

**CARBONO OXIDÁVEL EM SOLO CULTIVADO COM
CAFEEIRO CONSORCIADO COM PLANTAS DE
COBERTURA**

Carla Gabriele dos Santos

**CARBONO OXIDÁVEL EM SOLO CULTIVADO COM
CAFEEIRO CONSORCIADO COM PLANTAS DE
COBERTURA**

Carla Gabriele dos Santos

Orientadora: Profa. Dra. Mara Cristina Pessôa da Cruz

Trabalho apresentado à Faculdade
de Ciências Agrárias e Veterinárias
– UNESP, Campus de Jaboticabal,
para graduação em ENGENHARIA
AGRONÔMICA.

JABOTICABAL-SP
1º. Semestre/2023

S237c

Santos, Carla Gabriele dos

Carbono oxidável em solo cultivado com cafeeiro
consorciado com plantas de cobertura / Carla Gabriele dos
Santos. -- Jaboticabal, 2023

27 p. : tabs.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia
Agrônômica) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientadora: Profa. Dra. Mara Cristina Pessôa da Cruz

1. *Coffea arabica*. 2. Carbono orgânico lábil. 3. Índice de
manejo do carbono. 4. Qualidade do solo. I. Título.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CÂMPUS DE JABOTICABAL



DEPARTAMENTO: CIÊNCIAS DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO TRABALHO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

TÍTULO: Carbono oxidável em solo cultivado com cafeeiro consorciado com plantas de cobertura

ACADÊMICO: Carla Gabriele dos Santos

CURSO: Engenharia Agrônômica

ORIENTADOR (ES): Profa. Dra. Mara Cristina Pessoa da Cruz

Aprovado e corrigido de acordo com as sugestões da Banca Examinadora

BANCA EXAMINADORA:

(Nomes)		(Assinaturas)
Presidente	Profa. Dra. Mara Cristina Pessoa da Cruz	Documento assinado digitalmente MARA CRISTINA PESSOA DA CRUZ Data: 25/06/2023 17:39:05-0300 Verifique em https://validar.br.gov.br
Membro	Dra. Cássia Rita Adame	Documento assinado digitalmente CASSIA RITA ADAME Data: 23/06/2023 11:00:13-0300 Verifique em https://validar.br.gov.br
Membro	Dra. Roberta Souto Carlos	Documento assinado digitalmente ROBERTA SOUTO CARLOS Data: 21/06/2023 08:53:09-0300 Verifique em https://validar.br.gov.br

Jaboticabal 19 / 06 / 2023

Aprovado em reunião do Conselho do Departamento em: 26 / 06 / 2023

Chefe do Departamento



Documento assinado digitalmente
LEONARDO BIANCO DE CARVALHO
Data: 26/06/2023 15:05:34-0300
Verifique em <https://validar.br.gov.br>

Este trabalho é inteiramente dedicado à minha mãe, Tânia, a maior incentivadora da realização dos meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela minha vida, e por me permitir ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo da realização deste trabalho.

À minha mãe, Tânia, por nunca ter medido esforços para me apoiar, por me incentivar nos momentos difíceis e compreender a minha ausência enquanto eu me dedicava à realização deste trabalho.

À minha família, principalmente à minha avó Carmelita e à minha madrinha Elisângela, pelo apoio que sempre me deram durante toda a minha vida.

Aos meus afilhados, Apollo, Pedro e Vitor, por todo carinho e incentivo.

À minha orientadora, Profa. Dra. Mara Cristina Pessôa da Cruz, por todos os conselhos, pela ajuda e pela paciência com os quais guiou o meu aprendizado.

Aos meus amigos, Ana Carolina, Fabiana, Fabricia, Laísia, Luan, Vânia e Wagner, que sempre estiveram ao meu lado, pela amizade incondicional e pelo apoio demonstrado ao longo de todo o período de tempo em que me dediquei a este trabalho. Em especial, agradeço à Laura Oliveira Aguiar, que cedeu as amostras que foram usadas no presente experimento.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV), UNESP, a todos os docentes do curso de Engenharia Agrônômica, pela elevada qualidade do ensino oferecido, e a todos os funcionários.

A todos aqueles que contribuíram, de alguma forma, para a realização deste trabalho.

RESUMO

CARBONO OXIDÁVEL EM SOLO CULTIVADO COM CAFEEIRO CONSORCIADO COM PLANTAS DE COBERTURA

A recuperação da qualidade do solo nos sistemas de produção é o primeiro passo para a sustentabilidade e, no caso da cultura do café, por se tratar de uma cultura perene, o uso de plantas de cobertura tem sido proposto como uma alternativa econômica e ecológica. O cultivo das espécies de cobertura interfere na dinâmica do carbono e dos nutrientes no solo, e a escolha da espécie precisa estar apoiada em variáveis que acusem, o mais rapidamente possível, o ganho de qualidade do solo proporcionado pela planta. Uma das medidas mais indicadas é o carbono oxidável e, desse modo, o objetivo com esse trabalho foi avaliar o efeito do consórcio do café arábica com plantas de cobertura no carbono oxidável por solução de permanganato. O experimento foi implantado no ano agrícola de 2021/2022, no município de Monte Santo de Minas – MG, em solo arenoso. Foi usado delineamento em blocos ao acaso com quatro repetições e foram testados os seguintes tratamentos: café solteiro, café com vegetação espontânea e café consorciado com braquiária (*Urochloa ruziziensis*), milheto (*Pennisetum americanum*), crotalária (*Crotalaria spectabilis*) e feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*). Nas parcelas foram feitas amostragens de solo antes da semeadura e 63 dias após a dessecação das plantas de cobertura. Nas amostras foram determinados o carbono orgânico total e o carbono oxidável por solução de permanganato. Os dados foram avaliados por análise de variância (teste F) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Com os dados de C orgânico total e oxidável foi feito o cálculo do índice de manejo do carbono (IMC). O cultivo das plantas de cobertura nas entrelinhas do cafeeiro não resultou em aumento nos teores de carbono total e oxidável do solo. No entanto, com base no IMC, foi possível identificar maior ganho de qualidade do solo, em curto prazo, com cultivo de feijão-de-porco e milheto.

Palavras chaves: *Coffea arabica*, carbono orgânico lábil, índice de manejo do carbono, qualidade do solo

SUMMARY

OXIDIZABLE CARBON IN SOIL CULTIVATED WITH COFFEE INTERCROPPED WITH COVER PLANTS

The recovery of soil quality in production systems is the first step towards sustainability and, in the case of coffee, as it is a perennial crop, the use of cover crops has been proposed as an economic and ecological alternative. The cultivation of cover species interferes with the dynamics of carbon and nutrients in the soil, and the choice of species needs to be supported by variables that indicate, as quickly as possible, the gain in soil quality provided by the plant. One of the most indicated measures is oxidizable carbon and, therefore, the objective with this work was to evaluate the effect of intercropping coffee with cover crops on oxidizable carbon extracted by permanganate solution. The experiment was improved in the 2021/2022 agricultural year, in the municipality of Monte Santo de Minas - MG, in a sandy soil. A randomized block design with four replications was used and the following treatments were tested: single coffee, coffee with native vegetation and coffee intercropped with brachiaria (*Urochloa ruziziensis*), millet (*Pennisetum americanum*), sunn hemp (*Crotalaria spectabilis*) and jack bean (*Canavalia ensiformis*). In the plots, soil samples were taken before sowing and 63 days after desiccation of cover crops. In the samples, the total organic carbon and the oxidizable carbon extracted by permanganate solution were determined. Data were evaluated by analysis of variance (F test) and means were compared by Tukey's test at 5% probability. With the total and oxidizable organic C data, the carbon management index (CMI) was calculated. The cultivation of cover crops between the coffee lines did not result in an increase in total and oxidizable carbon in the soil. However, based on the CMI, it was possible to identify a greater gain in soil quality, in the short term, with jack bean and millet cultivation.

Keywords: *Coffea arabica*, labile organic carbon, carbon management index, soil quality

SUMÁRIO

	pág
RESUMO	vii
SUMMARY	viii
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Café (<i>Coffea arabica</i>)	3
2.2 Plantas de cobertura	4
2.3 Carbono orgânico oxidável	6
3 MATERIAL E MÉTODOS	9
3.1 Localização do experimento, clima e solo	9
3.2 Histórico da área	9
3.3 Delineamento experimental e tratamentos	10
3.4 Preparo da área e implantação do experimento	10
3.5 Avaliação dos atributos químicos do solo	10
3.6 Determinação do carbono orgânico oxidável	13
3.7 Cálculo do índice de manejo do carbono (IMC)	15
3.8 Tratamento estatístico dos dados	16
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
5 CONCLUSÃO	21
6 LITERATURA CITADA	22

1. INTRODUÇÃO

O café é considerado uma das grandes *commodities* agrícolas, que garante a geração de empregos e contribui significativamente para a formação da receita brasileira através de exportações. De acordo com o último levantamento realizado pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2023), o Brasil é o maior produtor mundial de café, com participação de 33,6% no ciclo atual.

Devido ao cultivo intensivo do café, a degradação do solo tem sido um fator preocupante para os produtores. Por se tratar de uma cultura perene, ao fazer o plantio convencional da cultura pode ocorrer grande degradação devido ao preparo do solo, seja na aração, na subsolagem ou na gradagem. O manejo inadequado leva a graves impactos na fertilidade do solo, o que acaba comprometendo a produtividade. Posteriormente, ao longo dos anos, algumas práticas de manejo que necessitam revolvimento do solo ficam impraticáveis, o que dificulta a incorporação de nutrientes, levando ao empobrecimento do solo.

Para recuperação das áreas degradadas é preciso adotar estratégias de recuperação da qualidade do solo e que levem, simultaneamente, ao aumento da sustentabilidade do sistema de produção.

As espécies de plantas de cobertura apresentam diferença no crescimento

e na composição bioquímica. Neste contexto, tornam-se necessários estudos para definir qual espécie de planta de cobertura indicar, levando em consideração que podem ser utilizadas tanto leguminosas como gramíneas nas entrelinhas dos cafeeiros.

Deste modo, o uso de plantas de cobertura tem sido uma alternativa econômica e ecológica para que essa recuperação ocorra, pois ela interfere na dinâmica do carbono e dos nutrientes de plantas e porque a adoção sistemática dessa prática pode levar ao aumento do teor de matéria orgânica do solo (MOS).

A MOS potencializa a qualidade do solo, é um componente essencial nos processos químicos, físicos e biológicos de ecossistemas terrestres, fornece nutrientes para as plantas ao ser decomposta, aumenta a capacidade de troca de cátions do solo e interfere positivamente na agregação das partículas minerais. Ela é composta por componentes mais estáveis, que persistem no solo por muito tempo, e por uma fração lábil, de tempo de permanência menor no solo, relacionada mais diretamente às alterações na atividade microbiana e na reciclagem e disponibilização de nutrientes. A fração lábil é uma variável de resposta rápida que permite avaliar a qualidade do manejo que está sendo feito no solo (BLAIR et al., 1995).

Além das avaliações de potencial de produção de massa e de cobertura de solo, a medida do carbono lábil pode ser uma ferramenta complementar importante para auxiliar na escolha da planta de cobertura. O carbono orgânico oxidável por solução de permanganato é uma forma de medição do carbono lábil do solo, e tem por benefício ser uma medida simples e rápida, que tem se mostrado adequada para avaliação da qualidade do solo e que pode ser aplicada às áreas de produção de café.

Dessa forma, o objetivo com esse trabalho foi avaliar o efeito do consórcio do café arábica com plantas de cobertura no carbono oxidável por solução de permanganato.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Café (*Coffea arabica*)

O café pertence à família Rubiaceae, gênero *Coffea*. Existem várias espécies de *Coffea* no mundo, sendo as mais conhecidas no Brasil, *Coffea arabica* e *C. conillon*, respectivamente café arábica e café robusta (NASSER, 2007). A espécie *Coffea arabica* se destaca entre todas por oferecer bebida de melhor qualidade, mais suave e mais rica em sabor e aromas (CHALFOUN; FERNANDES, 2013). É a espécie mais importante e responde por cerca de 70% do café comercializado mundialmente (SCHOLZ et al., 2011).

De acordo com a descrição de Coste (1955), as plantas de café arábica são arbustos monocaules com até 4,0 m de altura, o grão é comercialmente conhecido como fava e é composto principalmente do endosperma, que apresenta coloração verde azulado. Estas características estão pontualmente relacionadas com o desenvolvimento de sabores e aromas, que também podem variar de acordo com a localização da lavoura, o controle fitossanitário, o processamento agrícola e a ocorrência de defeitos (CORTEZ, 2001).

O preço do produto final do café é baseado em características qualitativas (SEPÚLVEDA et al., 2016). No Brasil, a qualidade e o valor de mercado do café são avaliados de acordo com algumas classificações, como: por tipo (separação de impurezas e defeitos), por prova da bebida, por cor

(baseado na aparência ou envelhecimento do grão), por torrefação e por peneira (separação por tamanho e formato). Dentre as existentes, a classificação por tipo ou defeitos e a classificação pela bebida são as mais utilizadas na análise do café no Brasil.

Apesar da cafeicultura já ser bastante consolidada em várias regiões do Brasil, nos últimos anos, o agronegócio do café passou por mudanças significativas (CASÉ, 2022), devido à busca crescente dos consumidores por qualidade. Houve aumento do consumo de café gourmet e de procura por produtos que possuam selos de pureza ou de qualidade ou, até mesmo, selos de certificação que garantam ao consumidor que toda a cadeia de produção do café é sustentável.

Desse modo, o manejo da cultura tem evoluído de maneira a potencializar a produtividade e a qualidade dos grãos, incluindo técnicas de produção e pós-colheita que levam também em consideração as questões ambientais e sociais.

2.2 Plantas de cobertura

A utilização de plantas de cobertura consiste numa prática cultural que tem como finalidade realizar a proteção do solo e favorecer a cultura economicamente, considerando em sua adoção aspectos agronômicos, econômicos e ecológicos do sistema de produção (SOUZA; PIRES, 2002). Porém, a resposta da cultura será de acordo com o manejo que for empregado, podendo acarretar benefícios ou prejuízos (SANTOS et al., 2008). Os benefícios incluem a fixação simbiótica de nitrogênio se a espécie cultivada for leguminosa, controle de processos erosivos, aumento do teor de matéria orgânica, reciclagem de nutrientes, efeitos residuais para melhoria da qualidade do solo e da cultura, além de redução de infestação de plantas espontâneas, pois pode ocorrer a liberação de substâncias alelopáticas pelos resíduos de plantas de cobertura que atuam sobre espécies vegetais, inibindo a germinação de sementes e o desenvolvimento das plantas (SOUZA FILHO et al., 1997, 2005; XUAN et al., 2005). Entre os prejuízos estão a disseminação de pragas e

doenças, a competição por água e nutrientes com a cultura, a possibilidade de se transformar em planta daninha e efeitos negativos no desenvolvimento e produção da cultura em decorrência da execução de manejo inadequado (SOUZA; PIRES, 2002).

A escolha de qual planta utilizar é um fator extremamente importante, e para consórcio com café, as leguminosas são as preferidas, pois podem contribuir fornecendo nitrogênio para a planta, devido a capacidade de fixação biológica de nitrogênio (FBN) através da simbiose com *Rhizobium*, e pela proteção do solo dada pela fitomassa (BERGO et al., 2006). Além disso, as leguminosas possuem sistema radicular ramificado e profundo, promovendo boa extração, reciclagem e disponibilidade de nutrientes para a cultura principal (AMBROSANO, 2001). As gramíneas, por outro lado, produzem alta quantidade de matéria seca, que então colabora para maior proteção do solo e para a produção de matéria orgânica, além de que em sistemas de manejo que utilizam gramíneas perenes como plantas de cobertura, por terem sistema radicular fasciculado, mais denso e com maior contato com as partículas do solo, resultam em uma ação agregante mais prolongada do que as leguminosas (PALADINI; MIELNICZUK, 1991).

Em experimento com plantas de cobertura realizado por Imbana et al. (2021) em que foram testadas mucuna-preta (*Mucuna pruriens*), mucuna-cinza (*Mucuna cinerea*), lablab (*Dolichos lablab*), feijão-guandu (*Cajanus cajan*), crotalária (*Crotalaria juncea*) e feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), a crotalária produziu maior quantidade de matéria seca, enquanto a mucuna-cinza, mostrou melhor desempenho em quantidade de carbono no solo, em relação às demais plantas de cobertura utilizadas.

Desse modo, o uso de plantas de cobertura é uma prática de manejo que pode devolver ao solo parte do que foi perdido ao longo de décadas de cultivo convencional, pois do ponto de vista da fertilidade do solo, aumenta o teor de matéria orgânica na camada mais superficial, por deixar resíduos sobre o solo (TERÇARIOL, 2020), além de melhorar, conseqüentemente, o desenvolvimento da planta e a qualidade do fruto.

2.3 Carbono orgânico oxidável

A MOS pode ser dividida nos compartimentos estável, lábil e inerte (THENG et al., 1989). A fração estável é composta por substâncias húmicas (SHs) e outras macromoléculas orgânicas extremamente resistentes ao ataque microbiano. A característica de resistência é dada à essa fração por reações de adsorção às superfícies minerais, que conferem às moléculas orgânicas proteção química, mas também pode estar associada à localização no interior de agregados, em poros inacessíveis aos micro-organismos (CHRISTENSEN, 1996).

A fração inerte é a matéria orgânica capaz de afetar as propriedades físicas do solo, não é suscetível à decomposição, permanece no solo de décadas a séculos, e é responsável pelo sequestro do carbono (SIX et al., 2002).

A fração lábil é composta por substâncias de baixo peso molecular, por resíduos de plantas e de animais e pela biomassa microbiana (THENG et al., 1989), apresenta alta taxa de decomposição e sua permanência no solo é de curto período (BLAIR et al., 1995). A sua função principal é fornecer nutrientes às plantas através da mineralização, além de energia e carbono aos microrganismos do solo (RANGEL et al., 2008; SILVA et al., 2011), mas tem também muita importância nos processos de formação e estabilização de agregados (ROSA et al., 2003). As frações lábeis da matéria orgânica mais conhecidas são: matéria orgânica particulada, obtida pelo método de fracionamento granulométrico (CAMBARDELLA; ELLIOTT, 1992); fração leve, obtida pelo fracionamento densimétrico (CAMBARDELLA; ELLIOTT, 1993); biomassa microbiana do solo, determinada pelo método de fumigação extração (JENKINSON; POWLSON, 1976) ou irradiação; e o carbono oxidável por permanganato de potássio (CPOX) (BLAIR et al., 1995).

O carbono lábil do solo é um bom indicador para avaliação da qualidade do solo e, para determiná-lo, têm sido utilizados procedimentos colorimétricos baseados em oxidação com solução de permanganato de potássio (RANGEL et al., 2008; OLIVEIRA et al., 2018; GOMES, 2019; LOSS et al., 2020). Segundo

Culman et al. (2012), o carbono oxidável é considerado um dos compartimentos mais ativos do solo, e apresenta um dos menores tempos de residência no solo em comparação às frações estáveis.

Nas últimas décadas, as frações mais lábeis do carbono do solo têm recebido maior atenção, por serem mais sensíveis a mudanças no manejo, incluindo sistema de cultivo, adubação orgânica e mineral e rotação de culturas (HEITKAMP et al., 2009), pois auxiliam na interpretação da dinâmica do carbono no solo, sendo um indicador utilizado para avaliar os efeitos das formas de uso na qualidade do solo, em curto prazo (SILVA et al., 2011).

Os solos brasileiros têm mostrado perdas acentuadas de carbono devido ao desmatamento para uso agrícola. O cultivo dos solos é acompanhado pelo consumo de frações orgânicas de maior labilidade, o que implica em aumento do já elevado grau de aromaticidade da MOS (SILVA et al., 1999).

Em um sistema agrícola de produção de arroz, Shrestha et al. (2002), observaram que, com a incorporação de resíduos, houve aumento de 18 para 37% no C lábil, enquanto o estoque de COT permaneceu inalterado. No entanto, Leite et al. (2003), em um sistema de produção de milho em que não foi feita a incorporação de resíduos, observaram que, em virtude da maior sensibilidade, os estoques de C na fração leve livre foi reduzido em maior intensidade do que os estoques de COT.

De modo geral, os resultados de pesquisas com as frações lábeis de C evidenciam que sistemas de manejo que favorecem adições frequentes de resíduos orgânicos ao solo tendem a apresentar aumento na proporção de C na fração lábil (BLAIR et al., 1995; CONTEH et al., 1998; CHAN et al., 2001).

O procedimento para extração do carbono oxidável por solução de permanganato de potássio foi inicialmente proposto por Loginow et al. (1987), e foi modificado, posteriormente, por Blair et al. (1995) e Shang e Tiessen (1997). O método se apoia no fato de que a decomposição microbiana da matéria orgânica está associada aos processos de oxidação de caráter enzimático que ocorrem nos solos.

Desse modo, o carbono oxidável por permanganato, por ser uma fração do carbono orgânico sensível a mudanças induzidas pelo manejo, pode ser

utilizado como indicador de ganho de qualidade do solo de curto prazo (ROVIRA et al., 2010; SOUZA et al., 2016). Assim, pode ser empregado em áreas de cultivo de café consorciado com plantas de cobertura para indicar ganho de qualidade do solo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização do experimento, clima e solo

O experimento foi instalado em uma propriedade agrícola localizada no município de Monte Santo de Minas – MG, na latitude de 21°05'28.05" S, longitude de 46°49'15.53" W e altitude média de 1.065 m, no ano agrícola 2021/2022. O clima do local é Cwa, segundo classificação de Köppen (tropical úmido com estação chuvosa no verão e inverno seco). O solo é classificado, segundo Santos et al. (2018), como Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (LVAd), de textura arenosa.

3.2. Histórico da área

A cultura do cafeeiro estava implantada na área há quatro anos. A cultivar é Catuaí Vermelho IAC 99, resultante da recombinação de um cruzamento artificial das cultivares Caturra Amarelo (IAC 476-11) e Mundo Novo (IAC 374-19) (BOTELHO et al., 2008; MAPA, 2021). As características da planta são: frutos vermelhos, alta produtividade, rusticidade e porte baixo.

A cultura foi instalada no espaçamento de 3 m entrelinhas e 0,70 m entre plantas. Desde a implantação da cultura o solo tem recebido calagem e

adubações conforme a recomendação para a cultura, e o controle de plantas daninhas tem sido feito com herbicidas.

3.3 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental adotado foi blocos ao acaso, com seis tratamentos e quatro repetições, totalizando 24 parcelas. Nas parcelas, os tratamentos foram seis sistemas de cultivo: café solteiro - C_S ; café em consórcio com vegetação espontânea - C_{VE} ; com crotalária (*Crotalaria spectabilis*) - C_{CS} ; com feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) - C_{FP} ; com braquiária - C_B ; e com milho - C_M . No campo, cada parcela foi delimitada por oito plantas de café, em linha, das quais as seis centrais foram consideradas como área útil e as duas nas extremidades foram consideradas bordaduras.

3.4 Preparo da área e implantação do experimento

O preparo do solo para a semeadura das plantas de cobertura foi feito com grade. Entre as linhas de café foram abertos três sulcos, mecanicamente, e a semeadura das plantas de cobertura foi feita de forma manual, no mês de outubro de 2021.

Na semeadura das plantas de cobertura foram utilizados 10 kg ha⁻¹, 15 kg ha⁻¹, 12 kg ha⁻¹ e 100 kg ha⁻¹, de sementes de braquiária, milho, crotalária e feijão-de-porco, respectivamente.

O controle das plantas invasoras foi realizado em todos os tratamentos (exceto no C_{VE}), por meio de capina manual.

3.5. Avaliação dos atributos químicos do solo

Para avaliar os efeitos das plantas de cobertura nos atributos químicos do solo, foram realizadas duas amostragens de solo, uma antes da semeadura das plantas de cobertura e outra aos 60 dias após a dessecação das plantas. A coleta foi feita nas parcelas de todos os tratamentos, nas profundidades de 0,00- 5 cm e 5 - 10 cm. A amostra composta de cada parcela foi constituída de 10 subamostras coletadas nas entrelinhas do café. A primeira coleta de solo foi

realizada no dia 23 de outubro de 2021, e a segunda coleta foi feita no dia 26 de março de 2022, 63 dias após a dessecação das plantas de cobertura. Por ocasião da primeira coleta na área experimental foi também coletada amostra em área de mata adjacente, nas mesmas profundidades das demais amostras.

As amostras coletadas foram secas ao ar (Figura 1), passadas em peneira com 2 mm de abertura de malha, homogeneizadas e submetidas às avaliações dos atributos químicos. As amostras coletadas antes do cultivo das plantas de cobertura foram usadas para a caracterização química do solo, conforme métodos descritos em Raij et al. (2001), conforme descrito a seguir.



Figura 1. Amostras de solo identificadas e prontas para serem peneiradas.

a) Valor de pH e acidez total

Foram determinadas em solução de CaCl_2 0,01 mol L^{-1} e em solução tampão SMP, respectivamente, segundo métodos descritos em Raij et al. (2001).



Figura 2. Determinação do valor de pH e de acidez total.

b) Teores de P disponível, K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis

Foram extraídos com resina trocadora de íons, segundo Raji et al. (2001).

c) Carbono orgânico total

Foi determinado por oxidação por via úmida com mistura de dicromato de potássio e ácido sulfúrico (CANTARELLA et al., 2001). Para esta determinação foi pesado 1g da amostra em um erlenmeyer de 250 mL. Adicionaram-se, em seguida, 10 mL da solução de $K_2Cr_2O_7$ $0,667 \text{ mol L}^{-1}$ e 20 mL de H_2SO_4 concentrado. As amostras foram agitadas manualmente por um minuto e, em seguida, foram aguardados 30 minutos de repouso. Após o repouso as amostras foram diluídas com 200 mL de água desionizada e filtradas em papel de filtragem rápida. Ao filtrado foram adicionados 10 mL de H_3PO_4 concentrado e cinco gotas de difenilamina 1 g L^{-1} . A titulação foi feita com solução de $Fe(NH_4)_2SO_4 \cdot 6 H_2O$ $0,4 \text{ mol L}^{-1}$ (Figura 3).



Figura 3. Determinação de carbono orgânico total por oxidação com mistura de dicromato de potássio + ácido sulfúrico.

Na Tabela 1 estão os atributos químicos do solo, médias das 24 parcelas, e também as características do solo da mata, nas amostras coletadas nas camadas de 0-5 e 5-10 cm de profundidade.

Tabela 1. Análise química do solo da área experimental (Área exp.) e da mata.

Local/camada (cm)	pH	MO	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H + Al	SB	CTC	V%
	CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³						%
Área exp. (0-5)	6,1	26	20	2,1	52	14	16	68	85	80
Área exp. (5-10)	6,3	23	10	1,8	54	13	15	69	84	82
Mata (0-5)	4,3	37	13	3,0	16	7	62	26	88	30
Mata (5-10)	4,1	29	11	2,9	10	4	64	16	80	20

MO: matéria orgânica; SB: Soma de bases; CTC: capacidade de troca de cátions; V: índice de saturação por bases.

3.6 Determinação do carbono orgânico oxidável

A determinação do carbono orgânico oxidável (COXP) foi feita nas amostras coletadas antes e após o cultivo das plantas de cobertura, usando oxidação com solução de permanganato de potássio, conforme descrito por

Weil et al. (2003). Para a determinação do COXP foram pesados 2,5 g de solo em tubo de ensaio, aos quais foram adicionados 2 mL de solução de permanganato de potássio $0,2 \text{ mol L}^{-1}$ (preparada em solução de CaCl_2 1 mol L^{-1} , e com pH ajustado para 7,2 usando solução de NaOH $0,1 \text{ mol L}^{-1}$) e 18 mL de água deionizada. Em seguida, as amostras foram agitadas por exatamente 2 minutos e, posteriormente, mantidas em repouso por exatamente 10 minutos em ambiente escuro. Após o repouso, retirou-se uma alíquota de 0,5 mL do sobrenadante, que foi transferida para um tubo de ensaio, ao qual foram adicionados 19,5 mL de água deionizada. O meio foi homogeneizado e, em seguida, foi realizada a leitura da absorbância em espectrofotômetro, com comprimento de onda ajustado para 550 nm (Figura 5).



Figura 5. Determinação de carbono orgânico oxidável em permanganato de potássio.

Foram utilizadas no máximo 10 amostras numa mesma batelada, para que o solo não permanecesse em contato com a solução de permanganato além do tempo recomendado, visto que a reação ocorre enquanto o solo está em contato

com a solução. Uma curva padrão foi feita para cada dia em que houve realização de análise, empregando soluções padrão com as concentrações 0,005, 0,010, 0,015 e 0,020 mol L⁻¹ de permanganato de potássio. O COXP foi calculado com base na seguinte equação:

$$\text{COXP} = \frac{[0,02 \text{ mol L}^{-1} - (a + b \times \text{Abs})] \times (9.000 \times 0,02 \text{ L})}{M}$$

Em que: COXP é carbono oxidável em permanganato (mg kg⁻¹ solo); 0,02 mol L⁻¹ é a concentração inicial da solução de permanganato de potássio; a é o coeficiente linear ou intercepto da curva padrão; b é o coeficiente angular da curva padrão; Abs é a absorbância da amostra; 9.000 mg mol⁻¹ é a massa assumida de C oxidada por 1 mol de MnO₄⁻ (Mn 7⁺ reduzido a Mn 4⁺); 0,02 L é o volume da solução e M é a massa de solo da amostra, em quilogramas.

3.7 Cálculo do índice de manejo do carbono (IMC)

Além dos procedimentos descritos anteriormente, a partir dos dados de COT e COXP da área alvo de estudo e da área de referência (mata), foi feito o cálculo do índice de manejo do carbono (IMC), que relaciona o teor de carbono com a sua labilidade. Quanto mais o IMC se distancia de 100, maior é o impacto negativo das práticas de manejo nos teores de matéria orgânica e na qualidade do solo. O cálculo do IMC foi feito conforme proposto por Blair et al. (1995):

$$\text{IMC} = \text{IEC} \times \text{ILC} \times 100$$

Em que:

IEC é o índice de estoque de carbono

ILC é o índice de labilidade do carbono

O IEC é calculado a partir do carbono orgânico total presente na área alvo de estudo em relação à referência (mata), da seguinte forma:

$$\text{IEC} = \text{COT}_{\text{ae}} / \text{COT}_{\text{ref}}$$

Em que:

COT_{ae} = carbono orgânico do solo da área em estudo,

COT_{ref} = carbono orgânico do solo da área referência (mata).

O ILC é calculado pela razão da labilidade na área em estudo em relação à referência, do seguinte modo:

$$ILC = L_{ae}/L_{ref}$$

Em que:

L = concentração de C lábil/concentração de C não lábil

O carbono lábil é representado, no caso, pelo COXP e o carbono não lábil é obtido pela diferença entre o COT e o COXP.

3.8 Tratamento estatístico dos dados

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F, avaliando os efeitos das plantas de cobertura dentro de cada profundidade e de cada data de coleta. Quando significativas (<0,05), as médias foram comparadas por teste de comparação de médias (Tukey) a 5% de probabilidade. A análise estatística foi realizada utilizando SpeedStat (SPEED Stat, UFV, Viçosa, Brasil).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de carbono orgânico total e oxidável nas amostras de solo coletadas nas entrelinhas do café, antes da semeadura e aos 63 dias após a dessecação das plantas de cobertura, estão apresentados, respectivamente, nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2. Teores de carbono orgânico total e oxidável (COXP) nas entrelinhas do cafeeiro, antes do cultivo das plantas de cobertura.

Tratamento ¹	Carbono orgânico total		Carbono oxidável	
	0-5 cm	5 - 10 cm	0-5 cm	5 - 10 cm
	-----g kg ⁻¹ -----			
C _S	8,93 a ²	9,50 a	0,58 a	0,60 a
C _M	13,36 a	11,58 a	0,65 a	0,71 a
C _C	13,06 a	10,68 a	0,69 a	0,75 a
C _{FP}	11,93 a	10,79 a	0,69 a	0,63 a
C _{VE}	9,62 a	8,97 a	0,55 a	0,50 a
C _B	12,38 a	10,94 a	0,75 a	0,70 a
Média	11,55	10,41	0,65	0,65
F ³	2,76 ^{NS}	0,7 ^{NS}	0,84 ^{NS}	1,55 ^{NS}
CV%	19,21	22,44	25,06	23,01

¹ C_S: parcelas com controle manual da vegetação espontânea; C_{VE}: consórcio de plantas de café com vegetação espontânea; C_B: consórcio com braquiária; C_M: consórcio com milho; C_C: consórcio com crotalária; C_{FP}: consórcio com feijão-de-porco.

² Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

³ NS: não significativo pelo teste F.

Tabela 3. Teores de carbono orgânico total e oxidável (COXP) nas entrelinhas do cafeeiro, 63 dias após a dessecação das plantas de cobertura.

Tratamento ¹	Carbono Total		Carbono Oxidável	
	0-5 cm	5 - 10 cm	0-5 cm	5 - 10 cm
	-----g kg ⁻¹ -----			
C _S	10,20 a ²	10,09 a	0,60 a	0,64 a
C _M	13,61 a	11,87 a	0,65 a	0,73 a
C _C	12,85 a	11,02 a	0,60 a	0,56 a
C _{FP}	12,97 a	12,93 a	0,71 a	0,72 a
C _{VE}	10,43 a	9,50 a	0,53 a	0,61 a
C _B	12,89 a	11,72 a	0,70 a	0,69 a
Média	12,16	11,19	0,63	0,66
F ³	1,13 ^{NS}	1,12 ^{NS}	2,95 *	2,88 ^{NS}
CV%	17,62	16,65	12,58	12,42

¹ C_S: parcelas com controle manual da vegetação espontânea; C_{VE}: consórcio de plantas de café com vegetação espontânea; C_B: consórcio com braquiária; C_M: consórcio com milho; C_{CS}: consórcio com crotalária; C_{FP}: consórcio com feijão-de-porco.

² Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

³ NS: não significativo pelo teste F.

Com base nos dados da Tabela 2 tem-se que não havia desuniformidade nos teores de carbono orgânico total e oxidável entre as parcelas do experimento, uma vez que não houve diferença nos teores, em nenhuma das profundidades avaliadas. De acordo com a Tabela 3, que é referente a segunda coleta, realizada 63 dias após a dessecação das plantas de cobertura, nota-se que o cultivo das plantas não foi capaz de causar aumento nos teores de carbono total e carbono oxidável no solo em relação ao café solteiro. Em relação ao C total esse resultado está associado, provavelmente, à adoção desse manejo em um único ciclo de cultivo. O aumento do C total ocorre apenas lentamente em resposta ao aumento da entrada de carbono via restos de plantas e, segundo Perez et al. (2004) e Imbana et al. (2021) seriam necessários vários anos de cultivo, podendo levar por volta de 10 a 35 anos, para que houvesse incremento significativo no C orgânico total.

Em relação ao C oxidável, era esperado que houvesse efeito, sobretudo na camada de 0-5 cm, uma vez que os resíduos das plantas de cobertura não foram incorporados. No entanto, após a dessecação das plantas a ocorrência

de chuvas na área foi baixa, o que tornou a decomposição mais lenta, e resultou na ausência do efeito. Desse modo, devido às condições climáticas e pela própria natureza do material depositado, seria necessário mais tempo para liberar o carbono para o solo em formas lábeis.

A partir da determinação do carbono oxidável foi feito o cálculo do índice de manejo de carbono (IMC), proposto por Blair et al. (1995), que leva em consideração a labilidade da MOS, e busca unir as características quantitativas e qualitativas da MOS para avaliar o desempenho de um determinado sistema de manejo (ROSSI et al., 2012). Os resultados obtidos para o IMC na área do experimento estão na Tabela 4.

Tabela 4. Índice de manejo do carbono (IMC) calculado com base no carbono oxidável e no carbono total do solo das áreas do experimento em relação à mata.

Tratamento	1° Coleta		2° Coleta	
	IMC			
	0-5 cm	5 - 10 cm	0-5 cm	5 - 10 cm
Solteiro	48,07	50,29	62,47	52,57
Milheto	68,05	77,84	96,53	63,80
Crotalária	78,55	88,57	48,22	52,18
Feijão-de-porco	75,97	57,93	91,37	80,68
Veg espontânea	45,08	35,72	56,27	40,98
Braquiária	95,77	72,87	80,68	77,34

O cultivo de café solteiro e com vegetação espontânea levou aos menores valores de IMC e os melhores resultados, na camada de 0-5 cm, foram obtidos com o cultivo de milho e feijão-de-porco, com aumentos de 28 e 15, respectivamente (Tabela 4).

O IMC relaciona o teor de carbono com a sua oxidação e, quanto mais o IMC se distancia de 100, maior é o impacto negativo das práticas de manejo nos teores de matéria orgânica e na qualidade do solo. Devido a isso, o café solteiro e consorciado com vegetação espontânea por terem apresentado os menores valores de IMC, são duas estratégias de manejo não recomendadas.

Quanto maior o valor do IMC, maior é a qualidade do manejo (LEAL et al., 2016; REIS et al., 2016). Deste modo, o uso de milho e feijão-de-porco na área de estudo resultou em ganho de qualidade em relação a vegetação espontânea e café solteiro.

O uso de plantas de cobertura já foi indicado como fator de aumento do IMC em sistemas experimentais de cultivo à base de leguminosas (VIEIRA, 2007), mas o milho também já foi apontado em pesquisas anteriores como a planta de cobertura mais eficiente para melhorar a qualidade do solo, influenciando diretamente em maiores teores de C nas frações húmicas da MOS, e consequentemente, em maior IMC (SOUZA et al., 2016; GUIMARÃES et al., 2018).

5. CONCLUSÃO

O cultivo das plantas de cobertura nas entrelinhas do cafeeiro não resultou em aumento nos teores de carbono total e oxidável do solo após 63 dias da dessecação. No entanto, com base no cálculo do índice de manejo do carbono (IMC), foi possível identificar maior ganho de qualidade do solo, em curto prazo, com cultivo de milho e feijão-de-porco.

6. LITERATURA CITADA

Ambrosano, E. J. Leguminosas adubo verde: instrumento de manejo ecológico de fertilidade do solo. *Agroecologia Hoje*, n. 8, p. 24, 2001.

Aragão, D.V.; Carvalho, C.J.R.; Kato, O.R.; Araújo, C.M.; Santos, M.T.P. & Mourão Junior, M. – Avaliação de indicadores de qualidade do solo sob alternativas de recuperação do solo no Nordeste Paraense. *Acta Amazônica*, vol. 42, n. 1, p. 11-18, 2012.

Assis, Renato et al. Produção de biomassa, acúmulo de nitrogênio por plantas de cobertura e efeito na produtividade do milho safrinha. *Enciclopédia Biosfera*, v. 9, n. 16, 2013.

Balota, E. L.; Colozzi-filho, A.; Andrade, D. S.; Hungria, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.22, p.641-649, 1998.

Barbosa, J. C; Maldonado Junior, W. *AgroEstat: sistema para análises estatísticas de ensaios agronômicos*. Jaboticabal: FCAV/UNESP, 2015.

Benbi, Dinesh K. et al. Sensitivity of labile soil organic carbon pools to long-term fertilizer, straw and manure management in rice-wheat system. *Pedosphere*, v. 25, n. 4, p. 534-545, 2015.

Bergo, C. L., Pacheco, E. P., Mendonça, H. A. D., & Marinho, J. T. D. S. Avaliação de espécies leguminosas na formação de cafezais no segmento da agricultura familiar no Acre. *Acta Amazônica*, 36, 19-24, 2006.

Blair GJ Et Al. Soil carbon fractions, based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. *Australian Journal of Agricultural Research* 46: 1459-146, 1995.

Bordonal, R. de O. et al. Variação no estoque de carbono do solo na mudança do uso da terra para cana-de-açúcar em Mococa, SP, Brasil. In: Embrapa Territorial-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 35., 2015, Natal. Anais online... Natal: SBSC, 2015. 4 p., 2015.

Botelho, C. E.; Soares, T. L.; Oliveira, A. C. B.; Pereira, A. A. Cultivares de café e suas principais características agrônômicas e tecnológicas. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 29, n. 247, p. 31-41, 2008.

Caetano, R. S. X.; Christoffoleti, P. J.; Victoria Filho, R. "Banco" de sementes de plantas daninhas em pomar de laranjeira 'Pera'. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 58, n. 3, p. 509-517, 2001.

Camargo, O. A.; Moniz, A. C.; Jorge, J. A.; Valadares, J. M. A. S. Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agrônomo de Campinas. Campinas: Instituto Agrônomo, 77p, 2009.

Cambardella, C. A.; Elliott, E. T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Science Society of America Journal*, v. 56, n. 3, p. 777– 783, 1992.

Cambardella, C. A.; Elliott, E. T. Methods for physical separation and characterization of soil organic matter fractions. *Geoderma*, v. 56, p. 449–457, 1993.

Cantarella, H.; Raij, B. van.; Camargo, C. E. O. Cereais. In: Raij, B. van; Cantarella, H.; Quaggio, J. A.; Furlani, A. M. C. *Recomendações de calagem e adubação para o Estado de São Paulo*. Campinas: IAC, p. 50-65. (Boletim técnico, 100) 1997.

Cantarella, Heitor et al. Determinação da matéria orgânica. *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*, v. 9, p. 173-180, 2001.

Cardoso, M.O. - Método para quantificação da biomassa microbiana do solo. *Agropecuária Técnica*, vol. 25, p. 1-12. 2004.

Carter, M.R. Organic Matter And Sustainability. In: Rees, R.m.; Ball, B.c.; Campbell, C.d.; Watson, C.a. (ed.). *Sustainable management of soil organic matter*. new york: cabi publishing, p.9-22, 2001.

Casé, I. Processos alternativos de secagem do café arábica. 2022.

CHALFOUN, S. M.; FERNANDES, A. P. Efeitos da fermentação na qualidade da bebida do café. *Visão Agrícola*, USP, 105-108 p., 2013.

Chan, K.Y., Bowman, A., Oates, A. Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an oxic paleustalf under different pasture ley. *Soil Science* 166: 61-67, 2001.

Christensen, B. T. Matching Measurable soil organic matter fractions with conceptual pools in simulation models of carbon turnover: revision of model structure. In: Powlson, D. S.; Smith, P.; Smith, J. V. (ed.). *evaluation of soil organic matter models*. Berlin: Springer-Verlag. p. 143-159, 1996.

Christensen, B. T. *Organic matter in soil: structure, function and turnover*. Tjele: DIAS. 95 p. (DIAS Report. Plant Production, 30) 2000.

Conab. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de café. Safra 2022, primeiro levantamento. Brasília: CONAB, 2022. Acesso em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe>. Acesso em: 31 mar. 2022.

CONTEH, A.; BLAIR, G.J. & ROCHESTER, I.J. Soil organic carbon fractions in a Vertisol under irrigated cotton production as affected by burning and incorporating cotton stubble. *Aust. J. Soil Res.*, 36:655-667, 1998.

Cunha, Eurâimi de Queiroz et al. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho: II- atributos biológicos do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, p. 603-611, 2011.

Culman, S. W. et al. Permanganate Oxidizable Carbon Reflects a Processed Soil Fraction that is Sensitive to Management. *Soil Science Society of America Journal*, 2012.

De Araújo, Fernando Henrique Antunes. *Análise dos preços das commodities agrícolas usando métodos de teoria da informação*. 2022.

Derpsch, Rolf; Sidiras, Nikolaos; Heinzmann, Franz X. Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 20, n. 7, p. 761-773, 1985.

Duarte, I.B.; Gallo, A.S.; Gomes, M.S.; Guimarães, N.F.; Rocha, D.P. & Silva, R.F. – Plantas de cobertura e seus efeitos na biomassa microbiana do solo. *Acta Iguazu*, vol. 3, n. 2, p. 150-165. 2014.

Fassio, Levy Heleno; Da Silva, A. E. S. *Importância econômica e social o café Conilon*. 2015.

Franchini, J.c.; Crispino, C.c.; Souza, R.a.; Torres, E.; Hungria, M. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various tillage and crop-rotation systems in southern Brazil. *Soil & Tillage Research*, v.92, p.18-29, 2007.

Frimmel, F. H.; Christman, R. f. humic substances and their role in the

environment: dahlem workshop reports. chichester: john wiley. 271 p, 1987.

Guimarães DV, Silva MLN, Beiniach A, Bispo DFA, Contins JGP, Curi N. Relationship between soil organic matter fractions and cover plants in Olive post planting. *Revista Brasileira de Fruticultura* 40(6): 1-12, 2018.

Imbana, R., Blum, S. C., de Aguiar, M. I., de Sousa, G. G., Ndami, M., & Dabó, I. Leguminosas como plantas de cobertura para melhoria da qualidade do solo. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 16(4), 351-357. 2001.

Jenkinson, D.S. & Ladd, J.N. – Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: Paul, E.A. & Ladd, J.N. (Eds.) – *Soil Biology and Biochemistry*. New York, Marcel Decker, p. 415-471. 1981.

Leite, L.f.c.; Mendonça, E.s.; Neves, J.c.l.; Machado, P.l.o. A & Galvão, J.c.c. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:821-832, 2003.

Loss, Arcângelo et al. Carbono orgânico total e oxidável em agregados de um argissolo adubado com dejetos suínos. *Ciencia del suelo*, v. 38, n. 1, p. 12-20, 2020.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Sementes e mudas: cultivares registradas. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br>. Acesso em: 14 de junho de 2022.

NASSER. P. (2007). Mexido de ideias – Brasil – O Gigante do Café > Disponível em: <http://www.mexidodeideias.com.br/index.php/mundo-do-cafe/brasil-o-gigante-do-cafe/>

Oliveira, Tp de et al. Carbono lábil e frações oxidáveis de carbono em solos cultivados sob diferentes formas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, v. 8, n. 4, 2018.

Paladini, F. L. S.; Mielniczuk, J. Distribuição do tamanho dos agregados de um solo Podzólico VermelhoEscuro afetado por sistemas de culturas. *Revista Brasileira da Ciência do Solo*, Viçosa, v. 15, p. 135-140, 1991.

Pereira, R. G.; Albuquerque, A. W; Cunha, J. L. X.; Paes, R. A. Atributos químicos do solo influenciados por sistemas de manejo. *Revista Caatinga*, v.22, p.78-84, 2009.

Perez, A. M.; Jucksch, I.; Mendonça, E. S.; Costa, L. M. Impactos da implementação de um sistema agroflorestal com café na qualidade do solo. *Agropecuária Técnica*, v. 25, p. 25-36, 2004.

Raij, B. van.; Andrade, J. C.; Cantarella, H.; Quaggio, J.A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agrônomo,

2001.

Rangel, O. J. P.; Silva, C. A.; Guimarães, P. T. J. et al. Frações oxidáveis do carbono orgânico de Latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 32, n. 2, p. 429-437, 2008.

Ribeiro, P. H. Et Al. Adubação verde, os estoques de carbono e nitrogênio e a qualidade da matéria orgânica do solo. *Revista Verde*, v. 6, n. 1, p. 43 - 50, 2011.

Rosa, M. E. C., Olszewski, N., Mendonça, E. S., Costa, L. M., & Correia, J. R. (2003). Formas de carbono em Latossolo Vermelho Eutroférico sob plantio direto no sistema biogeográfico do Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27, 911-923.

Roscoe, Renato; Machado, Plo De A. Fracionamento físico do solo em estudos de matéria orgânica. Embrapa Agropecuária Oeste-Livro técnico (INFOTECA-E), 2002.

Rossi, C. Q. et al. Frações orgânicas e índice de manejo de carbono do solo em Latossolo Vermelho sob plantio de soja no cerrado goiano. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.7, n.2, p.233-241, 2012.

Rovira P, Jorba M, Romanyà. Active and passive organic matter fractions in Mediterranean forest soils. *Biology and Fertility of Soils*. 2010.

Santos, V. B.; Castilhos, D. D.; Castilhos, R. M. V.; Pauletto, E. A.; Gomes, A. S.; Silva, D. G. Biomassa, atividade microbiana e teores de carbono e nitrogênio totais de um planossolo sob diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Agrociência*, Pelotas, v.10, p.333-338, 2004.

SANTOS, Julio Cesar Freitas; MARCHI, Giuliano; MARCHI, Edilene Carvalho Santos. Cobertura do solo no controle de plantas daninhas do café. 2008.

SIX, J. et al. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. *Plant and Soil*, v. 241, p. 155–176, 2002.

Santos, H. G., Jacomine, P. K. T., Anjos, L. H. C., Oliveira, V. A., Lumbreras, J. F., Coelho, M. R., Cunha, T. J. F. Sistema brasileiro de classificação de solos, 5 ed. Brasília: Embrapa, 285 p., 2018.

Schnitzer, M. Humic Substances: Chemistry and reactions. in: schnitzer, m.; khan, s. u. (ed.). soil organic matter. new york: elsevier, p. 1-64, 1978.

SCHOLZ, Maria Brígida dos Santos et al. Características físico-químicas de grãos verdes e torrados de cultivares de café (*Coffea arabica* L.) do IAPAR. 2011.

Sepúlveda, W. S.; Chekman, L.; Maza, M. T.; Mancilla, N. O. Consumers' preference for the origin and quality attributes associated with production of

specialty coffees: Results from a cross-cultural study. *Food Research International*, v. 89, p. 997-1003. 2016.

Shang, C.; Tiessen, H. Organic matter lability in a tropical oxisol: evidence from shifting cultivation, chemical oxidation, particle size, density, and magnetic fractionations. *Soil Science*, Baltimore, v.162, p.795-807, 1997.

Shrestha, R.k.; Ladha, J.k. & Lefroy, R.d.b. Carbon management for sustainability of an intensively managed rice-based cropping system. *Biol. Fert. Soils*, 36: 215- 223, 2002.

Silva, C. A.; Anderson, S. J.; Vale, F. R. Carbono,nitrogênio e enxofre em frações granulométricas de dois Latossolos submetidos à calagem e adubação fosfatada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 23, p.593-602, 1999.

Silva, E. F.; Lourentes, E. P. R.; Marchetti, M. E. Et al. Frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica em solos sob integração lavoura pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, n. 10, p. 1321-1331, 2011.

Silvestrini, M. et al. Genetic diversity and structure of Ethiopian, Yemen and Brazilian *Coffea arabica* L. accessions using microsatellites markers. *Genetic Resources and Crop Evolution*, Dordrecht, v. 54, p. 1367-1379, 2007

Souza Filho, A. P. S.; Rodrigues, L. R. A.; Rodrigues, T. J. D. Efeitos do potencial alelopático de três leguminosas forrageiras sob três invasoras de pastagens. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 32, n. 1, p. 165-170, 1997.

Souza, C. M. De; Pires, F. R. Adubação verde e rotação de culturas. Viçosa: UFV, 72 p. (Cadernos Didáticos, 96). 2002.

Souza, K. B.; Pedrotti, A.; Resende, S. C.; Santos, H. M. T.; Menezes, M. M. G.; Santos, L. A. M. Importância de Novas Espécies de Plantas de Cobertura de Solo para os Tabuleiros Costeiros. *Revista da Fapese*, Aracaju, v.4, p.131-140, 2008.

Souza GPD, Figueiredo CCD, Sousa DMGD. Soil organic matter as affected by management systems, phosphate fertilization, and cover crops. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 2016.

Vieira FCB, Bayer C, Zanatta JA, Dieckow J, Mielniczuk J, He ZL. Carbon management index based on physical fractionation of soil organic matter in an Acrisol under long-term no-till cropping systems. *Soil and Tillage Research* 96(1-2): 195-204, 2007.

Tanaka, R. T. A adubação verde. *Inf. Agropec.*, 81:62-67, 1981.

Theng, B.k.g.; Tate, K.r.; Sollins, P. constituents of organics matter in temperate and tropical soil. in: coleman, d.c.; oades, j.m.; uehara, g. (ed.) dynamics of soil

organic matter in tropical ecosystems. honolulu: university of hawaii. p.5-32. 1989.

Terçariol, Maira Caroline. Formas lábeis de carbono e nitrogênio no solo em função de plantas de cobertura e adubação nitrogenada. 2020.

Weil, R.r; Islam, K.r; Stine, M.a. Et. Al. Estimating active carbon for soil quality fractionations. Soil Science, Baltimore, v.162, p.795-807, 1997.

Shrestha, R.k.; Ladha, J.k. & Lefroy, R.d.b. Carbon management for sustainability of an intensively managed rice-based cropping system. Biol. Fert. Soils, 36: 215- 223, 2002.

Silva, C. A.; Anderson, S. J.; Vale, F. R. Carbono, nitrogênio e enxofre em frações granulométricas de dois Latossolos submetidos à calagem e adubação fosfatada. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 23, p.593-602, 1999.

Silva, E. F.; Lourentes, E. P. R.; Marchetti, M. E. Et al. Frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica em solos sob integração lavoura pecuária. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 46, n. 10, p. 1321-1331, 2011.

Silvestrini, M. et al. Genetic diversity and structure of Ethiopian, Yemen and Brazilian *Coffea arabica* L. accessions using microsatellites markers. Genetic Resources and Crop Evolution, Dordrecht, v. 54, p. 1367-1379, 2007.

Souza Filho, A. P. S.; Rodrigues, L. R. A.; Rodrigues, T. J. D. Efeitos do potencial alelopático de três leguminosas forrageiras sob três invasoras de pastagens. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 32, n. 1, p. 165-170, 1997.

Souza, C. M. De; Pires, F. R. Adubação verde e rotação de culturas. Viçosa: UFV, 72 p. (Cadernos Didáticos, 96). 2002.

Souza, K. B.; Pedrotti, A.; Resende, S. C.; Santos, H. M. T.; Menezes, M. M. G.; Santos, L. A. M. Importância de Novas Espécies de Plantas de Cobertura de Solo para os Tabuleiros Costeiros. Revista da Fapese, Aracaju, v.4, p.131-140, 2008.

Souza GPD, Figueiredo CCD, Sousa DMGD. Soil organic matter as affected by management systems, phosphate fertilization, and cover crops. Pesquisa Agropecuária Brasileira. 2016.

Vieira FCB, Bayer C, Zanatta JA, Dieckow J, Mielniczuk J, He ZL. Carbon management index based on physical fractionation of soil organic matter in an Acrisol under long-term no-till cropping systems. Soil and Tillage Research 96(1-2): 195-204, 2007.

Tanaka, R. T. A adubação verde. Inf. Agropec., 81:62-67, 1981.

Theng, B.k.g.; Tate, K.r.; Sollins, P. constituents of organics matter in temperate and tropical soil. in: coleman, d.c.; oades, j.m.; uehara, g. (ed.) dynamics of soil

organic matter in tropical ecosystems. honolulu: university of hawaii. p.5-32. 1989.

Terçariol, Maira Caroline. Formas lábeis de carbono e nitrogênio no solo em função de plantas de cobertura e adubação nitrogenada. 2020.

Weil, R.r; Islam, K.r; Stine, M.a. Et. Al. Estimating active carbon for soil quality assessment: A simplified method for laboratory and field use. American Journal of Alternative Agriculture, v.18, p.3–17, 2003.

Xuan, T. D.; Shinkichi, T.; Khanh, T. D.; Min, C. I. Biological control of weeds and plant pathogens in paddy rice by exploiting plant allelopathy: an overview. Crop Protection 2005.