

PRISCILA SOARES DE RESENDE

**ESTOQUE E FRAÇÕES DE CARBONO ORGÂNICO E FERTILIDADE DO SOLO
CULTIVADO COM *Cratylia argentea***

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação de Ecossistemas Naturais e Agrários, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Maribus Altoé Baldotto

Coorientadora: Lílian Estrela Borges Baldotto

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da
Universidade Federal de Viçosa - Campus Florestal

T

- R433e
2021
- Resende, Priscila Soares de, 1991-
 Estoque e frações de carbono orgânico e fertilidade do solo
cultivado com *Cratylia argentea* [recurso eletrônico] / Priscila Soares
de Resende. - Florestal, MG, 2021.
 81 f.: il. (algumas color.).
- Inclui apêndice.
 Orientador: Marihus Altoé Baldotto.
 Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
 Referências bibliográficas: f. 67-78.
1. *Cratylia argentea*. 2. Matéria orgânica do solo. 3. Manejo do
solo. 4. Fertilidade do solo. I. Universidade Federal de Viçosa.
Instituto de Ciências Agrárias. Mestrado em Manejo e Conservação de
Ecossistemas Naturais e Agrários. II. Título.

631

Bibliotecário(a) responsável: Maria Aparecida Alves de Oliveira 1174

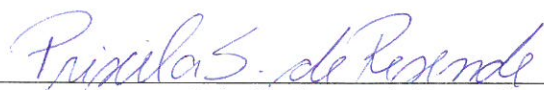
PRISCILA SOARES DE RESENDE

ESTOQUE E FRAÇÕES DE CARBONO ORGÂNICO E FERTILIDADE DO SOLO
CULTIVADO COM *Cratylia argentea*

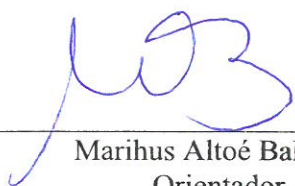
Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação de Ecossistemas Naturais e Agrários, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 16 de junho de 2021.

Assentimento:



Priscila Soares de Resende
Autora



Marihus Altoé Baldotto
Orientador

AGRADECIMENTOS

A Deus.

Aos meus pais.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realizar a pós-graduação.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação de Ecossistemas Naturais e Agrários da UFV-CAF, pela oportunidade de ensino e aprendizagem, que possibilitou o meu crescimento pessoal e profissional.

Aos setores de Solos e de Floricultura da UFV-CAF, por terem disponibilizado toda infraestrutura necessária para que os trabalhos pudessem ser realizados.

Ao Professor Marihus Altoé Baldotto e à Professora Lílian Estrela Borges Baldotto, por terem me orientado durante a realização do mestrado, os quais sempre terei grande admiração. Agradeço pela paciência, confiança, dedicação e pelos ensinamentos.

Ao Professor Clarindo Inácio da Aparecida Queiroz, por ter participado e contribuído durante a minha banca. Agradeço todas as sugestões e correções feitas para que eu pudesse melhorar minha dissertação.

A equipe dos setores de Solos e de Floricultura da UFV-CAF, em especial a técnica de laboratório Débora Durães, pela sua imensa ajuda durante realização da pesquisa, pelo seu companheirismo, amizade, paciência e principalmente pelos seus ensinamentos.

RESUMO

RESENDE, Priscila Soares de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2021. **Estoque e frações de carbono orgânico e fertilidade do solo cultivado com *Cratylia argentea*.** Orientador: Maribus Altoé Baldotto. Coorientadora: Lílian Estrela Borges Baldotto.

A mudança no uso da terra mais comum é a conversão de florestas em sistemas agrícolas, sendo que 13 milhões de hectares são desmatadas por ano para esse fim. A destruição de florestas primárias provoca uma rápida perda de carbono da biomassa e do solo. Esta destruição normalmente vem acompanhada de queima da vegetação natural, e além de reduzir os teores da matéria orgânica do solo, acarreta perda de fertilidade e aumento da erosão, o que tem levado a um processo crescente de degradação destes solos. O uso de leguminosas na recuperação de áreas degradadas é uma técnica com aplicação em diversos ambientes e objetiva criar condições para acelerar o processo de recuperação natural do ecossistema. A tecnologia pode ser usada em reflorestamento, recuperação de pastagens, estabilização de voçorocas e encostas degradadas, desenvolvimento de sistemas agroflorestais e recuperação de áreas degradadas por mineração. A leguminosa nativa do Cerrado *Cratylia argentea* apresenta inúmeras qualidades que a tornam uma boa opção na recuperação dessas áreas. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar o estoque e frações do carbono orgânico e a fertilidade do solo cultivado com *C. argentea*. Para isso foram amostradas duas áreas: uma que está sob o cultivo de *C. argentea* já estabelecido há mais de cinco anos e uma outra área ao em torno que não está sob cultivo da mesma. As análises realizadas mostraram que na camada de 0-20 cm o cultivo da *C. argentea* reduziu a acidez ativa e potencial, aumentou o teor de potássio, cálcio, nitrogênio, estoque de carbono, matéria orgânica leve e huminas. Conseqüentemente, houve um aumento da soma de bases, saturação por bases e capacidade de troca de cátions efetiva. Na camada de 20-40 cm o cultivo da *C. argentea* reduziu a acidez ativa e potencial, e o teor de fósforo, aumentou o teor de magnésio, cálcio e matéria orgânica leve. Conseqüentemente houve um aumento da soma de bases, saturação por bases e capacidade de troca de cátions efetiva. Com base nesses resultados, podemos afirmar que a área cultivada com *C. argentea* apresentou melhorias na fertilidade do solo, tanto na camada superficial como subsuperficial, assim como alterou as frações dos estoques de carbono.

Palavras-chave: *Cratylia argentea*. Manejo e conservação do solo. Matéria orgânica do solo. Fertilidade do solo.

ABSTRACT

RESENDE, Priscila Soares de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, June 2021. **Stocks and fractions of organic carbon and fertility of soils cultivated with *Cratylia argentea***. Advisor: Marihus Altoé Baldotto. Co-Advisor: Lílian Estrela Borges Baldotto.

The most ordinary change in land use is turning forests into agrosystems given that 13 million hectares are lost per year on that account. The destruction of primary forests leads to a hasty loss of carbon biomass and soil. Along with this devastation, there is generally the burning of natural vegetation, and also the decrease in organic matter contents leading to a process of cumulative degradation on those soils. Employing legumes on the recovery of degraded areas is a method suitable to a variety of environments as well as creating conditions that accelerate the recovery process of the natural ecosystem. This technology can be applied to reforestation, grassland recovery, gully and degraded slopes stabilization, development of agroforest systems, and recovery of degraded mining areas. The native legume from Cerrado, *Cratylia argentea*, has countless advantages turning it into a great choice in the recovery of those areas. Accordingly, this work aimed to evaluate the stocks and fractions of organic carbon and also the fertility of soil cultivated with *C. argentea*. To accomplish that, we sampled two areas: in one of them *C. argentea* started to be cultivated more than five years ago, and in the other one adjacent to the first, it had not been cultivated before. The analyses indicated that the soil layer of 0-20 cm of *C. argentea* reduced the potential and active soil acidity, and increased the content of potassium, calcium, nitrogen, carbon stocks, soft organic matter and humins. On the soil layer 20-40 cm, *C. argentea* reduced the potential and active soil acidity, and the content of phosphorus, and increased the content of magnesium, calcium, and soft organic matter. As a result, there was an increase in bases score, bases saturation, and the effective cation-exchange capacity for both layers. Based on our results, we supported that an area cultivated with *C. argentea* provided soil fertility improvements on both superficial and sub-superficial layers and also changed the fractions of carbon stocks.

Keywords: *Cratylia argentea*. Soil conservation and management. Soil organic matter. Soil fertility.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Teor de matéria orgânica do solo cultivado com *Cratylia argentea* nas profundidades de 0-20 cm (CRA 0-20) e 20-40 cm (CRA 20-40) comparados estatisticamente com a área controle (sem vegetação) nas profundidades de 0-20 cm (CONT 0-20) e 20-40 cm (CONT 20-40). Letras minúsculas iguais significa que não houve diferença estatística significativa ao comparar as médias dos tratamentos na profundidade de 0-20cm pelo teste t de student a 5% de significância ($p < 0,05$). Letras maiúsculas iguais significa que não houve diferença estatística significativa ao comparar as médias dos tratamentos na profundidade de 20-40cm pelo teste t de student a 5% de significância ($p < 0,05$). 46

Figura 2 - Acidez ativa e acidez potencial no solo cultivado com *Cratylia argentea* nas profundidades de 0-20 cm (CRA 0-20) e 20-40 cm (CRA 20-40) comparados estatisticamente com a área controle (sem vegetação) nas profundidades de 0-20 cm (CONT 0-20) e 20-40 cm (CONT 20-40). Letras minúsculas iguais significa que não houve diferença estatística significativa ao comparar as médias dos tratamentos na profundidade de 0-20cm pelo teste t de student a 5% de significância ($p < 0,05$). Letras maiúsculas iguais significa que não houve diferença estatística significativa ao comparar as médias dos tratamentos na profundidade de 20-40cm pelo teste t de student a 5% de significância ($p < 0,05$). 49

Figura 3 - Teor de fósforo, fósforo remanescente, potássio, cálcio, magnésio e nitrogênio no solo cultivado com *Cratylia argentea* nas profundidades de 0-20 cm (CRA 0-20) e 20-40 cm (CRA 20-40) comparados estatisticamente com a área controle (sem vegetação) nas profundidades de 0-20 cm (CONT 0-20) e 20-40 cm (CONT 20-40). Letras minúsculas iguais significa que não houve diferença estatística significativa ao comparar as médias dos tratamentos na profundidade de 0-20cm pelo teste t de student a 5% de significância ($p < 0,05$). Letras maiúsculas iguais significa que não houve diferença estatística significativa ao comparar as médias dos tratamentos na profundidade de 20-40cm pelo teste t de student a 5% de significância ($p < 0,05$). 51

Figura 4 - Capacidade de troca de cátions efetiva e potencial, soma de bases esaturação por bases no solo cultivado com *Cratylia argentea* nas profundidades de 0-20 cm (CRA 0-20) e 20-40 cm (CRA 20-40) comparados estatisticamente com a área controle (sem vegetação) nas profundidades de 0-20 cm (CONT 0-20) e 20-40 cm (CONT 20-40). Letras minúsculas iguais

significa que não houve diferença estatística significativa ao comparar as médias dos tratamentos na profundidade de 0-20cm pelo teste t de student a 5% de significância ($p < 0,05$). Letras maiúsculas iguais significa que não houve diferença estatística significativa ao comparar as médias dos tratamentos na profundidade de 20-40cm pelo teste t de student a 5% de significância ($p < 0,05$). 56

Figura 5 - Densidade do solo cultivado com *Cratylia argentea* nas profundidades de 0-20 cm (CRA 0-20) e 20-40 cm (CRA 20-40) comparados estatisticamente com a área controle (sem vegetação) nas profundidades de 0-20 cm (CONT 0-20) e 20-40 cm (CONT 20-40). Letras minúsculas iguais significa que não houve diferença estatística significativa ao comparar as médias dos tratamentos na profundidade de 0-20cm pelo teste t de student a 5% de significância ($p < 0,05$). Letras maiúsculas iguais significa que não houve diferença estatística significativa ao comparar as médias dos tratamentos na profundidade de 20-40cm pelo teste t de student a 5% de significância ($p < 0,05$). 57

Figura 6 - Carbono da fração Matéria orgânica leve, Ácido Fúlvico Livre, Ácido Fúlvico, Ácido Húmico e Carbono Orgânico Total no solo cultivado com *Cratylia argentea* nas profundidades de 0-20 cm (CRA 0-20) e 20-40 cm (CRA 20-40) comparados estatisticamente com a área controle (sem vegetação) nas profundidades de 0-20 cm (CONT 0-20) e 20-40 cm (CONT 20-40). Letras minúsculas iguais significa que não houve diferença estatística significativa ao comparar as médias dos tratamentos na profundidade de 0-20cm pelo teste t de student a 5% de significância ($p < 0,05$). Letras maiúsculas iguais significa que não houve diferença estatística significativa ao comparar as médias dos tratamentos na profundidade de 20-40cm pelo teste t de student a 5% de significância ($p < 0,05$). 60

Figura 7 – Área experimental cultivada com *Cratylia argentea* e área ao entorno usada como controle 79

Figura 8 – A *C. argentea* tem intensa ramificação a partir da base, sem a formação de m pivô principal ou tronco. A planta apresenta elevada deposição de serapilheira composta principalmente de galhos e folhas mortas. 79

Figura 9 – Coleta de amostras indeformadas para a o cálculo da densidade do solo pelo método do anel volumétrico 80

Figura 10 – Para avaliação do teor de carbono orgânico, foi empregado o princípio da oxidação da matéria orgânica com dicromato de potássio em meio sulfúrico e titulação com sulfato ferroso amoniacal (método Walkley & Black)..... 80

Figura 11 – Fracionamento químico da matéria orgânica. Nessa etapa, o precipitado representa o Ácido Fúlvico Livre e o filtrado a Matéria Orgânica Leve. 81

Figura 12 – Extração de substâncias húmicas da área cultivada com *C. argentea* na camada de 0-20cm e 20-40cm. 81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características químicas do solo cultivado com <i>C. argentea</i> x Testemunha.	45
Tabela 2 - Fracionamento da matéria orgânica do solo cultivado com <i>C. argentea</i>	45
Tabela 3 - Teor de carbono orgânico, densidade do solo e estoque de carbono do solo sob cultivo de <i>C. argentea</i>	46

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

- FBN → Fixação biológica de nitrogênio
MOS → Matéria orgânica do solo
C/N → Carbono/nitrogênio
N → Nitrogênio
P → Fósforo
K → Potássio
Ca → Cálcio
Mg → Magnésio
CTC → Capacidade de troca de cátions
SB → Soma de bases
S → Enxofre
Al → Alumínio
P-Rem → Fósforo remanescente
COT → Carbono orgânico
TFSA → Terra fina seca ao ar
MOL - Matéria orgânica leve
MBs → Microrganismos benéficos
SH → Substâncias húmicas
CO₂ → Gás carbônico
AH → Ácidos húmicos
AF → Ácidos fúlvicos
HUM → Huminas
AFL → Ácido fúlvico livre
Ds → Densidade do solo
H + Al → Acidez potencial
t - Capacidade de troca de cátions efetiva
T → Capacidade de troca de cátions potencial
M → Porcentagem de saturação com alumínio
V → Saturação com bases

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	12
2. HIPÓTESES E OBJETIVOS	15
2.1 Hipóteses.....	15
2.2 Objetivo Geral	15
2.3 Objetivos Específicos	15
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1 Uso de plantas de cobertura e fertilidade do solo.....	16
3.2 Uso de plantas de cobertura e estoques de C no solo	21
3.3 Uso de plantas de cobertura e o fracionamento da MOS.....	24
3.4 Uso de plantas de cobertura e a densidade (porosidade) do solo	30
3.5 Estoque de C, fracionamento, densidade (porosidade) e fertilidade do solo	33
4. INTRODUÇÃO	37
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	41
5.1 Plantio da área amostral.....	41
5.2 Coleta das amostras	41
5.2 Análises químicas do solo.....	42
5.3 Estoques de carbono	42
5.4 Fracionamento da matéria orgânica.....	43
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
6. CONCLUSÕES	65
REFERÊNCIAS	67
APÊNDICE – Fotografias.....	79

1. INTRODUÇÃO GERAL

Ao longo de milhares de anos, diferentes povos têm realizado uma agricultura baseada no manejo dos materiais disponíveis nas propriedades rurais. Dentre esses materiais, destacam-se aqueles de origem orgânica (esterco, restos culturais, composto, etc.) que possibilitam uma melhoria da qualidade do solo e um aumento da produtividade vegetal.

No final do século XIX, essa forma de fazer agricultura foi transformada por descobertas científicas que abriram caminho para o uso de fertilizantes minerais. Os aumentos de produtividade decorrentes da utilização de tais produtos fizeram com que vários agricultores abandonassem as práticas de adubação orgânica, criando um modelo de agricultura cada vez mais dependente de insumos externos às propriedades rurais. A introdução de novas técnicas como o uso de agrotóxicos, variedades melhoradas geneticamente e maquinário ao longo do século XX aumentaram cada vez mais essa tendência. Convencionou-se chamar o avanço das indústrias química, mecânica e do melhoramento genético na área agrícola como “Revolução Verde” (JESUS, 1985).

Nas décadas de 1950 e 1960, a “Revolução Verde” atingiu os países do Terceiro Mundo. Os governos locais criaram linhas de crédito atreladas à compra de insumos agropecuários, enquanto as principais escolas de agronomia destes países reformularam seus currículos, valorizando as técnicas associadas ao novo modelo agrícola.

A partir da década de 1970, começaram a surgir sérios problemas decorrentes da adoção de práticas agrícolas relacionadas à “Revolução Verde”, gerando no setor agropecuário constantes questionamentos acerca do modelo de desenvolvimento vigente. Apesar dos aumentos de produção obtidos, problemas associados à degradação da capacidade produtiva dos solos, associada à proliferação de pragas e doenças, causou um aumento dos custos de produção, além da contaminação dos alimentos produzidos, evidenciando a fragilidade dos sistemas de produção agrícola modernos. Em 1973 ocorreu uma crise mundial energética onde os fertilizantes químicos, escassos e caros, tornaram-se de difícil acesso a maioria dos pequenos produtores (FAO, 1977). Foi gerada a necessidade de explorar possibilidades de aumento da produção agrícola com menor dependência dos fertilizantes químicos. Desta forma, grupos de produtores rurais e técnicos em diferentes países têm proposto a adoção de práticas que favoreçam os diversos processos biológicos dos agroecossistemas, tais como fixação biológica de nitrogênio (FBN) e reciclagem de nutrientes, como uma alternativa ao modelo agrícola da “Revolução Verde”.

Quando se trata de manejo conservacionista uma das práticas mais importantes é o preparo do solo, o qual está diretamente ligado com sua conservação e quando feito de maneira adequada e consciente, garante melhor produtividade das culturas comerciais e garantia da preservação dos recursos naturais (CRUZ *et al.*, 2011). Leite *et. al.* (2003) relatam que nos sistemas agrícolas, a dinâmica da matéria orgânica do solo (MOS) pode ser modificada pelo manejo, por meio da seleção de culturas e formas de preparo do solo, e também pela adição de fertilizantes químicos e materiais orgânicos, que influenciam nos processos biológicos de decomposição e mineralização.

O conservadorismo por parte de práticas que retardam os processos de degradação do solo pelo escoamento superficial da água, perda de nutrientes por lixiviação e destruição das propriedades físico-químicas do solo, faz de sistemas que mantêm e acumulam fitomassa e reciclam nutrientes, uma alternativa de grande importância na organização de um sistema de cultivo sustentável e na recuperação da capacidade produtiva desses solos. As plantas de cobertura agem na ciclagem de nutrientes do solo, tanto daqueles aplicados por meio dos fertilizantes minerais e não aproveitados pelas culturas comerciais, como também daqueles provenientes da mineralização da matéria orgânica e do próprio material de origem (TORRES *et al.*, 2008). Quando se usa leguminosas em consórcio com outras culturas de valor econômico observa-se que a demanda externa de fertilizantes nitrogenados às culturas comerciais é reduzida, em função da simbiose com *Rhizobium*, que fixam o N₂ atmosférico, o que possibilita uma redução nos custos de produção.

A adubação verde consiste no cultivo e corte de plantas em plena floração, com ou sem incorporação da fitomassa, com a finalidade de aumento, preservação e/ou restauração da fertilidade do solo e da produtividade das culturas (WUTKE *et. al.*, 2014; BRITO *et. al.*, 2017). Espécies leguminosas se destacam em relação as demais devido ao seu maior acúmulo de massa vegetal e também por realizarem relação simbiótica com bactérias fixadoras de nitrogênio (ESPINDOLA *et al.*, 2005). É uma prática capaz de elevar a produtividade agrícola, melhorando as propriedades do solo e auxiliando no controle de patógenos e de plantas invasoras. Contudo, as vantagens trazidas pela adubação verde nem sempre são imediatas, repercutindo de forma mais evidente em médio e em longo prazo. No entanto, essas vantagens refletem-se em diferentes aspectos dos agroecossistemas, tendo um efeito superior ao da adubação mineral nitrogenada.

Esta prática está associada a quatro pontos básicos nos diferentes sistemas agrícolas: cobertura e proteção do solo; manutenção ou melhoria das condições físicas, químicas e biológicas no solo; desenvolvimento de macro e microorganismos em profundidade

no solo; e uso eventual da biomassa produzida para alimentação animal ou para outras finalidades (CALEGARI *et al.*, 1993).

Heinrichs (1996) afirma que o uso de adubação verde é uma prática viável por contribuir para o restabelecimento do equilíbrio do sistema e, conseqüentemente, aumento da produtividade.

De acordo com Sorrenson & Montoya (1989), em uma estimativa de área de 300.000 hectares no ano de 1984, com sistema de plantio direto associado ao uso de rotação de cultura comercial e utilização de adubos verdes de inverno, os benefícios adicionais foram de aproximadamente U\$52 milhões/ano, principalmente, na economia de fertilizantes nitrogenados e fosfatados, economia de herbicidas e diminuição das perdas de solo.

Na escolha do adubo verde, é preciso estar atento ao fato de que as condições edafoclimáticas interferem diretamente sobre o rendimento das espécies. Esta é uma das razões porque há diferenças entre o comportamento das espécies de adubo verde quando plantadas em diferentes locais. Para uma mesma condição de solo, baixa fertilidade, por exemplo, o diferencial na produtividade entre duas espécies pode ser devido à maior habilidade de uma delas em absorver nutrientes que estejam menos disponíveis às plantas. Maior tolerância ao estresse hídrico, às doenças e pragas, agressividade e sensibilidade ao fotoperíodo são outras características que interferem sobre seu rendimento (RIBASKI *et al.*, 2000).

Em razão disso, o conhecimento sobre o comportamento dessas espécies deve ser regionalizado, para que a escolha da melhor espécie recaia naquela com maior potencial de produção de fitomassa, de reciclagem de nutrientes e que melhor se ajuste ao sistema agrícola adotado na produção de culturas comerciais (CALEGARI *et al.*, 1993).

A maioria das plantas cultivadas no Brasil é exótica e vem sendo adaptada às nossas condições edafoclimáticas, sendo poucos os investimentos feitos à flora nativa. Apesar de estar entre os países com maior biodiversidade no mundo, esse potencial ainda precisa ser mais bem aproveitado e protegido. De 250 mil acessos conservados nos bancos de germoplasmas da Embrapa, por exemplo, aproximadamente 76% são de espécies exóticas e apenas 24% de espécies autóctones/nativas (GOERDT, 2007).

Mesmo tendo papel fundamental na elevação da produtividade agrícola, as leguminosas ainda são pouco utilizadas em sistemas produtivos da agricultura familiar. Para contornar esse problema, o MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento) lançou o Programa Banco Comunitário de Sementes de Adubos Verdes (PBCSAV) em 2007, com a intenção de distribuir sementes para popularizar as leguminosas, suas formas de cultivo, os aspectos da produção e do armazenamento comunitário das sementes produzidas, além da

possibilidade de novos arranjos produtivos, que possibilitam incluí-las nos sistemas de produção da agricultura familiar.

Uma das possíveis explicações deve-se ao fato de que, se cultivadas em período chuvoso, as leguminosas concorrem com as áreas de produção de alimentos. Como a maioria dos agricultores familiares não dispõe de irrigação para produzir a fitomassa das leguminosas no período de entressafra, é comum a degradação do solo pelo uso intensivo. O cultivo em faixas ou aleias possibilita o uso da adubação verde e o cultivo comercial ao mesmo tempo, sendo uma proposta para solucionar esse problema. Segundo Wolschick *et al.* (2016), há necessidade de divulgar os benefícios trazidos pelas plantas de cobertura às propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e, conseqüentemente, o aumento da produtividade, para que assim, seu uso seja expandido de maneira a favorecer a agricultura de forma sustentável.

2. HIPÓTESES E OBJETIVOS

2.1 Hipóteses

(a) O cultivo da *C. argentea* proporciona melhoria das qualidades química, física e biológica do solo, visto que a adição de matéria orgânica ao solo melhora não somente suas propriedades químicas, como também contribui na agregação das partículas do solo e no estabelecimento de microrganismo;

(b) O cultivo da *C. argentea* aumenta o sequestro de carbono;

(c) O cultivo da *C. argentea* modifica os compartimentos da matéria orgânica do solo.

2.2 Objetivo Geral

Determinar os estoques de carbono orgânico e suas frações e avaliar a fertilidade de solos cultivados com *Cratylia argentea*.

2.3 Objetivos Específicos

- Realizar a análise química para avaliação da fertilidade do solo cultivado com *C. argentea*;
- Analisar C e N totais do solo, determinar seus estoques e a relação C/N do solo cultivado com *C. argentea*;

- Fracionar a matéria orgânica do solo cultivado com *C. argentea* para avaliação do índice de humificação e isolamento das substâncias húmicas bioativas.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 *Uso de plantas de cobertura e fertilidade do solo*

A utilização de plantas com a finalidade de promover a cobertura do solo e/ou adubação verde tem reconhecido efeito sobre as condições físicas, químicas e biológicas do solo (MIYAZAWA *et al.*, 1993; CALEGARI, 2000).

O nitrogênio (N) é o nutriente mais estudado em relação aos efeitos da adubação verde nas culturas vegetais. O cultivo de leguminosas torna possível a disponibilização de N aos agroecossistemas pelo processo de fixação biológica, o que reduz ou elimina a necessidade de aplicação de fertilizantes minerais nitrogenados (CALAZANS *et al.*, 2016; MATTAR *et al.*, 2018). A quantidade de nitrogênio fixado varia de acordo com a espécie vegetal utilizada como adubo verde e com as condições edafoclimáticas, podendo chegar a mais de 100 kg ha⁻¹ N (ESPINDOLA, 2001). A inoculação das sementes de leguminosas favorece a FBN, ao passo que o uso de fertilizantes minerais nitrogenados ou de alguns agrotóxicos junto com as sementes inoculadas inibe esse processo.

Segundo Franco *et al.* (1992), uma vez que os vegetais não são capazes de aproveitar diretamente o N do ar, a FBN assume relevância equiparada a da fotossíntese como processo essencial à vida no planeta.

A inserção de leguminosas em sistemas agrobiodiversos pode contribuir para a elevação de produtividade agrícola. Essas plantas possuem papel fundamental na elevação de nitrogênio, pois realizam simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium* presentes no solo e fazem a FBN. O N presente na biomassa das leguminosas fixadoras pode ser transferido de volta para o solo e estar disponível para as plantas, reduzindo de forma significativa a utilização de fertilizantes sintéticos (REETZ, 2017; ANDA, 2018).

As leguminosas forrageiras são formas mais eficientes na absorção de nutrientes do solo comparadas às gramíneas, sendo que, uma parcela destes minerais fica retida nos tecidos vegetais, e que somente após a queda das partes vegetativas, transformam-se em matéria orgânica, e promovem a mineralização do solo (DE SÁ SOUZA *et al.*, 2018). Trinsoutrot *et al.* (2010) mostraram em seu estudo, ao avaliar 47 tipos de resíduos culturais, que quando o

material apresenta a relação carbono/nitrogênio (C/N) inferior a 24 é capaz de elevar os teores de N no solo. Cobo (2002) estudou a decomposição e mineralização da leguminosa *C. argentea*, calculando uma relação C/N de 13,5. Em um período de quatro anos e oito meses (56 meses), foram produzidos 117,2 t ha⁻¹ de fitomassa seca de folhas de *C. argentea*, na densidade de 6.400 plantas ha⁻¹, o que gerou um aporte de N de 1.336,9 kg ha⁻¹ (ou cerca de 290 kg ha⁻¹ ano⁻¹), além de outros minerais reciclados (MATRANGOLO *et al.*, 2018). Nesse arranjo onde as fileiras, espaçadas de 4 m, permitem a mecanização.

Estudos conduzidos por Demétrio *et al.* (1998) relatam um aumento linear dos teores de N no solo com a incorporação de feijão bravo do Ceará (*Canavalia brasiliensis*). Em solos de alta fertilidade o cultivo de *Crotalaria juncea* por 68 dias resultou no acúmulo de 32,48 kg ha⁻¹ de fósforo (P), 293,28 kg ha⁻¹ de potássio (K), 90,87 kg ha⁻¹ de cálcio (Ca) e 64,03 kg ha⁻¹ de magnésio (Mg) (Perin *et al.*, 2010). Dentre as leguminosas a mucuna cinza (*Mucuna pruriens*) e o amendoim forrageiro (*Arachis pintoi*) se destacam pela rusticidade, facilidade de associação com rizóbios e produção de massa e incorporação de N pela FBN (BORKET *et al.*, 2003). A mucuna pode acumular cerca de 280, 26, 144, 70 e 24 kg ha⁻¹ de N, P, K, Ca e Mg, respectivamente, em locais onde a produção de massa seca é superior a 7,5 t ha⁻¹ ano⁻¹ (BORKET *et al.*, 2003).

Em solo cultivado com milho, sem uso de plantas de cobertura, o teor de N mineral diminui rapidamente após a adubação nitrogenada devido a fatores, tais como a absorção de culturas e lixiviação (ROS *et al.*, 2003). As plantas de cobertura podem minimizar a diminuição de N do solo, associada a sistemas como plantio direto, contribui para minimizar a perda de N e aumentar o carbono ao longo dos anos. A palhada das culturas funciona como tamponamento, alteram o ciclo de nutrientes e os processos de mineralização e imobilização no solo, que dependem das razões C/N e lignina/N, teores de lignina, celulose e hemicelulose do seu resíduo de colheita (DIEKOW *et al.*, 2005; CARVALHO *et al.*, 2012; FERREIRA *et al.*, 2014; VERAS *et al.*, 2016).

As leguminosas são conhecidas por suas múltiplas contribuições nos sistemas de cultivo que culminam na melhora da saúde do solo alinhados a princípios sustentáveis (FOYER *et al.*, 2016). O uso de leguminosas como plantas de cobertura do solo revela-se como uma estratégia importante para aumentar a sustentabilidade dos agroecossistemas, trazendo benefícios para o solo e as culturas. Os efeitos sobre as propriedades do solo variam com a espécie utilizada, manejo da biomassa, época de plantio e corte, tempo de permanência dos resíduos no solo, condições locais e interação entre esses fatores (ALCÂNTARA *et al.*, 2000)¹⁶.

Os resíduos vegetais e animais ao serem depositados no solo e havendo

condições de umidade iniciam o processo de decomposição, resultado da ação de inúmeros grupos de microrganismos. Durante a fase de crescimento das plantas e de decomposição dos resíduos vegetais são liberados ácidos orgânicos por meio dos exsudatos radiculares, sendo que alguns desses ácidos atuam na disponibilização de nutrientes às plantas, deixando Ca, Mg, K e íons fosfato mais livres em solução, o que pode ocasionar aumento na saturação da capacidade de troca de cátions (CTC) (SILVA *et al.*, 2014). Canto (1989), estudando os efeitos da introdução de leguminosas (mucuna preta e feijão guandu) de cobertura em culturas perenes encontrou acréscimos nos valores médios de Ca e na soma de bases (SB) nos solos. MATRANGOLO *et al.*, (2019) estudando a *C. argentea* em sistema de aleia com hortaliças identificaram o teor de macronutrientes presentes nas folhas e estimaram o aporte no solo resultante do manejo da fitomassa após 18 podas drásticas (novembro de 2013 a agosto de 2018): 97,72 kg ha⁻¹ P, 715,35 kg ha⁻¹ K, 672,35 kg ha⁻¹ Ca, 134,86 kg ha⁻¹ Mg, 84,04 kg ha⁻¹ enxofre (S). O benefício do cultivo dessa leguminosa em sistema de aleia está na possibilidade do resgate (reciclagem) de nutrientes presentes nas camadas profundas do solo, fora do alcance das raízes da maioria das hortaliças.

Em um estudo feito por Testa *et al.* (1992), a CTC correlacionou-se positivamente com os teores de C encontrados no solo. O crescimento superior de plantas de milho em sucessão a leguminosas, comparativamente a outros sistemas de culturas, foi atribuído ao fornecimento de N e às melhores condições de umidade e temperatura do solo resultantes da cobertura deixada pelos resíduos de leguminosas (BRAGAGNOLO & MIELNICZUK, 1990). A importância da inclusão de leguminosas em sistemas de culturas que visam à conservação da MOS e à redução da degradação do solo tem sido citada por diversos outros autores (GALANTINI & ROSELL, 1997; LAL, 1997).

A decomposição dos resíduos vegetais de adubos verdes permite ainda a liberação de compostos orgânicos hidrossolúveis que são ácidos orgânicos de baixa massa molecular (Franchini *et al.*, 2001). Esses compostos possuem radicais funcionais capazes de formar complexos orgânicos com o alumínio, cálcio e magnésio (Pearson, 1966). Assim, além de neutralizar o alumínio tóxico, aumentam a mobilidade, no perfil do solo, dos produtos originados da dissolução do calcário aplicado na superfície (Amaral *et al.*, 2004). Verificou-se, por exemplo, que os resíduos de aveia preta (*Avena strigosa*), manejados em solos que receberam calagem, transportam Ca para a subsuperfície, ao passo que os resíduos de nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) associam a capacidade de mobilização de Ca com a de imobilização do alumínio (Al).

Bianchi *et al.* (1997), afirmaram que os adubos verdes originários de regiões tropicais, com solos altamente intemperizados, apresentam a capacidade de produzir quantidades expressivas de fitomassa mesmo em solos ácidos e com baixa fertilidade natural, possibilitando uma elevação no teor de MOS ao longo dos anos. Como consequência, obtêm-se um aumento da CTC do solo, o que traz maior retenção de nutrientes junto às partículas do solo, reduzindo perdas por lixiviação (KIEHL, 1985).

As principais características do solo que influenciam a adsorção de P são: mineralogia das argilas, o conteúdo de coloides amorfos não cristalinos e o teor de MO (NOVAIS & SMYTH, 1999). O fósforo remanescente (P-rem) é uma medida estreitamente correlacionada à capacidade máxima de adsorção e à capacidade-tampão de fosfatos (ALVAREZ *et al.*, 2000; ALMEIDA *et al.*, 2003). Alguns solos encontrados em regiões tropicais apresentam elevada capacidade de adsorção de fósforo, reduzindo a disponibilidade desse nutriente para as plantas cultivadas. Silva *et al.* (1997) demonstraram que a rotação de leguminosas e gramíneas em um Latossolo Vermelho-Escuro foi capaz de reduzir esse fenômeno em relação ao solo descoberto. Os autores associaram esse efeito ao incremento do teor de MO do solo, que tanto pode adsorver o P quanto bloquear os sítios de adsorção que ocorrem nas superfícies das argilas e óxidos de ferro e alumínio. De acordo com Pereira *et al.*, (2010), o uso de plantas de cobertura em sistemas de plantio direto pode acarretar aumento dos teores de carbono orgânico total (COT) e matéria orgânica leve (MOL), com consequente redução na adsorção de fosfatos e aumento dos teores de P-rem.

O fósforo dos fertilizantes minerais reage de modo mais ou menos rápido com determinados componentes do solo sendo por isso convertido em outras formas que as plantas não absorvem ou só o faz com dificuldades. Uma alternativa para minimizar esse efeito é o uso de leguminosas. Matos (2008) observou que cerca de 40% do fosforo é liberado após primeiros 15 dias de decomposição das leguminosas, mostrando o fornecimento gradual desse nutriente no solo.

Com relação ao S no solo, ele encontra-se principalmente armazenado na forma orgânica. A manutenção de teores adequados de MOS garante o suprimento gradual de S às plantas, através da mineralização. A maior parte do S do solo, em geral mais de 90%, encontra-se em formas orgânicas. A redução do revolvimento do solo associada à rotação de culturas com alta produção de resíduos vegetais é uma alternativa para a recuperação dos teores de MOS.

Outro efeito benéfico desta prática nas características químicas do solo diz respeito à reciclagem de nutrientes (COSTA, 1993). Quando se utilizam plantas com maior

potencial de penetração das raízes no solo capazes de expandirem seu sistema radicular para horizontes profundos do solo como as leguminosas, elas recuperam os nutrientes lixiviados para as camadas subsuperficiais do solo. Após o corte dessas plantas, ocorre a decomposição dos resíduos e a liberação gradual dos nutrientes para a camada superficial, tornando-os disponíveis para culturas subsequentes. Esses resíduos liberam C, N e outros componentes simples durante o processo de decomposição, dos quais parte retorna à atmosfera na forma de gás (CO₂, NH₃, etc.), outra parte é imobilizada pelos microrganismos decompositores, pequena parte permanece na forma prontamente disponível para as plantas e o restante é perdido por lixiviação ou direcionado à produção de substâncias húmicas (SH) (STEVENSON, 1985). Por meio de estudos desenvolvidos na Embrapa Milho e Sorgo, Matrangolo (2019) determinou a produção de fitomassa da *C. argentea* após 6 anos consecutivos de cultivo. Comparativamente à algumas leguminosas comumente utilizadas, ela apresentou teores de N, P, K, Ca e Mg superiores a *Crotalaria juncea*; teores de N, K, Ca e Mg superiores a Guandu; teores de N, K, Ca e Mg superiores ao Feijão de porco; teores de N, P e Mg superiores a Mucuna preta e teores de K e Ca superiores a Gliricidia.

A adubação verde é capaz de causar impactos positivos sobre os diversos componentes da fauna do solo, alterando a densidade das populações e a diversidade de espécies. Ela desempenha um papel muito importante na manutenção dos ciclos de nutrientes nos sistemas ecológicos. Os animais do solo fragmentam os detritos vegetais (littera) que chegam ao solo, promovendo um aumento da área que fica exposta à ação dos microrganismos do solo, especialmente fungos e bactérias (EDWARDS *et al.*, 1970; DANTAS, 1970; LUIZÃO, 1982). Além de servirem como fonte de energia e nutrientes, a manutenção da cobertura vegetal cria ambientes que favorecem o crescimento e estabelecimento de microrganismos chamado benéficos (MBs), capazes de aumentar a produtividade das culturas e reduzir a incidências de doenças (REIS, 2016). Os MBs são responsáveis por várias modificações químicas envolvidas no processo de ciclagem e disponibilidade de nutrientes no solo devido à liberação de substâncias solubilizadoras de fosfatos e quelantes de ferro, fixação biológica de nitrogênio, síntese de fitohormônios, sideróforos e produção de enzimas como celulasas, lipases, fosfases e ACC deaminase (ZAHIR *et al.*, 2009; MARTINS, 2015; BRAGA, 2015; SPERANDIO *et al.*, 2017).

Atualmente, o uso dos MBs destaca-se na agricultura visando a promoção do crescimento de plantas e a indução sistêmica de resistência das plantas hospedeiras (NASCENTE *et al.*, 2017a, NASCENTE *et al.*, 2017b). Desta maneira, bioestimulantes contendo MBs são potenciais agentes de controle biológico (SCHURT *et al.*, 2017) e seu uso

pode reduzir a demanda por fertilizantes convencionais em até 50% (PEREG & MCMILLAN, 2015 e SUMAN et al., 2016).

O cultivo com leguminosas também afeta a população de fungos micorrízicos arbusculares no solo. Esses fungos são capazes de formar simbiose com a maioria das espécies cultivadas, trazendo como vantagens o aumento da absorção de água e nutrientes, a agregação de partículas do solo e a resistência a determinados patógenos.

3.2 Uso de plantas de cobertura e estoques de C no solo

A dinâmica do ciclo de C nos solos tropicais é controlada por diversos fatores, como clima, solo, planta e manejo (HOUGHTON, 2007). A atividade agropecuária nessas regiões têm demonstrado ser altamente dependente da MOS para sua sustentabilidade, em virtude das inter-relações entre o C do solo e as características físicas, químicas e biológicas. Nesse sentido, o sequestro de C, processo natural de transferência do gás carbônico (CO₂) atmosférico através da fotossíntese para a MOS, passa a ser muito mais importante em razão da necessidade de recuperar solos e ecossistemas degradados, melhorar a qualidade da água, aumentar a biodiversidade e a produtividade para alcançar níveis adequados de segurança alimentar (LAL, 2006).

Ao derrubar a vegetação nativa para estabelecer plantações, há remoção de sistemas biológicos complexos, multiestruturados, diversificados e estáveis, e sua substituição por sistemas simples e instáveis provoca variações nos estoques de várias frações orgânicas do solo (CANELLAS *et al.*, 2003; DIAS *et al.*, 2007). Nesses solos, o balanço entre as adições e perdas de C leva a um estado de equilíbrio dinâmico, no qual praticamente não existe variação no teor de COT com o tempo (BAYER & MIELNICZUK, 1999). Segundo Cardoso, *et al.* (2009) em sua pesquisa realizada em solos do Pantanal, a retirada da mata nativa além de diminuir a proteção do solo, diminui a quantidade de carbono orgânico disponível para as plantas e interfere sensivelmente na atividade de toda comunidade do solo.

Para que ocorra sequestro de C, os sistemas de manejo devem adicionar elevadas quantidades de biomassa ao solo, causar o mínimo distúrbio em sua estrutura, além de promover a conservação de solo e da água, incrementar a atividade e a diversidade da fauna edáfica, e fortalecer os mecanismos da ciclagem de elementos (LAL, 2004). Em condições brasileiras, experimentos com sistemas de rotação de culturas que não incluem plantas que promovam alto

aporte de resíduos tendem a apresentar incrementos pequenos nos estoques de C (BAYER & MIELNICZUK, 1997a,b).

A redução do teor de C do solo é acentuada pela degradação do mesmo e exacerbada pelo uso indevido da terra e seu manejo inadequado. Práticas agrícolas como o desmatamento, a erosão do solo, a queima de biomassa, o superpastejo, a mecanização do solo, depleção da fertilidade dos solos, dentre outros, afetam o balanço do carbono global causando declínio do COT e promovendo emissões de CO₂ para atmosfera (LIMA, 2002; BAEDE *et al.*, 2001; PACIULLO *et al.*, 2014).

Como consequência das práticas inadequadas mencionadas acima, estima-se que as perdas globais de C orgânico nos solos cultivados já atingiram 50 Pg C (1 Pg = 1015 g) (Janzen, 2006). Em termos globais, o C está armazenado nos seguintes compartimentos: oceânico (38.000 Pg); geológico – principalmente petróleo, gás natural e carvão mineral (5.000 Pg); biosfera, que corresponde ao solo (2.500 Pg) + biota terrestre (620 Pg); e atmosférico (760 Pg) (Lal, 2004).¹⁹

Considerando que o reservatório oceânico é de difícil manejo e que o reservatório geológico tem contribuído consideravelmente com as emissões de CO₂, o solo se torna de grande relevância dado ao seu potencial de sequestrar C, e, assim a sua contribuição na mitigação das mudanças climáticas (LIMA *et al.*, 2015).

Em práticas agrícolas conservacionistas, tais como a manutenção da biomassa vegetal *in situ* (palhada) após a colheita, o não revolvimento do solo, rotação de culturas, uso adequado de fertilizantes químicos e adubos orgânicos, podem contribuir para recompor o reservatório de C orgânico dos solos e restaurar sua capacidade como um sumidouro de C (LIMA, 2002; AMADO *et al.*, 2003; MACHADO, 2005).²²

Amado *et al.* (2001) mostram em seus experimentos que a aração e a gradagem do solo diminuíram os estoques de C e que apenas a partir do quarto ano de adoção do plantio direto (PD), houve recuperação deste C perdido nos sistemas de cultivo. Além disso, o plantio direto associado ao uso de culturas de cobertura demonstrou potencial para recuperar o teor de MOS e, conseqüentemente, sequestrar C no solo (JANTALIA *et al.*, 2004).²² Dentre as coberturas vegetais com maior potencial de recuperação de nutrientes para o solo destacam-se as plantas da família das Leguminosas.

Siqueira Neto *et al.* (2009), avaliando o sequestro de C num solo em PD, verificaram que os estoques de C no solo aumentaram com o tempo de implantação do PD e que o aporte de resíduos culturais e a rotação de culturas com uso de leguminosas reduziram a mineralização da MOS, favorecendo o acúmulo de C no solo.

As leguminosas respondem diferentemente às condições climáticas locais. Matos *et al.* (2008) obtiveram produção de biomassa diferenciada entre as mesmas leguminosas conforme a mudança edafoclimática, enfatizando a necessidade de estudos de adaptabilidade de espécies utilizadas no manejo. As condições edáficas também promovem diferenças nos estoques de C e N no solo. Solos com teores de argila mais elevados tendem a possuir maiores estoques de C e N devido às interações entre os colóides minerais e orgânicos e à proteção física da MOS nos agregados contra o ataque de microrganismos (VENZKE FILHO *et al.*, 2008).

Além de protegerem o solo dos agentes climáticos e de degradação, as plantas de cobertura, apresentam potencial para manter ou elevar o teor de MOS, mobilizar e reciclar nutrientes, e ainda contribuem para o sequestro de C no solo (SILVA *et al.*, 2011; SILVA *et al.*, 2014). Esses impactos positivos resultam do aporte de biomassa, tanto em quantidade quanto em qualidade (AMABILE & CARVALHO, 2006; CARVALHO *et al.*, 2011; 2012; 2015).

A qualidade do material orgânico adicionado ao solo exerce grande influência na mineralização da matéria orgânica e, conseqüentemente, na liberação de CO₂. Elevadas quantidades de compostos com moléculas simples e relação C/N estreita tendem a ser mineralizadas mais rapidamente do que materiais que apresentam elevado grau de aromaticidade e altos teores de C de radicais alquil (ZECH *et al.*, 1997). Contudo, quando ocorre a substituição de ecossistemas naturais por agroecossistemas com culturas, percebe-se o declínio no conteúdo de C e N do solo, decorrentes da redução no aporte e do aumento da decomposição da matéria orgânica.

Os ciclos de C e N estão intimamente ligados: a disponibilidade de C no solo a partir de exsudados de raízes e de MOS pode conduzir a processos microbianos que resultam na liberação de N no solo, em forma disponível para as plantas. O ciclo de N no solo é impulsionado pela MOS, que contém aproximadamente 50% de C e 5% de N, dos quais tipicamente menos de 5% encontra-se na forma lábil (JACKSON *et al.*, 2008). A disponibilidade de N no solo é controlada pelos processos microbianos de mineralização e imobilização, os quais dependem basicamente da relação C/N e da composição bioquímica dos resíduos culturais em decomposição (HEINZMANN, 1985; MARY *et al.*, 1996). Segundo Lassus (1990), maiores quantidades de lignina e polifenóis adicionadas ao solo foram observadas em sistemas de cultura que incluíam leguminosas tropicais perenes, o que significa que essas espécies são as de maior potencial para elevar o teor de húmus do solo.

A inclusão de leguminosas num sistema de rotação aumenta a disponibilidade de N, que é essencial na estabilização do C por meio da síntese de substâncias mais humificadas

(mais ricas em nitrogênio), e garante melhor estabilidade estrutural para a MOS. Além disso, o N das leguminosas (nitrogênio orgânico) é o preferencial pelos processos de síntese microbiana das substâncias húmicas. Resíduos de palha de arroz marcados com C^{13} e N^{15} e $(NH_4)_2SO_4$ com N^{15} foram submetidos à incubação com solo, durante 90 dias, com o intuito de verificar a contribuição da forma mineral de nitrogênio às frações da MOS estabilizada. Houve maior recuperação do nitrogênio derivado do resíduo vegetal que do nitrogênio mineral, indicando a preferência de assimilação das formas orgânicas, em relação às formas minerais e, a maior recuperação das formas de nitrogênio (mineral e orgânica) ocorreu na fração mais estável (humina) (MORAN *et al.*, 2005).

Os estoques de COT e N do solo em um experimento de 8 anos variaram de 22,06 Mg ha⁻¹ C e 3,59 Mg ha⁻¹ N, no sistema tradicional pousio/milho, a 27,48 Mg ha⁻¹ C e 4,87 Mg ha⁻¹ N, no sistema milho + mucuna. O destaque do sistema milho + mucuna em relação aos demais, provavelmente, foi associado ao elevado aporte de fitomassa neste sistema, estimado em 4,51 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ C (AMADO *et al.*, 2001).

A adição diferenciada de resíduos vegetais ao solo, durante os 18 anos de condução de um experimento, afetou os estoques de C orgânico no solo na camada de 0-20 cm, os quais variaram de 27,8 t ha⁻¹ (plantio convencional aveia/milho) a 36,1 t ha⁻¹ (plantio direto ervilhaca/milho). Mostrando mais uma vez o efeito da leguminosa que, pelo fornecimento de N, aumenta a produção de fitomassa na área (COSTA *et al.*, 2008).

3.3 *Uso de plantas de cobertura e o fracionamento da MOS*

A MOS constitui um reservatório heterogêneo de C, sendo uma complexa combinação de materiais, diferindo em origem, composição e dinâmica (CHRISTENSEN, 2000; CARTER, 2001). A dinâmica de transformação do carbono orgânico afeta diretamente a qualidade do solo, sendo esta influenciada pelo clima, temperatura, cobertura florestal, tipo de solo e seu uso e manejo. Estes fatores interferem nas características físicas e químicas da MOS. Juntos, eles regulam a qualidade e a quantidade da MOS, a composição e a atividade das comunidades decompositoras, inclusive as taxas de processos tais como mineralização, lixiviação de compostos orgânicos e perdas por erosão (USSIRI & JOHNSON, 2003). Dessa forma, não somente os teores totais da MOS são importantes, mas também o estudo de suas frações, relacionando as alterações das mesmas em função da manutenção da qualidade do solo (BALDOTTO & BALDOTTO, 2014; CANELLAS *et al.*, 2004; CUNHA *et al.*, 2005;

FONTANA *et al.*, 2011).

Os diversos procedimentos de fracionamento da MOS visam a redução dessa heterogeneidade, procurando separar frações homogêneas quanto a natureza, dinâmica e função (CHRISTENSEN, 1992). A fração lábil é considerada como fonte prontamente disponível de nutrientes (N,P,S) (VON LÜTZOW *et al.*, 2007)³¹ e é a responsável pela agregação do solo e quelação de micronutrientes (BLAIR & CROCKER, 2000). Ela é constituída pela serapilheira das plantas, fração leve, biomassa microbiana e substâncias não- húmicas, estas últimas incluem os carboidratos, lipídeos, aminoácidos, proteínas, ligninas, ácidos nucleicos, pigmentos e uma variedade de ácidos orgânicos. A fração leve é constituída por materiais orgânicos derivados, principalmente, de restos vegetais, com quantidades razoáveis de resíduos microbianos e da microfauna (MOLLOY & SPEIR, 1977). Já a fração mais estável, também conhecida como não-lábil ou fração humificada, é resistente ao ataque microbiano e podem persistir no solo por centenas de anos, seja por sua estrutura molecular recalcitrante ou por estarem fisicamente protegidos em complexos organominerais no interior dos agregados (FIGUEIREDO; RESCK; CARNEIRO, 2010). As diferentes frações de C orgânico humificado do solo apresentam características químicas, físicas e morfológicas diferenciadas entre si, podendo variar de acordo com o tipo de solo, tipo de vegetação, do uso e manejo e das condições climáticas e de drenagem (DICK *et al.*, 2009).

As avaliações da MOS utilizam-se da determinação do COT, no entanto, apenas este atributo traduz pouco da dinâmica geral do C no solo a curto prazo. Estudos têm demonstrado que determinados compartimentos da MOS são capazes de detectar, mais rapidamente, as mudanças nos conteúdos de carbono no solo associadas ao manejo. Em função disso, frações lábeis de C orgânico do solo, tal como a MOL, tem sido utilizada como indicador sensível às mudanças nos níveis de C orgânico do solo provocadas pelas práticas de manejo do solo (ROSSI *et al.*, 2012; LOSS *et al.*, 2013). Segundo Figueiredo *et al.* (2013), o sistema plantio direto não apresentou diferença de estoques de COT no solo comparativamente com vegetação nativa, preparo reduzido e convencionais. Dessa forma, os estudos que visam melhor compreensão da dinâmica da MOS em áreas de cultivo e cobertura natural não ficam restritos à avaliação dos teores de COT, eles buscam estudar os compartimentos da MOS, a fim de criar estratégias de manejo do solo que reduza o impacto da agricultura sobre o ambiente (SOUZA *et al.*, 2006).

O fracionamento químico da MOS baseia-se em suas diferentes propriedades físico-químicas, como solubilidade, carga de superfície e sorção. Geralmente é empregado em estudos que objetivam caracterizar química e estruturalmente os compostos húmicos, além de

avaliar o grau de decomposição e reatividade dos compartimentos químicos resultantes no ambiente (DICK *et al.*, 2009).

A extração de SH pode ser feita por vários métodos. Stevenson (1994) considera o método de extração ideal aquele que possibilita o isolamento do material inalterado; que promove a extração das SH livres de contaminantes inorgânicos, como argilas e cátions polivalentes; que permite uma extração completa, garantindo assim a representação integral das frações de peso molecular variado; e, que pode ser universalmente aplicado a todos os solos. Entre os extratores, o NaOH tem sido o mais utilizado, por extrair maior percentagem de SH do que qualquer outro extrator disponível (GUERRA & SANTOS, 1999). A determinação do C orgânico presente nas diferentes frações húmicas, por oxidação com dicromato de potássio, permite avaliar a capacidade de recuperação do C orgânico das frações, em relação àquele presente na amostra do solo.

O procedimento clássico de extração do solo resulta em três frações principais: ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) e huminas (HUM). No entanto, dependendo do objetivo e especificidade da análise, outros procedimentos de extração podem ser aplicados, como por exemplo, o método proposto por Kononova (1982), que se baseia na separação do material não humificado do material humificado através de diferenças na densidade específica. Neste caso, normalmente é utilizado o H_3PO_4 para a separação da MOS não humificada. Durante esse processo também pode ser separada a MOL e a fração contendo os ácidos fúlvicos livres (AFL) que apresenta elevada mobilidade e não se encontra ligada ao material mineral e (GUERRA & SANTOS, 1999).

A fração AF apresentam quantidade de grupos hidrofílicos suficientes para permanecerem solúveis em qualquer valor de pH. Apesar de possuírem similaridade estrutural aos AH, apresentam menor peso molecular, maior quantidade de compostos fenólicos e de grupos carboxílicos e uma menor quantidade de estruturas aromáticas. Estas características lhes conferem melhor solubilidade em água e maior CTC (700 a 1000 $cmol_c kg^{-1}$) (BENITES; MADARI; MACHADO, 2003).

A fração AH participa da maioria das reações que ocorrem no solo, favorecendo a agregação e estabilidade dos agregados pela formação de complexos organominerais, além de servir como reserva de nutrientes às plantas (CANELLAS *et al.*, 2000). Tratam-se de precipitados escuros, pouco solúveis na acidez normalmente encontrada em solos tropicais. Tem elevado peso molecular, CTC entre 350 e 500 $cmol_c kg^{-1}$, com origem na lignina, possuem alto teor de ácidos carboxílicos e significativas quantias de N (TAN, 1993).

Os AH representam a fração intermediária entre a estabilização de parte dos resíduos orgânicos pela interação com a matéria mineral (huminas) e a ocorrência de ácidos orgânicos na solução do solo (ácidos fúlvicos). Os AH são, portanto, um marcador natural do processo de humificação e refletem, como tal, tanto a condição de gênese, como de manejo do solo (STEVENSON, 1994).

Valores da relação AH/AF tem sido proposto como parâmetro de estabilidade da MOS (KONONOVA, 1982). Segundo essa autora, valores superiores a 1 representam solos férteis e de ambientes temperados e MOS mais estabilizada. Já em ambientes tropicais compostos por solos de fertilidade natural baixa, altamente intemperizados, diminui consideravelmente a intensidade dos processos de humificação, o que determina o baixo valor para essa relação, menores que 1. De uma forma geral, o baixo conteúdo de bases trocáveis nos solos mais intemperizados diminui a intensidade dos processos de humificação (condensação e síntese), consequentemente a relação AH/AF é menor. Contudo, valores inferiores a 1 da relação AH/AF podem indicar aportes recentes de MOS. Em latossolos da região Amazônica foram encontrados relação AH/AF no valor de 0,66.

A fração humina (HUM) é estruturalmente composta em maior quantidade por lignina e sendo assim quimicamente mais recalcitrante, altamente estabilizada pela matriz mineral do solo (TOMASI, 2011). Apesar de apresentar baixa reatividade, é a responsável por mecanismos de agregação de partículas e na maioria dos solos tropicais representa a maior parte do C humificado (BENITES; MADARI; MACHADO, 2003).

A fração HUM Tem a tendência de decrescer em profundidade e pode contribuir com mais de 50% do C na camada de 0-5 cm do solo (DICK *et al.*, 2009). Essa predominância da fração HUM está relacionada à sua insolubilidade e resistência à biodegradação favorecida pela formação de complexos argilo-húmicos estáveis (PASSOS *et al.*, 2007; SILVA *et al.*, 2011; FONTANA *et al.*, 2011).

Os teores de HUM podem decrescer em sistemas que utilizam rotações ou plantas de cobertura com alta relação C/N, pois o tempo de decomposição dessas plantas é maior ocasionando menores teores de C nessa fração, pois a HUM é o produto final da MOS. Assis *et al.* (2006) avaliando sistemas de rotações de culturas em plantio direto, verificaram menor conteúdo da fração HUM na área de PD rotacionado com tifton em relação aos outros tratamentos em todas as camadas e classes de agregados avaliados. Os autores atribuem este menor acúmulo à alta relação C/N do tifton, gramínea perene, o que lhe confere maior tempo de decomposição quando comparadas aos outros sistemas.

A MOL é uma fração ativa da MOS considerada um bom indicador da qualidade do solo. Ela é constituída por resíduos orgânicos em diferentes estágios de decomposição, com tempo de residência de um a cinco anos e sensível às alterações de manejo do solo como plantio, adubação e rotação de culturas (JANZEN *et al.*, 1992; BAYER *et al.*, 2006; STROSSER, 2010). A MOL pode ser considerada de rápida dinâmica no solo; assim, sua manutenção é fundamental para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, uma vez que representa, em curto e médio prazos, alto potencial para ciclagem de nutrientes (COMPTON & BOONE, 2002). Está diretamente relacionada ao aporte de raízes ao solo pelas plantas e na comunidade microbológica (COMPTON & BOONE, 2002; LOSS *et al.*, 2012), podendo também apresentar resíduos de animais e microrganismos em diversos estádios de decomposição (PEREIRA *et al.*, 2010).

O acúmulo de carbono em frações lábeis da MO tem sido relacionado à sua proteção física no interior de agregados, em consequência da inacessibilidade aos microrganismos e suas enzimas, ou ainda pela limitação da difusão de O₂ dentro dos agregados, especialmente dos microagregados. (FELLER & BEARE, 1997; BALDOCK & SKJEMSTAD, 2000; BARTHÈS *et al.*, 2008). A MOS protegida no interior de agregados apresenta um tempo de permanência no solo maior do que a MOS livre, sendo esta proteção maior nos microagregados do que nos macroagregados (BUYANOVSKY *et al.*, 1994). Para muitos autores, o aumento do COT está relacionado com o aumento do estado de agregação do solo (TISDALL & OADES, 1982; CAMBARDELLA & ELLIOTT, 1992; BEARE *et al.*, 1994; JASTROW, 1996; CASTRO FILHO *et al.*, 1998; SIX *et al.*, 1998, SIX *et al.*, 1999; MARTENS, 2000; ZOTARELLI *et al.*, 2007). Esse processo é mais intenso em solos não revolvidos (FELLER & BEARE, 1997; SIX *et al.*, 1999).

Além dessa proteção física, Fabian (2009) também atribui esse acúmulo à proteção química dos compostos, por meio da interação destes com os minerais e cátions do solo, o que dificulta a oxidação microbiana pela maior recalcitrância intrínseca das moléculas orgânicas (SIQUEIRA NETO *et al.*, 2010). Assim, a presença de quantidades significativas de MOS em alguns solos tropicais, principalmente aqueles muito argilosos, vem sendo atribuída à presença de altos teores de óxidos de ferro e alumínio, que complexariam a MOS, estabilizando-a (RESENDE *et al.*, 1997; ROSCOE *et al.*, 2000).

Cunha *et al.* (2001) verificaram o impacto do preparo convencional nas frações húmicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo e observaram que o AFL foi a única das frações húmicas que não apresentou valores inferiores no sistema de preparo convencional em relação

ao Cerrado nativo, mostrando ser uma fração que não apresenta sensibilidade em relação ao manejo do solo.³⁶

Fontana *et al.* (2008) avaliaram a correlação entre Prem e as frações da MOS, em um Latossolo Vermelho distroférico com sucessão soja/aveia e verificaram que os sistemas de manejo em PD reduziram a adsorção e a precipitação de P, principalmente pela presença de SH mais estáveis, como AH e HUM.

A deposição de resíduos vegetais ao longo dos anos favorece o aumento na concentração de AH, que, juntamente com a precipitação anual alta, concentrada nos meses mais quentes, intensifica a biodegradação das frações da MOS instáveis, com a transformação mais rápida de AF para AH, principalmente, em plantas de cobertura com menor teor de lignina (SANTOS *et al.* 2014).

Marchiori Junior & Melo (2000) estudaram a alteração na composição do húmus de Latossolo Vermelho eutrófico sob mata e submetido à diferentes sistemas de manejo. Com a cobertura de mata foram encontrados os maiores valores para a fração HUM (74% do COT) e o uso agrícola aumentou os teores de AH e AF camada de 0 a 10 cm. Tanto sob mata natural como sob cultivo os teores de AF foram menores do que os de AH, o que sob o ponto de vista da fertilidade do solo pode ser interessante, por colaborar para uma menor lixiviação ou translocação de elementos químicos da camada arável para as camadas subsuperficiais (GREENLAND, 1965).

Numa área de extração de argila que foi revegetada, a cobertura com *Acacia mangium* proporcionou maior COT na profundidade de 0-10 e 10-20 cm e maior teor de AH, AF e HUM quando comparada com a *Brachiaria mutica*, o grau de humificação na área com a leguminosa ficou entre 58 e 88% conforme a profundidade.

O cultivo e o manejo dos solos podem promover alterações nas SH. Vega-corea (1998) observou diminuição de todos os componentes húmicos (frações AF, AH e HUM) em solo cultivado com milho, durante 20 anos, por sistema convencional de preparo, em comparação com uma área sob vegetação natural. O autor verificou maiores conteúdos de C orgânico nas frações húmicas nas amostras de área sob PD de milho, comparativamente à área sob vegetação natural, indicando a importância do manejo na dinâmica dos componentes húmicos.

Avaliando o efeito do cultivo solteiro e consorciado de couve com leguminosas anuais sobre a fertilidade do solo e o carbono das SH em áreas sob manejo orgânico, em Seropédica, RJ, Silva *et al.* (2009) verificaram que o uso de leguminosas em consórcio e com

adubação orgânica em cobertura aumentaram os teores de C, Ca e P (0-5 e 5-10 cm) e C da fração HUM e Mg (0-5 cm) no fim do ciclo da couve. Também relataram que a adubação orgânica promoveu aumento nos teores de C das frações HUM e AH.

3.4 *Uso de plantas de cobertura e a densidade (porosidade) do solo*

A busca de uma maior eficácia nos sistemas de cultivo visando reduzir o processo erosivo do solo e a recuperação das suas características físicas, químicas e biológicas é uma necessidade atual. É importante ressaltar que quando se trata de manejo, todas as propriedades físicas são afetadas pelos diferentes tipos de manejo. As alterações da estrutura do solo, em especial as mudanças nos níveis de densidade do solo (Ds), afetam a resistência à penetração, a porosidade total, o diâmetro dos poros, a sua capacidade de aeração, a armazenagem e disponibilidade de água às plantas (STEFANOSK *et al.*, 2013).

A degradação das propriedades físicas é o principal processo responsável pela redução da capacidade produtiva dos solos (BERTOL *et al.*, 2004; WOLSCHICK *et al.*, 2016), pois as perdas na sua qualidade estrutural devido ao uso intensivo acaba levando a uma desagregação das partículas e, conseqüentemente, causará restrição no crescimento das raízes acarretando mal desenvolvimento da cultura e diminuição de produtividade (PEDROTTI *et al.*, 2001), uma vez que essas características estão relacionadas com a disponibilidade de ar, água e nutrientes às raízes das plantas e com a resistência mecânica do solo à penetração (BAVER *et al.*, 1972; TISDALL & OADES, 1979; REID & GOSS, 1981).

A agregação está diretamente relacionada com a porosidade do solo, que representa o espaço em que ocorrem os processos dinâmicos dos gases e da solução do solo (EDEN *et al.*, 2011). Essas áreas estão diretamente relacionadas com a densidade volumétrica do solo, pois quanto maior o espaço ocupado pelas partículas, menor será o volume do espaço poroso. Os macroporos estão relacionados com as trocas gasosas e com os processos de drenagem (ABREU *et al.*, 2004); já os microporos, com os processos de retenção de água no solo (MICHELON *et al.*, 2010).

Silva *et al.* (2006) comentam a importância da formação e estabilidade dos agregados. Ao fazer uma ponderação entre a agregação do solo e produtividade dos sistemas de cultivo, esses autores destacam que a agregação do solo diminui notadamente com o preparo do solo, principalmente em solos mais frágeis como os de textura arenosa.

Argenton *et al.* (2005) demonstra a influência dos sistemas de manejo do solo na estabilidade dos agregados. Sistemas de plantio com preparo convencional modificaram a

Ds e a resistência à penetração de raízes e reduziram a porosidade total. Em contrapartida, após cinco anos utilizando o sistema de plantio direto com o uso de plantas de cobertura, foi verificado a recuperação das propriedades físicas do solo.

Castro Filho *et al.* (1998) reportam que, para um mesmo tipo de solo, diferentes práticas de manejo poderão afetar distintamente suas propriedades, incluindo os processos de agregação.

Segundo Wohlenberg *et al.* (2004)⁴⁷, solos fisicamente degradados podem ser recuperados com sistemas de manejo de solo e de culturas, por meio do cultivo de espécies com diferentes sistemas aéreos e radiculares que adicionam elevada quantidade de material orgânico. Nesse sentido, o uso da adubação verde é capaz de auxiliar na recuperação do solo, melhorando as condições físicas, químicas e biológicas, permitindo assim que a cultura comercial apresente bom desenvolvimento, além de proporcionar cobertura suficiente ao solo para que o sistema de PD se consolide (SUZUKI *et al.*, 2007). Os resíduos culturais deixados pelas plantas de cobertura no solo proporcionam a melhoria ou manutenção das propriedades químicas (CASALI *et al.*, 2016) e físicas, dando destaque para estabilidade de agregados e porosidade do solo além das propriedades biológicas (MORAES *et al.*, 2016).

Sistemas em que o solo permaneça descoberto durante um período significativo, promovem a exposição aos agentes erosivos, que conduzem à degradação do solo, com consequente queda de produtividade das culturas. Quando o solo é exposto diretamente ao impacto das gotas de chuva, verifica-se a formação de crosta superficial, a qual provoca diminuição significativa na sua taxa de infiltração de água e favorece o escoamento superficial de água e consequente processo de erosão. Além disso, provoca também aumento na sua Ds, diminuindo significativamente sua porosidade, sobretudo a macroporosidade, responsável pela aeração do solo e por boa parte da infiltração de água (SILVA & KATO, 1997).

Os benefícios provenientes da adubação verde podem ser atribuídos à incorporação dos resíduos vegetais e à distribuição das raízes no perfil do solo. A cobertura vegetal protege o solo do impacto direto das gotas de chuva, diminuindo o escoamento superficial e reduzindo os riscos de erosão. Além disso, os constituintes da matéria orgânica influenciam a agregação do solo (devido à sua ação cimentante, efeito dos polissacarídeos e hifas dos fungos). Com a decomposição dos resíduos ocorre a liberação de compostos orgânicos capazes de afetar favoravelmente a porosidade e consequentemente causando a redução da Ds. Em virtude do aumento de porosidade e agregação do solo, a tendência de uma área protegida por cobertura vegetal é possuir maior infiltração de água, melhoria da drenagem e da aeração

(DE-POLLI *et al.*, 1996; MIELNICZUK, 2008; DIAS; MACIEL;2011) o que leva a uma melhor condição para as culturas sucessoras se desenvolverem.

A exemplo da utilização de espécies de adubos verdes, Marchini *et al.* (2015) apresentaram a recuperação de um Latossolo com a utilização de crotalaria ou feijão de porco em consórcio com a espécie arbórea Gonçalo-alves (*Astronium fraxinifolium*), os quais, em conjunto, contribuíram para a melhor estruturação do solo em comparação a uma área com vegetação nativa do Cerrado, apresentando recuperação do solo na camada de 0-10 cm.

Um dos processos que mais resultam em erodibilidade do solo é a compactação que para Silva *et al.* (2001), é um processo de densificação na qual há um aumento da resistência mecânica do solo, redução da porosidade, da permeabilidade e da disponibilidade de nutrientes e água. Os sistemas de manejo, principalmente aqueles que se dedicam à manutenção da cobertura do solo exercem grande influência no controle da erosão (SEGANFREDO *et al.*, 1997).

O plantio de espécies vegetais com sistemas radiculares vigorosos e agressivos é uma estratégia para reduzir a erosão e a Ds e aumentar a infiltração (EMBRAPA, 1986). Após sofrer decomposição deixa galerias verticais no solo que facilitam a percolação de água no perfil do solo e propiciam condições ao desenvolvimento de raízes da cultura subsequente (WANG *et al.*, 1986).

Rosolem *et al.* (2002) destacaram o potencial de plantas de cobertura do solo para serem utilizadas em sistemas de rotação de culturas, com o objetivo de melhorar a qualidade física de solos compactados. Willians & Well (2004) verificaram que as raízes do nabo forrageiro, após a sua senescência (morte e decomposição), formaram canais no solo e que as raízes da soja cultivada em subsequência apresentaram crescimento preferencial nesses canais, facilitando seu aprofundamento no perfil e a exploração de maior volume de solo. Nicoloso *et al.* (2008a) encontraram, em um Latossolo, aumento na macroporosidade do solo, diminuição na resistência à penetração e incrementos na infiltração de água quando da utilização do consórcio nabo forrageiro + aveia-preta.

Centurion *et al.*, (2004) avaliaram o manejo de culturas de cobertura na entrelinha da seringueira durante oito anos de cultivo e verificaram que os atributos físicos do solo foram afetados, especialmente a porosidade e a Ds, e as maiores alterações em função do manejo da entrelinha da seringueira manifestaram-se na camada superficial (0-20 cm).

Em sistemas de cultivo sem o revolvimento do solo, onde se faz rotação de culturas e se mantem grandes quantidades de biomassa vegetal sobre a superfície, é possível observar melhoria expressiva na Ds e porosidade do solo, principalmente nas camadas

subsuperficiais após consecutivos anos de cultivo conservacionista (DA ROS MET *et al.*, 1997; WOLSCHICK *et al.*, 2016).

Buscando estabelecer limites críticos de Ds para o crescimento de raízes de plantas de cobertura, num Argissolo Vermelho, Reinert *et al.* (2008) concluíram que todas as espécies de adubos verdes avaliadas (crotalária juncea, guandu-anão, feijão-de-porco e mucuna-cinza) poderiam ser utilizadas em solos com compactação excessiva.

A adoção de sistemas de culturas baseados em rotações com uso de aveia-preta e ervilhaca no inverno e milho no verão reduziu a Ds, aumentou a condutividade hidráulica saturada (ALBUQUERQUE *et al.*, 1995) e tendeu a melhorar a agregação (CAMPOS *et al.*, 1995) de um latossolo argiloso sob PD, em comparação à sucessão trigo-soja na região agrícola do planalto Gaúcho. Isso foi atribuído ao menor tráfego de máquinas no sistema com plantas de cobertura, à ação mais eficaz do sistema radicular dessas plantas, sobretudo da aveia-preta, e ao aumento no teor de carbono orgânico, em comparação com a sucessão trigo-soja (ALBUQUERQUE *et al.*, 1995; CAMPOS *et al.*, 1995).

3.5 Estoque de C, fracionamento, densidade (porosidade) e fertilidade do solo

A fertilidade do solo refere-se à capacidade do solo em suprir elementos essenciais às plantas. A boa fertilidade do solo implica em suprir quantidades e proporções adequadas de nutrientes para o crescimento e produtividade das plantas. Um solo produtivo é um solo fértil, ou seja, que contém os nutrientes essenciais em quantidades adequadas e balanceadas para o normal crescimento e desenvolvimento das plantas cultivadas e que apresenta ainda boas características físicas e biológicas, está livre de elementos tóxicos e encontra-se em local com fatores climáticos favoráveis.

A perda de solos produtivos prejudica gravemente a produção de alimentos e a segurança alimentar, amplifica a volatilidade dos preços dos alimentos e, potencialmente, mergulha milhões de pessoas à fome e à pobreza.

Um solo pode apresentar boa fertilidade natural ou, por meio de correções e do manejo adequado de nutrientes, podemos construir fertilidade em solos pobres. Os Latossolos distribuem-se em praticamente todo território nacional, sendo a classe de solos mais representativa do Brasil (COELHO, 2002; EMBRAPA, 2018), ocupando cerca de 60% do território (CORREIA, 2004). Mesmo sendo solos naturalmente pobres, possuem grande potencial para a agricultura. Destacam-se pela longa gênese e o alto grau de intemperismo como principais fatores causadores da baixa fertilidade natural, particularmente em grande parte das

regiões tropicais e subtropicais, onde a remoção de nutrientes do solo é mais acelerada em razão das condições de altas temperaturas e precipitações pluviais.

A baixa fertilidade de um solo pode ser expressa pela elevada acidez, toxidez por Al, baixa reserva de nutrientes como K, Ca e Mg, elevada adsorção de P e baixos teores de MOS. A acidificação do solo compromete o sistema radicular da planta, ocasionando um menor crescimento e enraçamento da raiz, assim ele limita-se a explorar uma menor área de solo, o que ocasiona uma menor absorção de nutrientes e água. À medida que o pH do solo diminui aumenta a atividade do alumínio no solo e, conseqüentemente, ocorre potencialização dos efeitos nocivos e deletérios às culturas. De maneira geral, o efeito fitotóxico do Al em solução ocorre em solos com pH em CaCl_2 abaixo de 4,9 (TAYLOR, 1988).

O Al acumula-se preferencialmente no sistema radicular das plantas, retardando seu crescimento e desenvolvimento, aumentando o diâmetro das raízes e promovendo a diminuição do número de raízes laterais, as principais responsáveis pela absorção de água e nutrientes. Também, podem ocorrer efeitos fisiológicos e bioquímicos nas células, como inibição da divisão celular. O Al^{3+} no meio de crescimento influencia a absorção de elementos essenciais, como P, Ca e Mg, principalmente. O problema da toxicidade por Al^{3+} é particularmente importante em camadas subsuperficiais do solo, pela dificuldade de aplicação ou ação dos corretivos de acidez.

Da mesma forma, o manejo inadequado do solo pode levar a perda da fertilidade ao longo do tempo. A remoção da floresta ou qualquer outra vegetação natural inicia o processo de perda de matéria orgânica do solo. A atividade agrícola com ênfase na monocultura, tem sido um fator de aceleração desta degradação, geralmente ultimada pelo uso do fogo e superpastejo. Nesta fase se inicia o processo de perda da estrutura do solo e voçorocamento. A intensidade da degradação é inversamente relacionada à presença de espécies vegetais que desempenham um papel importante na proteção contra o efeito desagregador que as gotas de chuva exercem sobre o solo. A degradação ambiental pode se dar em diferentes níveis mas, atinge seus estágios mais avançados quando afeta o solo. A degradação associada com perda de matéria orgânica é mais séria, devido à perda de nutrientes nela contidos (Campello, 1998). Quando isto ocorre a revegetação fica condicionada à correção da deficiência destes nutrientes. O processo de recuperação consiste, inicialmente, em adicionar mais matéria orgânica do que a quantidade mineralizada. Nesta fase é importante o uso de espécies que adicionem C e N ao sistema, além de fornecer material formador de serapilheira com decomposição lenta.

As leguminosas tropicais em sua maioria nodulam e fixam nitrogênio atmosférico (FARIA *et al.*, 1999ab) e quase todas as espécies testadas se associam a fungos

micorrízicos (SIQUEIRA, 1996; FARIA & CAMPELLO, 1999). A simbiose planta + bactérias diazotróficas + fungos micorrízicos adquire a capacidade de incorporar C e N ao solo, sendo mais eficientes na absorção de nutrientes e tornando-se mais tolerantes aos estresses ambientais (FRANCO *et al.*, 1992, 1995, 1996; SOUZA & SILVA, 1996; FRANCO & FARIA, 1997; FRANCO & BALIEIRO, 2000). Desta forma, as espécies vegetais que formam estas simbioses são as mais indicadas para aumentar o conteúdo de matéria orgânica de solos degradados ou mesmo de sistemas produtivos em condições de baixa fertilidade.

A MOS associada ao bom estado da estrutura do solo aumenta sua capacidade de retenção de água e proporciona o desenvolvimento radicular em profundidade, o que resulta em plantas mais saudáveis, com rápido desenvolvimento e resistente a estresses hídricos e nutricionais, visto que o aumento de MOS também aumenta a quantidade de microrganismos que por sua vez são capazes de mobilizar nutrientes para as raízes (WALTERS, 1980). A MOS é também relevante no contexto das mudanças climáticas globais, já que o solo é um dos principais compartimentos do ciclo terrestre desse elemento (ESWARAN *et al.*, 2001; CERRI *et al.*, 2003; LAL, 2004; CARVALHO *et al.*, 2010; BALDOTTO *et al.*, 2010).

A MOS está entre os indicadores de qualidade do solo que têm a maior relevância devido à sua importância na formação e manutenção das funções do solo, especialmente, em solos altamente intemperizados, como os Latossolos. É um fato bem conhecido que nestes ambientes a fertilidade do solo depende fundamentalmente da quantidade e da qualidade da MOS, sendo ela a principal responsável pela CTC, bem como sua maior reserva de N. Portanto, a sustentabilidade dos sistemas agrícolas depende fundamentalmente da manutenção e equilíbrio dos nutrientes no solo, principalmente C, N e os outros elementos que fazem parte da composição da MOS. Cerca de três quartos do C orgânico do solo contido nos ecossistemas terrestres e a maior parte do N orgânico são encontrados nos resíduos vegetais e na MOS (SCHLESINGER, 2000; LAL, 2008). Tanto o C orgânico do solo quanto os demais macro-nutrientes são mineralizados a formas inorgânicas simples, por uma comunidade altamente dinâmica de microrganismos decompositores (BRADY & WEIL, 2002; BERG & MCCLAUGHERTY, 2003). Segundo a revisão de Schlesinger (2000), o processo de mineralização que ocorre em grande escala, é sensível às interações entre as propriedades do solo (físicas, químicas e biológicas) com o ambiente, e esses fatores nunca atuam separadamente um do outro.

O estoque de MOS apresenta rápida queda quando o solo é submetido a sistemas de preparo com intenso revolvimento (SILVA *et al.*, 1994), decorrente do aumento das perdas por erosão hídrica e oxidação microbiana. Esta perda de MOS reflete-se negativamente na CTC

(SILVA *et al.*, 1994) e na complexação de elementos tóxicos como o Al (MENDONÇA, 1995) nos solos. As boas propriedades físicas do solo, como a macroagregação, porosidade e infiltração de água são parcialmente perdidas (RESCK, 1997).

O aumento e a estabilidade dos estoques de C no sistema solo reduzem a emissão de CO₂ para a atmosfera e o agravamento do efeito estufa, contribuindo com estratégias de desenvolvimento limpo (IPCC, 2013). No solo, a estabilidade química do C ocorre com a formação de SH, por meio de um processo genericamente denominado humificação.

As SH da MOS influenciam diretamente as propriedades física, química e microbiológica dos ambientes onde estão presentes, assim como afetam o metabolismo e o crescimento das plantas (CANELLAS *et al.*, 2005). Elas atuam no enraizamento de diversas plantas de interesse agrônomo, assim como exercem efeitos estimulantes na parte aérea, como incrementos do acúmulo de nutrientes foliares e síntese de clorofilas (BALDOTTO *et al.*, 2009). Estudos revisados por Baldotto & Baldotto (2014), apontaram que as SH estimulam a atividade e promoção da síntese das enzimas H⁺-ATPases da membrana plasmática das células vegetais, num efeito semelhante ao das auxinas (PICCOLO, 2001; NARDI *et al.*, 2002; CANELLAS *et al.*, 2002; CANELLAS & OLIVARES, 2014).

As melhorias das propriedades químicas ocorrem em função da atuação como agentes complexantes, o que desfavorece a manutenção de íons metálicos na solução do solo e, assim, promovem redução da toxidez destes elementos. Além disso, aumentam o poder tampão dos solos, reduzindo as variações de pH do meio (MCCARTHY, 2001). As melhorias nas propriedades físicas ocorrem através da maior retenção de água, melhoria da aeração e, por consequência, maior resistência à erosão devido às suas partículas coloidais, que são capazes de formar uma emulsão em contato com a água (KIEHL, 1985). As menores respostas à adubação observadas em nossos solos, com os anos de cultivo, seriam, em boa parte, resultantes da degradação das propriedades físicas desses solos, levando ao aumento de suas Ds e, como consequência, à retenção com maior energia pelo solo de nutrientes com menores coeficientes de difusão. Com a compactação, aumenta a participação de microporos; com o aumento da energia de retenção da água no solo, aumenta a interação desses íons com os colóides ao longo de sua trajetória de difusão, fazendo com que o íon tenha de se difundir cada vez mais próximo de superfícies adsorventes, que os retêm. Para que o íon continue chegando até às raízes, doses cada vez maiores terão de ser aplicadas, com vistas em aumentar a saturação nessas superfícies adsorventes pelo elemento e em manter o fluxo difusivo em níveis pelo menos razoáveis, em termos de demanda da planta.

O incremento de P solúvel através da complexação de Fe⁺² e Al⁺³ em solos

ácidos e do Ca^{+2} em solos alcalinos, também são características das SH. Com isso, tem-se que as SH promovem melhoria na agregação do solo e, assim, redução da Ds, maior capacidade de retenção de água, estabilidade no pH, aumento da CTC e da MOS, menor perda de nutrientes potenciais e redução na perda de nitrato (SASAL *et al.*, 2000; TEJADA *et al.*, 2008; GONZÁLEZ *et al.*, 2010). Segundo Beauclair *et al.* (2007), o efeito mais evidente dos AH é sobre sua dinâmica no N amoniacal, já que quando há adição de ácidos no solo, ocorre aumento da concentração de NH_4^+ e redução de NH_3^- . Com isso ocorre uma diminuição significativa da forma mais volátil do N e este processo ainda gera radicais orgânicos com carga negativa que têm grande afinidade com NH_4^+ , ajudando a retê-lo, diminuindo sua lixiviação no solo, deixando-o mais disponível às plantas.

Em estudo com avaliação das propriedades redox de AH em solos cultivados com cana por longo tempo, foi demonstrado que estas substâncias, originadas da palhada e da vinhaça da cana, resultam em maiores teores de grupos fenóis, quinonas e semiquinonas, além de CO_2 mais elevado do que em solos com cana queimada e sem vinhaça (BALDOTTO *et al.*, 2008). Isso retrata o importante papel dos AH como condicionadores de solo devido a suas propriedades redox.

4. INTRODUÇÃO

A rápida degradação do solo sob exploração agrícola no mundo, especialmente nos países tropicais em desenvolvimento, despertou a preocupação com a qualidade do solo e a sustentabilidade da exploração agrícola (LAL & PIRCE, 1991). De acordo com a FAO (2015), cerca de 33% dos solos do mundo estão degradados. Com a intensificação da degradação há a redução do teor de C no solo e conseqüente aumento de CO_2 liberado para a atmosfera. O sequestro de C no solo tem um importante papel ambiental, uma vez que a melhor utilização das áreas cultivadas vem sendo apontados como alternativas para medidas mitigadoras de mudanças climáticas, tema principal da conferência das Nações Unidas que acontecerá em Paris em 2021 (FAO, 2015). O solo é apontado como o maior compartimento de C, porém, devido à suscetibilidade a perdas, tanto a curto como a longo prazo, o COT do solo deve ser preservado para minimizar os impactos negativos das mudanças climáticas (MACHADO, 2005). Temperaturas mais altas e eventos climáticos extremos relacionados, tais como secas, inundações e tempestades impactam diretamente na fertilidade do solo.

O manejo inadequado do solo por meio das atividades agropecuárias pode trazer graves conseqüências com o tempo, exaurindo suas reservas orgânicas e minerais,

transformando solos com grande potencial de produção em solos de baixa fertilidade (DUARTE *et al.*, 2014).

Um solo sob cultivo tem suas características físicas, químicas e biológicas afetadas, o que promove alterações tanto na camada arável quanto nas subjacentes, sendo que os nutrientes e teor de MOS, por sua vez, tendem a diminuir a medida em que aumenta o tempo de cultivo, atribuído principalmente à erosão (GREENLAND, 1981). Ademais, Ros & Aita (1996) afirmam que pela erosão ocorrem perdas expressivas de solo e nutrientes, sendo o N o elemento mais afetado nesse processo, o que provoca limitações da produtividade das culturas, em face da principal fonte desse elemento no solo ser a MOS da camada superficial, a qual sofre perda seletiva durante a erosão hídrica.

A MOS é um indicador sensível de alterações do solo, decorrentes do seu uso e ocupação. O estoque, as formas de C orgânico e as características químicas do solo estão estreitamente relacionados e variam de acordo com as práticas de manejo (DERPSCH, 1997; DIAS & GRIFFITH, 1998; ESWARAN *et al.*, 2001; REIS & RODELLA, 2002; CERRI *et al.*, 2003; LAL, 2004; CARVALHO *et al.*, 2010; BALDOTTO *et al.*, 2010).

Em ambientes altamente intemperizados a fertilidade do solo depende fundamentalmente da quantidade e da qualidade da MOS. Portanto, o nível de MOS é um dos principais fatores condicionantes da sua produtividade e equilíbrio do sistema. De forma geral, as principais limitações dos solos tropicais, sobretudo da maioria dos Latossolos, são o insuficiente desenvolvimento de cargas elétricas negativas (baixa CTC), a elevada fixação de fosfatos, a baixa disponibilidade de nutrientes (bases e P) e as altas concentrações de íons alumínio tóxicos (Al^{3+}), podem ser minimizados com a preservação e o incremento dos teores de COT do solo, uma vez que a MOS apresenta grupos funcionais eletricamente carregados, que aumentam a CTC e diminuem a adsorção específica de P, disponibiliza nutrientes e tem a capacidade de complexar íons Al, reduzindo sua toxicidade (BALDOTTO *et al.*, 2010).

A utilização de plantas de coberturas vegetal como uma prática de conservação do solo, manutenção da fertilidade e produtividade agrícola, demonstra-se como uma alternativa favorável para o uso sustentável do solo (CAETANO *et al.*, 2013). Seu objetivo é produzir grandes quantidades de resíduos vegetais suficiente para cobrir o solo e elevar os teores de MOS (GIONGO *et al.*, 2011).

Mielniczuk (1994) relata que em regiões tropicais, onde predomina o clima quente e úmido, o manejo adequado das culturas é de suma importância, pois as condições climáticas nessa região aceleram a decomposição dos resíduos, causando redução do acúmulo de MOS e consequente degradação do solo em sistemas de exploração agrícola que não

realizam práticas conservacionistas. Entre os diversos fatores que controlam a decomposição de resíduos vegetais no solo, a produção e a composição do tecido vegetal exercem forte influência na formação e permanência da cobertura do solo. As concentrações de N e de compostos orgânicos tais como lignina, hemiceluloses e celulose regulam a velocidade de decomposição dos resíduos vegetais e afetam a dinâmica das frações e o acúmulo da MOS (CARVALHO *et al.*, 2011; 2012; SANTOS, *et al.*, 2014; CARVALHO *et al.*, 2015).

A identificação de espécies para a diversificação dos sistemas produtivos é peça basilar para a sustentabilidade dos agroecossistemas. A partir desse princípio diversas espécies vêm sendo estudadas no sentido de identificar novas possibilidades de cultivo que contemplem o conceito de múltiplos propósitos como cobertura de solo, recuperação da fertilidade, produção de forragem para o gado e grãos para a alimentação humana e animal. A diversidade de espécies vegetais associada à sucessão, rotação e consórcio de cultivos, e ainda, quando no sistema PD, condicionam o manejo eficiente e sustentável do solo, propiciando condições mais favoráveis para o estoque de C e N nas camadas superiores e, ao longo do tempo de adoção, nas suas camadas mais profundas. A inclusão de leguminosas como adubo verde fornece o N utilizado preferencialmente pelos microrganismos sintetizadores das frações mais estáveis da MOS, ou seja, as HUM (RIBEIRO, *et al.*, 2011; SANTOS *et al.*, 2014).

A América Tropical é o maior centro de diversidade de leguminosas do mundo. Devido a diferentes combinações de condições edáficas e climáticas, o Brasil tornou-se um dos mais importantes centros de diversificação de plantas. A *Cratylia argentea* ocorre em diversos tipos de habitats, mas com maiores populações no Cerrado brasileiro (RAMOS *et al.*, 2013). É uma leguminosa silvestre predominantemente arbustiva, profusamente ramificada desde a base e com elevada resistência à seca, solos ácidos e de baixa fertilidade (MATTAR, 2015); apresenta boa capacidade de rebrota e elevada produção de forragem, mantendo-se verde e enfolhada durante todo o ano (ANDERSSON *et al.*, 2006); conta com um sistema radicular vigoroso e profundo (até 2m de comprimento), rápido estabelecimento e boa capacidade de colonização da área; tolera bem o fogo e o ataque de formigas, atrai insetos como Mamangava (*Xilocopa sp.*), abelhas europa (*Apis mellifera*) e outros polinizadores durante a época da floração (OTERO, 1961; PURCINO & LYND, 1982; MATRANGOLO, 2018).

Segundo estudos preliminares de Matrangolo *et al.* (2018), a *C. argentea* apresenta grande potencial como adubo verde, sendo capaz de incorporar ao solo até 300 kg N⁻¹ ha⁻¹ ano⁻¹. Apesar de não apresentar nectários extraflorais, a florada duradoura (abril a setembro) oferece alimento aos insetos mesmo durante períodos de reduzida pluviosidade (MATRANGOLO *et al.*, 2019), atuando no favorecimento de populações de insetos agentes de

controle biológico e como pasto apícola. No grupo das espécies de crescimento arbustivo, *C. argentea* está entre as leguminosas que mais se destacaram nas avaliações conduzidas com esta espécie em solos pobres e ácidos, inclusive quando comparado a outras espécies arbustivas já consolidadas no mercado (MMA, 2016). Oliveira *et al.* (2004) demonstraram que as lectinas extraídas das sementes de *C. argentea* tem atividade inseticida contra *Callosobruchus maculatus*, a praga do feijão frade (*Vigna unguiculata*). Outro estudo apontou seu alto potencial para revegetação em colúvio de voçorocas, tendo sobrevivido ao período crítico de seca e sobre substrato oligotrófico sem adição de fertilizantes ou irrigação (MARQUES *et al.*, 2014). A *C. argentea* também foi usada para recuperar áreas atingidas por rejeito de minério oriundos da Barragem de Fundão em Mariana, Minas Gerais (COSTA *et al.*, 2018). Ademais, é usada na suplementação animal devido ao seu alto valor nutritivo, destacando-se entre as leguminosas arbustivas adaptadas aos solos ácidos, possuindo faixa de proteína bruta entre 18% e 30% da matéria seca e com apenas vestígios de tanino, valor próximo ao da *Gliricidia sepium* e da *Leucaena leucocephala*, espécies também utilizadas como forragens (SARRIA & MARTENS 2013; SILVA *et al.*, 2017; MORA *et al.*, 2017; PEREIRA *et al.*, 2018). Estudos realizados no Brasil e em outros países da América Latina têm confirmado que cabras (SILVA *et al.*, 2017, 2018), coelhos (CÂMARA, 2017), suínos e bovinos (XAVIER *et al.*, 1995; ARGEL & LASCANO, 1998; MORA *et al.*, 2017, 2018) aceitam bem a *C. argentea* em sua dieta.

Esta espécie proporciona alimento, lenha, forragem e contribui para melhorar o solo mediante fixação de nitrogênio, ciclagem de nutrientes, aporte de MOS e prevenção de erosão. Diante da revisão deste trabalho, foi possível perceber que os estudos relacionados à *C. argentea* são, em sua maioria, sobre densidades de semeadura; altura, frequência, idade e época do ano para primeiro e demais cortes; estado fisiológico; resposta a aplicação de fertilizantes químicos e à inoculação com rizóbios; produção, qualidade, armazenamento e viabilidade de sementes; potencial de produção de matéria seca e proteína, composição química, digestibilidade e aceitabilidade; estudos anatômico e histoquímicos; estudos de seus aspectos ecológicos como padrões fenológicos, reação a fatores bióticos, abióticos e seu potencial como abrigo de artrópodes e seus agentes de controle biológico em seu dossel.

Como apontado em um levantamento feito pela secretaria de Biodiversidade do Ministério do Meio Ambiente em 2016, a *Cratylia argentea* é uma espécie forrageira nativa de uso potencial promissor em solos tropicais que carece de estudos. Mediante pouca informação disponível na literatura o objetivo geral deste projeto foi determinar os estoques de carbono orgânico e suas frações e avaliar a fertilidade de solos cultivados com *Cratylia argentea*.

5 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado em Florestal-MG, no setor de Floricultura. A área pertence à Universidade Federal de Viçosa – Campus Florestal (UFV-CAF), localizada nas coordenadas de 19°52'16,3"S e 44°25'26,1"W, a uma altitude de aproximadamente 750 metros.

5.1 *Plantio da área amostral*

O plantio foi realizado no primeiro semestre de 2016 pelos alunos Luciano Amaral de Souza e Rodrigo Leonardo de Almeida. Toda a colheita foi feita manualmente quando as vagens encontravam-se secas na coloração cinza com marrom claro. Quando as vagens estão maduras apresentam alta rigidez, abrindo-se naturalmente: fruto deiscente. Por apresentarem uma maturação completamente desuniforme foi preciso fracionar a colheita. Depois de colhidas, eram armazenadas dentro de sacos de ráfia até a sua abertura natural em local protegido. Mesmo abrindo sozinhas, as vagens ainda permaneciam com algumas sementes presas, sendo necessário sua separação e pré-limpeza. Após isso as sementes eram depositadas em garrafas PET descartáveis até o término da colheita. Para plantio foi utilizado sacos plásticos (30x15cm) preenchidos com substratos na proporção de 50% de um horizonte subsuperficial de um latossolo vermelho distrófico e 50% de esterco bovino curtido. Foram semeadas 840 sementes, duas por saquinho, sendo uma posteriormente desbastada restando 420 mudas. As mudas foram irrigadas três vezes por semana e foi feito o controle de plantas invasoras caso fosse necessário. A germinação foi de 85%, sendo as 360 mudas adultas que germinaram transferidas para a área experimental no espaçamento de 1 x 1 m.

5.2 *Coleta das amostras*

O solo onde o experimento foi conduzido é um Argissolo Amarelo Distrófico conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2018). A amostragem foi realizada de acordo com as recomendações para o Estado de Minas Gerais, apresentadas por Alvarez V. *et al.*, (1999). Foram amostradas duas áreas: uma que está sob o cultivo de *Cratylia argentea* já estabelecido a mais de 5 anos e uma área ao entorno desta, com solo descoberto, utilizada como controle. As amostras foram coletadas com auxílio de um trado tipo Sonda nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm. Foram retiradas 20 amostras simples em cada profundidade

para compor uma amostra composta de cada tratamento, sendo eles: Cratylia 0-20; Cratylia 20-40; Controle 0-20; Controle 20-40. Os pontos foram coletados em zigue-zague buscando sempre evitar as áreas próximas à bordadura. As amostras foram destorroadas, peneiradas em malhas de 2 mm e secas em bancadas à sombra para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA), que foi usada para as análises química e física do solo (EMBRAPA, 2017).

5.2 Análises químicas do solo

As análises químicas foram realizadas em triplicata, para isso foram tomadas três subamostras de TFSA em cada tratamento. A descrição dos métodos analíticos está contida no Manual de Análises do Solo (EMBRAPA, 2017).

A acidez ativa foi determinada pelo pH em água, usando a relação solo:solução na proporção 1:2,5. A acidez potencial (H + Al) foi extraída com acetato de cálcio tamponado a pH 7,0 e determinada por titulação com NaOH em presença de fenolftaleína como indicador.

O teor de alumínio trocável (Al^{3+}), Ca e Mg foram extraídos com solução de KCl, sendo o Al^{3+} determinado pela titulação do extrato com NaOH em presença de fenolftaleína como indicador e, o Ca e Mg, pela titulação do extrato com EDTA na presença dos indicadores murexida e negro de eriocromo, respectivamente.

O K e o P disponíveis foram extraídos com a solução extratora Mehlich-1. A determinação do K foi feita por espectrofotometria de chama e o P por colorimetria.

A partir dos resultados analíticos, foram calculadas a SB, a capacidade de troca catiônica efetiva (t) e potencial (T), a percentagem de saturação por alumínio (m) e a saturação por bases (V).

O teor de N total foi determinado usando o método de Kjeldahl por destilação a vapor, na qual o N é convertido a sulfato de amônio através de oxidação com uma mistura de CuSO_4 , H_2SO_4 e K_2SO_4 .

5.3 Estoques de carbono

Para avaliação do teor de carbono orgânico, foi empregado o princípio da oxidação da matéria orgânica com dicromato de potássio em meio sulfúrico e titulação com sulfato ferroso amoniacal (método Walkley & Black). A percentagem de matéria orgânica foi calculada multiplicando-se o resultado do carbono orgânico por 1,724. Este fator é utilizado em virtude de se admitir que, na composição média do húmus, o carbono participa com 58%.

O Estoque de Carbono (EC) foi calculado conforme Baldotto *et al.* (2010) por meio da equação 1:

$$EC = C * p * D_s * 10 \quad (1)$$

na qual, C é o teor de carbono orgânico em g kg⁻¹; p é a camada amostrada em m; D_s é a densidade do solo em Mg m⁻³. O EC será apresentado, conforme o Sistema Internacional de Unidades, em megagrama por hectare (Mg ha⁻¹), sendo Mg equivalente à tonelada.

A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico, no qual coleta-se amostras de solo com estruturas indeformadas através de um anel de aço (kopecky) de bordas cortantes e volume interno conhecido. Foi feito 5 repetições em cada tratamento.

5.4 Fracionamento da matéria orgânica

O fracionamento, a extração e a purificação do carbono orgânico do solo seguiram as recomendações da *International Humic Substances Society* (IHSS, 2019) e foram descritas por Thurman & Malcolm (1981). Inicialmente, 4g de cada amostras foi tratada com 40 mL H₃PO₄ 2 mol L⁻¹ (agitação, em tubos centrífuga, por 30 minutos). Após essa agitação, foi realizada a centrifugação a 3000 rpm, durante 10 minutos. O sobrenadante foi filtrado em papel filtro e a operação foi repetida mais três vezes utilizando a mesma amostra. O material retido no papel filtro foi pesado e identificado como MOL e a solução filtrada foi titulada com solução padrão de sulfato ferroso amoniacal 0,25 mol L⁻¹ (sal de Mohr) para determinação do teor de carbono orgânico contendo AFL. Para a extração de substâncias orgânicas alcalino-solúveis, foi adicionado ao tubo de centrífuga 40 mL NaOH 0,5 mol L⁻¹ contendo o precipitado do extrato obtido na etapa anterior. Esse sistema foi deixado em repouso por 16 horas. Após isso as amostras foram centrifugadas por 10 minutos e os sobrenadantes forão recolhidos. Essa operação foi repetida mais três vezes, contudo o tempo de repouso das amostras foi de 4 horas. O sobrenadante contendo as SH e os precipitados residuais contendo HUM tiveram seus teores de carbono orgânico determinados por titulação com solução padrão de sulfato ferroso amoniacal 0,5 mol L⁻¹ (sal de Mohr). Parte desse sobrenadantes da operação anterior foi acidificado, até pH 1,5, com ácido sulfúrico e, a seguir, centrifugado, para a separação das SH em AH, no precipitado, e de AF, no sobrenadante. O sobrenadante foi então titulado com sulfato ferroso amoniacal 0,25 mol L⁻¹ para determinação do teor de carbono orgânico da fração AF. O

AH foi calculado pela diferença entre a SH e os AF. Para determinação da fração HUM, o precipitado dos tubos de centrífuga de 50 mL foram transferidos quantitativamente (sem perdas de material) para tubos de digestão, secos em estufa aquecida a 65°C (até a secagem completa) e, após isso, foram adicionados 5 mL de $K_2Cr_2O_7$ 0,1667 mol L⁻¹ e 10 mL de H₂SO₄ concentrado a cada amostra e em quatro tubos vazios (brancos). Os tubos com as amostras e dois dos quatro brancos foram levados ao bloco digestor pré-aquecido a 150°C e deixados por 30 minutos, sob exaustão. Ao final, transferiu-se quantitativamente o conteúdo dos tubos de digestão para frascos Erlenmeyer de 125 mL (amostras + dois brancos aquecidos + dois brancos sem aquecimento), adicionaram-se 3 gotas de indicador ferroin e titulou-se com sulfato ferroso amoniacal 0,25 mol L⁻¹ sob agitação.

5.5 Análises estatísticas

Os resultados foram esquematizados em comparações entre a área cultivada com *Cratylia argentea* e a área adjacente a esta, testemunha. Foram determinadas as médias e os seus respectivos erros padrões e comparados pelo teste t de student pareado a 5% de significância.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de todas as análises conduzidas durante esse estudo foram distribuídas em 3 tabelas: a tabela 1 contém as análises químicas de rotina; a tabela 2 o fracionamento da matéria orgânica e, a tabela 3, o teor de carbono orgânico total, densidade, estoque de carbono, nitrogênio orgânico total e a relação C/N.

Tabela 1 - Características químicas do solo cultivado com *C. argentea* x Testemunha.

	Características químicas ⁽¹⁾									
	MOS	pH	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	t
	dag kg ⁻¹		mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³				
Camada 0 - 20 cm										
<i>C. argentea</i>	2,82±0,01	6,53±0,03	77,83±2,32	429,89±26,24	4,11±0,18	1,48±0,08	0,00±0,00	3,55±0,09	6,69±0,20	6,69±0,20
Testemunha	2,61±0,10	6,16±0,06	78,02±2,63	364,39±19,25	3,31±0,12	1,37±0,06	0,00±0,00	4,35±0,00	5,61±0,12	5,61±0,12
Camada 20 - 40 cm										
<i>C. argentea</i>	1,88±0,04	5,74±0,13	12,63±0,59	238,25±6,06	2,29±0,02	1,01±0,14	0,00±0,00	4,40±0,23	3,91±0,15	3,91±0,15
Testemunha	1,92±0,10	5,33±0,01	17,72±1,89	213,02±7,70	1,95±0,07	0,72±0,12	0,00±0,00	4,85±0,17	3,22±0,09	3,22±0,09

⁽¹⁾Características Químicas: MOS = matéria orgânica do solo (Walkey & Black); pH = relação solo:água na relação 1:2,5; P e K = extrator Mehlich-1; Ca²⁺, cálcio 0,5 mol L⁻¹, ph 7,0; SB = K⁺ + Ca²⁺ + Mg²⁺ + Al³⁺; t = SB+Al³⁺; T = SB+(H+Al); V = (SB/T)x100; m = (Al³⁺/t)x100; P-rem = fósforo remanescente, contido durante uma hora a TFSA com solução CaCl₂ 10 mmol L⁻¹, contendo 60 mg L⁻¹ de P, na relação 1:10; As médias estão acompanhadas do seu desvio padrão; O teste t de student a 5% de significância.

Tabela 2 - Fracionamento da matéria orgânica do solo cultivado com *C. argentea*.

	Fracionamento ⁽¹⁾					
	MOL	AFL	AF	AH	HUM	CT
	g kg ⁻¹					
Camada 0 - 20 cm						
<i>C. argentea</i>	2,66±0,08	0,13±0,03	0,35±0,06	0,25±0,07	13,42±0,38	16,33±0,03
Testemunha	2,03±0,07	0,10±0,03	0,24±0,06	0,19±0,13	10,71±0,25	15,13±0,40
Camada 20 - 40 cm						
<i>C. argentea</i>	2,59±0,03	0,13±0,03	0,20±0,06	0,00±0,00	7,36±0,14	10,91±0,16
Testemunha	1,94±0,09	0,07±0,00	0,00±0,00	0,06±0,07	7,73±0,17	11,16±0,39

⁽¹⁾Fracionamento: MOL = matéria orgânica leve; AFL = ácidos fúlvicos livres; SH = substâncias húmicas; AF = ácidos fúlvicos recuperados; REC = recuperação do método em relação ao CT; AH/AF = relação entre as frações ácidos húmicos e ácidos fúlvicos. As médias estão acompanhadas do seu desvio padrão; Os dados em **negrito** apresentaram diferença significativa entre os tratamentos pela test t de student a 5% de significância.

Tabela 3 - Teor de carbono orgânico, densidade do solo e estoque de carbono do solo sob cultivo de *C. argentea*.

	C g kg ⁻¹	DS Mg m ⁻³	EC Mg ha ⁻¹	N mg g ⁻¹	Relação C/N
Camada 0 - 20 cm					
<i>C. argentea</i>	16,33±0,04	1,34±0,02	43,44±0,10	1,21±0,02	13,53±0,19
Testemunha	15,13±0,56	1,22±0,02	36,61±1,35	1,10±0,04	13,83±0,98
Camada 20 - 40 cm					
<i>C. argentea</i>	10,91±0,23	1,45±0,02	63,30±1,31	0,80±0,01	13,68±0,53
Testemunha	11,16±0,55	1,45±0,03	64,73±3,21	0,76±0,03	14,72±0,19

C = teor de carbono no solo (Walkley & Black); DS = densidade do solo; EC = estoque de carbono do solo; N= teor de nitrogênio no solo (Kjadel); C/N = relação entre o teor de carbono e teor de nitrogênio no solo. As médias estão acompanhadas do seu desvio padrão; Os dados em negrito apresentaram diferença significativa entre os tratamentos pela test t de student a 5% de significância.

O acúmulo de serapilheira sob o solo cultivado com *C. argentea* não proporcionou incremento no teor (quantidade) da MOS em nenhuma das duas profundidades amostradas (figura 1), mas modificou as suas frações (qualidade), como será abordado adiante. Resultado semelhante foi encontrado por Nascimento *et al.* (2003) quando estudaram 12 leguminosas durante três anos de uso e não verificou-se incremento no teor de MOS quando comparados à testemunha.

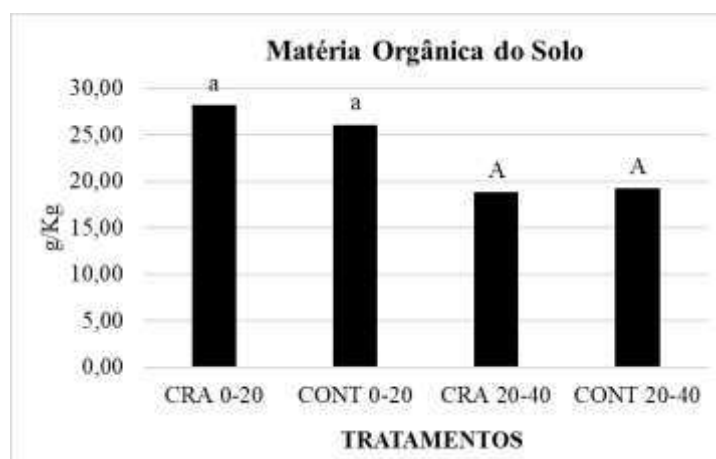


Figura 1 - Teor de matéria orgânica do solo cultivado com *Cratylia argentea* nas profundidades de 0-20 cm (CRA 0-20) e 20-40 cm (CRA 20-40) comparados estatisticamente com a área controle (sem vegetação) nas profundidades de 0-20 cm (CONT 0-20) e 20-40 cm (CONT 20-40). Letras minúsculas iguais significa que não houve diferença estatística significativa ao comparar as médias dos tratamentos na profundidade de 0-20cm pelo teste t de student a 5% de significância ($p < 0,05$). Letras maiúsculas iguais significa que não houve diferença estatística significativa ao comparar as médias dos tratamentos na profundidade de 20-40cm pelo teste t de student a 5% de significância ($p < 0,05$).

Fonte: o autor.

O acúmulo e armazenamento da MOS é um dos atributos do solo mais fortemente relacionados com a sua qualidade, tendo sido utilizado como indicador,

especialmente por ser altamente variável com o sistema de manejo adotado e correlacionar-se com a maioria dos atributos relacionados com a qualidade do solo (STEVENSON, 1994; CAMARGO *et al.*, 2008), contudo o teor de MOS é comumente menos sensível aos efeitos de tratamento a relativamente curto prazo.

A ausência de diferença significativa entre os sistemas de manejo do solo (solo cultivado com *C. argentea* e solo sem vegetação na área ao entorno) pode ser justificada pelo fato de que, apesar da MOS ser considerada uma indicadora sensível, as alterações promovidas no solo não foram suficientes para promover modificações na sua concentração (ASSIS *et al.*, 2003). Em sua maioria, os estudos sobre o efeito de sistemas de manejo têm comprovado que as modificações nos teores de MOS são lentas, necessitando de um período de tempo maior para serem detectadas. Carvalho *et al.* (2009) sugere que esse acúmulo possa levar de 10 a 15 anos para se tornar expressivo.

Outra possível explicação seria a baixa eficiência de transformação do material orgânico em MOS neste ambiente, pois é esperado que sistemas de manejo sem revolvimento do solo e com alta adição de resíduos vegetais aumentem o COT do solo (TESTA *et al.*, 1992), além de promover o acúmulo de nutrientes nas camadas superficiais (Merten & MIELNICZUK, 1992). Em solos que não recebem aplicações de esterco ou outros materiais orgânicos, o C orgânico é adicionado por meio da degradação das raízes e dos resíduos vegetais que retornam ao solo anualmente (MERTEN & MIELNICZUK, 1992). Em uma revisão, Rasse *et al.* (2005) comentaram sobre a significativa contribuição das raízes para a estabilização da MOS. O C derivado das raízes apresenta um tempo médio de residência 2,4 vezes maior que o C proveniente da parte aérea, sendo que a contribuição das raízes é 30% maior do que a contribuição da parte aérea para a MOS.

O estresse ambiental também provoca a degradação de MOS. Os principais processos de decomposição do material orgânico estão relacionados à oxidação química inorgânica, lixiviação, decomposição microbiana e desintegração por meio do solo e animais. A temperatura tem relação direta com os processos químicos do solo (PETERSEN & LUXTON, 1982). Durante os meses quentes, a elevação da temperatura com aumento das chuvas pode ter acelerado os processos de decomposição química e aumentado a atividade biológica, sendo a MOS depositada ao solo decomposta rapidamente e os produtos finais assimilados pelas plantas (MALAVOLTA *et al.*, 1986), o que não confere incremento significativo a curto prazo.

Segundo Gonçalves & Cereta (1999), a quantidade de C orgânico acumulado no solo depende fundamentalmente da quantidade de massa seca produzida pelo sistema de

cultura. Devido à sua alta taxa de produção de massa verde e consequente produção de resíduos orgânicos, em função de suas folhas mortas, galhos e a grande quantidade de raízes, a manutenção dos resíduos culturais da *C. argentea* na superfície do solo, proporcionará, ao longo do tempo, o favorecimento e o aumento da estabilidade da MOS (ROSSET *et al.*, 2016) e proporcionará maior retenção de umidade e material vegetal no solo, consequentemente, promovendo melhorias nos atributos químicos e físicos do solo (GAZOLLA *et al.*, 2015), com o passar dos anos de cultivo (ANGHINONI, 2007).

A ausência de revolvimento em sistemas de plantas de cobertura permanentes, associado ao aporte de material orgânico depositado na superfície pela *C. argentea*, estabelece um ambiente propício para os microrganismos do solo, principalmente na camada superficial, com menor variação e níveis mais adequados de temperatura e umidade. Com isso, geralmente a camada mais superficial apresenta teores mais elevados de COT em relação às mais profundas (WEST; POST, 2002; BODDEY *et al.*, 2010; ROSSET *et al.*, 2014, 2016).

A entrada de C nas camadas mais profundas do solo está relacionada, principalmente, com o aporte do sistema radicular das plantas, liberação de exsudados radiculares, lavagem de constituintes solúveis da planta pela água da chuva e transformação desses materiais carbonados pelos macro e microrganismos do solo (SILVA, 2007). Vários autores (SIQUEIRA *et al.*, 1991; SILVA *et al.*, 2004; RANGEL, 2006) relatam que a presença de espécies arbóreas ou arbustivas altamente produtivas como o eucalipto nos sistemas, tem elevada adição de resíduos que nem sempre pode estar diretamente relacionada à incorporação a curto prazo do C na MOS, pois a presença de altas concentrações de celulose, lignina e outros polifenóis, podem inibir a ação microbiana, retardando o processo de decomposição dos resíduos vegetais, fato que, por outro lado, favorece a manutenção de uma cobertura vegetal constante e elevada sobre o solo. O mesmo serviria para explicar sobre a ausência de resultados com a *C. argentea*, pois a mesma é uma espécie arbustiva com alta produtividade de matéria seca com sistema radicular profundo e vigoroso.

O solo cultivado com *C. argentea* apresentou redução da acidez ativa e da acidez potencial em ambas as profundidades (figura 2). Acredita-se que esse aumento de pH tenha ocorrido em função da permanência de resíduos vegetais sobre o solo, como foi verificado também por diversos autores, dentre os quais pode-se citar Hoyt & Turner, (1975); Hue & Amien, (1989); Miyazawa *et al.* (1993); Franchini *et al.* (1999b). Cassiolato *et al.* (1999) afirmam que além da técnica de neutralização do H^+ e Al^{3+} em solos ácidos por meio da aplicação de calcário, outra forma pode ser a aplicação de resíduos orgânicos no solo, na forma de esterco de animais, compostos e resíduos vegetais.

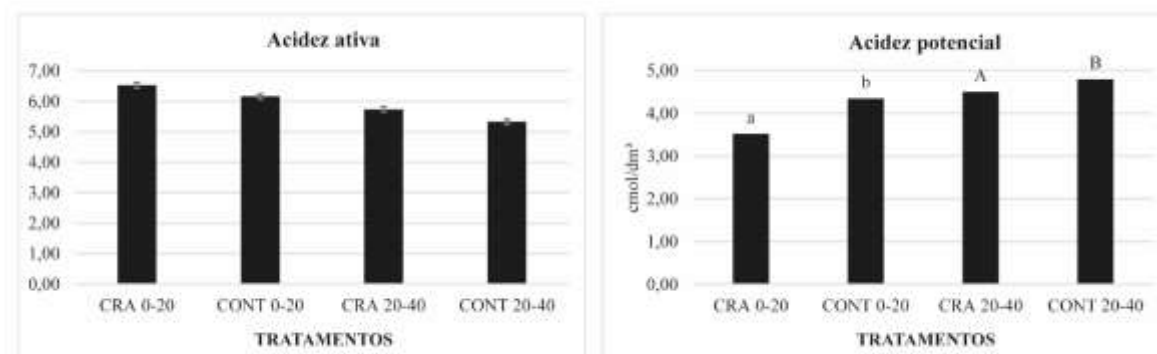


Figura 2 - Acidez ativa e acidez potencial no solo cultivado com *Cratylia argentea* nas profundidades de 0-20 cm (CRA 0-20) e 20-40 cm (CRA 20-40) comparados estatisticamente com a área controle (sem vegetação) nas profundidades de 0-20 cm (CONT 0-20) e 20-40 cm (CONT 20-40). Letras minúsculas iguais significa que não houve diferença estatística significativa ao comparar as médias dos tratamentos na profundidade de 0-20cm pelo teste t de student a 5% de significância ($p < 0,05$). Letras maiúsculas iguais significa que não houve diferença estatística significativa ao comparar as médias dos tratamentos na profundidade de 20-40cm pelo teste t de student a 5% de significância ($p < 0,05$).

Fonte: o autor.

Mello (1983) fundamenta que, a partir do momento em que a produção de massa verde das leguminosas é significativa e se dá em função da associação simbiótica, o ecossistema apresenta uma elevada atividade microbiológica que condiciona uma ciclagem dos nutrientes e uma diminuição da acidez.

O ecossistema de maior acidez foi o solo sem vegetação (testemunha), caracterizado por uma má cobertura do solo, ficando exposto às precipitações elevadas e, conseqüentemente, lixiviação das bases trocáveis e erosão laminar, o que condiciona uma maior acidez do solo. Esse resultado contradiz o que foi encontrado por Amaral *et al.*, 1995, no qual eles mostraram que as leguminosas arbustivas (*Leucaena leucocephala* e *Indigofera spectabilis*) não proporcionaram uma cobertura eficaz do solo e condicionaram altos teores de Al e um pH baixo. Contudo, muitos autores afirmam que os resíduos vegetais apresentam capacidade diferenciada quanto à neutralização da toxidez por Al^{3+} , em virtude de suas diferenças quanto aos teores de cátions e C orgânico solúvel que, normalmente, são maiores em resíduos de adubos verdes, tais como: aveia preta, nabo forrageiro, tremoços, mucunas e crotalárias.

Nascimento *et al.* (2003) estudou o comportamento do pH do solo em 12 espécies de leguminosas em três profundidades de amostragem. Verificou-se, entre os valores médios, que os das leguminosas foram significativamente superiores ($p < 0,05$) ao da testemunha nas três profundidades, de 0-10 cm, de 10-20 cm e de 20-30 cm, cujos resultados indicam efeito positivo do cultivo das leguminosas nas condições de estudo do experimento,

proporcionando diminuição considerável de sua acidez em todas as profundidades estudadas. Tal efeito pode ser atribuído à ação das leguminosas: quanto à cobertura vegetal, pelo retorno dos seus resíduos ao solo; em relação ao sistema radicular, pela maior concentração de raízes no perfil e, neste caso, favorecendo absorção maior de alguns nutrientes, principalmente dos teores trocáveis de Ca, Mg e K, o que proporciona melhorias na SB e na CTC dos solos e, desta forma, pode contribuir para uma eficiência maior da reciclagem desses nutrientes, como constatado neste experimento nas camadas 0-20 e 20-40 cm (Tabela 2). Resultados semelhantes foram encontrados por Alcântara (1998), Pequeno (1999) e Ribeiro (1999). Neste sentido, Wade & Sanchez (1983) e Sidiras & Pavan (1985) observaram a influência de algumas práticas de manejo do solo usando adubação verde em sucessão às culturas no aumento significativo do pH do solo, atribuído à cobertura vegetal com o retorno de seus resíduos na superfície do solo.

Os teores de nutrientes no solo foram afetados de forma variada (figura 3). Os processos de decomposição e mineralização são influenciados não somente pela qualidade individual dos substratos, mas também pela qualidade do microambiente, expressa pela interação de fatores físico-químicos e biota decompositora (GAMA-RODRIGUES *et al.*, 2003). Matrangolo *et al.* (2018) estimou uma contribuição de nutrientes contidos na fitomassa de *C. argentea* para a fertilidade do solo na ordem de 97,72 kg P ha⁻¹; 715,35kg K ha⁻¹; 672,35 Kg Ca ha⁻¹ e 134,89 kg Mg ha⁻¹.

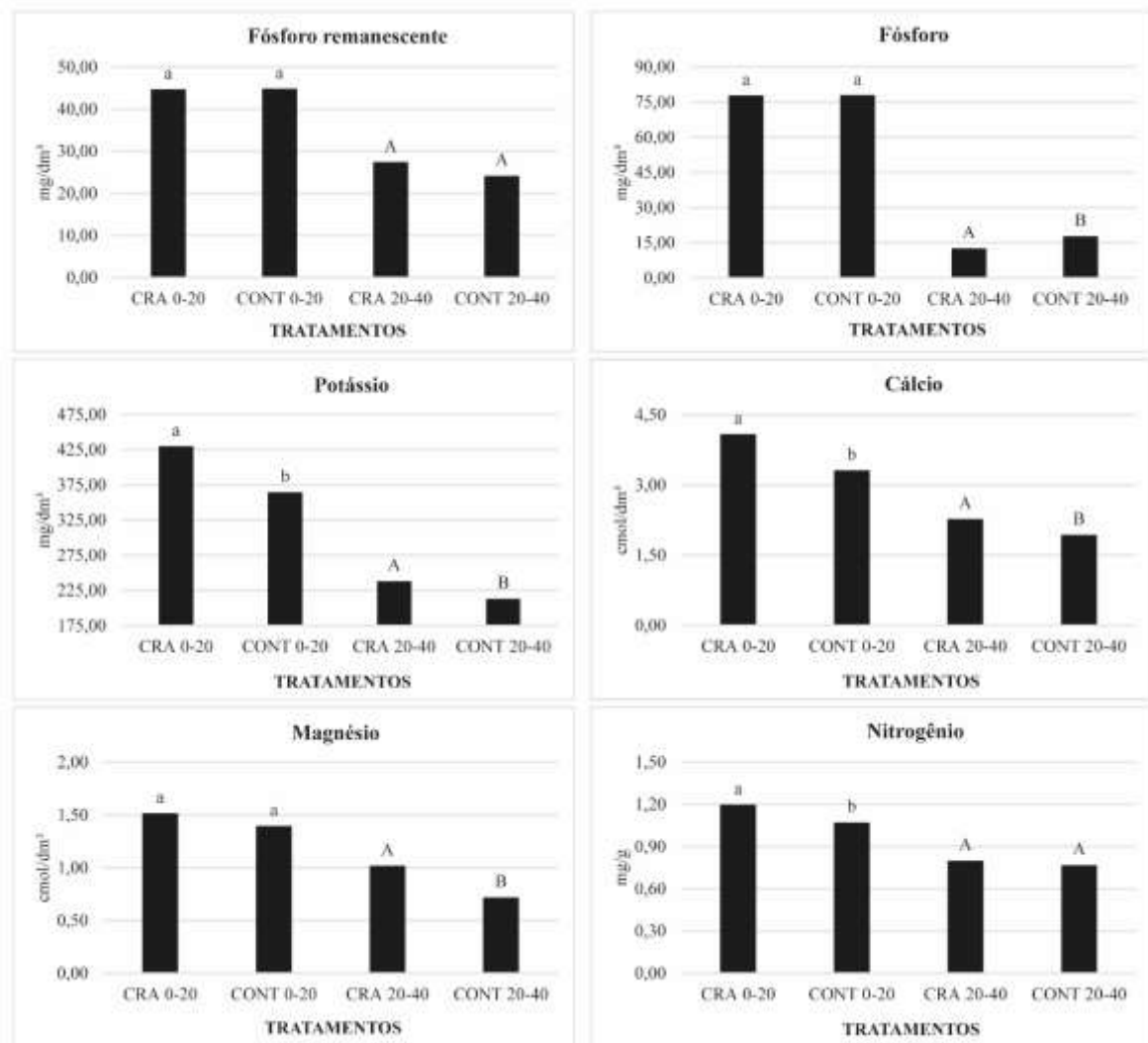


Figura 3 - Teor de fósforo, fósforo remanescente, potássio, cálcio, magnésio e nitrogênio no solo cultivado com *Cratylia argentea* nas profundidades de 0-20 cm (CRA 0-20) e 20-40 cm (CRA 20-40) comparados estatisticamente com a área controle (sem vegetação) nas profundidades de 0-20 cm (CONT 0-20) e 20-40 cm (CONT 20-40). Letras minúsculas iguais significa que não houve diferença estatística significativa ao comparar as médias dos tratamentos na profundidade de 0-20cm pelo teste t de student a 5% de significância ($p < 0,05$). Letras maiúsculas iguais significa que não houve diferença estatística significativa ao comparar as médias dos tratamentos na profundidade de 20-40cm pelo teste t de student a 5% de significância ($p < 0,05$).

Fonte: o autor.

Considerando-se o teor de P, não foi observado diferença entre as médias dos tratamentos na camada de 0-20 cm. Contudo, na camada de 20-40 cm, o solo cultivado com *C. argentea* apresentou redução do teor de P. Entre os valores médios de P do solo entre as profundidades (figura 3), constatou-se que o da profundidade de 0-20 cm foi significativamente superior ($p < 0,05$) aos da profundidade de 20-40 cm, em ambos os tratamentos. O acúmulo deste nutriente na camada superficial do solo é resultante de sua liberação em maior quantidade da decomposição dos resíduos vegetais e diminuição da sua fixação, em decorrência do menor

contato desse elemento com os constituintes do solo (SIDIRAS & PAVAN, 1985). Entretanto, tais valores observados têm tendência de diminuição à medida que se aprofundam no perfil, resultados que refletem a limitada mobilidade desse elemento no solo (MUZILLI, 1981 e 1983). Resultados semelhantes foram encontrado por Nascimento *et al.* (2003) quando estudaram 12 leguminosas durante três anos.

A inibição competitiva tem sido considerada o principal mecanismo de ação na disponibilização de P nos solos, reduzindo assim sua fixação. Essa inibição ocorre pelo bloqueio dos sítios de adsorção de fósforo, podendo ocorrer pela maior disponibilidade de K, Ca e Mg que se ligam mais facilmente a esses sítios de adsorção (PAVINATO & ROSOLEM, 2008); pelas SH das MOS (GUARESCHI *et al.* 2012); pelos exsudatos radiculares e ácidos orgânicos (RADERSMA & GRIERSON, 2004). Resultados semelhantes foram observados por Pereira *et al.* (2010) em solos do cerrado mineiro. Estes autores mencionam que o uso de plantas de cobertura em sistemas de PD pode acarretar aumento dos teores de COT e MOL e, conseqüentemente, diminuir a adsorção de fosfatos e favorecer o aumento nos teores de P-rem.

O P participa de um grande número de compostos essenciais em diversos processos metabólicos das plantas. Está presente também nos processos de transferência de energia e estimula o desenvolvimento radicular. As leguminosas, uma vez que dependem da simbiose como fonte de N, requerem alto teor de P no solo para suprir as necessidades adicionais nos processos de FBN como: ATP, ATPases, fosfatases, NADPH⁺, H⁺, entre outros (RAIJ, 1991). Uma das possíveis explicações para redução do teor de fósforo em profundidade é o uso desse íon pela microbiota do solo para realizar a FBN e sua demanda para formação do sistema vigoroso e profundo da *C. argentea*.

Com relação aos teores de K, Ca e Mg, foi observado que o solo cultivado com *C. argentea* apresentou aumento nos teores de K e Ca na camada 0-20cm e de K, Ca e Mg na camada de 20-40 cm (figura 3).

Os valores de K estão intimamente ligados com a biota do solo e sua relação com as leguminosas, a deficiência deste nutriente diminui a FBN e a capacidade de nodulação das bactérias fixadoras de nitrogênio (WERNER, 1984).

Santos *et al.* (2001), com o objetivo de avaliar a eficiência de duas leguminosas e duas gramíneas na melhoria das características químicas do solo, mostrou que houve aumento nos teores de K e Mg nas parcelas vegetadas em relação à parcela sem vegetação (testemunha), sendo estes teores maiores estatisticamente ($p < 0,01$) nas camadas mais superficiais, dependendo de cada tratamento (pangola, capim-elefante, siratro e guandu), decrescendo com a profundidade. O mesmo foi observado nesse estudo, onde o teor de K aumentou nas duas

camadas avaliadas e sendo este, maior em superfície; o teor de Mg aumentou apenas na camada de 20-40 cm, mas também foi superior na camada superficial. Resultado semelhante foi encontrado por Barretos e Fernandes (2001), avaliando o efeito da incorporação da biomassa da parte aérea da gliricídia (*Gliricidia sepium*) e da leucena (*Leucaena leucocephala*), em cultivos em alameda, sobre algumas características químicas e físicas de um Latossolo Amarelo dos tabuleiros costeiros de Sergipe. Os autores observaram que o teor de Ca+Mg aumentou na camada de 0-5 cm e 5-10 cm no tratamento com a gliricídia e leucena, sendo a que a leucena também provocou aumento no teor de Ca+Mg na camada de 10-20 cm, sendo esses resultados de acordo com o que foi encontrado para *C. argentea* também.

Nascimento *et al.* (2013) com a finalidade de avaliar o efeito de leguminosas nas características químicas de um Luvisolo degradado, estudou 12 espécies de leguminosas. Dos resultados de K observou-se, entre tratamentos, alta variação de seus valores médios, sendo que os tratamentos com leguminosas foram considerados significativamente ($p < 0,05$) superiores ao da testemunha, com destaque para as leguminosas mucuna preta, cunhã, crotalária e leucena, com os maiores valores em ordem decrescente. Estes resultados mostram também efeitos positivos das leguminosas com aumentos significativos do teor desse elemento na camada de 0-10 cm, referindo-se como de fundamental importância na sua reciclagem. Ainda segundo Eltz *et al.* (1989) os teores deste nutriente no perfil do solo tendem a decrescer com a profundidade, acompanhando os níveis de MOS. Maior concentração desse nutriente na camada superficial do solo também foi observada por Muzilli (1983), por Peixoto & Eltz (1986) e por Eltz *et al.* (1989) quando estudaram diferentes sistemas de manejo. Lourenço *et al.* (1993) estudando o comportamento da mucuna preta, kudzu tropical, guandu e leucena, relataram que estas apresentaram tendência de extraírem o K do solo em maiores quantidades, comparado com os outros nutrientes.

Nesse mesmo estudo, os resultados encontrados no solo cultivado com *C. Argentea* não segue o mesmo comportamento apresentado pelas 12 espécies estudadas por Nascimento *et al.* (2003). Na condição experimental de solo e clima, eles encontraram baixa eficiência das leguminosas estudadas em reciclar o Ca do solo, quando comparado com a testemunha, sendo o teor de Ca em superfície inferior ao encontrado em subsuperfície. Os resultados encontrados por esses autores concordam, em parte, com os de Lourenço *et al.* (1993), quando relataram que a incorporação de restos vegetais de leguminosas como guandu, kudzu tropical, mucuna preta e leucena, não contribuíram para elevar o teor desse nutriente no solo. Os resultados encontrados com essas leguminosas não foram o mesmo encontrado com a *C. argentea*, sendo o teor de Ca maior em superfície, e, sendo ela não só capaz de aumentar o

Ca na camada de 0-20 cm como também na camada de 20-40 cm, mostrando sua eficiência em reciclar esse nutriente do solo até nas camadas mais profundas.

O armazenamento do N total no solo ocorre de forma lenta. Por isso, para a observação do impacto de práticas de manejo, como a utilização de leguminosas como plantas de cobertura, sobre a disponibilidade e acúmulo de N no solo são necessários experimentos de longa duração (WEBER; MIELNICZUK, 2009). No caso da *C. argentea*, seu cultivo proporcionou aumento no teor de N na camada de 0-20 cm já a partir do 5º ano de cultivo, não sendo observado diferenças significativas na camada de 20-40 cm (figura 3).

Diversos indicadores têm sido estudados para explicar a influência da composição química dos resíduos vegetais na sua decomposição e liberação de nutrientes no solo. Entre os indicadores existentes na planta, é possível citar: teor de N, relação C/N, teor de lignina, relação lignina/N, teor de polifenóis e relação polifenóis/N.

De maneira geral, resíduos com baixa relação C/N e reduzidos teores de lignina e polifenóis apresentam rápida mineralização e fornecem grande quantidade de N para as outras culturas, ao passo que resíduos com alta relação C/N e elevados teores de lignina e polifenóis decompõem-se mais lentamente, podendo causar a imobilização de N para os cultivos posteriores.

Trinsoutrot *et al.* (2010) mostraram em seu estudo, ao avaliar 47 tipos de resíduos culturais, que quando o material apresenta a relação C/N inferior a 24 é capaz de elevar os teores de N no solo. Cobo (2002) estudando a decomposição e mineralização da leguminosa *C. argentea* encontrou uma relação C/N no valor de 13,5. Ainda, de acordo com o autor, os valores obtidos para a lignina foram de 30,36% e 25,57% para celulose.

Considerando o que foi dito, uma possível explicação para o acúmulo de N na camada superficial foi a baixa relação C/N da *C. argentea*, o teor de lignina mais elevado e as maiores relações lignina/N no componente folha, uma vez que as folhas representam a maior fração constituinte da serapilheira para esta espécie e sendo a lignina um material altamente resistente à decomposição.

O potencial para adubação verde está ligado ao potencial de fixação de nitrogênio atmosférico por rizóbios (RAMOS *et al.*, 2003), o que promove o aumento da atividade biológica no solo, favorecendo a cultura. A produção de biomassa é um dos principais parâmetros para uma espécie ter potencial como adubo verde.

Gomes *et al.* (2015) estudou o manejo inicial da *C. argentea* para seu uso como adubo verde e desempenho em sistemas de aleias, avaliando a produção de fitomassa e

aporte de macro e micronutrientes num período aproximado de 21 meses. Foram produzidos 689,1 kg de fitomassa (43,02 t ha⁻¹) que gerou um aporte de N da ordem de 481,68kg ha⁻¹.

Cerca de 30% da fitomassa total é composta de ramas, não incluídas no cálculo do N fixado e dos demais macro e micronutrientes, que foram, portanto, subestimados. A estiagem intensa e baixas temperaturas provoca redução significativa no aporte de fitomassa.

Matrangolo *et al.* (2018) conduziu um experimento semelhante durante 56 meses. Nesse período foram produzidos 117,2 t ha⁻¹ de fitomassa seca de folhas de *C. argentea*, na densidade de 6.400 plantas ha⁻¹, o que gerou um aporte de N de 1.336,9 kg ha⁻¹ (ou cerca de 290 kg ha⁻¹ ano⁻¹), além de outros minerais reciclados. Nesse arranjo, as fileiras, espaçadas de 4 m, permitem a mecanização. Além de apresentar teores de macro e micronutrientes importantes, a *C. argentea* apresenta a vantagem de ser perene, não sendo necessária a ressemeadura.

No estudo de Gama *et al.* (2010), a *C. argentea* apresentou o maior acúmulo de massa seca (cerca de 40 a 50% da produção do período chuvoso), e maior percentual de material comestível (folha + hastes finas) durante as avaliações do período seco, o que reflete a adaptabilidade dessa planta a esse tipo de ambiente.

A maior produção de matéria seca está relacionada com a densidade e a idade das plantas no momento do corte, alcançando rendimentos de até 14 e 20 t MS ha⁻¹ ano⁻¹, como demonstrado na época da seca produzem entre 40 e 50% da forragem total, com alta capacidade de retenção de folhas verdes.

De todos os nutrientes acumulados na fitomassa das leguminosas, o N representa um real aporte ao sistema, principalmente pelo incremento do elemento ao solo pela fixação simbiótica. Campello *et al.* (2008) verificaram que do total de N acumulado no calopogônio, 71,9% são oriundos da FBN. Espindola *et al.* (2006) em estudo com o cudzu tropical e amendoim forrageiro, identificaram que nestas espécies os valores de N oriundos da FBN foram de 86,2 e 66,9% respectivamente; enquanto o estilosantes e a soja perene teriam em média, 70% do N total proveniente da FBN, segundo afirmativa de Giller (2001). Tomando como referência esses valores, pode-se estimar que os valor de N aportado via FBN pela *C. argentea* no trabalho desenvolvido por Matrangolo *et al.* (2018), representa quantidades suficientes para suprir as necessidades de N de uma gama de culturas.

O cultivo da *C. argentea* proporcionou um aumento na t em ambas as profundidades. Contudo, não foi observado nenhuma diferença entre as médias dos tratamentos em nenhuma das duas profundidades para T. Relacionando-se a SB com a CTC dos solos,

observou-se que houve um aumento da SB e da V tanto na camada superficial, quanto em subsuperfície, no solo cultivado com *C. argentea* (figura 4).

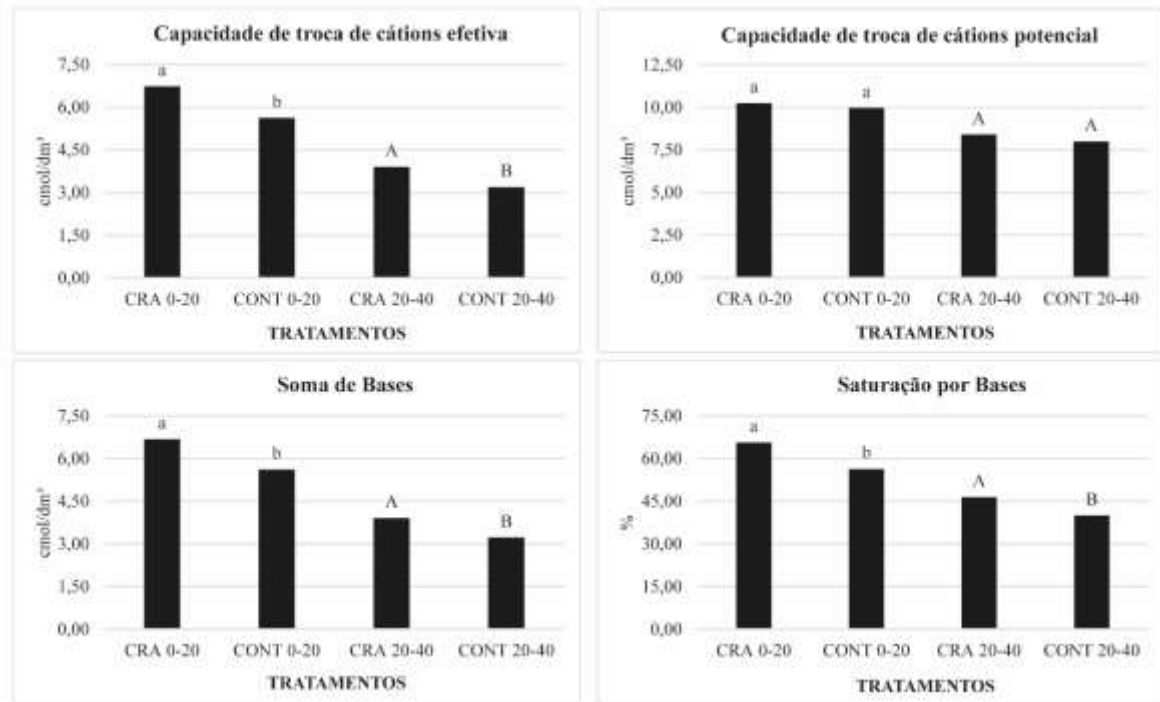


Figura 4 - Capacidade de troca de cátions efetiva e potencial, soma de bases e saturação por bases no solo cultivado com *Cratylia argentea* nas profundidades de 0-20 cm (CRA 0-20) e 20-40 cm (CRA 20-40) comparados estatisticamente com a área controle (sem vegetação) nas profundidades de 0-20 cm (CONT 0-20) e 20-40 cm (CONT 20-40). Letras minúsculas iguais significam que não houve diferença estatística significativa ao comparar as médias dos tratamentos na profundidade de 0-20cm pelo teste t de student a 5% de significância ($p < 0,05$). Letras maiúsculas iguais significam que não houve diferença estatística significativa ao comparar as médias dos tratamentos na profundidade de 20-40cm pelo teste t de student a 5% de significância ($p < 0,05$).

Fonte: o autor.

O aumento da MOS promove a complexação dos íons H^+ e Al^{3+} com compostos do resíduo vegetal, deixando Ca, Mg, K e P mais livres em solução, o que pode ocasionar aumento na saturação da CTC, por estes cátions de reação básica (PAVINATO & ROSOLEM, 2008). Testa *et al.* (1992) comprovaram que o aumento na MOS resultou, após nove anos, num aumento da CTC do solo e numa melhoria das características químicas do solo (diminuição da toxidez de Al e maior disponibilidade de nutrientes, principalmente do N).

Analisando os dados, percebeu-se que a CTC do solo relacionou-se com o material orgânico deste solo, ou seja, a utilização de espécies que apresentam uma cobertura vegetal diferenciada e conseqüentemente depositam um material orgânico diferenciado no solo, favorece a melhoria das características químicas do solo, como se pode observar pelos dados da t, SB e V nesse estudo, quando comparadas aos da testemunha. O mesmo foi observado por Alcântara *et al.* (1999) quando avaliou o desempenho de adubos verdes guandu (*Cajanus cajan*

(L.) Millsp) e crotalária-júncea (*Crotalaria juncea* L.), com ou sem incorporação de biomassa, na recuperação da fertilidade de um solo (Latossolo Vermelho-Escuro distrófico) degradado, cultivado com braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf.).

Para as características SB e t na Tabela 1 constatou-se, em seus valores, que o da profundidade de 0-20 cm foi significativamente superior ($p < 0,05$) a profundidade de 20-40 cm. Vê-se que tais resultados estão em consonância com os relatados para os macronutrientes do experimento, o que se deve ao fato de que o teor de Ca, Mg e K no solo influencia diretamente os valores de SB e t, por fazer parte de suas determinações (EMBRAPA, 1997). Os maiores valores de SB no solo cultivado com *C. argentea* em comparação com a testemunha, ao longo dos cinco anos de experimento, evidenciam que houve aumento dos cátions trocáveis no solo devido à ciclagem promovida pelas leguminosas.

Quanto ao índice de V na profundidade de 0-20 cm notou-se entre os valores médios dos tratamentos, uma variação de 56% para a testemunha, a 66% para a *C. argentea*, e na profundidade de 20-40 cm uma variação de 40% da testemunha para 46% no solo cultivado com *C. argentea*, evidenciando que todos os valores dos tratamentos representados pela *C. argentea* foram significativamente superiores ao da testemunha ($p < 0,05$). Analisando-se esses resultados, conclui-se que a *C. argentea* contribuiu de forma eficiente para elevar o nível deste índice na camada superficial acima de 60%. Segundo Tomé Júnior (1997) este índice fornece informações a respeito do total de cargas negativas existentes no solo e também apresenta uma idéia sobre a proporção ocupada pelos cátions Ca, Mg e K, servindo como base para a avaliação da fertilidade do solo.

O solo cultivado com *C. argentea* apresentou aumento da Ds na camada superficial do solo (figura 5).

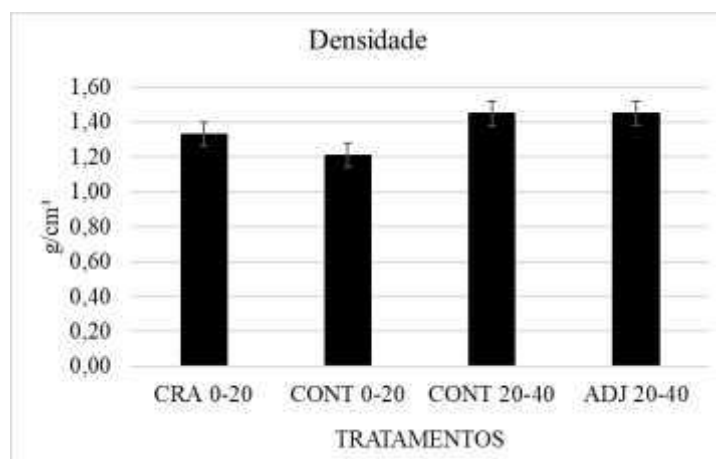


Figura 5 - Densidade do solo cultivado com *Cratylia argentea* nas profundidades de 0-20 cm (CRA 0-20) e 20-40 cm (CRA 20-40) comparados estatisticamente com a área controle (sem vegetação) nas profundidades de 0-

20 cm (CONT 0-20) e 20-40 cm (CONT 20-40). Letras minúsculas iguais significa que não houve diferença estatística significativa ao comparar as médias dos tratamentos na profundidade de 0-20cm pelo teste t de student a 5% de significância ($p < 0,05$). Letras maiúsculas iguais significa que não houve diferença estatística significativa ao comparar as médias dos tratamentos na profundidade de 20-40cm pelo teste t de student a 5% de significância ($p < 0,05$).

Fonte: o autor.

O solo cultivado com *C. argentea* apresentou aumento na Ds. Isso pode estar relacionado ao crescimento do seu sistema radicular que cria uma pressão no solo fazendo as partículas ficarem mais próximas, o que leva a um aumento temporário da Ds nesses locais (KUBOTA; HOSHIBA; BORDON, 2005). O mesmo foi observado no estudo feito por Anschau (2018) quando ela avaliou as propriedades física do nabo forrageiro usado como planta de cobertura no inverno consorciada com soja.

O adensamento das partículas do solo, mesmo quando não é realizado o revolvimento do solo, parece estar relacionado a textura argilosa da área experimental. Os resultados observados encontram-se dentro das amplitudes de variação da Ds para solos argilosos, que variam desde $1,00 \text{ g cm}^{-3}$ sob condições naturais, até $1,45 \text{ g cm}^{-3}$ sob condições agrícolas (TORRES & SARAIVA, 1999).

A eficiência uso de plantas de cobertura na redução da compactação depende do estado inicial de compactação que se encontra o solo e do tempo de manejo, não sendo possível solucionar o problema em curto período de tempo, isso porque mesmo espécies indicadas para esta finalidade têm o desenvolvimento de suas raízes limitado quando o solo apresenta níveis muito elevados de Ds (CUBILLA *et al.*, 2002).

Cintra & Mielniczuk (1983), ao trabalharem com outros adubos verdes, identificaram a colza (*Brassica napus*) e o tremoço branco (*Lupinus albus*) como as espécies com maior potencial na recuperação de solos compactados, considerando a maior produção de fitomassa subterrânea e a capacidade de tais espécies romperem camadas compactas.

Formentini *et al.* (2008) mostra que as leguminosas são eficientes na escarificação mecânica do solo, sendo o calopogônio eficiente na descompactação do solo devido seu sistema radicular vigoroso e profundo.

A aveia preta destaca-se entre as plantas de cobertura no Sul do Brasil devido a lenta decomposição de sua palhada e, principalmente, devido a seu sistema radicular fasciculado favorecer a descompactação do solo pela maior densidade de raízes e melhor distribuição do sistema radicular no perfil do solo, levando, conseqüentemente, a redução da Ds (CUNHA *et al.*, 2011).

DA-SILVA *et al.* (2012) afirma que a menor Ds na camada superficial do solo sob aveia e ervilhaca, é consequência da ação do sistema radicular, pois a ação mecânica de crescimento tanto radial como longitudinal de suas raízes favorece a formação de poros e canais no solo (MEEK *et al.*, 1989; RASSE *et al.*, 2000).

Nascimento *et al.* (2005) estabeleceu um experimento com doze espécies de leguminosas, constituindo os seguintes tratamentos: guandu (*Cajanus cajan*, L.), guandu anão (*Cajanus cajan* L. Millsp), lab-lab (*Dolichos lab-lab*, L.), mucuna preta (*Stylobium aterrimum*, L.), cunhã (*Clitoria ternatea* L.), calopogônio (*Calopogonium mucunoides*, L.), mucuna cinza (*Stylobium cinereum* Piper e Tracy), siratro (*Macroptilium atropurpureum*, L.), crotalária (*Crotalaria juncea*, L.), feijão-de-porco (*Canavalia ensiforme*, L.), kudzu tropical (*Pueraria phaseoloides*, L.) e leucena (*Leucaena leucocephala*, L.). Na condição edafoclimática deste experimento, durante os três anos de trabalho, constatou-se que o emprego das leguminosas em relação à testemunha não acarretou em diferenças de Ds.

Moreira *et al.* (2005) argumenta que a capacidade das raízes das leguminosas em descompactar o solo cria condições de oxigenação para o solo e quando estão sob essa condição apresentam fluxo de O₂ e baixo acúmulo de CO₂ produzido pelo sistema radicular. Quando o solo está sob a condição de compactação, o CO₂ acumula nas raízes e forma bicarbonatos ácidos quando entram em contato com a água, promovendo o aumento do pH do solo. Fato este que pode explicar também o aumento de pH encontrado no solo cultivado com *C. argentea* em conjunto com os valores elevados de Ds na camada de 0-20cm e 20-40cm.

O C pode acumular em frações lábeis ou estáveis da MOS, o que pode ter implicações na durabilidade do seu efeito quanto à retenção de C atmosférico, bem como nas alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos. Assim, visando identificar em quais compartimentos o C está acumulando, foi realizado o fracionamento químico da MOS, o qual revelou diferenças químicoestruturais em sua composição (figura 6).

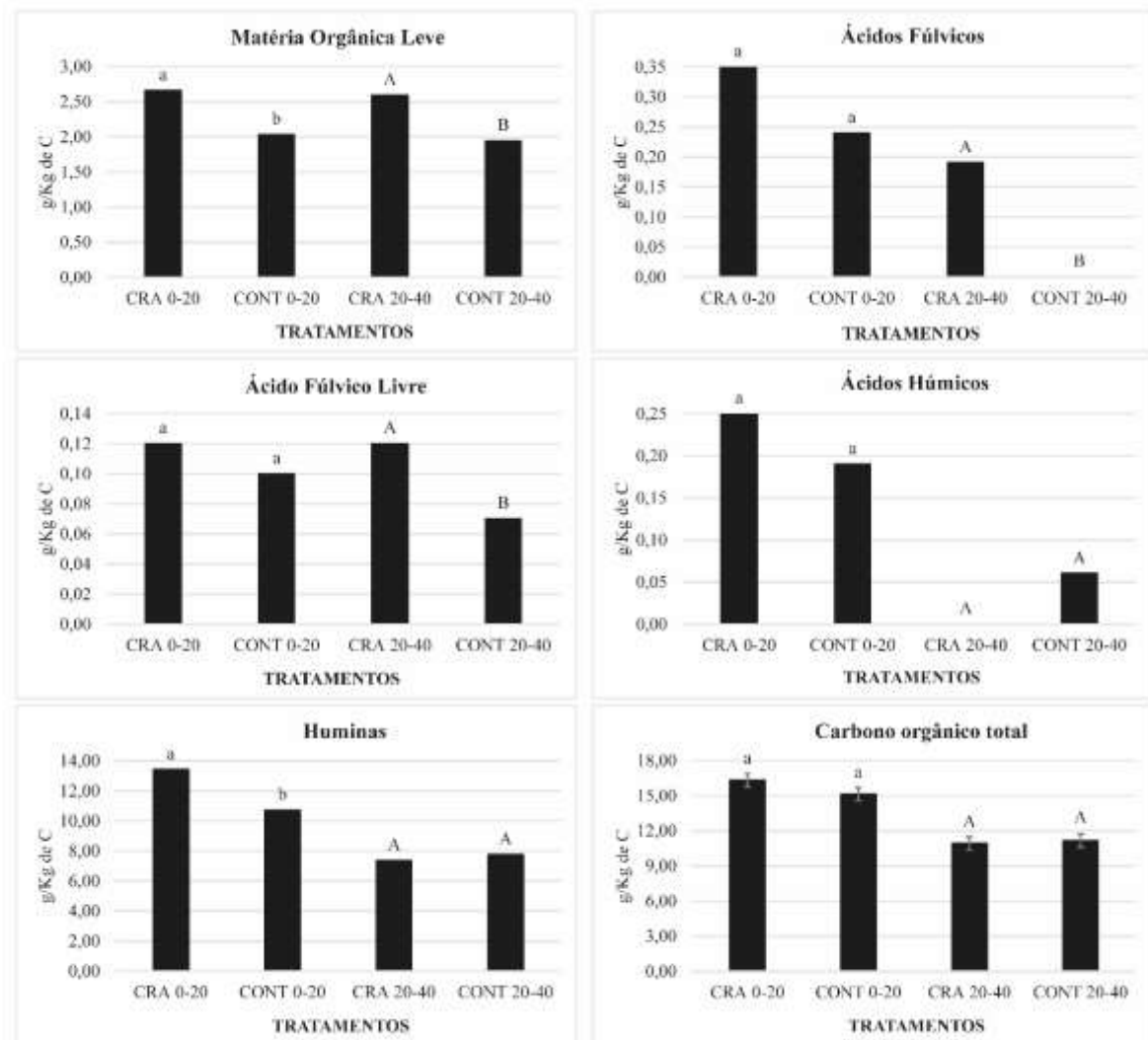


Figura 6 - Carbono da fração Matéria orgânica leve, Ácido Fúlvico Livre, Ácido Fúlvico, Ácido Húmico e Carbono Orgânico Total no solo cultivado com *Cratylia argentea* nas profundidades de 0-20 cm (CRA 0-20) e 20-40 cm (CRA 20-40) comparados estatisticamente com a área controle (sem vegetação) nas profundidades de 0-20 cm (CONT 0-20) e 20-40 cm (CONT 20-40). Letras minúsculas iguais significa que não houve diferença estatística significativa ao comparar as médias dos tratamentos na profundidade de 0-20cm pelo teste t de student a 5% de significância ($p < 0,05$). Letras maiúsculas iguais significa que não houve diferença estatística significativa ao comparar as médias dos tratamentos na profundidade de 20-40cm pelo teste t de student a 5% de significância ($p < 0,05$).

Fonte: o autor.

O cultivo da *C. argentea* aumentou a concentração de MOL nas duas camadas estudadas: 0-20 cm e 20-40 cm (figura 6). Nesse estudo, o não revolvimento do solo aliado à uma alta taxa de deposição de serapilheira da *C. arentea* favoreceu o acúmulo de MOL, pois sistemas com elevada incorporação e manutenção de resíduos no solo afetam positivamente as quantidades de MOL.

A MOL é formada a partir da ação decompositora da biota do solo sobre resíduos vegetais e animais contidos no solo, além de ações antrópicas como a queima de resíduos

vegetais que formam C pirogênico. Este compartimento pode ser considerado um indicador da eficiência do manejo agrícola do solo, uma vez que responde mais rapidamente às práticas agrícolas em relação à análise dos teores de COT do solo (MARIN *et al.*, 2006; XAVIER *et al.*, 2006). Ao avaliar o efeito da *Gliricidia sepium* sobre a disponibilidade dos nutrientes no solo, microclima e produtividade da cultura do milho em sistema agroflorestal no agreste paraibano, Pérez Marin *et al.* (2006) verificaram que a MOL do solo foi melhor indicador do que o COT, para detectar mudanças causadas pelo manejo da cobertura vegetal.

A fração leve da MOS é formada por resíduos orgânicos em vários estádios de decomposição, apresentando tempo de residência no solo que varia de 1 a 5 anos, sendo fortemente influenciada pela quantidade e qualidade de resíduo depositado no solo (MARIN, 2002). Assim, o incremento da MOL no solo sob cultivo com a *C. argentea* em comparação à testemunha, reflete a maior deposição de resíduos que ocorre na superfície do solo. Sua manutenção é fundamental para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, uma vez que representa, em curto e médio prazo, alto potencial para ciclagem de nutrientes (COMPTON & BOONE, 2002) e que pode favorecer a biota do solo (SILVA & MENDONÇA, 2007). Isso mostra que a MOL pode ser utilizada como indicador sensível para detectar mudanças na qualidade do solo com diferentes usos e manejos (WU *et al.*, 2004) como foi verificado por Pérez Marin *et al.* (2006).

O solo cultivado com *C. argentea* proporcionou aumento no teor de AFL e AF na profundidade de 20-40 cm em relação à testemunha, contudo os teores observados na camada superficial são maiores (figura 6). Diversos autores encontraram maiores quantidades de C nessa fração em maiores profundidades do solo (FONTANA *et al.*, 2006; OLIVEIRA, 2014), por ser considerada mais móvel, por apresentar menor peso molecular e maior densidade de grupamentos carboxílicos do que as demais frações (AH e HUM), revelando maior solubilidade, principalmente em solos ácidos como os que predominam no cerrado onde a *C. argentea* é nativa. No entanto, no presente estudo, essa mobilidade não foi tão pronunciada, sendo que esse aumento em profundidade pode estar atribuído ao sistema radicular profundo e vigoroso da *C. argentea*, que tem contribuído para a formação da fração AF e AFL na camada de 20-40 cm. Souza (2013) e Araújo *et al.* (2004) observaram que os AF e AH decresceram em profundidade de maneira semelhante, corroborando os resultados encontrados para AF nesse estudo.

Os menores percentuais de C na fração AFL em relação ao COT indicam que a intensa adição de C orgânico pela *C. argentea* e a decomposição constante da MOS, propiciam

a decomposição dessa fração facilmente biodegradável, como observaram Fontana *et al.* (2001).

Cunha *et al.* (2001) verificaram o impacto do preparo convencional nas frações húmicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo e observaram que AFL foi a única das frações húmicas que não apresentou valores inferiores no sistema de preparo convencional em relação ao cerrado nativo, mostrando uma maior estabilidade dessa fração em relação ao manejo do solo. Esse resultado não é suportado por este experimento, uma vez que a *C. argentea* incrementou seu teor na profundidade 20-40 cm em relação à testemunha.

Em um estudo onde o impacto do uso de leguminosas como adubo verde na qualidade das SH em solos sob cultivo de café orgânico foram avaliados por Coelho (2009) mostrou que o AF foi a fração que sofreu maiores modificações entre os tratamentos, sendo um indicativo de que entre as várias rotas de formação das SH conhecidas, essa é a primeira fração a sofrer modificações conforme a adoção do manejo de aporte de leguminosas e espécies espontâneas constantes. Os AF podem ser precursores dos AH, sendo compreendidos por substâncias de ressíntese microbiana e de substâncias aromáticas (TIESSEN *et al.*, 1984).

A fração AF possui maior CTC em relação aos AH, o que significa maior potencial para ciclagem de nutrientes no solo, sendo uma possível explicação para a elevação dos teores de Ca, Mg e K na profundidade de 20-40 cm no solo cultivado com *C. argentea*.

Não foi observado diferença significativa em ambas as profundidades estudadas no solo cultivado com *C. argentea* com relação aos teores de AH (figura 6).

O fato de os AH não ter apresentado diferença significativa enquanto que as frações menos estáveis (AFL e AF) aumentaram em profundidade no solo cultivado com *C. argentea* pode estar relacionada à presença de óxidos que são abundantes nos Latossolos. Em solos tropicais ricos em óxidos e caulinita, a fração AH pode ser mais facilmente decomposta que a fração AF, favorecendo o surgimento de frações mais reativas e mais facilmente consumida por microrganismos, pois a adsorção da MOS aos óxidos é influenciada por grupos carboxílicos, mais abundantes nos AF, tornando estes ácidos mais resistentes à decomposição que os AH (MENDONÇA, 1995; LOBARTINI & ORIOLI, 1996).

Os AH originam-se da persistência das formas mais solúveis no sistema, ou seja, de ambiência propícia em termos de disponibilidade de substrato e de atividade biológica, para resultar num balanço positivo entre as perdas por erosão e por lixiviação e o incremento do EC, em formas mais humificadas (Baldotto *et al.*, 2010). Para Hatcher *et al.* (1985), os AH possuem

baixa mobilidade, o que representa importante fonte de cargas para a CTC dos horizontes superficiais, sobretudo em solos tropicais (HATCHER et al., 1985; BENITES et al., 2003).

Valores da razão AH/AF têm sido propostos como parâmetro de estabilidade do COT ou o grau de evolução do processo de humificação (KONONOVA, 1982). Em solos tropicais compostos por solos de baixa fertilidade natural, normalmente, essa relação é menor que 1, devido à menor intensidade dos processos de humificação, como a condensação e síntese, intensa mineralização dos resíduos, restrições edáficas e baixo teor de bases, restringindo a atividade biológica nos solos intensamente intemperizados (CERRI & VOLKOFF, 1988; CANELLAS *et al.*, 2003). No presente estudo esse índice variou entre 0,65 a 0,77 entre os tratamentos na camada superficial de evidenciando que a MOS não foi afetada pelo manejo nesse trabalho, contudo vários autores mostraram que manejos agrícolas que forneçam acréscimos relativos nos valores de AH/AF refletirão em melhorias da MOS (CANELLAS; BUSATO; CAUME, 2005), culminando em melhorias na qualidade do solo principalmente por contribuírem com a maior parte da CTC dos solos, e também possuem a habilidade de formar complexos com vários íons metálicos e por agirem como tamponantes da reação do solo em uma ampla faixa de pH.

Observando os resultados obtidos para relação AH/AF (Tabela 2) pode-se dizer que a MOS se encontra ainda em fase de transição, com evolução limitada, a qual pode estar relacionada a condições edáficas e manejo do solo (LABRADOR MORENO, 1996). Pela maior presença de AF no solo essa MOS é facilmente decomposta, mostrando a necessidade de maiores adições de MOS, para melhorar sua qualidade, elevando os valores da relação AH/AF, que é um indicador de qualidade da MO, sendo o carbono da fração AF a menos evoluída e mais instável da MOS (ROSA *et al.*, 2017).

A fração HUM teve sua concentração aumentada na camada superficial no solo sob cultivo com *C. argentea*, contudo não apresentou diferença entre as médias dos tratamentos na camada de 20-40 cm (figura 6).

Esse resultado sugere uma possível característica húmifera da MOS no solo cultivado com *C. argentea*. O predomínio do C da fração HUM está relacionado a maior estabilidade desta fração. As frações AF e AH podem ser translocadas para camadas mais profundas do solo, polimerizadas ou mineralizadas, e diminuir seu teor residual no solo (FONTANA *et al.*, 2006; HAN *et al.*, 2016). A fração orgânica dos solos localizados em regiões de clima tropical é sujeita a intensa mineralização dos resíduos e às restrições edáficas, tendo sua atividade biológica reduzindo o processo de humificação (CANELLAS *et al.*, 2004).

Em termos de seqüestro de C, a fração HUM deve ser considerada a fração mais significativa como reserva de C orgânico no solo (FERREIRA *et al.*, 2004), uma vez que sistemas em que predominam formas mais solúveis e menos humificadas apresentam maior potencial de lixiviação.

A inclusão de leguminosas como adubo verde, fornece o N orgânico utilizado, preferencialmente, pelos microorganismos sintetizadores das frações mais estáveis da MOS (HUM) (RIBEIRO *et al.*, 2011). Matrangolo *et al.*, 2018 estimou a capacidade de adição de N da *C. argentea* em torno de 290 kg ha⁻¹ ano⁻¹, sendo ela um dos fatores responsáveis por esse processo de humificação nesse solo. Os resíduos da *C. argentea*, compostos por tecidos de decomposição relativamente rápida, incrementaram a atividade microbiana do solo decorrente da presença de N da cultura de inverno, associada a resíduos culturais do milho do verão anterior. Esse processo teria desencadeado a produção de enzimas que contribuíram para a síntese e polimerização de precursores da humina (TATE III, 1987; BRADY, 1989). Na prática, o maior valor de C na fração HUM implica, em última instância, maior retenção de umidade, melhor estruturação do solo e maior retenção de cátions, características de extrema importância quando se trata de estudo e desenvolvimento de sistemas sustentáveis de produção agrícola.

A fração HUM teve sua concentração reduzida com a profundidade. Segundo Mendonça (1988), esse comportamento deve estar relacionado com a maior aeração, com a maior variação do ciclo de umedecimento e secagem e, também com a alteração da microbiota dessa camada. Essas condições podem não só acarretar a perda de material orgânico mais instável para as camadas mais profundas ou para fora do sistema, ocasionando aumento na percentagem da fração HUM, como também intensificar a polimerização dos compostos orgânicos, favorecendo o acúmulo da fração HUM. Dentre as frações, em média, MOL, AFL, AF, AH e HUM representaram, respectivamente, 15,8; 0,8; 2,1; 1,5 e 79,8% do COT, na camada superficial, e 25,2; 1,3; 1,9; 0,0 e 71,7% do COT, na camada subsuperficial do solo cultivado com *C. argentea*. As somas das frações, que representam uma taxa de recuperação em cada tratamento para ambas as profundidades, variaram de 87 a 102% do COT.

O maior teor da fração HUM é característico de solos de regiões tropicais onde as condições climáticas proporcionam alta taxa de mineralização de resíduos e atividade biológica, dificultando o processo de humificação e mantendo os teores da fração mais recalcitrante devido à maior interação coloidal e física com a fração mineral do solo. A menor interação do AH e do AF com a fração mineral do solo pode levar a iluviação no perfil,

diminuindo a diferença destas profundidades (CUNHA, *et al.*, 2005; FONTANA, *et al.*, 2006). Diversos autores encontraram, em trabalhos avaliando diferentes tipos de manejo em solos variados, maiores representatividades de HUM, corroborando os resultados deste trabalho (LEITE *et al.*, 2003; BARRETO *et al.*, 2008; ROSSI *et al.*, 2011; ROSSET *et al.*, 2016).

O uso de um sistema de manejo mais racional poderia favorecer a um processo de humificação menos intenso. Nesse processo, teriam, em quantidades equivalentes, SH menos polimerizadas (AF e AH) para a obtenção de maior quantidade de cargas elétricas, e outras mais polimerizadas (HUM) que pudessem favorecer a formação e estabilização de unidades estruturais e, dessa forma, maximizar a retenção de água, a manutenção do conteúdo de COT e o aumento da produtividade das culturas (CUNHA *et al.*, 2001).

6. CONCLUSÕES

A multifuncionalidade de *C. argentea* poderá favorecer a transição agroecológica em regiões em processo de degradação, considerando algumas de suas características principais e capacidade de prestação de diversos serviços ambientais: resistente ao estresse hídrico, a queimadas e a geadas; adaptada a solos com baixa fertilidade e ácidos; mantém-se enfolhada o ano todo, com excelente capacidade de rebrota; é pasto apícola, fixadora de N e demais nutrientes do solo; tem elevado teor de proteína nas folhas; tem potencial fitoterápico e favorece a população de agentes de controle biológico.

A adubação verde consiste numa prática capaz de manter a fertilidade do solo, colaborando para o aumento da produtividade agrícola. No entanto, não se deve esperar respostas imediatas uma vez que os benefícios oriundos da adição de MOS ao solo são mais significativos a médio e longo prazo.

A área cultivada com *C. argentea* apresentou melhorias da fertilidade do solo, tanto na camada superficial como subsuperficial, assim como alterou as frações dos estoques de carbono em um curto espaço de tempo (5 anos):

- i. Na profundidade de 0-20 cm o cultivo da *C. argentea* reduziu a acidez ativa e potencial, aumentou o teor de K, Ca, N, EC, MOL e HUM. Conseqüentemente, houve um aumento da SB, V e t.

- ii. Na camada de 20-40 cm o cultivo da *C. argentea* reduziu a acidez ativa e potencial, aumentou o teor de Mg, Ca e MOL, e reduziu o teor de P. Consequentemente houve um aumento da SB, V e t.
- iii. Com base nesses resultados, podemos afirmar que a *C. argentea* tem potencial agropecuário significativo, sendo uma opção como planta de cobertura para melhorar a fertilidade do solo na maioria dos seus atributos.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, J.A. *et al.* **Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos.** Revista Brasileira de Ciência do solo. v. 19, p. 115-119, 1995.
- ALCÂNTARA, F.A. *et al.* **Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro degradado.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 35, n. 2, p. 277-288, 2000.
- ALCÂNTARA, F.A. **Adubação verde na recuperação da fertilidade de um solo degradado.** 1998. Tese (Mestrado em Ciência do Solo) – Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 1998.
- ALMEIDA, J.A.; TORRENT, J.; BARRÓN, V. **Cor do solo: formas do fósforo e adsorção de fosfato em Latossolos desenvolvidos de basalto do extremo-sul do Brasil.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 27, p. 985-1002, 2003.
- ALVAREZ V. H.; *et al.* **Determinação e uso do fósforo remanescente.** Boletim informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. v. 25, p. 27-32, 1999.
- AMABILE, R. F.; CARVALHO, A. M de. Histórico da adubação verde. *In:* CARVALHO, A. M. de; AMABILE, R. F. **Cerrado: adubação verde.** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2006. p. 23-40, 2006.
- AMADO, T. J. C. *et al.* **Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 25, p. 189-197, 2001.
- AMADO, T. J. C. *et al.* Potencial de sistemas de manejo no sequestro de carbono. *In:* BAVER, L.D.; GARDNER, W.H.; GARDNER, W.R. **Física de solos.** 4. ed. Mexico: Union Topografica Editorial Hispano Americana, 1972. 529 p.
- ARAÚJO, E.A. *et al.* **Uso da terra e propriedades físicas e químicas de Argissolo Amarelo Distrófico na Amazônia Ocidental.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 28, p. 307-315, 2004.
- ARGENTON J. *et al.* **Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 3, p. 29, 2005.
- BALDOCK, J.A.; SKJEMSTAD, J. O. **Role of the soil matrix and minerals in protecting natural organic materials against biological attack.** Organic Geochemistry, v. 31, p. 697-710, 2000.
- BALDOTTO, M.A. *et al.* **Propriedades redox de ácidos húmicos isolados de um solo cultivado com cana-de-açúcar e por longo tempo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 32, p. 1043-1052, 2008.

BALDOTTO, M.A. *et al.* **Redox index of soil carbon stability.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 34, n. 5, p. 1543-1551, 2010.

BALDOTTO M. A.; BALDOTTO L. E. B. **Ácidos húmicos.** Revista Ceres, v. 61, p. 856-881, 2014. (Revisão de literatura).

BARTHÈS, B. G. *et al.* **Texture and sesquioxide effects on water-stable aggregates and organic matter in some tropical soils.** Geoderma, v. 143, p. 14-25, 2008.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. **Características químicas do solo afetados por métodos de preparo e sistemas de cultura.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 21, n. 1, p. 105-112, 1997.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. **Nitrogênio total de um solo submetido a diferentes métodos de preparo e sistemas de cultura.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 21, n. 2, p. 235-239, 1997.

BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. *In*: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. eds. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais.** Porto Alegre: Genesis, 1999. p. 9-26.

BAYER, C. *et al.* **Carbon sequestration in two brazilian cerrado soils under no-till.** Soil and tillage Research. v. 86, p. 237-245, 2006.

BEARE, M. H. *et al.* Aggregate protected and unprotected organic matter pools in conventional and no-tillage soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, p. 787-795, 1994.

BENITES, V. M.; MADARI, B.; MACHADO, P. L. O. A. **Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo.** Rio de Janeiro: Embrapa, 2003, 7 p. (Comunicado Técnico 16).

BORKET, C. M. *et al.* **Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea em culturas de cobertura de solo.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 38, n. 1, p. 143-153, 2003.

BOUMA, J; HOLE, F. D. **Estrutura do Solo e Condutividade Hidráulica de Pedões Virgens e Cultivados Adjacentes em dois locais: Um Argiudoll típico (silte loam) e um Eutrochrept típico (argila) 1.** Soil Science Society of America Journal, v. 35, n. 2, p. 316-319, 1971.

BRADY, N. C. Suprimento e assimilabilidade do fósforo e do potássio. BASTOS, F. *In*: **NATUREZA e propriedade dos solos.** 7. ed. Rio de Janeiro, 1989. p. 373-413.

BRAGAGNOLO, N.; MIELNICZUK, J. **Cobertura do solo por resíduos de oito sequências de culturas e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo, germinação e crescimento inicial do milho.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 14, p. 91-98, 1990.

BRITO, M. F. *et al.* **Reciclagem de nutrientes de adubos verdes e produtividade de milho cultivado em sucessão em agroecossistema de transição agroecológica.** Acta Iguazu, v. 6, n. 3, p. 11-21, 2017.

- BUYANOVSKY, G. A.; ASLAM, M.; WAGNER, G. W. **Carbon turnover in soil physical fractions.** Soil Science Society of America Journal, v. 58, p. 1167-1173, 1994.
- CALAZANS G. M. et al. **Selection of efficient rhizobial symbionts for *Cratylia argentea* in the cerrado biome.** Ciência Rural, v. 46, p. 1594–1600, 2016.
- CALEGARI, A. *et al.* **Adubação verde no Brasil.** 2. ed. Rio de Janeiro: Assessoria e Serviços a Projetos em Agricultura Alternativa, 1993. 346 p.
- CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOTT, E. T. **Carbon and nitrogen distribution in aggregates from cultivated and native grassland soils.** Soil Science Society of American Journal, v. 57, p. 1071-1076, 1992.
- CAMPOS, B. C. *et al.* **Estabilidade estrutural de um latossolo Vermelho-escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 19, p. 121-126, 1995.
- CANELLAS, L. P. *et al.* **Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhicho e adição de vinhaça por longo tempo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 27, p. 935-944, 2003.
- CANELLAS, L. P. *et al.* **Organic matter quality in a soil cultivated with perennial herbaceous legumes.** Scientia Agricola, v. 61, n. 1, p. 53-61, 2004.
- CANELLAS, L. P.; FAÇANHA, A. R. **Chemical nature of soil humified fractions and their bioactivity.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 39, n. 3, p. 233-240, 2004.
- CARVALHO, J. L. N. *et al.* **Carbon sequestration in agricultural soils in the cerrado region of the brazilian amazon.** Soil Tillage Research, v. 103, p. 342-349, 2009.
- CARVALHO J. L. N. *et al.* **Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil.** Revista Brasileira de Ciências do Solo, v. 34, p. 277-289, 2010. (Revisão de Literatura).
- CARVALHO, A. M.de. *et al.* **Chemical composition of cover plants and its effect on maize yield in no-tillage systems in the Brazilian savanna.** Crop and Pasture Science, v. 63, n. 12, p. 1075-1081, 2012.
- CARVALHO, A.M. de; *et al.* **Manejo de plantas de cobertura na floração e na maturação fisiológica e seu efeito na produtividade do milho.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 50, n. 7, p. 551-561, 2015.
- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. **Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico em um Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 22, p. 527-538, 1998.
- CERRI C. E. P. *et al.* **Modeling soil carbon from forest and pasture ecosystems of Amazon, Brazil.** Soil Science Society of America Journal, v. 67, p. 879-1887, 2003.

CINTRA, F. L. & MIELNICZUK, J. **Potencial de algumas espécies vegetais para a recuperação de solos com propriedades físicas degradadas.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 7, p. 197-201, 1983.

COELHO M. R. *et al.* O recurso natural solo. *In:* MANZATTO C. V.; FREITAS J. R.; PERES J. R. R. (Eds.) **Uso agrícola dos solos brasileiros.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, p. 1-11, 2002.

CONCEIÇÃO P. C. *et al.* **Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 29, p. 777-788, 2005.

COSTA, F. de S.; *et al.* **Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 323-332, 2008. Trabalho apresentado no 29º Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2003, Ribeirão Preto.

COSTA, T. C. *et al.* **Estabelecimento de espécies arbóreo-arbustivas no rejeito de minério de ferro da barragem do fundão em Mariana-MG, tratado com calcário, fertilizantes e microrganismos.** Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 170. ISSN 1679-0154. 2018.

CUNHA, T. F. *et al.* Fracionamento da matéria orgânica humificada de solos brasileiros. *In:* CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A. (Ed.). **Humosfera: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas.** Rio de Janeiro: UENF, 2005. p. 54-80.

DANTAS, M. **Pastagens da Amazônia central: ecologia e fauna do solo.** Acta Anazônica, Manaus, v. 9, n. 2, 1979. 54 p.

DE-POLLI, H. *et al.* Adubação verde: Parâmetros para avaliação de sua eficiência. *In:* CASTRO FILHO, C. de; MUZILLI, O. (Ed.). **Manejo integrado de solos em microbacias hidrográficas.** Londrina: Instituto de Desenvolvimento Rural de Londrina / Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. p. 225-242.

DE SÁ SOUZA, M. *et al.* **Ciclagem de nutrientes em ecossistemas de pastagens tropicais.** PUBVET, v. 12, p. 172, 2018.

DIAS, B. O. *et al.* **Estoque de carbono e quantificação de substâncias húmicas em Latossolo submetido à aplicação contínua de lodo de esgoto.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 31, p. 901-911, 2007.

DICK, D. P. *et al.* **Química da matéria orgânica do solo.** *In:* MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (Eds.). **Química e mineralogia do solo.** 1. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p. 1-67.

DIEKOW J. *et al.* **Soil C e N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilization in the southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 years.** Soil and Tillage Research, v. 81, p. 87-95, 2005.

EDWARDS, C. A.; REICHLER, D. E.; CROSSLEY, D. A. The role of soil invertebrates in turnover of organic matter and nutrients. *In*: REICHLER, D. E. **Analysis of temperate Forest Ecosystems**. New York: Springer Verlag, 1970. p. 147-17.

ELTZ, F. L. F.; PEIXOTO, R. T. G.; JASTER, F. **Efeito de sistemas de preparo do solo nas propriedades químicas de um Latossolo Bruno álico**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 13, p. 259-267, 1989.

SANTOS, H. G. dos. *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de solos**. 5. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2018. 355 p.

TEIXEIRA, P. C. *et al.* **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2017. 577 p.

ESPINDOLA, J. A. A. **Bananeiras consorciadas com leguminosas herbáceas perenes utilizadas como coberturas vivas**. Seropédica – RJ: Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 41, n. 3, 2006.

ESPINDOLA, J. A. A. *et al.* **Bananeiras consorciadas com leguminosas herbáceas perenes utilizadas como cobertura vivas**. Rio de Janeiro: Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 41, n. 3, p. 415-420, 2006.

FAO - A Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura. **Forestry Paper**. v. 147, Rome: 2006.

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

FONTANA, A. *et al.* **Matéria orgânica em solos de tabuleiros na região norte Fluminense-RJ**. Rio de Janeiro: Floresta e Ambiente, v. 8, p. 114-119, 2001.

FONTANA, A. *et al.* **Atributos de fertilidade e frações húmicas de um Latossolo Vermelho no Cerrado**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 41, p. 847-853, 2006.

FONTANA, A. *et al.* **Avaliação dos compartimentos da matéria orgânica em área da mata atlântica**. Acta Scientiarum Agronomy, v. 33, p. 545-550, 2011.

FERREIRA, A. C. D. B.; LAMAS, F. M. **Espécies vegetais para cobertura do solo: influência sobre plantas daninhas e a produtividade do algodoeiro em sistema plantio direto**. Revista Ceres, v. 57, n. 6, 2010.

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

FONTANA, A. *et al.* **Fósforo remanescente e correlação com as substâncias húmicas em um Latossolo Vermelho sob diferentes sucessões de cultura em plantio direto**. Revista Brasileira de Agrociência, v. 14, p. 1-6, 2008.

FRANCO, A. A. *et al.* **Revegetação de solos degradados.** Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 1992. 9 p. (Comunicado Técnico 9).

GALANTINI, J. A.; ROSELL, R. A. **Organic fractions, N, P and S changes in na Argentine semiarid Haplustollunder different crop sequences.** Soil and Tillage Research, v. 42, p. 221-228, 1997.

GILLER, K. E. **Nitrogen fixation in tropical cropping systems.** 2. ed. Wallingford: Companhia Brasileira de Alumínio International, 2001. 448 p.

GONZÁLEZ, M. *et al.* **Influence of organic amendments on soil quality potential indicators in an urban horticultural system.** Bioresource Technology, New York, v. 101, p. 8897-8901, 2010.

GREENLAND, D. J. **Soil management and soil degradation.** Journal of Soil Science, v. 32, p. 301-322, 1981.

GUERRA, J. G. M.; SANTOS, G. A. Métodos Químicos e Físicos. *In:* SANTOS, G. A. *et al.* (Eds) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais.** 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, p. 185-198, 2008.

HAN, L. *et al.* **Some concepts of soil organic carbono characteristics and mineral interaction from a review of literature.** Soil Biology and Biochemistry, v. 94, p. 107-121, 2016.

IHSS - INTERNATIONAL HUMIC SUBSTANCES SOCIETY. **Products.** 2020.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change.** Working Group III Report. 2016.

JANZEN, H. H. **The soil carbono dilema: shall we hoard it or use it?** Soil Biology and Biochemistry, v. 38, p. 419-424, 2006.

JASTROW, J. D. **Soil aggregate formation and the accrual of particulate and mineral associated organic matter.** Soil Biology and Biochemistry, Amsterdam, v. 28, p. 665-676, 1996.

JESUS, E. L. de. **Histórico e filosofia da agricultura alternativa.** Rio de Janeiro, v. 27, p. 34-40, 1985.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos.** São Paulo: Agronômica Ceres, 1985. 492 p.

LAL, R. **Long-term tillage and maize monoculture effectson a tropical Afisol in western Nigeria. II. Soil chemical properties.** Soil and Tillage Research, v. 42, p. 161-174, 1997.

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

LAL, R. **Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security.** Science, v. 304, p. 1623-1626, 2004.

LAL, R. **Enhancing crop yields in the developing countries through restoration of the soil organic carbon pool in agricultural lands.** Land Degradation and Development, v. 17, p. 197-209, 2006.

LAL, R. **Carbon sequestration.** Philosophical Transactions of the Royal Society B, v. 363, p. 815-830, 2008.

LEITE, L. F. C. *et al.* **Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em Argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica.** Revista Brasileira de Ciência do Solo: métodos de análises. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2005.

LIMA, M. A. **Agropecuária brasileira e as mudanças climáticas globais: caracterização do problema, oportunidades e desafios.** Cadernos de Ciência e Tecnologia, Brasília, v. 19, n. 3, 2002.

LIMA, M. A. *et al.* **Estoque de carbono e emissões de gases de efeito estufa na agropecuária brasileira.** 3. ed. Brasília, DF: Pesquisa Agropecuária Brasileira, 2015.

LIN, H. *et al.* **Monthly variation in litterfall and the amount of nutrients in an Aleurites montana plantation.** Forestry Studies in China, v. 14, n. 1, p. 30-35, 2012.

LOSS A. *et al.* **Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 46, n. 10, p. 1269-1276, 2012.

LOSS, A. *et al.* **Fertilidade e carbono total e oxidável de Latossolo de cerrado sob pastagem irrigada e de sequeiro.** Ciência Rural, v. 43, n. 3, p. 426-432, 2013.

Lourenço, A. J. *et al.* **Efeito de leguminosas tropicais na matéria orgânica do solo e na produtividade do sorgo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 17, p. 263-268, 1993.

LU, S. W.; LIU, C. P. **Patterns of litterfall and nutrient return at different altitudes in evergreen hardwood forests of central Taiwan.** Annals of Forest Science, v. 69, n. 8, p. 877-886, 2012.

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

MARQUES, T. E. D. *et al.* **Crescimento de espécies nativas de cerrado e de *Vetiveria zizanioides* em processos de revegetação de voçorocas.** Ciência Florestal, Santa Maria v. 24, n. 4, 2014.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Recuperação de Áreas Degradadas.** 2016.

MARCHINI, D.C. *et al.* **Matéria orgânica, infiltração e imagens tomográficas de latossolo em recuperação sob diferentes tipos de manejo.** Revista Brasileira de

Engenharia Agrícola e Ambiental, v.19, n. 6, p. 574-580, 2015.

MARTENS, D. A. **Plant residue biochemistry regulates soil carbon cycling and carbon sequestration.** Soil biology and Biochemistry, v. 32, n. 3, p. 361-369, 2000.

MARIN, A. M. P. **Impactos de um sistema agroflorestal com café na qualidade do solo.** 2002. Tese (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa, MG, 2002.

MARIN, A. M. P.; *et al.* **Efeito da *Gliricidia sepium* sobre nutrientes do solo, microclima e produtividade do milho em sistema agroflorestal no Agreste Paraibano.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 30, n. 3, p. 555-564, 2006.

MATRANGOLO, W. J. R. *et al.* **Aspectos de *Cratylia argentea* na região central de Minas Gerais e potencialidades em sistemas agrobiodiversos.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2018. 41 p. (Comunicado Técnico, 233).

MATRANGOLO, W. J. R.; *et al.* A Leguminosa *Cratylia argentea* e a construção de uma rede de pesquisa participativa. Agroecologia em foco. *In:* (ed) ANDRADE, D. F. **Agroecologia em foco.** 1. ed. Belo Horizonte-MG: Poisson, 2019. 197 p.

MATTAR, E. P. L. **Propagação e conservação de espécies arbustivas de uso múltiplo: *Tithonia diversifolia* e *Cratylia argentea*.** Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 2018.

MATTAR E. P. L. *et al.* **Response of *Cratylia argentea* (Desvaux) O. Kuntze to inoculation with *Rhizobium* sp. and *Bradyrhizobium* sp. strains.** Australian Journal of Crop Science, v. 12, p. 849–854, 2018.

MICHELON, C. J. *et al.* **Funções de pedotransferência para estimativa da retenção de água em alguns solos do Rio Grande do Sul.** Ciência Rural, v. 40, p. 848- 853, 2010.

MORA B. V. la, *et al.* Development of Tropical Forages in Veracruz, Mexico: Agronomic Approach for the New Forage Legume *Cratylia argentea*. *In:* Edited by EDVAN R. L. & BEZERRA L. **New Perspectives in Forage Crops.** InTech Open, p. 52-67, 2018.

Muzilli, O. **Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional sobre a fertilidade da camada arável do solo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.7, p.95-102, 1983.

NASCIMENTO, V. M.; MELO, W. J.; BUZETTI, S. **Efeito do desmatamento sobre o teor de matéria orgânica de um solo sob vegetação de cerrado cultivado com o milho (*Zea mays* L.), arroz (*Oryza sativa* L.) e soja (*Glycine max* (L.) Merrill).** Ilha Solteira: Faculdade de Engenharia/Universidade Estadual Paulista, p.50-52, 1981. (Relatório Técnico Científico, 1)

NARDI S. *et al.* **Physiological effects of humic substances on higher plants.** Soil Biology and Biochemistry, v. 34, p. 1527-1536, 2002.

NICOLOSO, R. S. *et al.* **Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, p. 1735-1742, 2008.

NOVAIS, R. F. de; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais.** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 123 p.

PACIULLO, D. S. C. *et al.* **Pastagens degradadas e recuperadas: emissão ou resgate de gás carbônico.** Cadernos Técnicos de Veterinária e Zootecnia, Conselho Regional de Medicina Veterinária-MG, n. 74, set., 2014.

PASSOS, R. R. *et al.* **Substâncias húmicas, atividade microbiana e carbono lábil em agregados de um latossolo vermelho distrófico sob duas coberturas.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 31, p. 1119-11129, 2007.

PEREIRA, M. G. *et al.* **Carbono, matéria orgânica leve e fósforo remanescente em diferentes sistemas de manejo do solo.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 45, p. 508-514, 2010.

PEREIRA T. P. *et al.* **Characterization and biological activity of condensed tannins from tropical forage legumes.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 53, p. 1070–1077, 2018.

PICCOLO A. **The supramolecular structure of humic substances.** Soil Science, v. 166, p. 810-832, 2001.

RASSE, D. P. *et al.* **Alfalfa root and shoot mulching effects on soil hydraulic properties and aggregation.** Soil Science Society American Journal, v. 64, p. 725-731, 2000.

REID, J. B. & GOSS, M. J. **Effect of living roots of different plant species on the aggregation stability of two arable soil.** Journal of Soil Science and Plant Nutrition, v. 32, p.521-541, 1981.

RIBEIRO, P. H. *et al.* **Adubação verde, os estoques de carbono e nitrogênio e a qualidade da matéria orgânica do solo.** Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 6, n.1, 2011.

REINERT, D. J. *et al.* **Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, p. 1805-1816, 2008.

RESENDE, M. *et al.* **Pedologia: base para distinção de ambientes.** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1997. 367 p.

ROS, C. O.; AITA, C. **Efeito de espécies de inverno na cobertura do solo e fornecimento de nitrogênio ao milho em plantio direto.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 20, p.135-140, 1996.

ROS C. O. *et al.* **Effects of fertilization methods on soil nitrogen availability for wheat and corn production.** *Ciência Rural*, v. 33, n. 5, 2003.

ROSCOE, R. *et al.* **Effects of fire on organic matter in a "cerrado sensu-stricto" from Southeast Brazil as revealed by changes in $\delta^{13}\text{C}$.** *Geoderma*, v. 95, p. 141-160, 2000.

ROSOLEM, C.A.; FOLONI, J.S.S.; TIRITAN, C.S. **Root growth and nutrient accumulation in cover crops as affected by soil compaction.** *Soil and Tillage Research*, v. 65, p. 109-115, 2002.

SANTOS, I. L. D. *et al.* **Cover plants and mineral nitrogen: effects on organic matter fractions in an oxisol under no-tillage in the cerrado.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 38, n. 6, p. 1874-1881, 2014.

SASAL, C. *et al.* **Efecto de diferentes enmiendas sobre algunas propiedades edáficas, en sistemas de producción hortícola del centro norte de la región pampeana.** *Ciencia del Suelo*, Buenos Aires, v. 18, p. 95-104, 2000.

SCHLESINGER, W. H. **Soil respiration and the global carbon cycle.** *Biogeochemistry*, v. 48, p. 7-20, 2000.

SIDIRAS, N.; PAVAN, M. A. **Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. Campinas, v. 9, p. 249-254, 1985.

SILVA, C.L.; KATO, E. **Efeito do selamento superficial na condutividade hidráulica saturada da superfície de um solo sob cerrado.** *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 2, p. 213-220, 1997.

SILVA, M. L. N. *et al.* **Rotação adubo verde-milho e adsorção de fósforo em Latossolo Vermelho-Escuro.** *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 32, p. 649-654, 1997.

SILVA, J. E. *et al.* **Carbon storage in clayey oxisol cultivated pastures in the "cerrado" region, brazil.** *Agriculture, Ecosystem and Environment*, v. 103, p. 357-363, 2004.

SILVA, M. A. S. *et al.* **Propriedades físicas e teor de carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob distintos sistemas de uso e manejo.** *Revista Brasileira Ciência do Solo*, v. 30, p. 329-337, 2006.

SILVA, E. E. *et al.* **Matéria orgânica e fertilidade do solo em cultivos consorciados de couve com leguminosas anuais.** *Revista Ceres*, v. 56, p. 93-102, 2009.

SILVA, T.O. da. **Plantas de cobertura submetidas a diferentes fontes de fósforo em solos distintos.** *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 32, n. 4, p. 1315-1326, 2011.

SILVA, E. D. *et al.* **Adubação verde como fonte de nutrientes às culturas.** *In: LIMA FILHO, O. F. DE L. et al;* (ed). **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil.** Brasília: Embrapa, p. 265-305, 2014.

SILVA, M. E., *et al.* **Anthelmintic efficacy of *Cratylia argentea* (Desv.) Kuntze against the gastrointestinal nematodes of sheep.** *Semina: Ciências Agrárias*, v. 38, n. 5, p. 3105-3112, 2017.

SIQUEIRA NETO, M. *et al.* **Rotação de cultura no sistema plantio direto, em Tibagi (PR).** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, p. 1013-1022, 2009.

SIQUEIRA NETO, M. *et al.* **Estoques de carbono do solo sob plantio direto em sistemas de cultivo no cerrado do Brasil: uma avaliação sincrônica na exploração.** *Soil Tillage Research*, v. 110, p. 187-195, 2010.

SIX, J. *et al.* **Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils.** *Soil Science Society of America Journal*, v. 62, p. 1367-1377, 1998.

SIX, J.; ELLIOTT, E. T.; PAUSTIAN, K. **Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems.** *Soil Science Society of America Journal*, Madison, USA, v. 63, p. 1350-1358, 1999.

TATE III, R. L. Humic and fulvic acids: formation and decomposition. In: TATE III, R.L., ed. **Soil organic matter: biological and ecological effects.** New York: John Wiley and Sons, 1987. p. 147-164.

TEJADA, M. *et al.* **Application of a green manure and green manure composted with beet vinasse on soil restoration: effects on soil properties.** *Bioresource Technology*, New York, v. 99, p. 4949-4957, 2008.

TESTA, V. M.; TEIXEIRA, L. A. J.; MIELNICZUK, J. **Características químicas de um podzólico vermelho-escuro afetadas por sistemas de culturas.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 16, p. 107-114, 1992.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. **Stabilization of soil aggregates by the root system of ryegrass.** *Australian Journal of Soil Research*, v. 17, p. 429-441, 1979.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. **Organic matter and water-stable aggregates in soils.** *Journal of Soil Science*, Oxford, v. 33, n. 1, p. 141-163, 1982.

Tomé Júnior, B. **Manual para interpretação de análise de solo.** Guaíba: Agropecuária, 1997. 247p.

TORRES, J. L. R. *et al.* **Influência de plantas de cobertura na temperatura e umidade do solo na rotação de culturas milho-soja em plantio direto.** *Revista Brasileira de Agrociência*, v. 12, n. 1, p. 107-113, 2006.

TRINSOUTROT, S. R. *et al.* **Biochemical Quality of Crop Residues and Carbon and Nitrogen Mineralization Kinetics under Nonlimiting Nitrogen Conditions.** *Soil Science Society of America Journal*, v. 64, n. 3, p. 918, 2010.

VERAS, M. S. *et al.* **Cover Crops and Nitrogen Fertilization Effects on Nitrogen Soil Fractions under Corn Cultivation in a No-Tillage System.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo (Online)*, v. 40, 2016.

WADE, M. K.; SANCHEZ, P. A. **Mulching green manure applications for continuous crop production in the amazon basin.** Agronomy Journal, Madison, v. 75, p. 39-45, 1983.

WEBER, M, A.; MIELNICZUK, J. **Estoque e disponibilidade de nitrogênio no solo em experimento de longa duração.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 33, n. 2, p. 429-437, 2009.

WILLIAMS, S. M.; WEIL, R. R. **Crop cover root channels may alleviate soil compaction effects on soybean crop.** Soil Science Society of American Journal, v. 68, p. 1403-1409, 2004.

WOHLENBERG, E. V. *et al.* **Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 28, p. 891-900, 2004.

WU, T. *et al.* **Influence of cultivation and fertilization on total organic carbon and carbon fractions in soils from the Loess Plateau of China.** Soil Tillage Research, v. 77, p. 59-68, 2004.

Lima Filho, O. F. L. *et al.* **Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na chapada da Ibiapaba - CE.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 30, n. 2, p. 247-258, 2006.

ZECH, W. *et al.* **Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics.** Geoderma, v. 79, n. 1/4, p. 117-161, 1997.

ZOTARELLI, L. *et al.* **Impact of tillage and crop rotation on light fraction and intra-aggregate soil organic matter in two Oxisols.** Soil and Tillage Research, v. 95, n. 1, p. 196-206, 2007.

APÊNDICE – Fotografias



Figura 7 – Área experimental cultivada com *Cratylia argentea* e área ao entorno usada como controle.
Fonte: o autor.



Figura 8 – A *C. argentea* tem intensa ramificação a partir da base, sem a formação de um pivô principal ou tronco. A planta apresenta elevada deposição de serapilheira composta principalmente de galhos e folhas mortas.
Fonte: o autor.



Figura 9 – Coleta de amostras indeformadas para a o cálculo da densidade do solo pelo método do anel volumétrico.
Fonte: o autor.



Figura 10 – Para avaliação do teor de carbono orgânico, foi empregado o princípio da oxidação da matéria orgânica com dicromato de potássio em meio sulfúrico e titulação com sulfato ferroso amoniacal (método Walkley & Black).
Fonte: o autor.



Figura 11 – Fracionamento químico da matéria orgânica. Nessa etapa, o precipitado representa o Ácido Fúlvico Livre e o filtrado a Matéria Orgânica Leve.

Fonte: o autor.



Figura 12 – Extração de substâncias húmicas da área cultivada com *C. argentea* na camada de 0-20cm e 20-40cm.

Fonte: o autor.