médias seguidas da mesma letra não diferem entre si.

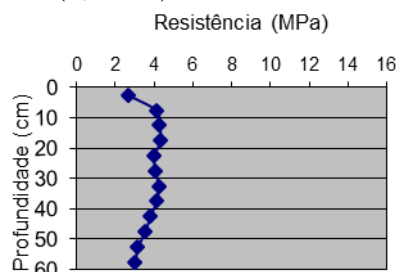
M (3,88 a)



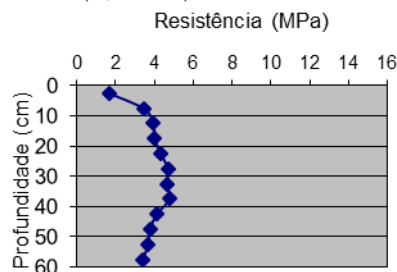
S (2,61 ab)



M/S (3,38 ab)



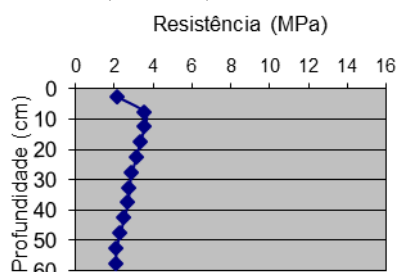
MBSB (2,56 ab)



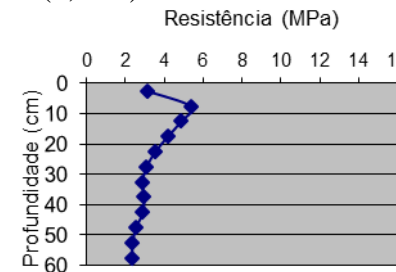
MBSB-AI (2,02 b)



M/S-AI (2,83 ab)



SD (4,26 a)



S: soja em monocultura; M: milho em monocultura; M/S: milho e soja rotacionados e adubação recomendada às culturas; MBSB: milho e soja rotacionados, com inclusão de braquiária em consórcio nos cultivos de milho; MBSB-AI: milho e soja rotacionados e adubação recomendada acrescido da exportação pela cultura, com braquiária em consórcio nos cultivos de milho e de soja; M/S-AI: milho e soja rotacionados e adubação recomendada acrescido da exportação pela cultura; SD: solo descoberto; abc: diferença estatística entre os tratamentos.

Tabela 2 - Umidade gravimétrica do solo *in situ* nas profundidades de 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm para avaliação da resistência à penetração. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tratamento	Profundidade (cm)		
	0-20	20-40	40-60
	Umidade (%)		
S	27,3 b	28,7 b	30,9 a
M	30,0 ab	30,2 ab	30,6 a
M/S	28,9 ab	30,0 ab	30,6 a
MBSB	32,6 a	32,1 a	31,7 a
MBSB-AI	32,5 a	32,5 a	32,2 a
M/S-AI	32,7 a	32,5 a	32,7 a
SD	27,6 b	28,0 b	30,1 a

S: soja em monocultura; M: milho em monocultura; M/S: milho e soja rotacionados e adubação recomendada às culturas; MBSB: milho e soja rotacionados, com inclusão de braquiária em consórcio nos cultivos de milho; MBSB-AI: milho e soja rotacionados e adubação recomendada acrescido da exportação pela cultura, com braquiária em consórcio nos cultivos de milho e de soja; M/S-AI: milho e soja rotacionados e adubação recomendada acrescido da exportação pela cultura; SD: solo descoberto; abc: diferença estatística entre os tratamentos.

4.2. Atributos químicos e microbiológicos do solo na linha de cultivo

Os atributos químicos e microbiológicos para a linha de cultivo estão descritos na Tabela 3. Os tratamentos MBSB e MBSB-AI que possuem consórcio com braquiária apresentaram maiores valores de CBM em comparação com os demais tratamentos. Esta relação pode estar associada à influência da umidade, temperatura e resíduos vegetais do solo sobre o carbono da biomassa (PEREZ; RAMOS; McMANUS, 2004), uma vez que a inclusão da forrageira exerce papel de isolante térmico e hídrico (RODRIGUES et al, 2018). Portanto, os sistemas com o uso de braquiária se mostraram mais estáveis e o CBM foi sensível às distintas formas de uso do solo. Os maiores valores de CBM em sistemas com o uso do consórcio com braquiária já foi relatado por Araújo et al. (2019) em condições naturais principalmente na camada de 0-10 cm do solo, ratificando os resultados observados neste estudo.

Os tratamentos monocultura de milho e rotação milho/soja com alto investimento em fertilidade exibiram pequenos valores de CBM e os maiores valores de qCO_2 , uma vez que este atributo é um indicador de desequilíbrio do ecossistema (FARIAS et al, 2018), sendo provável que os demais sistemas sejam mais sensíveis à degradação. Odum (1985) em sua teoria sobre a respiração da comunidade microbiana relata que esta pode ser o primeiro sinal de desequilíbrio, uma vez que há o direcionamento de energia para manutenção celular ao invés de crescimento e reprodução, levando à perda de CBM em forma de CO_2 .

Além disso, o M apresentou menor CBM em relação a todos os tratamentos que utilizaram rotação e este tratamento também teve os maiores valores para RBS e $q\text{CO}_2$. No trabalho de Araújo et al. (2019) o milho em monocultura também apresentou alto $q\text{CO}_2$, indicando condições de estresse da comunidade microbiana do solo, já que uma pequena massa microbiana está tendo elevado gasto de energia para a manutenção da atividade metabólica.

Ademais, Hoffmann et al. (2018) em seu trabalho ressaltaram que sistemas de cultivo cuja diversidade vegetal é maior e o revolvimento do solo menor, favorecem o aumento de CBM, possivelmente devido à maior oferta de material orgânico no solo. Assim, há maior qualidade do solo.

Para o tratamento com milho e soja rotacionados com alto investimento em fertilidade obteve-se maiores respiração e quociente metabólico. Entretanto, para RBS este tratamento e o M diferem-se estatisticamente apenas do monocultivo de soja.

A análise química do elemento fósforo (P) aponta que o maior valor está presente no tratamento com rotação milho/soja, e o menor, na rotação milho/soja com braquiária em consórcio, uma vez que a braquiária compete pelo elemento. Os outros tratamentos não diferiram estatisticamente.

Para os atributos carbono orgânico (C.O.), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) não houveram diferenças estatísticas entre os tratamentos e não apresentaram relações diretas com o CBM, RBS e $q\text{CO}_2$.

Tabela 3 - Atributos do solo para os diferentes tratamentos considerando a linha de cultura na camada de 0-10 cm. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tratamento	LINHA									
	¹ CBM	² RBS	³ qCO ₂	⁴ C.O.	⁵ K	⁶ P	⁷ Ca	⁸ Mg	⁹ DMP	¹⁰ DMG
S	272 cd	194 c	0,716 bc	0,260 a	148,0 a	21,6 ab	4,68 a	1,36 a	4,75 a	4,10 a
M	196 d	424 a	2,193 a	0,234 a	153,0 a	45,1 ab	3,98 a	1,21 a	4,77 a	4,39 a
M/S	311 bc	288 abc	0,930 bc	0,232 a	154,0 a	68,8 a	4,70 a	1,49 a	4,91 a	4,76 a
MBSB	361 ab	292 abc	0,810 bc	0,234 a	66,6 a	20,6 b	4,12 a	1,28 a	4,86 a	4,49 a
MBSB-AI	423 a	272 abc	0,646 c	0,241 a	124,7 a	27,6 ab	5,03 a	1,58 a	4,86 a	4,60 a
M/S-AI	316 bc	384 ab	1,238 ab	0,282 a	199,7 a	22,1 ab	5,71 a	1,39 a	4,90 a	4,68 a
SD	311 bc	251 bc	0,816 bc	0,286 a	105,6 a	29,1 ab	4,83 a	1,61 a	4,85 a	4,64 a

¹Carbono da Biomassa Microbiana (mg C. kg solo seco⁻¹); ²Respiração Basal do Solo (mg C-CO₂ . kg de solo seco⁻¹. d⁻¹); ³Quociente Metabólico (mg C-CO₂. g CBM⁻¹. d⁻¹); ⁴Carbono orgânico (dag.kg⁻¹); ⁵Potássio (mg. dm⁻³); ⁶Fósforo (mg. dm⁻³); ⁷Cálcio (cmolc. dm⁻³); ⁸Magnésio (cmolc. dm⁻³); ⁹Diâmetro Médio Ponderado (mm); ¹⁰Diâmetro Médio Geométrico (mm); S: soja em monocultura; M: milho em monocultura; M/S: milho e soja rotacionados e adubação recomendada às culturas; MBSB: milho e soja rotacionados, com inclusão de braquiária em consórcio nos cultivos de milho; MBSB-AI: milho e soja rotacionados e adubação recomendada acrescido da exportação pela cultura, com braquiária em consórcio nos cultivos de milho e de soja; M/S-AI: milho e soja rotacionados e adubação recomendada acrescido da exportação pela cultura; SD: solo descoberto; abc: diferença estatística entre os tratamentos.

Na matriz de correlação (Figura 12) o quociente metabólico apresentou correlação inversa com o carbono da biomassa microbiana e direta com a respiração (GONÇALVES et al., 2019).

A RBS mostrou-se inversamente relacionada com às perdas de solo e de água. Este fato se deve à redução da camada orgânica do solo. Os compostos orgânicos são fonte de energia para a biomassa microbiana, e reduzindo sua quantidade, inevitavelmente reduzirá a decomposição e conseqüentemente a respiração (CATTELAN; VIDOR, 1990; HOFFMANN, 2018). O arraste de microrganismos junto ao solo com a erosão hídrica também pode ser um fator que contribuiu para a relação redução da respiração basal do solo. A perda de água devido ao selamento superficial também contribui para a redução da RBS, uma vez que há redução da infiltração de água no solo e conseqüentemente da umidade do solo (SILVA; AZEVEDO; DE-POLLI, 2007).

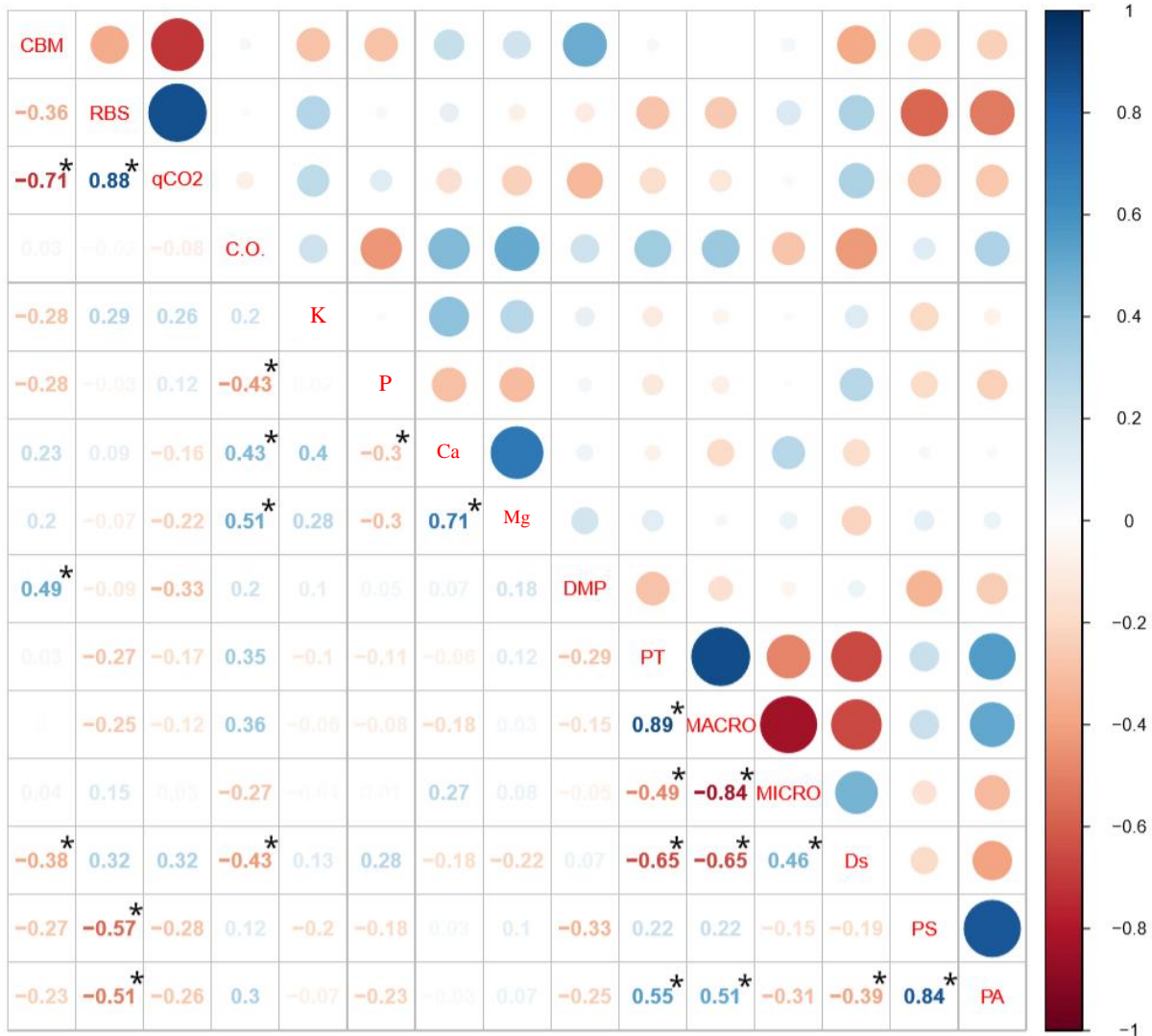
Além disso, a perda de água também foi positiva e fortemente relacionada com a perda de solo, pois quando a gota de chuva incide sobre o solo, o impacto direto pode ocasionar a quebra dos agregados, o arraste de partículas de solo, de material orgânico e de nutrientes (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2014), além do selamento superficial e da compactação, que diminuem a capacidade de infiltração do solo e propiciam o escoamento superficial (JACOBS,

1995). Assim, há diminuição da produtividade agrícola e poluição dos ecossistemas aquáticos (BALDASSARINI; NUNES, 2018).

Os atributos físicos porosidade total, macroporosidade e densidade do solo apresentam relações com a perda de água que contrariam o esperado, demonstrando relações diretas entre a PT e MACRO com a PA e inversa entre a Ds e a PA. Entretanto, a maior densidade do solo resulta na redução dos poros no solo, o que reduz a infiltração de água e aumenta, conseqüentemente, as perdas de água por escoamento superficial (STONE; SILVEIRA, 2001). Portanto, as perdas de solo e de água não estão sendo explicadas pelos atributos físicos do solo.

Os atributos químicos do solo, representados pelo carbono orgânico, potássio, fósforo, cálcio e magnésio não demonstram relações com as perdas de solo e de água, indicando que estes atributos também não estão sendo capazes de explicar a erosão hídrica.

Figura 12 – Matriz de correlação entre os atributos da linha de cultura. (p-valor < 0,05)



CBM: Carbono da Biomassa Microbiana; RBS: Respiração Basal do Solo; qCO₂: Quociente Metabólico; C.O.: Carbono orgânico; K: Potássio; P: Fósforo; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; DMP: Diâmetro Médio Ponderado; PT: porosidade total; MACRO: macroporosidade; MICRO: microporosidade; Ds: densidade do solo; PS: perda de solo; PA: perda de água.

4.3. Atributos químicos e microbiológicos do solo na entrelinha de cultivo

Na entrelinha (Tabela 4), o tratamento com rotação milho/soja e consórcio braquiária com alto nível de investimento em fertilidade, analogamente à linha de cultura, apresentou o maior valor para o carbono da biomassa microbiana e menor para o qCO₂ dentre os tratamentos.

O menor valor de CBM, neste caso, foi observado no tratamento M/S, que também obteve alta respiração e o maior valor do quociente metabólico, indicando possível estresse no ecossistema. Para a linha, no entanto, esta configuração de valores foi representada na

monocultura do milho. A maior respiração basal do solo, nesta situação, foi encontrada no tratamento M/S-AI, que também obteve elevado qCO_2 .

De modo geral, os valores obtidos para a respiração e para o quociente metabólico para a entrelinha foram superiores à linha de cultura, mostrando que a cobertura do solo é necessária para o equilíbrio do ecossistema.

Tanto o potássio quanto o cálcio obtiveram valores superiores para o tratamento milho/soja com alto investimento em fertilidade quando comparados à monocultura de milho, ambos na entrelinha. Para a linha de cultura, contudo, estes elementos não apresentaram diferenças estatísticas entre os tratamentos.

Tabela 4 - Atributos do solo para os diferentes tratamentos considerando a entrelinha na camada de 0-10 cm. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tratamento	ENTRELINHA									
	¹ CBM	² RBS	³ qCO_2	⁴ C.O.	⁵ K	⁶ P	⁷ Ca	⁸ Mg	⁹ DMP	¹⁰ DMG
S	395 b	352 c	0,897 cd	1,48 a	123,3 ab	21,5 a	4,81 ab	1,37 b	4,78 a	4,39 a
M	380 b	480 b	1,271 bc	1,80 a	87,8 b	26,3 a	4,05 b	1,22 b	4,90 a	4,66 a
M/S	178 d	483 ab	2,776 a	1,73 a	122,6 ab	51,1 a	5,32 ab	1,95 a	4,84 a	4,58 a
MBSB	256 cd	459 b	1,834 b	1,53 a	79,0 b	18,8 a	4,56 ab	1,50 ab	4,89 a	4,71 a
MBSB-AI	498 a	424 b	0,852 d	1,80 a	135,1 ab	18,6 a	5,98 ab	1,95 a	4,92 a	4,76 a
M/S-AI	389 b	532 a	1,369 b	1,46 a	199,1 a	22,9 a	6,47 a	1,60 ab	4,93 a	4,76 a
SD	311 bc	251 c	0,816 d	1,63 a	105,6 ab	29,1 a	4,83 ab	1,61 ab	4,85 a	4,64 a

¹ Carbono da Biomassa Microbiana (mg C. kg solo seco⁻¹); ²Respiração Basal do Solo (mg C-CO₂ . kg de solo seco⁻¹. d⁻¹); ³Quociente Metabólico (mg C-CO₂. g CBM⁻¹. d⁻¹); ⁴Fósforo (mg. dm⁻³); ⁵Potássio (mg. dm⁻³); ⁶Fósforo (mg. dm⁻³); ⁷Cálcio (cmolc. dm⁻³); ⁸Magnésio (cmolc. dm⁻³); ⁹Diâmetro Médio Ponderado (mm); ¹⁰Diâmetro Médio Geométrico (mm); M: milho em monocultura; M/S: milho e soja rotacionados e adubação recomendada às culturas; MBSB: milho e soja rotacionados, com inclusão de braquiária em consórcio nos cultivos de milho; MBSB-AI: milho e soja rotacionados e adubação recomendada acrescido da exportação pela cultura, com braquiária em consórcio nos cultivos de milho e de soja; M/S-AI: milho e soja rotacionados e adubação recomendada acrescido da exportação pela cultura; SD: solo descoberto; abc: diferença estatística entre os tratamentos.

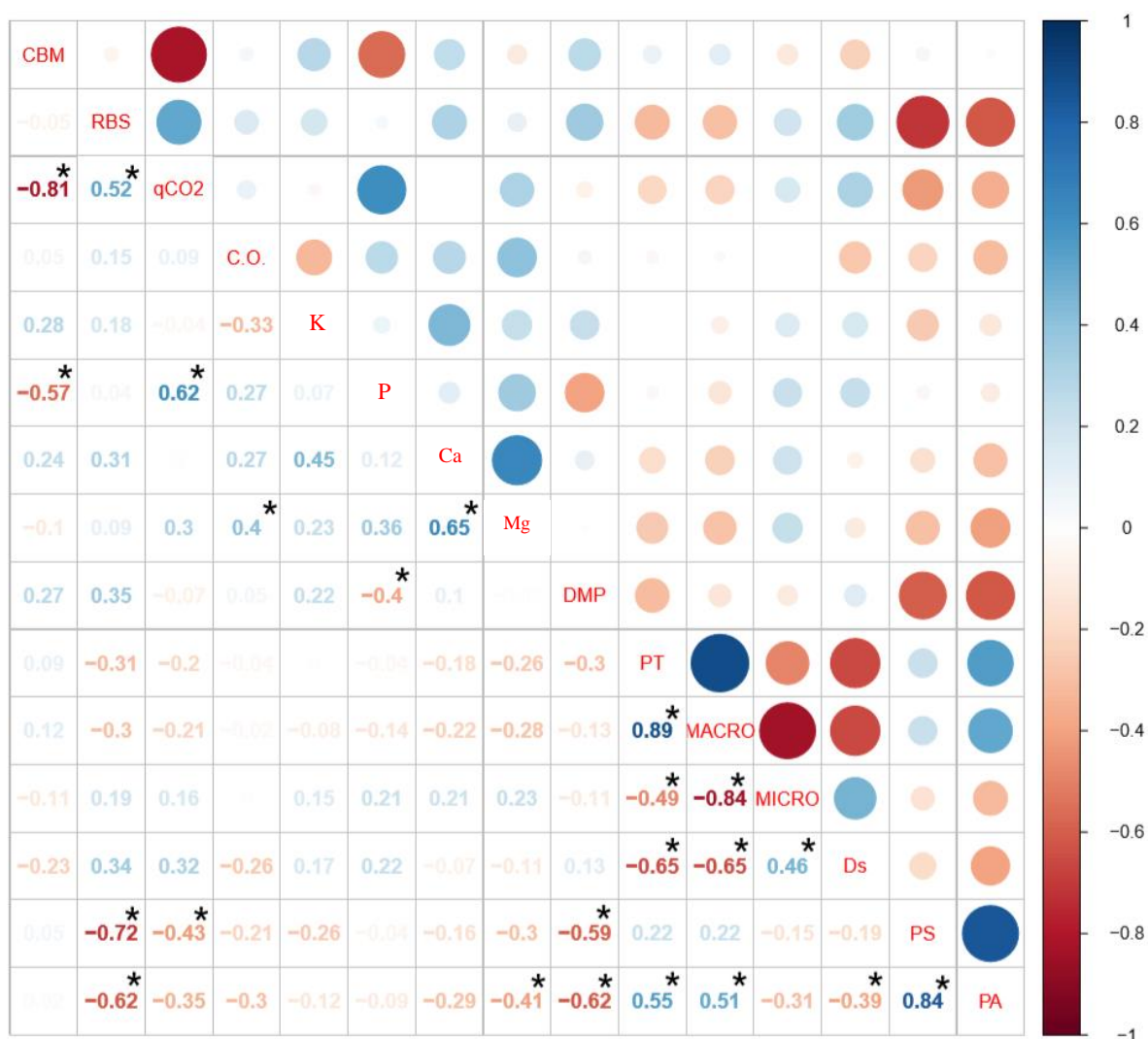
Da mesma forma que foi feito para linha, na entrelinha também se elaborou uma matriz de correlação (Figura 13). Similar a linha de cultura, o CBM e a respiração basal relacionaram-se com o qCO_2 , entretanto com coeficientes de correlação distintos. A RBS, no entanto, exibiu maior correlação tanto com a perda de solo quanto com a perda de água.

Neste caso, o diâmetro médio ponderado, que representa a porcentagem de agregados grandes, relacionou-se inversamente tanto com a perda de solo quanto com a perda de água. Tal relação pode servir de evidência à resistência do solo à erosão hídrica (LE BISSONNAIS; ARROUYAS, 1997; WILSON; BROWNING, 1945; WISCHMEIER; MANNERING, 1969;

YODER, 1936), já que as condições físicas da superfície influem nas perdas de água e solo (VOLK; COGO; STRECK, 2004).

As correlações entre a PA e PT, MACRO, Ds e PS não demonstram diferenças entre a linha de cultivo e a entrelinha.

Figura 13 - Matriz de correlação entre os atributos da entrelinha. (p -valor < 0,05)



CBM: Carbono da Biomassa Microbiana; RBS: Respiração Basal do Solo; qCO_2 : Quociente Metabólico; C.O.: Carbono orgânico; K: Potássio; P: Fósforo; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; DMP: Diâmetro Médio Ponderado; PT: porosidade total; MACRO: macroporosidade; MICRO: microporosidade; Ds: densidade do solo; PS: perda de solo; PA: perda de água.

4.4. Estimativa da erodibilidade do solo

A estimativa da erodibilidade do solo para um LVd foi de $0,0029 \text{ Mg ha h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1} \text{ ha}^{-1}$, confirmando a elevada resistência à erosão hídrica. Analogamente, os autores Cogo, Levien e Schwarz (2003) obtiveram um índice de erodibilidade do solo de $0,0091 \text{ Mg ha h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ para um em Latossolo Vermelho distroférico típico com textura muito argilosa.

Os valores encontrados para a erodibilidade dos Latossolos brasileiros, segundo Denardin (1990) e Silva et al. (2000), ficam entre $0,002$ e $0,034 \text{ Mg ha h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1} \text{ ha}^{-1}$. Schmidt (2017) em seu trabalho encontrou o valor do fator K para um Latossolo Vermelho distrófico típico de $0,015 \text{ Mg ha h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1} \text{ ha}^{-1}$. Já Silva et al. (2009), estimou em $0,0032 \text{ Mg ha h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ para a mesma classe de solo.

Tais variações, entretanto, podem estar associadas, entre outros fatores, ao tipo de manejo do solo assim como a cobertura vegetal empregada, já que são preponderantes para a redução das perdas de solo e de água.

5. CONCLUSÕES

As maiores perdas de solo e de água ocorreram na monocultura de soja e no solo sem cobertura vegetal, justificando a importância da permanência da palhada sobre o solo.

Os sistemas com consórcio de braquiária apresentaram maior carbono da biomassa microbiana, indicando melhor qualidade do solo.

A monocultura de milho e as rotações milho/soja obtiveram maiores $q\text{CO}_2$, inferindo condição de estresse ambiental.

O quociente metabólico para a entrelinha foi superior à linha de cultura, mostrando que a cobertura do solo é necessária para o equilíbrio do ecossistema.

A respiração basal do solo mostrou-se inversamente relacionada à perda de solo e à perda de água devido à remoção do material orgânico em superfície que é fonte de energia para a microbiota. O solo desprovido de material orgânico na superfície pode levar ao selamento superficial que reduz a infiltração de água e a umidade do solo.

Considerações finais

Dados de cobertura vegetal são essenciais para o estudo da erosão hídrica, uma vez que os atributos físicos e químicos estimados neste trabalho não foram capazes de explicar as perdas de solo e de água encontradas. Por outro lado, alia-se a resiliência dos Latossolos em suportar e se recuperar do tipo de manejo empregado. Essa característica está associada aos fatores físicos e químicos intrínsecos do solo, ao manejo e à quantidade de material orgânico no solo, que favorece o desenvolvimento e as funções metabólicas dos microrganismos (GREGORY et al., 2009).

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, V. et al. Comparação da viabilidade econômica da agricultura irrigada por pivô central em sistemas de plantios convencional e direto com soja, milho e tomate industrial. **Global Science and Technology**, v. 11, n. 02, p. 256-273, 2018.

ALMEIDA, W. S.; D. F. et al. Erosão hídrica em diferentes sistemas de cultivo e níveis de cobertura do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, p.1110-1119, 2016.

ALTIERI, M. A. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 74, p. 19-31, 1999.

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Application of eco-physiological quotients (qCO_2 and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. **Soil Biology Biochemistry**, v.22, n.2, p.251-255, 1990.

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO_2 (qCO_2) as a specific activity parameter to assess the effects of environment conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology Biochemistry**, v. 25, n. 3, p. 393-395, 1993.

ANDRADE, A. P.; WOLFE, D. W.; FERERES, E. Sistemas de preparo do solo: I. Efeito sobre o conteúdo de água e temperatura do solo na cultura da soja. In: **Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água**, 10, 1994, Florianópolis. Resumos... Florianópolis: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.184- 185, 1994.

ANDRADE, A. T. et al. Desafios do Sistema Plantio Direto no Cerrado. **Informe Agropecuário**, v.39, n.302, p.18-26, 2018.

ARAÚJO, T. dos S. et al. Biomassa e atividade microbiana em solo cultivado com milho consorciado com leguminosas de cobertura. **Revista de Ciências Agrárias**, v.42, p.347-357, 2019.

ARS-USDA (Agricultural Research Service). Predicting Soil Erosion by Water: A guide to conservation planning with the revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). **Agriculture Handbook**, n.703, p.1-23, 1994.

AVANZI, J. C. et al. Spatial distribution of water erosion risk in a watershed with eucalyptus and Atlantic Forest. **Ciência e Agrotecnologia**, v.37, n.5, p.427-434, 2013.

AZEVEDO et al. Estudo da resistência à penetração do solo no IFBA – Campus Eunápolis. **Pindorama**, v.8, n.8, p. 7, 2018.

BAGIO, B. et al. Water erosion in different slope lengths on bare soil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41(Div 3):e0160132, 2017.

BALDASSARINI, J. de S.; NUNES, J. O. R. Estimação da perda de solo por processos erosivos em parcelas de monitoramento utilizando pinos de erosão em propriedades rurais do interior do Estado de São Paulo. **Confins [En ligne]**, v. 38, 2018.

- BARETTA, D. et al. Fauna edáfica avaliada por armadilhas e catação manual afetada pelo manejo do solo na região oeste catarinense. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 2, p. 97-106, 2003.
- BARROS, E. N. de S. et al. Modelagem da erosão hídrica nas bacias hidrográficas dos rios Lontra e Manoel Alves Pequeno, Tocantins. **Revista Brasileira Ciências Agrárias**, v. 13, p. 1-9, 2018.
- BARTZ, M. L. C. et al. Earthworm richness in land-use systems in Santa Catarina, Brasil. **Applied Soil Ecology**, v. 83, p. 59-70, 2014.
- BARTZ, M. L. C.; PASINI, A.; BROWN, G. G. Earthworms as soil quality indicators in Brazilian No-tillage systems. **Applied Soil Ecology**, v. 69, p. 39-48, 2013.
- BEGON, M.; TOWNSEND, C.R.; HARPER, J.L. Ecology: from individuals to ecosystems. 4.ed. Blackwell, Oxford. 758 p., 2006.
- BERNARDI, A. C. C.; MACHADO, P. L. O. A., SILVA, C. A. Fertilidade do solo e demanda por nutrientes no Brasil. In: MANZATTO, C. M.; FREITAS JÚNIOR, E.; PERES, J. R. R. **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2002. p. 61-77.
- BERTONI, J; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 9. ed. São Paulo: Ícone, 355 p., 2014.
- BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; SILVA, A.P. Comparação de penetrômetros na avaliação da compactação de latossolos. **Engenharia Agrícola**, v.27, p.146-151, 2007
- BISPO, D. F. A. et al. Soil, water, nutrients and soil organic matter losses by water erosion as a function of soil management in the Posses sub-watershed, Extrema, Minas Gerais, Brazil. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 38, p. 1813-1824, 2017.
- BLAKE, W. et al. Soil Erosion in East Africa: An Interdisciplinary Approach to Realising Pastoral Land Management Change. **Environmental Research Letters**, v.13 124014, 2018.
- BORRELLI et al. Modeling soil erosion and river sediment yield for an intermountain drainage basin of the Central Apennines, Italy. **Catena**, 114, p. 45-58, 2014.
- BROWN, G. G., et al. No-tillage greatly increases earthworm populations in Paraná state, Brazil. **Pedobiologia**, v. 47, p. 05-06, 2003.
- CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, p.99-105, 1990.
- CARVALHO, J. M. t al. Susceptibilidade e potencial atual à erosão hídrica dos solos na bacia hidrográfica do rio Cabaçal, Mato Grosso, Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 69, n. 9, 8 ago. 2018.
- CASAGRANDE, A.A. Compactação e manejo do solo na cultura da cana-de-açúcar. In:

MORAES, M.H.; MÜLLER, M.M.L.; FOLONI, J.S.S. **Qualidade física do solo: métodos de estudo - sistemas de preparo e manejo do solo**. Jaboticabal: FUNEP, p.150-197, 2001.

CASSOL, E.A. et al. Soil erodibility under natural rainfall conditions as the K factor of the universal soil loss equation and application of the nomograph for a subtropical Ultisol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.42:e0170262, 2018.

CATTELAN, A. J.; VIDOR, C. Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo, em função de variações ambientais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, n.2, p.133-142, 1990.

COLOZZI FILHO, A.; ANDRADE, D. S.; BOLOTA, E. L. Atividade microbiana em solos cultivados em sistema de plantio direto. **Informe Agropecuário**, v.22, n.208, p.84-91, 2001.

COMIN, J. J. et al. Avaliação fitossociológica de plantas invasoras em cultivo de cebola sob sistema plantio direto sem uso de agrotóxicos. **Revista de la Facultad de Agronomía**; v. 117, n. 2, 2018.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Perspectivas para a agropecuária**. Brasília, v.5, p. 1-112, 2017.

CORRÊA, J.C. Efeito de sistemas de cultivo na estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho-Amarelo em Querência, MT. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.2, p. 203-209, 2002.

COSTA, M. J. et al. Atributos químicos e físicos de um latossolo sendo influenciados pelo manejo do solo e efeito da gessagem. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 29, n. 5, p. 701-708, 2007.

CRECCHIO, C. et al. Dinâmica microbiana do solo e diversidade genética em solo sob monocultivo de trigo cultivado em diferentes sistemas de manejo a longo prazo. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 39, p.1391-1400, 2007.

DAM, R. F. et al. Soil bulk density and crop yield under eleven consecutive years of corn with different tillage and residue practices in a sandy loam soil in central Canada. **Soil and Tillage Research**, v. 84, n. 1, p. 41-53, 2005.

DANE, J. H.; TOPP, G. C. Methods of Soil Analysis. Part 4 - **Physical Methods**. 2002.
DE SOUZA, A. E. et al. Estudo da produção do milho no Brasil. **South American Development Society Journal**, v. 4, n. 11, p. 182, 2018.

DEBIASI, H; FRANCHINI, C.F. GONÇALVES, S.L. **Manejo da compactação do solo em sistema de produção de soja sob semeadura direta**. Embrapa: Londrina, p.10, 2008. (Circular Técnica, 63)

DENARDIN, J. E. **Erodibilidade de solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos**. 1990. 81 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1990.

DERPSCH, R. et al. **Controle da erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo**. Eschborn, GTZ, 272p, 1991.

DONAGEMA, G.K. et al. **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. rev. Embrapa Solos, 2011. 230p. (Embrapa Solos. Documentos, 132)

EMBRAPA SOLOS. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5.ed. rev. e ampl. Brasília, 2018. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1094003>>. Acesso em: 15 mai. 2019.

FARIAS et al. Qualidade microbiológica do solo em sistema agroecológico de produção. In: X CONGRESSO BRASILEIRO E V SEMINÁRIO DO DF E ENTORNO, v.13, n.1, 2018, Cadernos de Agroecologia – **Anais do VI Congresso Latino Americano**, 2018.

FERREIRA D.F.; CARGNELUTTI FILHO A.; LÚCIO, A.D. **Procedimentos estatísticos em planejamentos experimentais com restrição na casualização**. Boletim Informativo Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.37, p.9–9, 2012.

FERREIRA, C. S.; PEREIRA, P.; KALANTARI, Z. Impactos humanos no solo. **Science Total Environment**, 644, p. 830-834, 2018.

GALVÃO, P. et al. Fontes de recarga e evolução hidroquímica de um aquífero cárstico urbano. **Brasil Environmente Earth Scinces**, v.76, p.159, 2017.

GEE, W.G.; OR, D. **Particle-size analysis**, 1. ed. Springer, p. 255–293, 2002.

GONÇALVES, V. A. et al. Biomassa e atividade microbiana de solo sob diferentes sistemas de plantio e sucessões de culturas. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 62, 2019.

GREGORY, A. S. et al. The effect of long-term soil management on the physical and biological resilience of a range of arable and grassland soils in England. **Geoderma**, v.153, p.173-185, 2009.

GROHMANN F. **Distribuição tamanho de poros em três tipos de solos do estado de São Paulo**. Bragantia - Boletim Técnico do Instituto Agrônômico do Estado de São Paulo, p. 10, 1960.

GROSSMAN, R. B.; REINSCH, T. G. Bulk density and linear extensibility. **Methods of soil analysis**, p.201–228, 2002.

GUADAGNIN, J. C.; BERTOL, I.; CASSOL, P. C.; AMARAL, A. J. do. Perdas de solo, água e nitrogênio por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.277-286, 2005.

HOFFMANN, R. B. et al. Efeito do manejo do solo no carbono da biomassa microbiana. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v.1, n.1, p.168-178, 2018.

JENKINSON, D.S., LADD, J.N. Microbial biomass in soils: Measurement and turnover. In: Paul EA, Ladd JN, editors. **Soil biochemistry**, 5. ed. New York: Marcel Decker p.415-7, 1981.

JENKINSON, D.S.; POWLSON, D.S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. V. A method for measuring soil biomass. **Soil Biology. Biochemistry**, v.8, n.3, p.209-213, 1976.

KER, J.C. **Latossolos do Brasil: Uma revisão**. *Geonomos*, 5:17- 40, 1997.

KHANCHOU, K; BOUBEHZIZ, S. Spatial Variability Of Soil Erodibility At El Hammam Catchment, Northeast Of Algeria. **Environment & Ecosystem Science (EES)**, v.3, n.1, p.17-25, 2019.

LAFLEN, J. M. Special problems of the USLE: soil erodibility (K). In: **WORKSHOP ON ESTIMATING EROSION AND SEDIMENT YIELD ON RANGELANDS**, 1., Tucson. **Proceedings...** Oakland: Agricultural Research Service, p. 63-72, 1982.

LAUDICINA, V.A. et al. Soil quality indicators as affected by shallow tillage in a vineyard grown in a semiarid Mediterranean environment. **Land Degradation & Development**, 2017.

LE BISSONNAIS, Y.; ARROUYAS, D. Aggregate stability and erodibility: II. Application to humic loamy soils with various organic carbon contents. **European Journal of Soil Science**, v.48, p.39-49, 1997.

MAROUELLI WA; ABDALLA RP; MADEIRA NP. 2008. Irrigação de cebola em sistema de plantio direto. **Revista Plantio Direto 105**. Disponível em: <<http://www.plantiodireto.com.br>>. Acesso em: 22 jun. 2019.

MARQUES, J. J. G. S. M. et al. Adequação de métodos indiretos para estimativa da erodibilidade de solos com horizonte B textural no Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, n.3, p.447-456, 1997.

MARTINS, M. V. et al. Correlação linear e espacial entre a produtividade do feijoeiro e atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico de Selvíria, Estado de Mato Grosso do Sul. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 31, n. 1, p. 147-154, 2009.

MARTINS, S. G. et al. Perdas de solo e água por erosão hídrica em sistemas florestais na região de Aracruz (ES). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.395-403, 2003.

MECHI, I. A. et al. Infestação de plantas daninhas de difícil controle em função de anos de consórcio milho-braquiária. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 5, n. 3, p.49-54, 2018.

MEDEIROS, P.H.A. et al. Connectivity of sediment transport in a semiarid environment: a synthesis for the Upper Jaguaribe Basin, Brazil. **Journal of Soils and Sediments**, v. 14, n. 12, p. 1938-1948. 2014.

MELLO, G.; BUENO, C.; PEREIRA, G. Variabilidade espacial de perdas de solo, do potencial natural e risco de erosão em áreas intensamente cultivadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, p. 315–322, 2006.

MELO FILHO, J. F.; SILVA, J. R. C. Erosão, teor de água no solo e produtividade do milho em plantio direto e preparo convencional de um Podzólico VermelhoAmarelo no Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.17, p.291-297, 1993.

MENDONÇA, V. Z. et al. Liberação de nutrientes da palhada de forrageiras consorciadas com milho e sucessão com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, n.1, p.183–193, 2015.

MERCANTE, F. M. et al. Biomassa microbiana, em um Argissolo Vermelho, em diferentes coberturas vegetais, em área cultivada com mandioca. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.30, n.4, p.479-485, 2008.

MMA. **Mapeamento de Cobertura Vegetal do Bioma Cerrado**. Edital Probio 02/2004 Projeto Executivo B.02.02.109. Relatório Final, 2007. Disponível em: <http://mapas.mma.gov.br/geodados/brasil/vegetacao/vegetacao2002/cerrado/documentos/relatorio_final.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2019.

MUNIZ, Y. S. et al. Análise da fertilidade do solo em área experimental da Universidade Estadual do Maranhão. **Revista Encontros Regionais de Agroecologia do Nordeste**, v.2, n.1, 2018.

NASCIMENTO, D.T.F.; ROMÃO, P. de A.; SALES, M.M. Erosividade e erodibilidade ao longo de dutovia cortando os estados de Minas Gerais e Goiás – Brasil. **Ateliê Geográfico**, v. 12, n. 1, p. 97-117, 2018.

ODUM, E. P. Trends expected in stressed ecosystems. **BioScience**, v. 35, p. 419-422, 1985.

OLIVEIRA, F. G.; SERAPHIM, O. J.; BORJA, M. E. L. Estimativa de perdas de solo e do potencial natural de Erosão da bacia de contribuição da microcentral Hidrelétrica do lageado, botucatu – SP. **Engenharia Agrícola**, v. 30, p. 302–309, 2015

OLIVEIRA, J. B. de. **Pedologia aplicada**. 2. ed. Piracicaba:ESALQ, 2005, 574p.:il.

OLIVEIRA, L. B. Determinação da macro e microporosidade pela mesa de tensão em amostras de solo com estrutura indeformada. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.3, p.197–200, 1968.

PARIZ, C. M. et al. Produtividade de grãos de milho e massa seca de braquiárias em consórcio no sistema de integração lavoura-pecuária. **Ciência Rural**, v.41, n.5, p.875-882, 2011.

PATEL, K. et al. Seasonal and temporal variation in soil microbial biomass C, N and P in different types land uses of dry deciduous forest ecosystem of Udaipur, Rajasthan, Western India. **Applied Ecology and Environment Research**, v.8, p.377-390, 2010.

PEREIRA, L. S.; RODRIGUES, A. M. Sistemas de Manejo de Cultivo Mínimo e Convencional: Análise Temporal da Dinâmica Hidrológica do Solo e da Variação Produtiva em Ambiente Serrano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 6, p. 1658-1672, 2013.

PEREZ, K.S.S.; RAMOS, M.L.G. ; McMANUS, C. Carbono da biomassa microbiana em solo cultivado com soja sob diferentes sistemas de manejo nos Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p. 567-573, 2004.

PIERI, C. et al. No-till farming for sustainable rural development. **Agriculture and Rural Development Working Paper**, p. 77, 2002.

PIRES, L. F.; ROSA, J. A.; TIMM, L. C. Comparação de métodos de média da densidade do solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.33, p.161-170, 2011.

RAPOSO, T. P. et al. Alteração da agregação de um Latossolo Vermelho-Amarelo em função do preparo físico. **Science and Technology Innovation in Agronomy**, v.2, n.1, p. 72-82, 2018.

REICHARD, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri: Manole, 2004, 478p.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência & Ambiente**, v. 27, p. 29-48, 2003. Disponível em: <http://www.fisicadosolo.ccr.ufsm.whoos.com.br/downloads/Producao_Artigos/5.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2019.

RIBEIRO, T. P. S. et al. Influência de diferentes sistemas de uso do solo na densidade e diversidade de macrofauna em boa vista-RR. **Revista Eletrônica Ambiente, Gestão e Desenvolvimento**, [S.l.], v. 11, n. 01, p. 230-240, 2018.

ROCHA et al. Sistema de semeadura cruzada na cultura da soja: avanços e perspectivas. **Revista de Ciências Agrárias**, v.41 n.2, 2018.

RODRIGUES, G. A. et al. Oscilações da temperatura do solo em função de quantidades de palha e horários ao longo do dia. *Revista Interface Tecnológica*, v.15, n.1, p.293-304, 2018.

SANTANA, D. P.; BAHIA FILHO, A. F. C. Soil quality and agricultural sustainability in the Brazilian Cerrado. In: World Congress of Soil Science, 16, 1998, Montpellier. Proceedings...Montpellier: ISSS/CIRAD, 1998. CD-Rom.

SANTOS, H. G. et al. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, 3. ed. revista e ampliada. 2013.

SAVIOZZI, A. et al. Biochemical activities in a degraded soil restored by two amendments: a laboratory study. **Biology & Fertility of Soils**, v. 35, p. 96-101, 2002

SATURNINO, H.M.; LANDERS, J.N. **O meio ambiente e o plantio direto**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1997. 116p.

SCHMIDT, M. R. **Fatores erosividade das chuvas de agosto pestana (RS), cobertura e manejo do solo e erodibilidade de Latossolo Vermelho para uso na equação universal de perdas de solo**. 2017. 155p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul, Porto Alegre, 2017.

SILVA, A. M. da. et al. Erosividade da chuva e erodibilidade de Cambissolo e Latossolo na região de Lavras, sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1811-1820, 2009.

SILVA, E. E.; AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLLI, H. **Determinação de Respiração Basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO_2)**. Embrapa, p.4. Comunicado Técnico, n. 99, 2007.

SILVA, M. L. N. et al. Avaliação de métodos indiretos de determinação da erodibilidade de Latossolos brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.6, p.1207-1220, 2000.

SILVA, M. L. N. et al. Proposição de modelos para estimativa da erodibilidade de Latossolos brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, n.12, p.2287-2298, 1999.

SIMIONI, F. J. et al. Indicadores de eficiência técnica e econômica do milho cultivado em sistema plantio direto no Estado de Santa Catarina, Brasil. **Revista Ceres**, v. 64, n.3, p. 232-241, 2017.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Bioma Cerrado: Latossolos**. EMBRAPA. 2007. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_96_10112005101956.html. Acesso em: 15 mai. 2019.

SOUZA, A. E. et al. Brazilian Corn Exports: An Analysis of Cargo Flow in Santos and Paranaguá Port. **IFIP advances in information and communication technology**, p. 83-102, 2017.

SOUZA, E. D. et al. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.1, p.79-88, 2010.

SOUZA, R. A. et al. Effects of sugarcane harvesting with burning on the chemical and microbiological properties of the soil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.155, p.1-6, 2012.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M.C. Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de Cerrado, sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 7:18-23, 2003.

STOLF, R. et al. Penetrômetro de Impacto Stolf Programa Computacional de dados em Excel-Vba. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.774-782, 2014.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.15, n.2, p.229-35, 1991.

STOLF, R.; FERNANDES, J.; URLANI NETO, V. L. **Recomendação para o uso do penetrômetro de impacto** - modelo IAA/Planalsucar - Stolf. São Paulo, MIC/IAA/ PNMCA-Planalsucar, p.8, 1983 (Boletim, 1).

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, p. 25, p. 395-401, 2001.

SWIFT, M.J.; IZAC, A. M. N.; VAN NOORDWIJK, M. Biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes—are we asking the right questions? **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 104, p. 113-134, 2004.

THIMÓTEO, C. M. S. et al. Alterações da porosidade e da densidade de um latossolo vermelho distrófico em dois sistemas de manejo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 23, p. 1299-1303, 2001.

TORMENA, C.A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, n.2, p.333-39, 1996.

VALENTE et al. Resistência mecânica à penetração em sistemas de manejo do solo. **Revista Verde**, v. 14, n.1, p.140-145, 2019.

VANCE, E.D. et al. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology Biochemistry**, v.19, n.6, p.703-707, 1987.

VENZKE FILHO, S. P. et al. Biomassa microbiana do solo em sistema de plantio direto na região de Campos Gerais – Tibagi, PR. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.2, p.599-610, 2008.

VOLK, L. B. S.; COGO, N. P.; STRECK, E. V. Erosão hídrica influenciada por condições físicas de superfície e subsuperfície do solo resultantes do seu manejo, na ausência de cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.763-774, 2004.

WANG, B. et al. Soil erodibility for water erosion: a perspective and Chinese experiences. **Geomorphology**, v.187, p.1-10, 2013.

WARDLE, D.A.; HUNGRIA, M. A biomassa microbiana do solo e sua importância nos ecossistemas terrestres. In: ARAUJO, R.S.; HUNGRIA, M. eds. **Microrganismos de importância agrícola**. Brasília: EMBRAPA-SPI, p.193-216, 1994.

WILSON, H.A.; BROWNING, G.M. Soil aggregation yields, runoff and erosion as affected by cropping systems. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.10, p. 51-57, 1945.

WISCHMEIER, W. H. et al. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 26, n. 5, p. 189-193, 1971.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses; a guide to conservation planning**. Washington: Department of Agriculture, 1978. 58p. Agriculture Handbook, 537p.

WISCHMEIER, W.H.; MANNERING, J.V. Relation of soil properties to its erodibility. **Soil Science Society of American Proceedings**, 33:131- 137, 1969.

YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of physical nature of erosion losses. **Journal American Society Agronomy**, v.28, p.337-351, 1936.

ZOLIN et al. Perda de solo e água sob integração lavoura-floresta e em sucessão soja-milho. **Pesquisa agropecuária Brasileira**, v.51, n.9, p.1223-1230, 2016.