

JAEISON SOUZA ARAUJO

**COMPORTAMENTO DE ATRIBUTOS DO SOLO SUBMETIDOS A DIFERENTES
SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO EM EXPERIMENTO DE LONGA DURAÇÃO
NOS TABULEIROS COSTEIROS**

SÃO CRISTÓVÃO – SE

ABRIL 2024



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE – UFS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS APLICADAS – CCAA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA – DEA

**Comportamento de atributos do solo submetidos a diferentes sistemas de manejo do solo
em experimento de longa duração nos Tabuleiros Costeiros**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Agrônômica – Universidade Federal de Sergipe, como requisito para a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Aprovado em: 08/04/2024

Orientando: Jaelson Souza Araujo

Documento assinado digitalmente
gov.br FRANCISCO SANDRO RODRIGUES HOLANDA
Data: 11/04/2024 20:55:35-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Francisco Sandro Rodrigues Holanda

(Orientador)

Documento assinado digitalmente
gov.br LUIZ DIEGO VIDAL SANTOS
Data: 10/04/2024 22:14:04-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Documento assinado digitalmente
gov.br ALCEU PEDROTTI
Data: 11/04/2024 07:15:24-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Engo. Agron. Luiz Diego Vidal Santos, D.Sc

(Banca examinadora)

Prof. Dr. Alceu Pedrotti

(Banca examinadora)

São Cristóvão – SE

ABRIL – 2024

AGRADECIMENTOS

A minha eterna gratidão a Deus, que mesmo em momentos em que não me fiz fiel a ti, me mante firme e determinado a seguir batalhando pelos meus sonhos.

Aos meus pais, João e Vandete, por nunca medirem esforços para que seus filhos realizassem todos os sonhos, sempre com palavras incentivadoras, que o estudo era uma das únicas portas que poderia nos levar a lugares que eles não conseguiram alcançar.

Aos meus irmãos, Rafaela e Rodrigo, por serem exemplos, acreditarem em mim, me incentivar e dar o suporte necessário para que eu chegasse até aqui.

A minha namorada, Veronica, por ter que me aturar durante o período mais complicado da minha vida, me motivando e mostrando que eu era capaz.

Aos meus amigos, Adielson (Jadilson) Gustavo, Gizelio, Heitor, Jaine, Jeferson, Matheus, Michele, Urias, Renildo levarei todos em meu coração para sempre.

Gratidão ao meu prof. Dr. Orientador, Francisco Sandro Rodrigues Holanda, por todas as oportunidades dadas, por toda a atenção, pela missão de me fazer ser um profissional melhor.

Gratidão ao Dr. Diego Vidal, por não medir esforços para me auxiliar no desenvolvimento desse projeto.

Agradeço aos meus colegas do LABES (em especial a Henrique), por toda a assistência prestada nos momentos em que precisei. E os colegas que passaram no LABES durante esse período.

Agradeço ao Prof. Dr. Airon, Dr. Idamar, Msc. Kairon pela disponibilidade e assistência prestada durante o período de análises.

Agradeço aos meus primos, tios, tias, amigos e amigas de infância por todas as oportunidades que a mim foram dadas, sou imensamente grato a vocês

Agradeço a todas as pessoas que passaram em minha vida durante esse período e que de alguma forma contribuiu para que eu chegasse até aqui. Sr. Raimundo e Dona Vilma, por disponibilizarem sua residência para guardar minha moto, para que eu conseguisse ir para o cursinho pré-vestibular. Ao Professor Joel, que após um dia árduo de trabalho e cansaço acumulado não fez que eu desistisse.

Gratidão a todos que fizeram parte desse processo!

RESUMO

O conhecimento das propriedades físico-químicas do solo contribui para o melhor aproveitamento deste recurso natural. Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo determinar os efeitos dos sistemas de preparo de solo (sistema convencional, cultivo mínimo e plantio direto) e culturas antecedentes no comportamento de atributos do solo em experimento de longa duração. O estudo foi realizado na Estação Experimental Campus Rural da Universidade Federal de Sergipe, em experimento de longa duração conduzido desde o ano 2001, em solo classificado como ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico. Os sistemas de preparo do solo utilizados foram o sistema de cultivo convencional – SCC; sistema de cultivo mínimo – SCM; e o sistema de plantio direto – SPD, milho verde, associadas a culturas antecedentes (crotalaria, milheto, feijão guandu e feijão caupi) ao plantio do milho verde. As amostras foram coletadas na camada de 0,0 - 0,10 m e 0, 10 – 0,20m, analisadas e submetidas a análise de variância, realizados com o software IBM® SPSS®. Os resultados encontrados demonstram que o sistema de preparo do solo exerce influência significativa nas variáveis estudadas. O SPD se diferenciou estatisticamente dos demais sistemas na camada de 0,0 - 0,10 m, apresentando maior densidade média. Sistemas mais conservacionistas apresentaram maiores teores de Carbono Orgânico Total em superfície. O SPD diferiu estatisticamente do SCC apresentando maior conteúdo de MOS (Matéria Orgânica do Solo) em ambas as camadas de solo estudadas, além de se diferenciar dos demais sistemas para a variável estoque de carbono. Dentre as culturas antecedentes, o tratamento com Crotalaria apresentou os melhores resultados para as variáveis MOS, COT e Estoque de carbono. Evidenciando a importância de maiores abordagens científicas quanto a sustentabilidade do uso do solo.

Palavras-chave: Qualidade do solo, manejo sustentável, carbono no solo.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-Densidade do solo (g.cm ³) nas áreas trabalhadas com os diferentes sistemas de preparo do solo associado às diferentes culturas antecedentes.	18
Tabela 2-Distribuição de carbono orgânico total (g/kg) nas áreas trabalhadas com os diferentes sistemas de preparo do solo associado às diferentes culturas antecedentes.	21
Tabela 3-Matéria orgânica do solo (dag/kg-1) nos diferentes sistemas de preparo do solo associado às diferentes culturas antecedentes.	25
Tabela 4- Estoque de carbono (mg/ha-1) nos diferentes sistemas de preparo do solo associado às diferentes culturas antecedentes.	29

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1- Disposição do experimento na área experimental.	13
Figura 2-Croqui do experimento de longa duração conduzido na Estação Experimental Campus Rural da Universidade Federal de Sergipe - UFS	14
Figura 3 - Imagens da área experimental, coleta, preparo e análises experimentais no Laboratório de Remediação de Solos.	15
Figura 4-Densidade do solo nos diferentes sistemas de preparo do solo associado às diferentes culturas antecedentes, na profundidade de 0,0 – 0,10 m.....	19
Figura 5-Densidade do solo nos diferentes sistemas de preparo do solo associado às diferentes culturas antecedentes na profundidade de 0,10 – 0,20 m.....	20
Figura 6-Carbono orgânico do solo nos diferentes sistemas de preparo do solo associado às diferentes culturas antecedentes na profundidade de 0,0 - 0,10 m.	23
Figura 7-Carbono orgânico do solo nos diferentes sistemas de preparo do solo associado às diferentes culturas antecedentes na profundidade de 0, 10 – 0,20 m.....	23
Figura 8-MOS nos diferentes sistemas de preparo do solo associado às diferentes culturas antecedentes na profundidade de 0,0 - 0,10 m	27
Figura 9 - MOS nos diferentes sistemas de preparo do solo associado às diferentes culturas antecedentes na profundidade de 0,10 – 0,20m.....	28
Figura 10 - Estoque de carbono nos diferentes sistemas de preparo do solo associado às diferentes culturas antecedentes na profundidade de 0,0 - 0,10 m.	30
Figura 11 - Estoque de carbono (mg ha^{-1}) nos diferentes sistemas de preparo do solo associado às diferentes culturas antecedentes na profundidade de 0,10 – 0,20m.	31

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. REFERENCIAL TEORICO.....	9
2.1. O solo.....	9
2.2. Densidade do solo	10
2.3. Sistemas de preparo do solo	10
2.4. Plantas antecedentes	11
2.5. Carbono orgânico do solo, matéria orgânica do solo e estoque de carbono	12
3. MATERIAIS E METODOS	13
3.1. Descrição da área de estudo	13
3.2. Caracterização e coleta de dados.....	14
3.3. Análise estatística.....	16
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	17
4.1. Densidade do solo	17
4.2. Carbono orgânico do solo	20
4.3. Matéria orgânica do solo	24
4.4. Estoque de carbono	28
5. CONCLUSÕES	31
6. REFERÊNCIAS	32

1. INTRODUÇÃO

Desde os nômades, o solo é considerado fator preponderante para o surgimento de novas civilizações. A busca por áreas mais produtivas e com maior disponibilidade de recursos para a sobrevivência, fizeram com que o ser humano buscasse por alternativas que fossem capazes de garantir os recursos básicos para o estabelecimento de uma população local.

Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (2018), são conhecidas no Brasil atualmente 13 (Treze) classes de solo, formadas a partir de diferentes tipos de rochas ou materiais de origem e classificados mediante seus atributos físicos, químicos e morfológicos. Dessa forma, o conhecimento desses atributos facilita na compreensão de como e quais formas podemos explorar esses recursos, garantindo que o mesmo permaneça próximo das suas condições naturais (LEPSH, 2010).

O uso intensivo do solo pode acarretar a perda de solo e dos nutrientes necessários para o desenvolvimento de espécies vegetais. Na maioria das vezes esses processos de degradação estão associados à ausência de práticas conservacionistas, que na sua totalidade preconizam pela manutenção da palhada, rotação de culturas, plantio de plantas de cobertura e etc.

Usualmente, os preparos de solo no Brasil têm se caracterizado pela adoção de três sistemas fundamentais, o sistema de cultivo convencional (SCC), sistema de cultivo mínimo (SCM) e o sistema de plantio direto (SPD), ambos os sistemas determinados pelo nível de utilização de máquinas e implementos nas camadas mais superficiais do solo, além da utilização de outras práticas utilizadas (BERTOL, et al., 2019).

O tráfego constante de máquinas, revolvimento do solo em camadas superficiais, extração do teor de biomassa produzida pela planta, entre outras atividades, podem contribuir para a alteração das características físicas, químicas e biológicas do solo (NAGAHAMA, 2011). Dito isto, cabe ressaltar que tais características são fatores determinantes para que lavouras apresentem padrões produtivos satisfatórios, além da manutenção do sistema solo (ADAMS, 2016).

A avaliação destas características em experimentos conduzidos sob longa duração, permite uma melhor avaliação de como o solo se comporta com a utilização de diferentes sistemas de manejo. Os SPD e o SCM tendem a apresentar maiores acúmulos de carbono

orgânico no solo, além de beneficiar a estrutura física do solo quando comparado a SCC, quando os sistemas conservacionistas utilizam plantas de coberturas como cultura antecessora (OLIVEIRA, et. al., 2020).

Ainda, o uso de plantas antecessoras em sistemas produtivos tem como principal objetivo fornecer palhada ao ambiente, supressão de plantas espontâneas, controle a erosão e promover melhoria na estrutura do solo. Porém, a escolha de plantas deve favorecer a cultura a ser implantada posteriormente, adicionando conteúdo de matéria orgânica, fixação de nutrientes e com ciclos relativamente curtos (FERREIRA, 2015).

O presente trabalho teve como objetivo determinar os efeitos dos sistemas de preparo de solo (sistema convencional, cultivo mínimo e plantio direto) e culturas antecedentes no comportamento de atributos do solo em experimento de longa duração.

2. REFERENCIAL TEORICO

2.1. O solo

Vários conceitos são utilizados para a definição da palavra solo. Via de regra, o solo é classificado como uma seleção de corpos naturais constituídas de frações sólidas, líquidas e gasosas, com partículas tridimensionais, dinâmicos (EMBRAPA 2018). O processo de formação se dá a partir da exposição de rochas presentes na litosfera sofrendo alterações mediante mudanças de temperatura, ação de microrganismos e o clima, iniciando o processo de intemperismo (LEPSH, 2010).

Esse recurso natural é de grande importância, visto a sua capacidade de promover o desenvolvimento de espécies vegetais, na estocagem e reciclagem de nutrientes, da biota do solo e principal responsável pela produção de agrícola (SILVA et al., 2020). A depender do ambiente em que a produção agrícola se desenvolve as respostas podem ser diferentes seja na qualidade ou na quantidade do que se produz.

Os ambientes dominados pela formação geológica barreiras, predominantemente formada por rochas sedimentares apresentam especificidades que os diferenciam dos demais ocorrentes na região Nordeste do Brasil (NUNES et al., 2011). Os Tabuleiros Costeiros distribuídos em quase toda faixa limítrofe brasileira, vem despertando o interesse econômico e científico, visto que se trata de ambientes com grande extensão territorial, condições topográficas e hídricas de superfície e subsuperfície favoráveis ao uso agrícola (NUNES et al., 2019). Com uma área de aproximadamente 7.126 km², a região dos Tabuleiros Costeiros em Sergipe

representa cerca de 32% da área total do Estado (FERREIRA, 2015). Por estarem localizados em áreas que são relevantes para a economia, vem sendo submetidos a diversos ciclos de produção agrícola, levando estes solos à degradação por processos erosivos e o esgotamento nutricional, fazendo-se necessário o uso de práticas conservacionistas (PEREIRA et al., 2022).

2.2. Densidade do solo

Elevados valores de densidade do solo aliada a resistência do solo a penetração, contribui para formação de camadas compactadas (BERTOL et al., 2000), limitando o desenvolvimento do sistema radicular, potencial produtivo das culturas e a capacidade de retenção de água, fatores que podem sofrer interferência da densidade do solo (DIAS JUNIOR, 2000).

As elevações da densidade do solo em sistemas agrícolas estão associadas ao tráfego intensivo de máquinas e implementos propiciando formação de camadas compactadas, ineficiência de práticas agrícolas, baixo conteúdo de matéria orgânica etc. (MOREIRA, 2019). Segundo Fabrizzi et al. (2005), o SPD contribui de forma significativa no aumento da densidade de solo em razão do tráfego de maquinários nas fases de plantio e colheita.

Na busca por mitigar efeitos da alteração da densidade nos sistemas de preparo do solo, vem sendo utilizadas técnicas que favoreçam o aporte de biomassa no solo e aumento na quantidade de matéria (ARAUJO et al., 2007). A utilização de espécies vegetais com sistema radiculares do tipo pivotante, contribui para que as raízes ultrapassem camadas mais densas do solo, que através do processo de decomposição condicionem o solo estruturalmente, liberando novos bioporos (CASTRO, et al., 2021).

2.3. Sistemas de preparo do solo

A manutenção da fertilidade do solo, maior retenção de água, melhoria na estrutura do solo e satisfatórias produções agrícolas se correlacionam com a adequação de práticas que favoreçam o sistema solo de forma geral (RUSU, 2014).

O aumento dos processos erosivos vem fazendo o produtor renunciar aos sistemas convencionais, passando a adotar práticas conservacionistas, com a utilização de sistemas cultivados minimamente buscando a manutenção da palhada sobre a superfície do solo (BERTOLLO & LEVIEN, 2019). Em experimentos de

longa duração com o uso de diferentes sistemas é possível observar diferenças significativas nas propriedades físicas e químicas do solo em sistemas de preparo convencional, em comparação aos sistemas mais conservacionistas (KOMISSAROV e KLIK, 2020).

Embora o sistema de preparo do solo convencional seja bastante difundido, outros sistemas vêm se tornando opção para produtores, a exemplo do cultivo mínimo e do plantio direto. Essas práticas buscam melhorar estruturalmente as propriedades físicas do solo, melhorando a atividade biológica e aumento na concentração de matéria orgânica (LAL, 2015).

No SPD a semeadura é realizada sobre a palhada aumentando a retenção de carbono, diminuindo a evaporação, aumentando a taxa de infiltração e liberação gradativa de nutrientes (MANFRE et al., 2019), fazendo-se necessário também a adoção de rotação de culturas na área. Em que, as plantas adotadas para o sistema de rotação, devem proporcionar ao solo, uma maior ciclagem de nutrientes e favorecer as culturas a serem utilizadas em sucessão (SILVA et. al., 2006).

Intermediário aos sistemas citados anteriormente, o sistema de cultivo mínimo proporciona a redução das operações de preparo no solo, sendo geralmente o terreno submetido a uma escarificação e gradagem (FURLANI, 2004; ALMEIDA, 1992). Possibilitando a pouca movimentação de solo, reduzindo custos de preparo e diminuição de perdas de solo e água, em contrapartida à baixa incorporação de resíduos vegetais (MONTANARI et al., 2012).

2.4. Plantas antecedentes

A utilização de plantas de cobertura traz ao solo diversos benefícios, principalmente no que diz respeito a fração física, ciclagem de nutrientes e contribuição biológica (PEREIRA et al., 2017). Nesse sentido, o uso de plantas de cobertura tais como leguminosas favorece o maior aporte de fitomassa sobre a superfície, garantindo melhor estruturação do mesmo contra os processos erosivos, além da melhoria na disponibilidade de nutrientes no sistema (ALVARENGA et al., 2001).

A efetividade dos sistemas conservacionistas como a prática do plantio direto, necessita da utilização dessas plantas de coberturas para aumentar a produção de palhada, diminuindo o impacto contra as gotas de chuvas e outros agentes erosivos. (SILVA et al., 2021). Dessa forma cabe ressaltar que a escolha da espécie a ser

trabalhada, depende dos critérios exigidos pelo perfil do solo, com a utilização de materiais com maior ou menor relação carbono e nitrogênio (NERY & FRANCO JUNIOR, 2023).

Espécies leguminosas contribuem para o maior incremento de matéria orgânica do solo, além de contribuir para o aumento de produtividade (OLIVEIRA, et al., 2017). O uso de crotalária (*Crotalaria juncea*) demonstra a alta capacidade de promover o acúmulo de nutrientes e maior produção de biomassa, corroborando com as premissas citadas no início deste tópico (NERY & FRANCO JUNIOR, 2023).

2.5. Carbono orgânico do solo, matéria orgânica do solo e estoque de carbono

A matéria orgânica do solo possui grande importância no desenvolvimento das atividades agrícolas, contribuindo nas propriedades químicas, físicas e biológicas (CONCEIÇÃO et al., 2017). A atividade da matéria orgânica no solo está interligada com o processo de ciclagens de nutrientes, agregação do solo, dinamismo da água dentro do sistema e reguladora da atividade biológica do solo (ROSCOE et al., 2006). O saldo de matéria orgânica dentro do sistema é resultado da entrada de resíduos e da taxa de decomposição desses, podendo esse conteúdo sofrer influência de fatores bióticos (CIDIN, 2016) e fatores abióticos, como o clima (COSTA et al., 2008).

O carbono orgânico do solo refere-se à fração de matéria orgânica decomposta, responsável pela estruturação e construção da fertilidade do solo, e geralmente o seu comportamento está linearmente atrelado com a densidade do solo, ou seja, quanto maior o seu conteúdo no solo, maiores os valores de matéria orgânica (LUCIANO et al., 2010). A melhoria no desenvolvimento de espécies vegetais contribui para aumentar o aporte de biomassa e consequente o teor de matéria orgânica e carbono, e sistemas conservacionistas promovem o aumento no teor de C em profundidades superiores a 20 cm (RIGOLIN, et al., 2013).

Recentemente vem-se aumentando o estudo em relação a medidas mitigadoras capazes de sequestrar o Carbono (C) atmosférico, contribuindo para a redução do efeito estufa (DE JESUS et al., 2019). Nesse sentido, o solo vem sendo estudado como ferramenta capaz de capturar esse C (COSTA et al., 2008), associado a diferentes sistemas de manejo, capazes de diminuir a emissão do dióxido de carbono para a atmosfera (BAYER et al., 2004). Nesse cenário os sistemas conservacionistas surgem como meio alternativo para sequestro de C, uma vez que esses sistemas têm

por premissa a manutenção de palhada, rotação de culturas, com incorporação desses de formas gradativas ao perfil do solo (ROSCOE, 2006).

Além do aumento gradual da densidade do solo em áreas que sofreram alguma interferência antrópica, essas áreas apresentam menores teores e estoques de C (TROIAN, et al., 2020). Desse modo, exige a necessidade de intervenções humanas que facilitem no processo de incorporação.

3. MATERIAIS E METODOS

3.1. Descrição da área de estudo

O estudo foi realizado na Estação Experimental Campus Rural da Universidade Federal de Sergipe, cujas coordenadas geográficas são 10° 55' 24.390" S 37° 11' 57.920" W, localizada a aproximadamente 15 km da cidade de Aracaju - SE. Experimento com diferentes sistemas de preparo do solo, e culturas antecedentes vem sendo conduzido desde o ano de 2001 (PEDROTTI et al., 2017), em solo classificado como um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico (SANTOS, et al., 2018), altitude média de 22 m em relação ao nível do mar, com o clima do tipo AS' – tropical chuvoso com verão seco seguindo a classificação de KOPPEN e pluviosidade média aproximadamente de 1200 mm anuais, com período chuvoso compreendido entre Abril e Setembro (PEDROTTI et al., 2017).

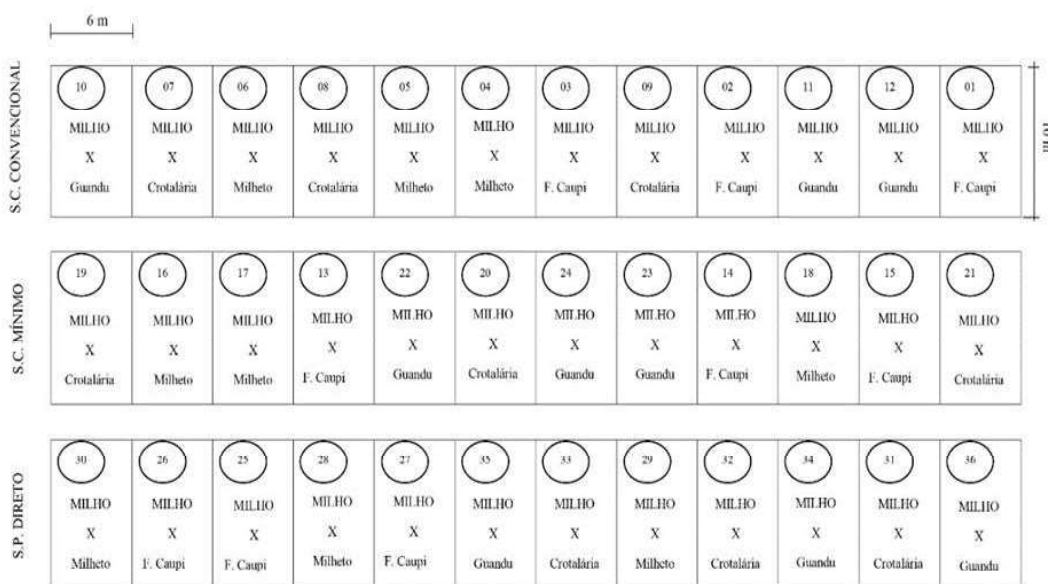
Figura 1- Disposição do experimento na área experimental.



3.2. Caracterização e coleta de dados

Segundo Pedrotti et al., (2017) a área experimental vem sendo manejada desde o ano de 2001, quando então foram implantados experimentos de longa duração, com diferentes sistemas de preparo do solo (SCC, SCM E SPD) com utilização de plantas de coberturas antecedendo o plantio do milho (*Zea mays* L.), sendo: crotalária (*Crotalaria juncea* L.), guandu (*Cajanus cajan* L. (MILLSP)), milheto (*Pennisetum glaucum* L.) e feijão-caupi (*Vigna unguiculata*). Com disposição em campo conforme apresentado na Figura 1.

Figura 2-Croqui do experimento de longa duração conduzido na Estação Experimental Campus Rural da Universidade Federal de Sergipe - UFS



Para o sistema de cultivo convencional utilizou-se arado de disco como preparo primário e grade niveladora como preparo secundário, com revolvimento de 30 e 10 cm respectivamente. no sistema de cultivo mínimo utilizou-se somente a grade niveladora como preparos primário e secundário, com profundidade de corte de aproximadamente 10 cm; e para o sistema de plantio direto, abdicou-se do uso dos implementos citados anteriormente ou seja, sem preparo do solo.

O experimento foi distribuído em 12 parcelas, com tamanho individual de 60 m² (6m x 10m) com um total 36 parcelas na área de estudo. Os fornecimentos dos nutrientes são aplicados na forma de superfosfato triplo, ureia e cloreto de potássio em dosagens de N – 120, P₂O₅⁻ - 90 e K₂O – 110 kg. ha⁻¹ e correção do solo com

calagem, mediante necessidade, a partir de resultados de análises químicas (PEDROTTI et al., 2017).

As amostras de solo para esse estudo foram coletadas antecedendo o plantio do milho (*Zea mays* L.) e em sucessão ao período de decomposição das culturas antecedentes, entre os meses de março e abril de 2022. Para isso realizou-se a abertura de mini trincheiras dentro de cada parcela sendo coletadas duas amostras simples, na profundidade de 0,0 – 0,10 m e 0,10 – 0,20 m, totalizando 24 amostras por sistema de cultivo e 72 amostras na área experimental. As amostras foram levadas até o Laboratório de Erosão e Sedimentação (LABES) da Universidade Federal de Sergipe, secas em estufas, destorroadas, passadas em peneiras de com malha de 2,0 mm para obtenção de terra fina seca ao ar e analisadas conforme a metodologia descrita no Manual de Análises de Solo (EMBRAPA, 2009) e encaminhadas para análise no Laboratório de Remediação do Solo (LRS), dessa instituição.

Figura 3 - Imagens da área experimental, coleta, preparo e análises experimentais no Laboratório de Remediação de Solos.



As amostras foram postas em estufa para a secagem, destorroadas e passadas em peneiras de 2,0 mm para obtenção de terra fina seca ao ar para posteriores análises. A teor de carbono orgânico seguiu a metodologia adaptada por Yeomans e Bremner (1988), sendo o carbono determinado pela oxidação a seco ou úmida do solo.

$$A = \frac{(Vba - Vam) \times (Vbn - Vba)}{Vbn} + (Vba - Vam)$$

Em que: A= porcentagem de carbono orgânico;

Vba = volume gasto na titulação do branco no controle com aquecimento;

Vbn = volume gasto na titulação do branco no controle sem aquecimento;

Vam = volume gasto na titulação da amostra;

Carbono orgânico

$$\frac{CO(dag\ kg - 1) = (porcentagem\ de\ carbono\ orgânico) \times (molaridade\ do\ Sulf.\ Ferroso) \times (3) \times (100)}{Peso\ da\ amostra\ (mg)}$$

Em que:

3 = valor da relação entre o número de mols do $Cr_2O_7^{2-}$ que reagem com o Fe^{2+} , multiplicado pelo número de mols de $Cr_2O_7^{2-}$ que reagem com C0, multiplicado pela massa atômica do carbono.

100 = fator de conversão de unidade (mg mg^{-1} para dag kg^{-1})

Matéria orgânica

$$M.O. (dag\ kg^{-1}) = CO \times 1,724$$

Estoque de carbono

$$E = (Ds \times C \times e) / 10 = mg\ ha^{-1} \text{ (CARDOSO et al., 2010)}$$

Em que: E = Estoque de carbono; Ds = Densidade do solo; C= Carbono orgânico total; e= espessura da camada estudada (cm).

3.3. Análise estatística

A análise de variância (ANOVA) foi empregada com o objetivo de examinar diferenças nos teores de carbono orgânico total, matéria orgânica do solo, estoque de carbono e densidade do solo em função de distintos preparos do solo e culturas antecedentes.

Para avaliar a normalidade dos dados, foram utilizados os testes Kolmogorov-Smirnov (Kendall e George, 2008) e Shapiro-Wilk (Shapiro e Wilk, 1965), enquanto o pressuposto de homogeneidade de variância foi verificado pelo teste de Levene (Schultz, 1985).

Tendo em vista a ausência de homogeneidade e normalidade nos dados, optou-se pelo emprego de procedimentos de bootstrapping (1000 reamostragens; 95% IC BCa), visando maior confiabilidade dos resultados e correção de desvios da normalidade da distribuição da amostra, além de proporcionar um intervalo de confiança de 95% para as diferenças entre as médias (Haukoos & Lewis, 2005). Análises de Post-hoc e comparações entre grupos foram realizadas utilizando o teste Bonferroni.

Posteriormente, foram conduzidas análises de regressão linear múltipla (método forward) (Efron et al., 2004) nos teores de carbono orgânico total, matéria orgânica do solo, estoque de carbono e densidade do solo em diferentes tratamentos. Todos os testes foram realizados com o software IBM® SPSS® (SPSS Corp, 2017), considerando-se estatisticamente significativos os resultados com $p < 0,05$.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Densidade do solo

Os resultados da análise de variância (ANOVA) sugerem que o sistema de cultivo utilizado exerce influência na densidade do solo (g/cm^3) na profundidade de 0, 0 – 0,10m. Na Tabela 1, estão descritos os valores médios de densidade obtidos do respectivo trabalho, associado com a contribuição das plantas de cobertura no estudo dessa variável.

Na profundidade de 0,0 – 0,10m, ANOVA foi revelado um efeito significativo do método de cultivo com valores de $[F(2,96) = 4,990; p < 0,001]$. O tamanho do efeito para o método de cultivo $\eta^2 = 0,094$ foi considerado pequeno, indicando que o método de cultivo explica apenas 9% na profundidade estudada. Por outro lado, não se observou diferença estatística na profundidade de 0,10 – 0,20m, divergindo de trabalhos onde em camadas mais profundas em sistemas agrícolas propiciam maiores valores de densidade (MOREIRA et al., 2016).

Tabela 1-Densidade do solo (g.cm³) nas áreas trabalhadas com os diferentes sistemas de preparo do solo associado às diferentes culturas antecedentes.

Sistema de Preparo do Solo	Cultura Antecedente	Densidade do solo (g.cm ³)	
		0-10 cm	10-20 cm
SPD	Caupi	1,749 ^(0,05) Aa	1,808 ^(0,04) Aa
	Milheto	1,731 ^(0,05) Aa	1,822 ^(0,05) Aa
	Crotalária	1,700 ^(0,09) Aa	1,807 ^(0,05) Aa
	Guandu	1,784 ^(0,07) Aa	1,745 ^(0,17) Aa
SCM	Caupi	1,473 ^(0,14) Ba	1,761 ^(0,11) Aa
	Milheto	1,813 ^(0,4) Ba	1,954 ^(0,47) Aa
	Crotalária	1,601 ^(0,09) Ba	1,726 ^(0,07) Aa
	Guandu	1,565 ^(0,10) Ba	1,694 ^(0,07) Aa
SCC	Caupi	1,631 ^(0,09) Aa	1,703 ^(0,03) Aa
	Milheto	1,622 ^(0,26) Aa	1,742 ^(0,11) Aa
	Crotalária	1,829 ^(0,22) Aa	1,896 ^(0,25) Aa
	Guandu	1,749 ^(0,05) Aa	1,835 ^(0,05) Aa

Letras maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os diferentes sistemas de preparo dentro da mesma profundidade e letras minúsculas indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre culturas antecedentes na mesma profundidade.

Em relação às médias de densidade do solo (g/cm³) para cada sistema de preparo do solo, o SPD apresentou a maior densidade média do solo, em ambas as camadas estudadas, diferindo estatisticamente com o SCM na camada de 0,0 – 0,10m, com densidade média de 1,741 g/cm³ e 1,613 g/cm³ respectivamente. No presente estudo não foi observado influência do sistema de cultivo na profundidade de 0,10 - 0,20 m.

Os resultados encontrados evidenciam hipóteses que em sistemas onde não existe o revolvimento do solo, tendem a formar camadas mais coesas em superfície. Horne et al., (1992), observaram resultados semelhantes a este estudo, onde o SPD condicionado a rotação de culturas apresentou os maiores valores de densidade quando comparado com os demais sistemas, o SCC e SCM.

O aumento da densidade no SPD pode estar relacionado com o aumento da atividade microbiana nos tabuleiros costeiros e também ao não revolvimento do solo e maior grau de compactação. Uma vez que o aporte de fitomassa vegetal da parte

aérea e raiz e a trafegabilidade de máquinas e implementos interfere no grau de camadas compactadas (DEBIASI et al., 2018) afetando os ciclos biogeoquímicos do solo. Ficando evidente que a adoção de sistemas de preparo do solo que preconizam o mínimo revolvimento tendem a favorecer no processo de aeração do solo e na redução da densidade em superfície. Na figura 3 e 4, estão representados os valores de densidade média de cada cultura antecedente, associado ao sistema de cultivo.

Figura 4-Densidade do solo nos diferentes sistemas de preparo do solo associado às diferentes culturas antecedentes, na profundidade de 0,0 – 0,10 m.

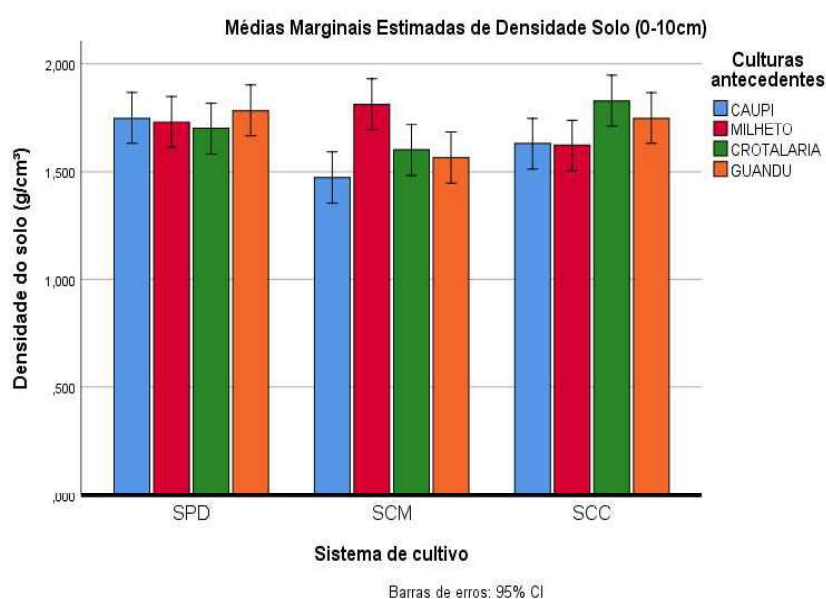
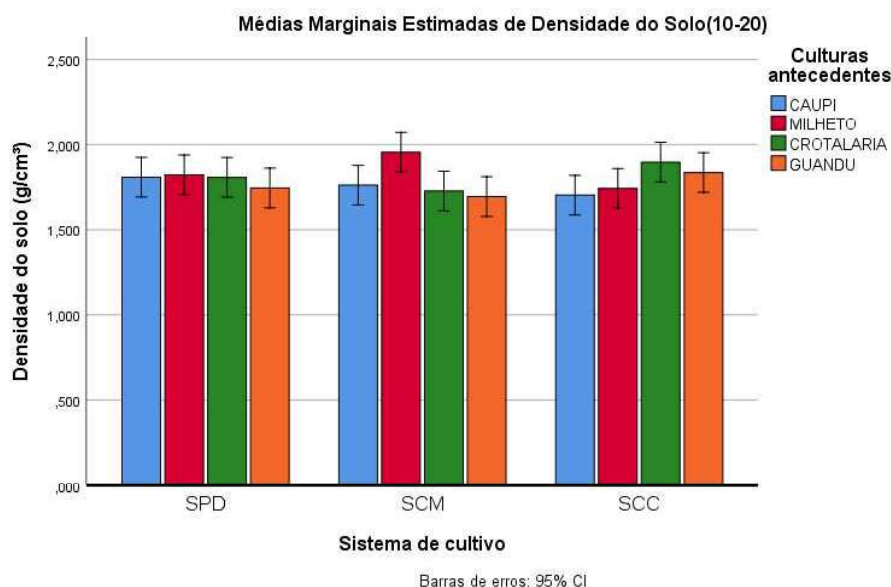


Figura 5-Densidade do solo nos diferentes sistemas de preparo do solo associado às diferentes culturas antecedentes na profundidade de 0,10 – 0,20 m.



4.2. Carbono orgânico do solo

Para a variável carbono orgânico total, a ANOVA revelou que sistemas mais conservacionistas (SPD e SCM) apresentaram os maiores teores de carbono orgânico total na camada de 0,0 – 0,10m, se diferenciando estatisticamente do SCC. Na Tabela 2, estão representados os valores médios de carbono orgânico total, bem como a diferenciação entre os sistemas de preparo do solo e a utilização de plantas de cobertura.

Tabela 2-Distribuição de carbono orgânico total (g/kg) nas áreas trabalhadas com os diferentes sistemas de preparo do solo associado às diferentes culturas antecedentes.

Sistema de Preparo do Solo	Cultura Antecedente	Carbono orgânico do solo do solo (g/kg)	
		Profundidade do solo	
		0-10 cm	10-20 cm
SPD	Caupi	0,813 ^(0,06) Ab	0,513 ^(0,11) Ab
	Milheto	0,670 ^(0,04) Ab	0,553 ^(0,07) Ab
	Crotalária	0,798 ^(0,13) Aa	0,668 ^(0,09) Aa
	Guandu	0,645 ^(0,05) Aa	0,418 ^(0,07) Aa
SCM	Caupi	0,671 ^(0,16) Ab	0,241 ^(0,15) Cb
	Milheto	0,676 ^(0,06) Ab	0,283 ^(0,05) Cb
	Crotalária	0,768 ^(0,08) Aa	0,335 ^(0,04) Ca
	Guandu	0,780 ^(0,08) Aa	0,341 ^(0,09) Ca
SCC	Caupi	0,431 ^(0,07) Bb	0,330 ^(0,07) Bb
	Milheto	0,510 ^(0,04) Bb	0,320 ^(0,05) Bb
	Crotalária	0,660 ^(0,12) Ba	0,405 ^(0,07) Ba
	Guandu	0,695 ^(0,08) Ba	0,520 ^(0,11) Ba

Letras maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os diferentes sistemas de preparo dentro da mesma profundidade e letras minúsculas indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre culturas antecedentes na mesma profundidade.

Na profundidade de 0,0 – 0,10m e 0,10 – 0,20m, a ANOVA revelou efeito significativos do método de preparo do solo, cujo valores de $[F(2,96) = 34,348; p < 0,001]$ e $[F(2,96) = 66,652; p < 0,001]$, apresentados respectivamente. O tamanho do efeito foi moderado, com $\eta^2 = 0,417$ e $\eta^2 = 0,581$ nas profundidades estudadas. Isso indica que o sistema estudado explica 41,7% da variância do carbono orgânico na profundidade de 0,0 - 0,10 m e 58,1% na profundidade de 0,10 – 0,20 m.

Na profundidade de 0,0 - 0,10 m, o SPD não diferiu estatisticamente do SCM, no entanto se mostrou bem superior em relação ao SCC, conforme visualizado na Tabela 2. Na camada de 0,10 – 0,20 m, a diferença média entre o SPD e o SCM foi de 0,237 g/kg, representando uma diferença de 23,7% no C.O do solo entre esses dois sistemas de preparo do solo. A diferença média entre o SPD e o SCC foi de 0,144 g/kg, representando uma diferença de 14,4% no C.O do solo entre esses dois sistemas de preparo do solo, na camada de 0,10 – 0,20 m.

Dentre as culturas antecedentes, a crotalária e o feijão guandu apresentaram as maiores médias dentre as culturas estudadas em ambas as profundidades estudadas, apresentando na profundidade de 0,0 - 0,10 m valores médios 0,706 e 0,742 g/kg e 0,426 e 0,464 na profundidade de 0,10 – 0,20 m, no entanto o tamanho do efeito das

culturas antecedentes foi considerado baixo. O tamanho do efeito na utilização do feijão guandu foi de 9% e 16% e da crotalária de 10,7% e 41% na utilização, em ambas as profundidades, respectivamente.

As Figuras de 5 e 6 apresentam o acúmulo de carbono orgânico do solo, sendo no eixo X os sistemas de cultivo e no eixo Y o teor de carbono orgânico, associado a cultura antecedente. Na comparação par a par, os testes post-hoc, evidenciaram que a associação entre o SPD e cultura antecedente caupi + SPD e cultura antecedente crotalária diferenciaram estatisticamente das demais culturas cujo os valores $[F(3,96) = 10,838; p < 0,001]$ e $[F(3,96) = 7,818; p < 0,001]$ e tamanho de efeito $\eta^2 = 0,253$ e $\eta^2 = 0,196$ respectivamente. Esse resultado corrobora com resultados encontrados por Alvarenga et al., (2001), onde o uso de leguminosas como plantas de cobertura favorece maiores aportes de fitomassa com boa relação C/N melhorando a disponibilidade de nutrientes. Além disso, uso da crotalária consorciado com gramíneas tende a liberar de forma mais compassada os nutrientes (TEIXEIRA, et al., 2009).

A própria morfologia da planta, desenvolvimento radicular, capacidade de fixar nitrogênio são fatores em comum que contribuem para que a crotalária e caupi, contribua para o acúmulo de COT, seja em superfície ou em subsuperfície. Além disso, a contribuição do não ou o mínimo revolvimento do solo, favorece o maior aporte de matéria seca, o COT produzido é decorrente da quantidade de massa seca produzida (GONÇALVES & CERETTA, 1999).

Figura 6-Carbono orgânico do solo nos diferentes sistemas de preparo do solo associado às diferentes culturas antecedentes na profundidade de 0,0 - 0,10 m.

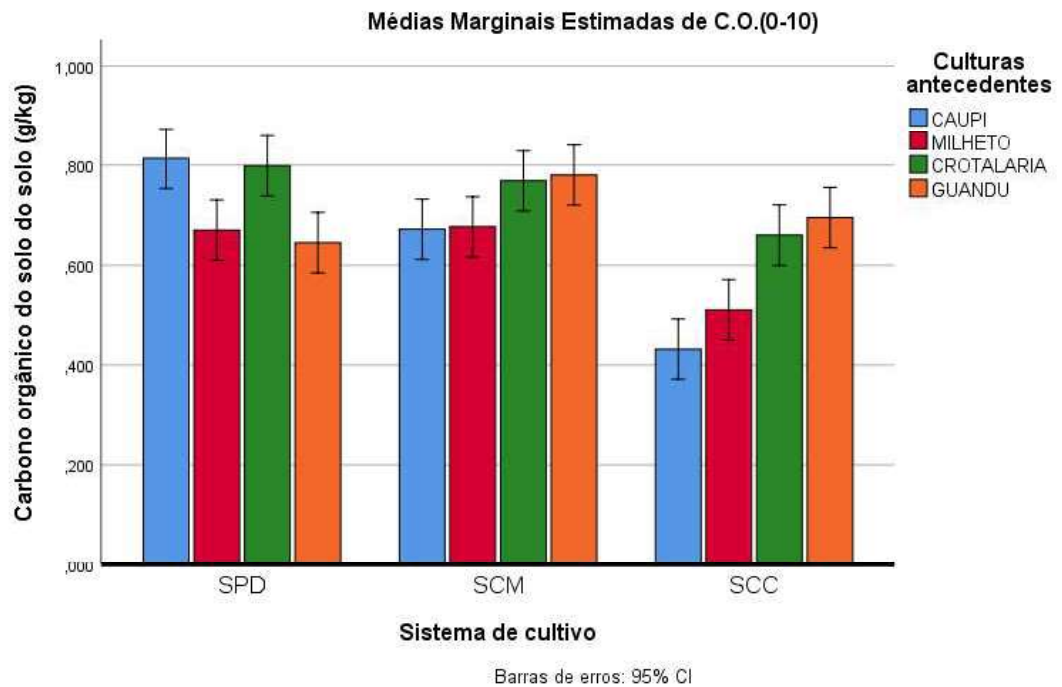
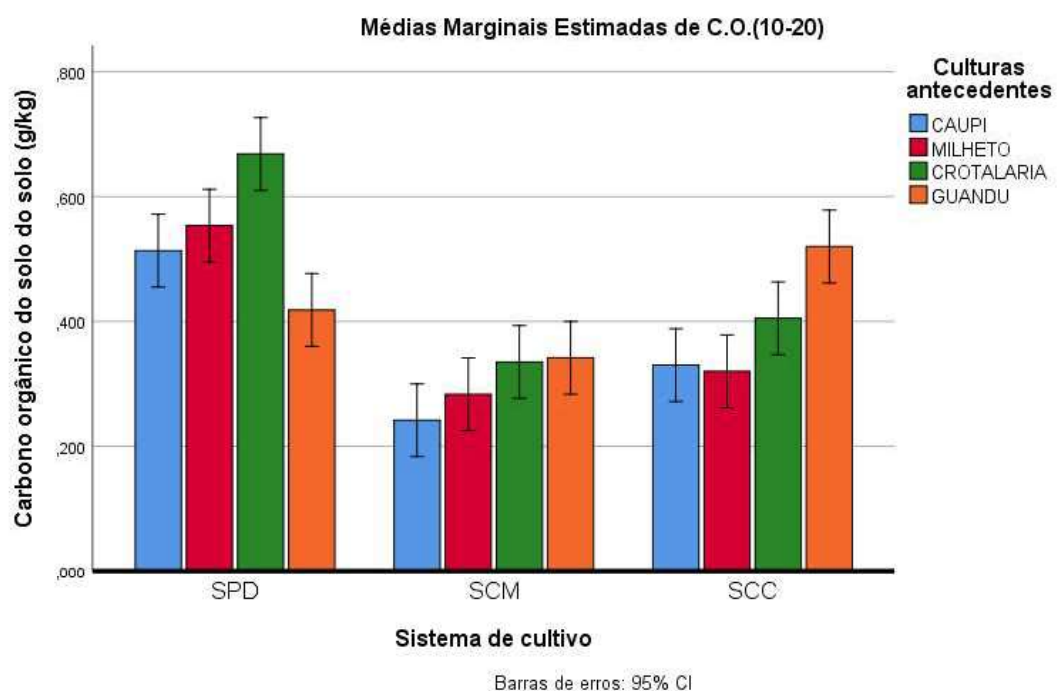


Figura 7-Carbono orgânico do solo nos diferentes sistemas de preparo do solo associado às diferentes culturas antecedentes na profundidade de 0, 10 – 0,20 m.



4.3. Matéria orgânica do solo

Os resultados da ANOVA revelam que os sistemas de preparo do solo e culturas antecedentes exercem interação diferenciando-se estatisticamente. Os sistemas de preparo do solo associados às culturas antecedentes se diferenciaram em ambas as profundidades estudadas, tendo o SPD se diferenciando do SCC em ambas as profundidades e diferenciando do SCM na profundidade de 10 – 20cm.

Na profundidade de 0, 0 – 0,10m, ANOVA revelou um efeito significativo do método de cultivo com valores de $[F (2,96) = 34,348; p < 0,001]$. O tamanho do efeito foi considerado moderado onde o sistema de cultivo explica cerca 41,7% ou $\eta^2 = 0,417$. Na profundidade de 0,10 - 0,20 m, a ANOVA revelou um efeito significativo do método de cultivo com valores de $[F (2,96) = 66,652; p < 0,001]$. O tamanho do efeito foi considerado moderado onde o sistema de cultivo explica cerca 58,1% ou $\eta^2 = 0,518$.

As culturas antecedentes também se diferenciaram estaticamente apresentando valores de $[F (3,96) = 10,838]$ na profundidade de 0, 0 – 0,10m e na camada de 0, 10 – 0, 20 m valor $[F (3,96) = 7,818]$. O tamanho do efeito foi considerado médio na camada mais superficiais, tendo os resultados explicados cerca de 25,3% ($\eta^2 = 0,253$) e 0,196 ($\eta^2=0,196$) na camada de 0, 10 – 0, 20 m. Na Tabela 3, estão apresentados os valores de média da matéria orgânica do solo (dag/kg^{-1}).

Tabela 3-Matéria orgânica do solo (dag/kg-1) nos diferentes sistemas de preparo do solo associado às diferentes culturas antecedentes.

Sistema de Preparo do Solo	Cultura Antecedente	MO do solo (dag kg ⁻¹)	
		Profundidade do solo	
		0-10 cm	10-20 cm
SPD	Caupi	1,402 ^(0,11) Ab	0,884 ^(0,20) Aa
	Milheto	1,155 ^(0,07) Ab	0,953 ^(0,13) Aa
	Crotalária	1,376 ^(0,22) Aa	1,152 ^(0,15) Ab
	Guandu	1,111 ^(0,09) Aa	0,721 ^(0,12) Ab
SCM	Caupi	1,157 ^(0,28) Ab	0,413 ^(0,26) Ca
	Milheto	1,166 ^(0,11) Ab	0,488 ^(0,08) Ca
	Crotalária	1,132 ^(0,14) Aa	0,557 ^(0,07) Cb
	Guandu	1,344 ^(0,14) Aa	0,589 ^(0,12) Cb
SCC	Caupi	0,744 ^(0,13) Bb	0,568 ^(0,13) Ba
	Milheto	0,879 ^(0,08) Bb	0,551 ^(0,09) Ba
	Crotalária	1,137 ^(0,21) Ba	0,698 ^(0,12) Bb
	Guandu	1,198 ^(0,06) Ba	0,896 ^(0,28) Bb

Letras maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os diferentes sistemas de preparo dentro da mesma profundidade e letras minúsculas indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre culturas antecedentes na mesma profundidade.

Os testes post-hoc revelam que o SCC (0,989 dag kg⁻¹) se diferenciou estatisticamente dos SCM (1,248 dag kg⁻¹) e SPD (1,261 dag kg⁻¹) de forma negativa na camada de 0,0 - 0,10 m, no entanto na camada mais profunda o SCC (0,676 dag kg⁻¹) se mostrou superior e diferente do SCM (0,517 dag kg⁻¹), apresentando maior conteúdo de MOS em profundidade. Embora não tenha se diferenciado estatisticamente com o SCM na camada de 0,0 - 0,10 m, o SPD apresentou o maior aporte de MOS, uma vez que esse sistema apresenta alta capacidade de produção de fitomassa e diminuição da atividade microbiana.

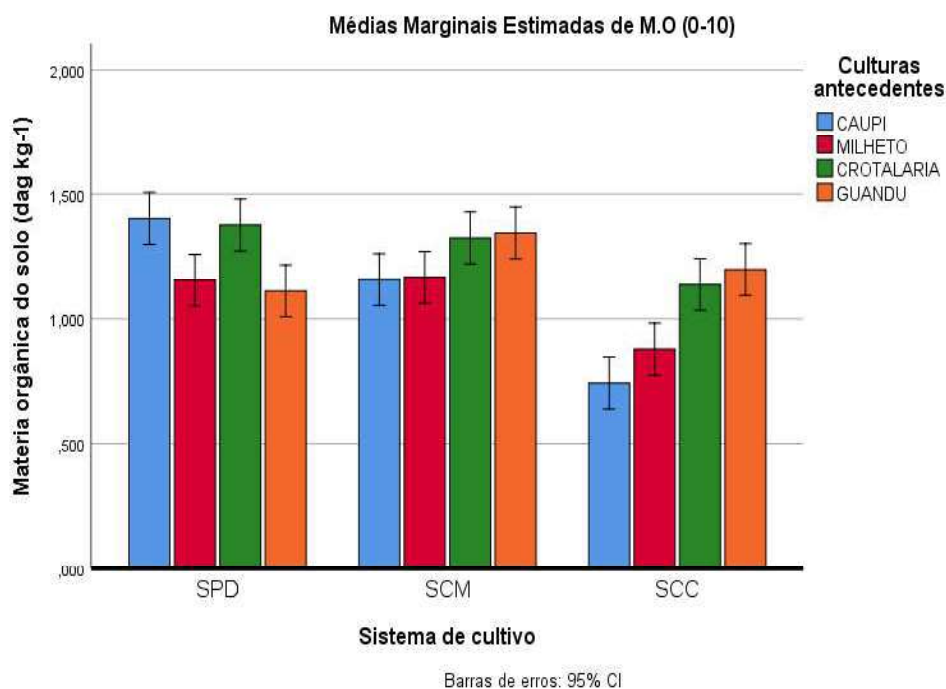
Os resultados citados anteriormente reafirmam os dados apresentados na literatura científica evidenciando baixo conteúdo de MOS em sistemas que trabalham com o revolvimento do solo, possuindo o maior aporte em sistemas que apresentem o mínimo revolvimento (OLIVEIRA, et al., 2017). O SCC (0,678 dag/kg⁻¹) se diferenciou do estatisticamente do SCM (0,517 dag/kg⁻¹) na camada de 0, 10 – 0,20 m, embora exista um revolvimento mínimo, esse resultado pode ser obtido em razão do aumento da aeração desse sistema e da exposição do carbono e posterior perda para a atmosfera (COSTA, et al., 2009).

Nas Figuras de 7 e 8 é possível observar o teor de MOS (dag/kg^{-1}) associado as culturas antecedentes, uma vez que os resultados encontrados demonstram superiores acréscimos em camadas superficiais e reduzindo na medida que vai se distanciando da superfície, estando de acordo com Oliveira et al. (2017), que observou maior conteúdo de matéria orgânica do solo em camadas superficiais.

A utilização de crotalária e feijão guandu como planta de cobertura contribuiu para o maior acúmulo de MOS nos três sistemas de preparo do solo estudados nesse trabalho, demonstrando a capacidade das leguminosas em favorecer maiores teores de MOS quando associados a sistemas de cultivos conservacionistas (OLIVEIRA et al., 2017), além da contribuição para o aumento de biomassa microbiana (ARAÚJO, et al., 2019).

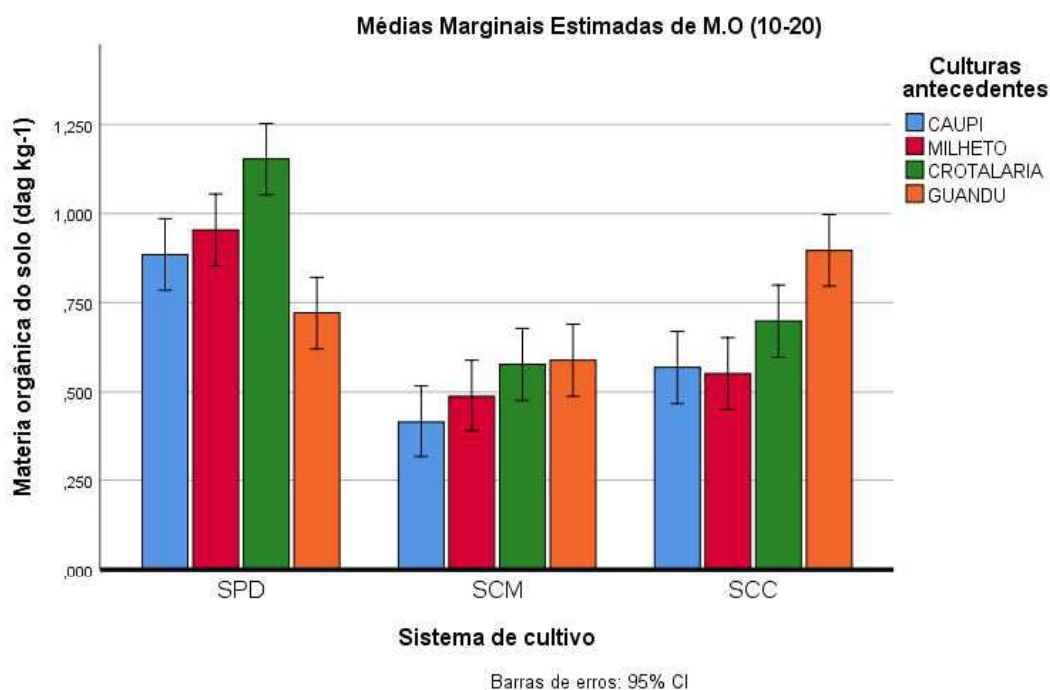
Comparado par a par, através dos testes post-hoc na profundidade de 0,0 - 0,10 m, o feijão caupi ($1,402 \text{ dag/kg}$) apresentou melhor média diferenciando estatisticamente do milheto ($1,155 \text{ dag/kg}$) e do guandu ($1,122 \text{ dag/kg}$) no SPD. As culturas antecedentes não se diferenciaram estatisticamente no SCM, embora o uso da crotalária ($1,325 \text{ dag/kg}$) e do guandu ($1,345 \text{ dag/kg}$) tenha apresentaram as maiores médias. O uso da crotalária ($1,138 \text{ dag/kg}$) e do feijão Guandu ($1,198 \text{ dag/kg}$) se diferenciou estatisticamente das demais culturas no SCC.

Figura 8-MOS nos diferentes sistemas de preparo do solo associado às diferentes culturas antecedentes na profundidade de 0,0 - 0,10 m .



Os testes post-hoc na profundidade de 0,10 - 0,20 m, revelam que a crotalária (1,152 dag/kg) apresentou melhor média dentre as culturas antecedentes se diferenciando estatisticamente do feijão caupi (0,885 dag/kg), feijão guandu (0,721 dag/kg) e milheto (0,954 dag/kg) no SPD. As culturas antecedentes não se diferenciaram estatisticamente no SCM. O feijão guandu (0,896 dag/kg) se diferenciou estatisticamente das demais culturas no SCC conforme mostra a Figura 8. Os resultados significativos encontrados no presente trabalho na utilização da crotalária, contribuem para o aumento da produtividade de milho em SPD (OLIVEIRA, et al., 2017).

Figura 9 - MOS nos diferentes sistemas de preparo do solo associado às diferentes culturas antecedentes na profundidade de 0,10 – 0,20m.



4.4. Estoque de carbono

Para o estoque de C na profundidade de 0,0 - 0,10 m, a ANOVA revelou que o efeito do sistema de cultivo foi significativo [$F(2, 96) = 19,749$, $p < 0,001$]. O tamanho do efeito foi pequeno, com $\eta^2 = 0,291$, indicando que o sistema de cultivo explica cerca de 29,1% dos resultados. Para a profundidade de 0,10 - 0,20 m o sistema de cultivo possuiu efeito significativo, apresentando valores de [$F(2, 96) = 70,950$, $p < 0,001$], o tamanho do efeito foi considerado moderado, com $\eta^2 = 0,596$ ou cerca de 59,6% da variância no estoque de C na profundidade de 0,10 - 0,20 m.

Na Tabela 4, estão apresentados os valores de média para estoque de carbono dentre os sistemas de cultivo estudados no presente estudo. Na profundidade de 0,0 – 0,10 m, o sistema de plantio direto se diferenciou estatisticamente do sistema de cultivo convencional com valores de média 1,272 mg ha⁻¹ e 0,985 mg ha⁻¹ e embora o mesmo não tenha se diferenciado do sistema de cultivo mínimo 1,172 mg ha⁻¹. O sistema de plantio direto apresentou a maior média para estoque de carbono,

ocasionado pelo maior aporte de carbono orgânico em superfície e pelo não revolvimento nesse sistema (FROUFE, et al.,2011).

Tabela 4- Estoque de carbono (mg/ha⁻¹) nos diferentes sistemas de preparo do solo associado às diferentes culturas antecedentes.

Sistema de Preparo do Solo	Cultura Antecedente	Estoque de carbono (mg ha ⁻¹)	
		Profundidade do solo	
		0-10 cm	10-20 cm
SPD	Caupi	1,423 ^(0,13) Ac	0,929 ^(0,22) Ac
	Milheto	1,159 ^(0,07) Abc	1,006 ^(0,12) Abc
	Crotalária	1,135 ^(0,21) Aa	1,208 ^(0,17) Aa
	Guandu	1,152 ^(0,12) Aab	0,733 ^(0,16) Aab
SCM	Caupi	0,985 ^(0,24) Abc	0,418 ^(0,26) Cc
	Milheto	1,251 ^(0,42) Abc	0,533 ^(0,03) Cbc
	Crotalária	1,233 ^(0,18) Aa	0,576 ^(0,06) Ca
	Guandu	1,218 ^(0,13) Aab	0,580 ^(0,14) Cab
SCC	Caupi	0,705 ^(0,14) Bc	0,562 ^(0,12) Bc
	Milheto	0,829 ^(0,17) Bbc	0,558 ^(0,10) Bbc
	Crotalária	1,191 ^(0,17) Ba	0,755 ^(0,08) Ba
	Guandu	1,215 ^(0,06) Bab	0,956 ^(0,21) Bab

Letras maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os diferentes sistemas de preparo dentro da mesma profundidade e letras minúsculas indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre culturas antecedentes na mesma profundidade.

Na profundidade de 0, 10 – 0,20 m, o SPD se manteve com a alta capacidade de acumular carbono, diferenciando estatisticamente dos demais sistemas, com valores médios de 0,969 mg ha⁻¹. Cabe ressaltar que os resultados encontrados para esta variável, contribuem com a hipótese que sistemas de preparo do solo conservacionistas promovem o acúmulo de carbono no solo.

O incremento de carbono em subsuperfície é favorecido pela eficiência e pelo pleno desenvolvimento do sistema, correlacionando com espécies vegetais implantadas e desenvolvimento do crescimento radicular, contribuindo para liberação de nutrientes e acúmulo de carbono (SALES et al., 2018).

As Figuras 9 e 10, representam as médias estimadas de cada espécie utilizada associado ao sistema de preparo do solo. Os testes post-hoc revelam que o feijão caupi e a

crotalária apresentaram os melhores resultados no SPD, apresentando valores de $F=30,534$ e $F=1,635$ respectivamente. Embora essas culturas tenham se destacado dentre as demais, ambas apresentaram um pequeno tamanho de efeito $\eta^2=0,389$ e $\eta^2=0,033$, isto é, ambas as espécies contribuem cerca de 38,9% e 3,3% na variável em estudo na camada de 0,0 - 0,10 m. Na camada de 0,10 - 0,20 m, os testes post-hoc indicam que mais uma vez o SPD + crotalária apresentaram os melhores resultados para estoque de carbono, com média de 1,209 g/kg e valor $F=38,123$. O tamanho de efeito para a variável foi moderado, $\eta^2=0,443$, ou seja, o valor de estoque de carbono é explicado cerca de 44,3% pela cultura antecedente. A utilização de leguminosas favorece a manutenção de estoque de carbono no solo, principalmente quando utilizadas sob sistemas de plantio direto (PEDRA et al., 2012).

Figura 10 - Estoque de carbono nos diferentes sistemas de preparo do solo associado às diferentes culturas antecedentes na profundidade de 0,0 - 0,10 m.

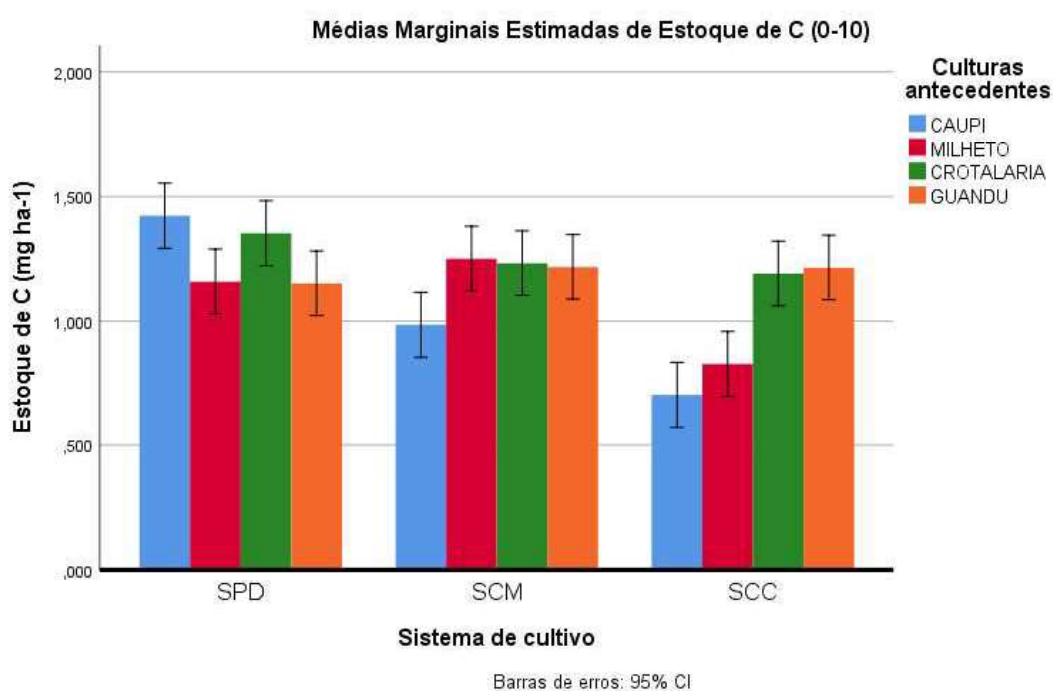
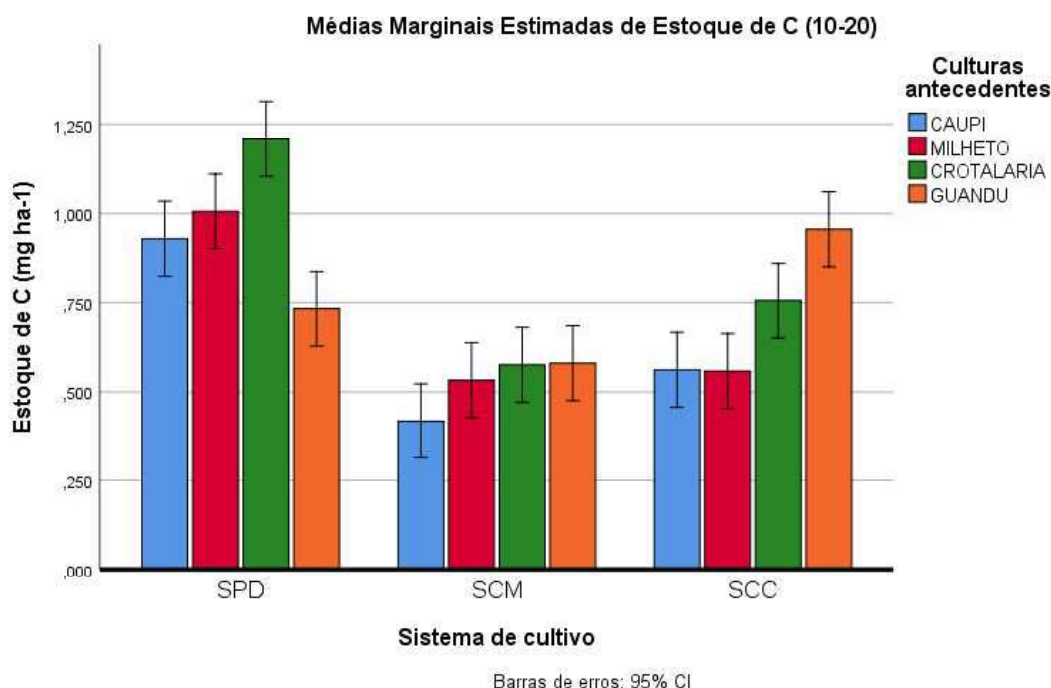


Figura 11 - Estoque de carbono (mg ha^{-1}) nos diferentes sistemas de preparo do solo associado às diferentes culturas antecedentes na profundidade de 0,10 – 0,20m.



De forma geral o SPD apresentou as melhores médias, seja na profundidade de 0,0 - 0,10 m ($1,272 \text{ mg ha}^{-1}$), seja na camada de 0,10 – 0,20m ($0,969 \text{ mg ha}^{-1}$) se diferenciando do SCC em ambas as situações. Quanto às culturas antecedentes, a crotalária e o guandu se mostraram superiores às demais culturas, apresentando valores médios $1,259 \text{ mg ha}^{-1}$ e $1,195 \text{ mg ha}^{-1}$ na camada de 0,0 - 0,10 m e valores médios na camada de 0,10 – 0,20m $0,849 \text{ mg ha}^{-1}$ e $0,756 \text{ mg ha}^{-1}$. Isso ocorre em razão da quantidade de carbono aportado no solo, através da biomassa produzidas pelas plantas utilizadas nesses sistemas agrícolas, além de contar com o não revolvimento do solo (PEDRA et al., 2012).

5. CONCLUSÕES

O Sistema de Cultivo Mínimo (SCM) apresentou os menores valores de densidade, por outro lado o Sistema de Plantio Direto (SPD) apresentou maior densidade média na profundidade de 0,0 - 0,10 m.

O SPD e o SCM foram responsáveis por promover os maiores teores de COT, matéria orgânica e estoque de C na profundidade de 0,0 - 0,10 m. Na profundidade de 0,10 – 0,20 m, o SPD se diferenciou positivamente do SCM e SCC (Sistema de Cultivo Convencional) para as variáveis COT, matéria orgânica e estoque de C.

As culturas antecedentes estudadas não se diferenciaram estatisticamente para a variável densidade do solo, no entanto para as demais variáveis, a espécie Crotalária e o Feijão guandu se mostraram bastante promissores, se diferenciando nos teores de COT, matéria orgânica e estoque de C.

Os sistemas de preparo conservacionistas (SCM e SPD) se mostraram mais eficientes na acumulação de carbono do solo, independente das culturas antecedentes, consolidando tais práticas como essenciais na retirada de carbono atmosférico e contribuição para diminuição dos efeitos deletérios do efeito estufa.

As conclusões encontradas no presente trabalho, contribuem para que novos trabalhos sejam realizados em experimentos de longa duração, permitindo análises mais aprofundadas em tais experimentos.

6. REFERÊNCIAS

- ADAMS, G. A. Influência de diferentes tipos de planta sobre a estrutura do solo em plantio direto. 2016. Monografia. Agronomia – Universidade Federal da Fronteira Sul, Rio Grande do Sul, 2016.
- ALVARENGA, R. C.; CABEZAS, W. A. L.; CRUZ, J. C.; SANTANA, D. P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 208, p. 25-36, jan./fev. 2001.
- ARAUJO, R.; GOEDERT, W.J.; LACERDA, M.P.C. Qualidade de um solo sob usos e sob cerrado brasileiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**.v.31, p.1099 – 1108,2007.
- ARAUJO,T.S.; GALLO, A.S.; ARAUJO, F.S.; DOS SANTOS,L.C.; GUIMARÃES, N.F.; DA SILVA, R.F. Biomassa e atividade microbiana em solo cultivado com milho consorciado com leguminosas de cobertura. **Revista de Ciências Agrárias**, v.42,n.2, p.347-357, 2019.
- BAYER, C.;MARTIN NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. BAYER, C.; MIELNICZUK, J. & PAVINATO, A. Sistemas de manejo do solo e seus efeitos sobre o rendimento do milho. **Pesquisa Agropecuaria Brasil**, Brasília, v.39, n.7, p.677-683, jul. 2004.
- BERTOL, I.; SCHICK, J. MASSARIOL, J.M.; DOS REIS, E.F.; DILLY, L. propriedades físicas de um Cambissolo Humico álico afetadas pelo manejo do solo. **Ciência Rural**, v.30, n.1, p.91-95, 2000.
- BERTOLLO, A.M.; LEVIEN, R. Compactação do solo em Sistema de Plantio Direto na palha. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v.25, n.3, p.208-218. 4 dez.2019.

- CARDOSO, E.L.; SILVA, M.L.N.; SILVA, C.A.; CURI, N.; DE FREITAS, A.A.F. Estoques de carbono e nitrogênio em solo sob florestas nativas e pastagens no bioma Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, n.9, p.1028-1035, set. 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2010000900013>
- CASTRO, M. B. S.; SECCO, D.; MARIENS, A. C.; BASSEGIO, D.; DE SOUZA, S. N. M.; ZANÃO JUNIOR, L. A. Propriedades físicas do solo e produtividade de grãos de milho cultivo após espécies de cobertura. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 16, e220101623786, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i16.23786>
- CIDIN, A.C.M. Estoque de carbono em solos brasileiros e potencial de contribuição para mitigação de emissões de gases de efeito estufa. 2016. Dissertação em Agricultura e Ambiente – Universidade Federal de São Carlos, Araras, São Paulo. 2016.
- COSTA, F.S.; BAYER, C.; ZANATTA, J.A.; MIELNICZUK, J. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.323-332, 2008. DOI:10.1590/S0100-06832008000100030
- COSTA, S.E.V.G.A.; DE SOUZA, E.D.; ANGHINONI, I.; FLORES, J. P. C.; ANDRIGUETTI, M.H. Distribuição de K e de raízes no solo e sua relação com a absorção, o crescimento e a eficiência de utilização de K pelo milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p.1291-1301, 2009.
- DA CONCEIÇÃO, M. C.G.; MATOS, S.E.; BIDONE, E.D.; CORDEIRO, R.C.; RODRIGUES, R.A.R. Avaliação do estoque de carbono do solo em diferentes tipos de manejo. **XVI Congresso Brasileiro de Geoquímica**, 2017.
- DA SILVA, D.A.; VITORINO, A.C.T.; DE SOUZA, L.C.F.; GONÇALVES, M.C. ROSCOE, R. Culturas antecessoras e adubação nitrogenada na cultura do milho, em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.5, n.1, p.75-88, 2006. <http://dx.doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v5n1p75-88>
- DEBIASI, B.C.T.; DEBIASI, H.; RONDINA, A.B.L.; FRANCHINI, J.C.; BALBINOT JUNIOR, A.A.; HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M.A. Universidade Estadual de Londrina - UEL, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Londrina, PR; Embrapa Soja, Londrina, PR, henrique.debiasi@embrapa.br.
- DE JESUS, K.N.; DE ALBUQUERQUE, E.R.G.M.; SAMPAIO, E.V.B.; SALES, A. Estoques de carbono em solos de Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física** v.12, n.03, p 714-721, 2019.
- DE MARIA, I.C.; BERTOL, I.; DRUGOWICH, M.I. Práticas conservacionistas do solo e da água. In: BERTOL, I.; DE MARIA, I.C.; SOUZA, L. S. Manejo e conservação do solo e da água. 1. ed. 2019. p. 527 – 588.
- DIAS JUNIOR, M.S. Compactação do solo. In: Tópicos em ciência do solo. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. v.1, p.55-94, 2000.
- EFROM, B.; HASTIE, T.; JHONSTONE, I.; TIBSHIRANI, R. Least angle regression. v. 32, n. 2, p.407–451, 2004.
- DOS SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; DOS ANJOS, L.H.C.; DE OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; DE ALMEIDA, J.A.; ARAUJO FILHO, J.C.; DE OLIVEIRA, J.B.; CUNHA, T.J.F. Sistema Brasileiro de Classificação de Solo. 5. ed. Brasília, DF: **Embrapa Solos**, 2018. 355 p.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes / Editor técnico, Fábio Cesar da Silva. - 2. Ed. Rev. Ampl. - Brasília, DF, 2009.
- FABRIZZI, K.P.; GARCIA, F.O.; COSTA, J.L.; PICONE, L.I. Soil water dynamics, physical properties and corn and wheat responses to minimum and no-tillage systems in the southern Pampas of Argentina. **Soil & Tillage Research**. V.81, p.57–69. 2005.

doi:10.1016/j.still.2004.05.001

FERREIRA, O. J M. Cultivo do milho sob sistemas de manejo e culturas antecedentes nos Tabuleiros Costeiros. 2015. Dissertação de mestrado - Universidade Federal de Sergipe, Sergipe 2015.

FROUFE, L.C.M.; RACHWAL, M.F.G.; SEOANE, E. Potencial de sistemas agroflorestais multiestrados para sequestro de carbono em áreas de ocorrência de floresta atlântica. *Pesquisa Florestal Brasileira*. V.31, n.66, p.143-154, abril/jun.2011. doi: 10.4336/2011.pfb.31.66.143

GONÇALVES, C.N.; CERETTO, C.A. Plantas de cobertura de solo antecedendo o milho e seu efeito sobre o carbono orgânico do solo, sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, v.2, n.3, 307-313, 1999.

HORNE, D.J.; ROSS, C.W.; HUGLES, A.K. Ten years of a maize/oats rotation under three tillage systems on a silt loam in New Zealand. A comparison of some soil properties. **Soil Tillage Res.**; 22, p. 131 – 143, março/1992.

HAMMER, O.; HAPER, D.A.T.; RYAN, P. D. Past: paleontological statistics software package for education and data analysis. **Palaeontologia Electronica**, vol. 4, issue 1, art. 4: 9pp., 178kb. 2001.

IBM CORPORATION. **IBM SPSS Statistics for Macintosh, Version 25.0**. Armonk: IBM, 2017.

HAUKOOS, J.S.; LEWIS, R.J. Estatísticas avançadas: inicializando intervalos de confiança para estatísticas com distribuições "difíceis". **ACAD EMERG MED**, v.12, n.4, Abril, 2005.

KOMISSAROV, M. A.; KLIK, A., The Impact of No-Till, Conservation, and Conventional Tillage Systems on Erosion and Soil Properties in Lower Austria, **Eurasian Soil Science**, v. 53, n. 4, p. 503–511, 2020.

KAISER, HF E RICE, J. (1974). Pouco instante, Mark IV. *Jornal de Medição Educacional e Psicológica*, 34(1), 111–117.

KENDALL, K. E GEORGE, M. Teste Kolmogorov-Smirnov. **Na Enciclopédia Concisa de Estatísticas**, p. 283–287. 2008.

LAL, R. Restoring Soil Quality to Mitigate Soil Degradation. **Sustainability** v.7, n.5, 5875-5895, 2015; <https://doi.org/10.3390/su7055875>

LEPSCH, I.F. Formação e conservação dos solos. 2. Ed. – São Paulo: **Oficina de textos**. 2010.

LUCIANO, R.V.; BERTOL, I.; BARBOSA, F.T.; KURTZ, C.; FAYAD, J.A. Propriedades físicas e carbono orgânico do solo sob plantio direto comparados à mata natural, num Cambissolo Háplico. **Revista de Ciências Agroveterinárias**. Lages, v.9, n.1, p. 09-19, 2010.

MANFRE, Edson Roberto et al, O Sistema De Plantio Direto Na Produção De Milho: a Importância Das Plantas De Cobertura Em Lavouras., *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952., p. 1–8, 2019.

MOREIRA, S.G. Desafios para a sustentabilidade dos sistemas de produção com culturas anuais. **Informações Agronômicas NPCT Nº4**, 2019.

MOREIRA, W.H.; TORMENA, C.A.; SILVA, A.P.; BERTIOLI, E.; KARLA, D; KELLER, T. Seasonal changes in soil physical properties und long-term no-tillage. **Soil and Tillage Research**, v.160, p. 53,64, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.02.007>

NAGAHAMA, H.J. Relação máquina-solo-planta em função da velocidade de deslocamento do conjunto trator-equipamento e dos sistemas de preparo. 2011. Dissertação de mestrado – Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, Bahia 2011.

NERY, J. S.; FRANCO JUNIOR, K.S. Plantas de cobertura como estratégia de melhoria da fertilidade do solo. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 10, e36121043363, 2023.

- NUNES, F.C.; DE CARVALHO, C.C.N.; VILAS BOAS, G.S.; DA SILVA, E.F.; MAFRA, A.L.; ANDRADE, J.J.; VITAL, S.R.O. solos vermelhos e amarelos coesos de tabuleiros costeiros: gênese, evolução e influência da neotectônica. **Caminhos de Geografia Uberlândia** v. 20, n. 72 p. 294–314, 2019.
- NUNES, F.C.; VILAS BOAS, G.S.; DA SILVA, E.F.; Características, gênese e evidências de neotectonismo. **Boletim de pesquisa e desenvolvimento. EMBRAPA**. Dezembro, 2011.
- OLIVEIRA, F.C.C.; PEDROTTI, A.; FELIX, A.G.S.; SOUZA, J.L.S.; HOLANDA, F.S.R.; MELO JUNIOR, A.V. Características químicas de um Argissolo e a produção de milho verde nos Tabuleiros Costeiros sergipanos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, vol. 12, n. 3, p. 354-360, 2017.
- OLIVEIRA, F.C.C.; FERREIRA, G.W.D.; SOUZA, J.L.S.; VIEIRA, M.E.O.; PEDROTTI, A. Soil physical properties and soil organic carbon content in northeast Brazil: long-term tillage systems effects. **Scientia Agricola**. v.77, n.4, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-992X-2018-0166>
- PEDROTTI, A.; DA SILVA, T.O.(IN MEMORIAM); ARAÚJO, E.M.; ARAÚJO FILHO, R.N.; HOLANDA, F.S.R. Atributos químicos do solo modificados por diferentes sistemas de cultivo associados a culturas antecessoras ao cultivo do milho, nos Tabuleiros Costeiros. **MAGISTRA**, [S. l.], v. 27, n. 3/4, p. 292–305, 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufrb.edu.br/index.php/magistra/article/view/3921>.
- PEDRA, W.N.; PEDROTTI, A.; SILVA, T.O.; DE MACEDO, F.L.; GONZAGA, M.I.S. Estoques de carbono e nitrogênio sob diferentes condições de manejo de um Argissolo Vermelho Amarelo, cultivado com milho doce nos tabuleiros costeiros de Sergipe. **Semina: Ciências Agrárias, Londrina**, v. 33, n. 6, p. 2075-2090, nov./dez. 2012.
- PEREIRA, I.P.; SCHOFFEL, A.; KOEFENDER, J.; CAMERA, J. N.; GOLLE, D.P.; HORN, R.C. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura de verão. **Revista de Ciências Agrárias**, v.40, n. 4, p.799-807, 2017.
- ROSCOE, R. Sequestro de Carbono no Sistema Plantio Direto: Possibilidades de Contabilização. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J.C. (edit.). **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares**. 1. ed. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, Cap. 2, p. 17 – 43, 2006.
- ROSCOE, R.; BODDEY, R.M.; SALTON, J.C.; Sistemas de manejo e matéria orgânica do solo. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J.C. (edit.). **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares**. 1. ed. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, Cap. 1, p. 17 – 43, 2006.
- RIGOLIN, I.M.; DOS SANTOS, C.H.; COLONEGO, J.C.; TIRITAN, S. Estoque de carbono do solo em sistemas vegetais com manejo agrícola diferenciado no oeste paulista. *Colloquium Agrariae*, v. 9, n.2, p. 16 -29, Jul-Dez. 2013. DOI: 10.5747/ca.2013.v09.n2.a089
- RUSU, T. Energy efficiency and soil conservation in conventional, minimum tillage and no-tillage. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 2, n. 4, p. 42-49, 2014.
- SALES, A.; SILVA, A.R.; VELOSO, C.A.C.; CARVALHO, E.J.M. MIRANDA, B.M. Carbono orgânico e atributos físico do solo sob manejo agropecuário sustentável na Amazônia legal. **Colloquium Agrariae**. ISSN: 1809-8215, [S. l.], v. 14, n. 1, p. 01–15, 2018. Disponível em: <https://revistas.unoeste.br/index.php/ca/article/view/1989>.
- SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B.. “An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples).” **Biometrika JSTOR**, v. 52, n. 3/4, p. 591–611, 1965, <https://doi.org/10.2307/2333709>.
- SILVA, M. A.; NASCENTE, A.S.; FRASCA, L.L.M.; REZENDE, C.C.; FERREIRA, E.A.S.; DE FELIPPI, M.C.C.; LANNA, A.C.; FERREIRA, E.P.B.; LACERDA, M.C.. Plantas de cobertura isoladas e em mix para a melhoria da qualidade do solo e das culturas

comerciais no Cerrado. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, e11101220008, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i12.20008>

TEIXEIRA, C.M.; DE CARVALHO, G.J.; DE ANDRADE, M.J.B.; SILVA, C.A.; PEREIRA, J.M. Decomposição e liberação das palhadas de milho e milho + crotalaria no plantio do feijoeiro, *Acta Scientiarum*. v.31, n.4.p 647 – 653, 2009.

TROIAN, D.; ROSSET, J.S.; MARTINS, L. F.B.N.; OZORIO, J.M.B.; CASTILHO, S.C. de P.; MARRA, L.M. Carbono orgânico e estoque de carbono do solo em diferentes sistemas de manejo. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v.13, p.1447 – 1469, out/dez.2020. DOI: <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2020v13n4p1447-1469>

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