



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE
PERNAMBUCO PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
BACHARELADO EM AGRONOMIA

GABRIEL SANTOS DE OLIVEIRA

**EQUIPARAÇÃO DE ATIVIDADE DE PROGRAMA DE INICIAÇÃO
CIENTÍFICA VOLUNTÁRIA (PIC): DINÂMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA
DO SOLO EM CONSÓRCIO DE ESPÉCIES FORRAGEIRAS IRRIGADOS
COM ÁGUA DE REUSO NO SERTÃO PERNAMBUCANO**

Recife, 2026

GABRIEL SANTOS DE OLIVEIRA

EQUIPARAÇÃO DE ATIVIDADE DE PROGRAMA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA VOLUNTÁRIA (PIC): DINÂMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM CONSÓRCIO DE ESPÉCIES FORRAGEIRAS IRRIGADOS COM ÁGUA DE REUSO NO SERTÃO PERNAMBUCANO

Relatório de estágio de supervisionado obrigatório equiparado com atividades desempenhadas em programa de iniciação científica voluntária (PIC), necessário para a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Dr. William Ramos da Silva

Recife, 2026

GABRIEL SANTOS DE OLIVEIRA

**EQUIPARAÇÃO ATIVIDADE DE PROGRAMA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
VOLUNTÁRIA (PIC): DINÂMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM
CONSÓRCIO DE ESPÉCIES FORRAGEIRAS IRRIGADOS COM ÁGUA DE
REUSO NO SERTÃO PERNAMBUCANO**

Relatório aprovado junto à Comissão de equiparação do estágio supervisionado obrigatório do Curso de Bacharelado em Agronomia e com parecer favorável a equiparação de atividades de pesquisa como estágio supervisionado obrigatório (ESO).

Prof. Dr. Frederico Inácio da Costa
(Presidente da Comissão)
Departamento de Agronomia
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dr. Álvaro Carlos Gonçalves Neto
(Membro da Comissão)
Departamento de Agronomia
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dr. Mário de Andrade Lira Júnior
(Membro da Comissão)
Departamento de Agronomia
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Recife, 2026

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a Deus e ao meu pai e minha mãe e a minha avó que sempre acreditarão no meu potencial e incentivaram a minha vida acadêmica, nunca me permitindo desistir dos meus objetivos.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida e existência, saúde, sabedoria, inteligência, motivação, inspiração, direcionamento e a oportunidade de desfrutar experiências que contribuíram diretamente para minha formação profissional e pessoal.

À toda minha família, em especial aos meus pais e a minha avó por serem promotores e incentivadores da minha educação, com certeza sem o apoio de vocês não seria possível ter chegado até aqui.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco por ser um lugar de transformação profissional e pessoal, pelo apoio de todo o corpo docente, discente e administrativo a uma formação de qualidade.

Aos Professores do Curso de Agronomia que foram responsáveis por acrescentar muito ao meu conhecimento pessoal e Profissional.

Aos meus colegas das turmas de Bacharelado em Agronomia de 2020.1 e 2020.2 sem o companheirismo, hombridade e parceria de vocês essa jornada teria sido muito difícil.

Ao Grupo de Pesquisa de Manejo e Conservação do Solo, ao nosso Coordenador o Prof. Dr. Ademir de Oliveira pela oportunidade, aos amigos Doutores, Doutorandos, Mestrandos, e Companheiros da Iniciação científica.

Ao meu orientador o Dr. William Ramos da Silva pela oportunidade, orientação e conhecimentos passados, o mesmo teve uma contribuição direta e muita paciência para elaboração desse trabalho.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPQ) pela concessão da Bolsa de Iniciação Científica que possibilitou a realização do trabalho.

RESUMO

A região Semiárida de Pernambuco apresenta grandes problemas de escassez de água devido ao déficit hídrico, prejudicando a produção agrícola e favorecendo a degradação dos solos. Uma alternativa promissora, visando suprir a necessidade hídrica para agricultura na região é a utilização de água de reuso, que além de fornecer água pode promover a melhoria da qualidade do solo e incrementar a produtividade. Além disso, a adoção de práticas de manejo conservacionistas atrelados a utilização de água de reuso pode incrementar estes benefícios. No entanto estudos ainda são incipientes para a região, sendo necessária a avaliação da contribuição da combinação dessas práticas para a saúde do solo. A matéria orgânica do solo é considerada um atributo chave para a qualidade do solo. Por tanto, sua avaliação é imprescindível para o monitoramento da utilização deste resíduo como irrigação. Dessa forma, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o efeito do consórcio de espécies forrageiras e aporte de resíduos culturais em área de reuso no Semiárido Pernambucano sobre os compartimentos da matéria orgânica do solo. Para isso foi montado um experimento na Unidade de reuso agrícola no município de Parnamirim-PE. Foi montado um experimento em blocos, com dois consórcios (Palma + Sorgo e Palma + Capim Buffel) e foram utilizadas as taxas de 0, 8 e 12 t ha⁻¹ de palhada de sorgo como cobertura morta. Onde se observou que as taxas de cobertura contribuíram positivamente para elevar os teores de carbono microbiano, lábil e total do solo, como também impactou positivamente na produtividade das espécies forrageiras empregadas.

Palavras-chave: Carbono Orgânico; Carbono lábil; Manejo do solo; Água residuária; Agricultura sustentável.

SUMÁRIO

1. Introdução	08
2. Objetivos	10
2.1.Objetivo Geral.....	10
2.2.Objetivos específicos.....	10
3. Metodologia	10
3.1.Localização e caracterização da área experimental.....	10
3.2.Fonte hídrica e manejo da irrigação.....	13
3.3.Caracterização química e física da água residuária.....	14
3.4.Coleta do experimento.....	16
3.5.Análises microbiológicas.....	17
3.6.Carbono Lábil extraído em água quente.....	18
3.7.Carbono Lábil extraído em Permanganato de Potássio.....	18
3.8.Determinação dos teores e estoque do Carbono orgânico total do solo.....	18
3.9.Avaliação da produtividade das culturas.....	19
3.10. Análise dos dados.....	19
4. Resultados e discursões	19
4.1.Influência da cobertura morta e consorcio de espécies forrageiras em solo irrigado com água de reuso sobre a atividade microbiana.....	19
4.2.Carbono Lábil extraído por água quente (C-aq).....	21
4.3.Carbono lábil extraído por permanganato de potássio (COXP).....	22
4.4.Carbono Orgânico Total e Estoque de Carbono no solo.....	23
4.5.. Produtividade de palma forrageira, sorgo e capim buffel em solo irrigado com água de reuso e sob aplicação de diferentes taxas de cobertura morta.....	25
5. Conclusão	26
6. Referências Bibliográficas	27

1.INTRODUÇÃO

O Semiárido nordestino é uma região que possui elevadas temperaturas, baixas amplitudes térmicas e precipitação anual e altas taxas de evapotranspiração, ocasionando naturalmente um déficit hídrico (Marengo et al., 2016). Nestas condições edafoclimáticas, o solo desse ambiente tropical extremo apresenta baixos conteúdo de água, nutrientes e matéria orgânica, além disso, a própria atividade microbiana do solo tem sido negativamente afetada em razão dos longos períodos de seca (Conceição, et al., 2012). Assim, se faz necessário a busca por alternativas que diminuam os impactos causados pelo déficit hídrico, sendo uma delas o reuso de forma planejada de águas residuárias na produção vegetal, que já tem sido praticado por países desenvolvidos (Ferreira et al., 2019).

O reuso de águas residuais de esgoto já é uma prática muito antiga, sendo utilizada desde Grécia antiga para irrigação (Carvalho et al., 2014). Esse uso intencional diminui a pressão sobre os afluentes, diminuindo taxas de desperdício e a contaminação ambiental (Asano et al., 2007), disponibilizando nutrientes e água para as plantas, aumentando a capacidade de troca de cátions (CTC) e a saúde da matéria orgânica do solo (Ciotta et al., 2003). Além disso, o reuso deste resíduo contribui diretamente para o aumento da atividade microbiana do solo devido ao aumento do conteúdo do carbono orgânico (Andrade Santos et al., 2009).

Sabe-se que os esgotos tratados têm um papel importante no planejamento e na gestão sustentável dos recursos hídricos como uma alternativa para o uso de águas destinadas a fins agrícolas (CETESB, 2010). Contudo, o uso de águas residuárias deve ser feito mediante o monitoramento e investigação da qualidade e condição dessas águas, visto que o seu uso inadequado pode acarretar riscos à saúde humana e ao meio ambiente (Ferreira et al., 2019). Estudos envolvendo a irrigação de forrageiras com água residuária no Brasil têm demonstrado que esta prática promove benefícios econômicos, produtivos e ambientais em relação a água limpa (Queiroz et al., 2004; Matos et al., 2003).

De acordo com Erthal et al. (2010), as plantas forrageiras devem ser preferencialmente as perenes, com alta capacidade de extração de nutrientes e produção de matéria seca, que permitam cortes frequentes e sucessivos ao longo da maior parte do ano, que cubram bem o solo e sejam palatáveis aos animais, se adaptem às condições de clima e solo locais, tenham baixa susceptibilidade a pragas e doenças e tolerância à salinidade e toxicidade a íons específicos. Diante disso, a Palma Forrageira

se constitui como uma opção viável devido ao fato de ter características como rusticidade e adaptabilidade a regiões com déficit hídrico, mantendo altas produtividades (Machado Neto, 2021). Outras culturas bem-adaptadas as condições semiáridas são o Sorgo e Capim Buffel e que podem ser utilizadas como fonte de fibra para alimentação animal.

Um outro problema do Semiárido Pernambucano são os baixos teores de C do solo, pois a produção primária das espécies é altamente influenciada pelas condições climáticas e estas, por sua vez, influenciam na taxa de decomposição do material orgânico presente no solo. Além disso, as práticas de manejo com preparo contínuo do solo têm acarretado diminuição dos estoques de C do solo (Menezes et al., 2021). Uma alternativa para elevar estes estoques de C e, ao mesmo tempo, conservar a água no solo é o uso dos consórcios com espécies de apelo regional mais adaptadas às condições déficit hídrico, uma vez que podem melhorar a eficiência no uso de nutrientes, da água e da radiação, resultando em maior produção de biomassa (Chimonyo et al., 2018; Lima et al., 2018). Arelado ao uso de água residuária na irrigação a adoção de práticas de manejo como a utilização de cobertura morta e o consorcio de plantas podem favorecer a produção e melhorar as propriedades do solo (Lima et al., 2018).

Apesar de todos os benefícios esperados pela utilização destas práticas, os estudos no Brasil ainda são incipientes, sobretudo a respeito da utilização de água residuária na região semiárida. Dessa forma, se torna fundamental a necessidade de pesquisas e ações na direção de reuso controlado, incluindo sua regulamentação. A não adoção desses critérios pode acarretar no uso indiscriminado de águas residuárias tratadas para irrigação de diversas culturas, sendo, portanto, um potencial vetor de disseminação de poluição ambiental e de doenças de veiculação hídrica (Ofori et al., 2021).

Uma forma segura de mensurar esses impactos é por meio da avaliação de índices de qualidade do solo que geram informações sobre a capacidade de um solo funcionar dentro dos limites do ecossistema para sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde de plantas e animais (Doran, 1997; Vardhan et al., 2019). Para avaliar a qualidade dos solos três critérios básicos devem ser considerados para um bom indicador: ser sensível a impactos; ser facilmente e economicamente acessível; e ser universal na distribuição no tempo e no espaço (Araújo et al., 2012).

A matéria orgânica do solo (MOS) é considerada um indicador chave, contribuindo para a agregação, infiltração e armazenamento de água, fornecimento de nutrientes, aumento da capacidade de troca de cátions e para a complexação dos metais pesados e contaminantes orgânicos (Sá et al., 2020; Guhra et al., 2022). A MOS está ainda intimamente relacionada com a ciclagem de nutrientes, em especial C, N e S, e é a principal fonte de C para o solo (Guhra et al., 2022). Sendo assim, sua importância é de elevada importância para a manutenção da qualidade do solo, bem como na diminuição das emissões de CO₂, atuando diretamente na mitigação do aquecimento global (Bongiorno et al., 2019).

Neste sentido, este estudo busca avaliar o efeito de práticas de manejo em espécies forrageiras de apelo regional utilizadas para a alimentação animal na caprinoovinocultura do Semiárido Pernambucano irrigadas com água de reúso sobre a dinâmica da matéria orgânica do solo, bem como a disseminação do uso sustentável destas práticas.

2.OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral:

- Avaliar o efeito do consórcio de espécies forrageiras e aporte de resíduos culturais em área de reúso no Semiárido Pernambucano sobre os compartimentos da matéria orgânica do solo.

2.2. Objetivos Específicos:

- Caracterizar os principais compartimentos da matéria orgânica do solo;
- Avaliar a influência do consórcio e cobertura morta sob efeito da irrigação com água de reúso no estoque de carbono, em solos do sertão Pernambucano.
- Avaliar o aporte de matéria orgânica sobre a produtividade dos consórcios de Sorgo Sudanês e Palma e Capim Buffel e Palma.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e caracterização da área experimental

O Experimento foi conduzido na Fazenda Primavera situada na cidade de Parnamirim- PE (Figura 1). O solo da área foi utilizado anteriormente como pastagem em sistema de pastejo semi-intensivo de caprinos e ovinos e apresentava elevado grau de degradação química, física e biológica. A área experimental foi denominada de A4 (área 4) e possui tamanho de 2059 m² (35,5 x 58 m).

O delineamento experimental foi constituído em blocos casualizados, 4 repetições, consistindo em um arranjo fatorial $4 \times 2 \times 2 + 1$ sendo os tratamentos os consórcios de Palma Forrageira (*Opuntia stricta* Haw) com Sorgo Sudanês (*Sorghum sudanense*) e Capim Buffel (*Cenchrus ciliaris* L), além de diferentes coberturas do solo: sem cobertura, vegetação natural, 8 e 12 t ha⁻¹ associado a dois tipos de irrigação: irrigação convencional e irrigação com água de reuso.

Cada bloco possuía 13 m de largura e separados entre si por uma distância de 2 m, com comprimento de 35,5 m. Cada parcela possui 52 m² (13 m x 4 m), sendo composta por seis linhas duplas com espaçamento de 0,5 m entre plantas e espaçamento entre fileiras de 2 m. Cada bloco tinha 8 parcelas e cada parcela representa um tratamento (Figura 2).

Sobre a implantação do experimento a palma foi plantada em linha dupla com uma planta foi separada da outra por 0,50 m na linha e a 0,50 m entre cada linha dupla e entrelinhas por 2,0 m. O plantio de sorgo Sudanês e do Capim Buffel foi feito em covas espaçadas entre si a 20 cm e as linhas destas culturas implantadas nas entrelinhas das fileiras duplas de palma, sendo espaçadas a um metro destas. A cobertura do solo foi feita utilizando-se palha de sorgo. Foram escolhidos volumes de 8 e 12 t ha⁻¹ para cobrir as parcelas da área experimental. Ao todo foram cobertas 16 parcelas da área com palha de sorgo, 8 com 8 t ha⁻¹ e 8 com 12 t ha⁻¹ (Figura 3).



Figura 1- Área experimental, localizada na Fazenda primavera – Parnamirim, PE.

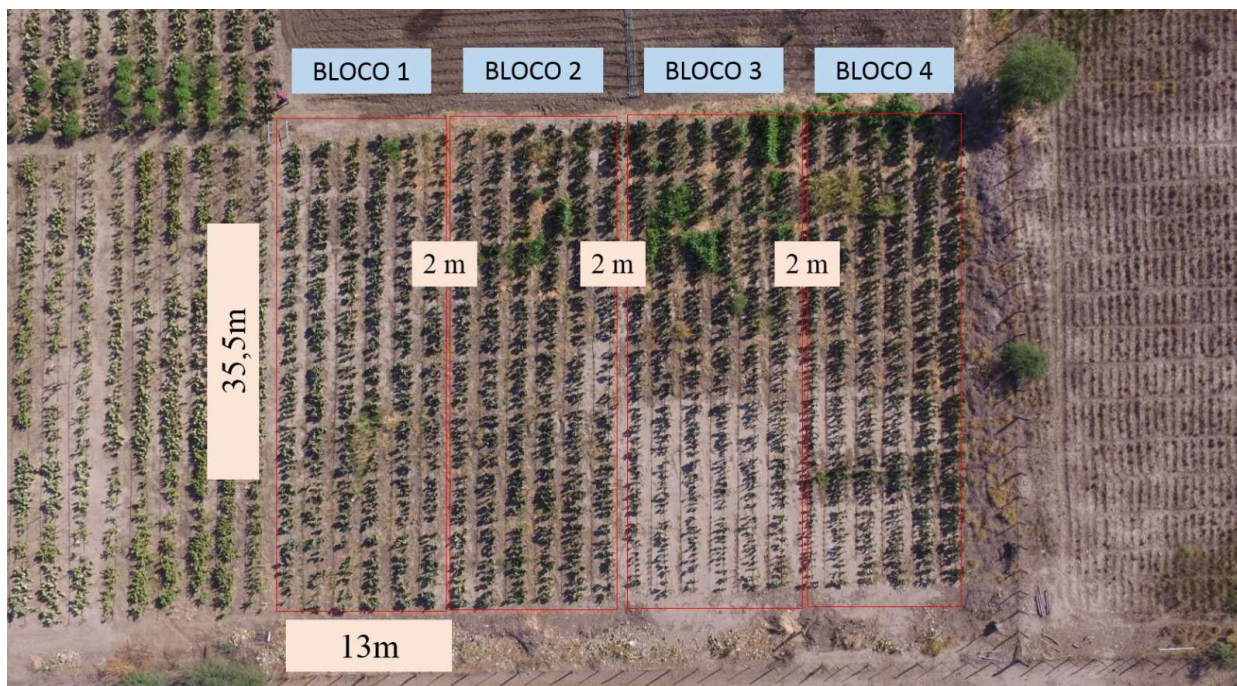


Figura 2- Imagem da área experimental e do delineamento empregado.



Figura 3. A-Palha de sorgo colhida para secagem; B-palha secando; C-palha triturada e D-distribuição da palhada na área.

3.2 Fonte hídrica e manejo de irrigação

A Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) possui a fonte hídrica de esgoto tratada que forneceu água para a área experimental. As dimensões do tanque que recebe o esgoto tratado são 226 x 96 m e com profundidade de 1,5 m. A adutora está localizada a uma distância de 585 m da área experimental (Figura 3).



Figura 4. Imagem da lagoa facultativa que fornecerá água para o experimento

A lagoa facultativa recebe o esgoto doméstico proveniente das residências da localidade. O volume de esgoto tratado foi transferido para dois outros reservatórios próximos do reservatório principal com capacidade para 10.000 L cada. A transferência do esgoto foi realizada com auxílio de uma bomba submersível de rotor aberto com 1,0 cv de potência. Em sequência, a água de esgoto foi recalçada por meio de uma bomba centrífuga de eixo horizontal com 3,0 cv de potência. Após isso, o esgoto passou por um filtro de areia a 10 KPa e dois filtros de tela de duas polegadas até chegar a A4.

A irrigação da área foi realizada por gotejo através de tubos gotejadores com diâmetro nominal de 16 mm e vazão de 2,1 L/h. O manejo da irrigação foi obtido via clima com método de obtenção de evapotranspiração de referência (ET_o) pelo tanque classe A com coeficiente do tanque k_p obtido por Pereira et al. (2014) e k_c do sorgo sudanês (1,15) como cultura principal de acordo com Queiroz et al. (2016).

3.3. Caracterização química e física do solo e da água residuária

Parâmetros físicos e químicos da água foram analisados previamente para fins de caracterização, antes da aplicação no solo (pH, CE, H_2PO_4 ; $N-NH_4^+$; $N-NO_3^-$; K^+ , C orgânico total, ST-Sólidos totais, SST-sólidos em suspensão totais) (Parron, Muniz e Pereira, 2011).

Antes de o experimento ser implantado, foram coletadas amostras compostas deformadas em três profundidades 0-10, 10-20 e 20-40 cm para a caracterização química inicial. Nas mesmas profundidades do solo foram coletados torrões para determinação de

atributos físicos do solo. Amostras de solo nas mesmas profundidades também foram coletadas nas mesmas profundidades.

Os atributos físicos determinados na caracterização foram: densidade do solo (Ds) e densidade de partículas (Dp) obtidas através do método do torrão parafinado seguindo procedimento descrito por Teixeira et al. (2017). A análise granulométrica foi realizada pelo método do densímetro. A argila foi obtida após a sedimentação da areia e silte. A areia foi obtida por pesagem após secagem e o silte encontrou-se por diferença pela fórmula segundo Almeida (2008): %Silte = 100 – (% areia + % argila). O pH foi realizado em água na proporção 1:2,5 (Teixeira et al. 2017), o P disponível foi feito utilizando o extrator Olsen (Olsen et al. 1954).

O C foi feito utilizando a metodologia proposta Yeomans e Bremner (1988), que consiste na oxidação de do carbono pelo dicromato de potássio. O estoque de C foi de acordo com o método de massa equivalente de solo proposto por (ELLERT; BETTANY, 1995). O N total foi realizado de acordo com Mendonça e Matos (2017) com modificações realizadas utilizando Teixeira et al. (2017). A destilação de N total foi feita no método de Kjeldahl. Foram determinados ainda atributos microbiológicos do solo: respiração basal do solo e carbono da biomassa microbiana, de acordo com Mendonça e Matos (2017). Amostras de solo de uma área de caatinga nativa adjacente também foram coletadas em três profundidades para determinação da densidade do solo e posterior correção dos estoques de C no solo. Os resultados da caracterização química e física dos solos da área experimental estão descritos na tabela 1.

Tabela 1. Caracterização química e física da área experimental

Variável	Unidade	Camada (cm)		
		0-10	10-20	20-40
pH	Água (1:2,5)	7,8	8,0	8,1
P	mg kg ⁻¹	32,3	29,6	29,8
K	cmol _c dm ⁻³	54,4	58,7	51,6
Na	cmol _c dm ⁻³	41,5	45,5	46,5
COT	g kg ⁻¹	9,3	8,9	7,5
COP	g kg ⁻¹	0,7	0,3	0,3
C água quente	g kg ⁻¹	3,4	2,21	2,21
C (KMnO ₄)	g kg ⁻¹	7,66	5,20	4,06
Nt	g kg ⁻¹	1,1	1,1	1,0
CBM	mg kg ⁻¹	213,1	158,5	-

RBS	mg CO ₂ kg solo dia ⁻¹	25,1	15,3	-
Areia	g kg ⁻¹	273	253	265
Silte	g kg ⁻¹	260	275	290
Argila	g kg ⁻¹	467	472	445
Ds	g cm ⁻³	1,54	1,59	1,55
Dp	g cm ⁻³	2,64	2,64	2,67
Estoque COT	Mg ha ⁻¹	14,2	13,4	23,4
Estoque COP	Mg ha ⁻¹	1,0	0,6	1,1

COT: carbono orgânico total do solo; COP: carbono orgânico particulado; Nt: nitrogênio total; CBM: carbono da biomassa microbiana; RBS: respiração basal do solo; Ds: Densidade do solo; Dp: Densidade de partículas.

3.4. Coleta do experimento

Em janeiro de 2024, quando as plantas de palma forrageira completaram 18 meses foi feita a colheita. A mesma foi realizada cortando-se os cladódios de forma a manter apenas os cladódios de primeira e segunda ordem. Em cada parcela foi feita a pesagem dos cladódios colhidos de três plantas para estimativa da produtividade da palma. Após a pesagem foi selecionado um cladódio de terceira e quarta ordem de cada planta pesada. Estes cladódios foram transportados para o laboratório, postos para secar em estufa com circulação forçada de ar e após peso constante, pesados e estimada a produção de matéria seca de palma em cada parcela experimental. A colheita de sorgo e capim buffel foi feita aos 90 dias após plantio (primeiro corte) e o segundo corte 60 dias após o primeiro. O sorgo e o capim buffel da área útil foi pesado e posto para secar para obtenção da produção de matéria seca.

Na ocasião do corte da palma, foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm de profundidade de cada parcela experimental para determinação de atributos químicos e biológicos do solo.



Figura 5. Coleta da Palma Forrageira, Sorgo Sudanês e Capim Buffel.

3.5. Análises microbiológicas

O carbono da biomassa foi determinado através do método de irradiação-extração proposta por Ferreira et al., 1999, com adaptações. Foram pesados 10 g de cada amostra (para as duas duplicatas) em erlenmeyer que foram duplicados em irradiados e não irradiados. As separadas como irradiadas foram levadas ao forno micro-ondas a 2.450 MHz e energia a 900 W por 180 s, em seguida juntamente com as não irradiadas foi adicionado 40 ml de solução extratora de sulfato de potássio (K_2SO_4). Logo após o conteúdo dos erlenmeyers foi filtrado, em seguida foram pipetados 5 ml da solução filtrada e adicionados 1 ml de dicromato de potássio e 5 ml de ácido sulfúrico. Em seguida adicionou-se o indicador sulfato ferroso amoniacal (ferroin) e titulou-se com K_2SO_4 .



Figura 6. Diferentes fases da titulação do carbono microbiano.

A respiração basal do solo foi determinada pelo o que foi proposto por Mendonça e Matos (2005). Onde foram pesados 50 g de solo em potes plásticos e em seguida esse solo foi umedecido com o auxílio de um borrifador contendo água destilada para ativação dos microrganismos, logo após foi adicionado um copo de 50 mL, em cada pote, contendo 20 mL de hidróxido de sódio (NaOH) 0,5 M para incubação em potes

hermeticamente fechados. Após 7 dias de incubação foram realizadas as leituras da solução com hidróxido por titulação com uma solução de ácido clorídrico (HCl) 0,25 M, após a adição da solução de cloreto de bário (BaCl_2) 0,05 M para precipitação do carbonato e 3 gotas da solução indicadora de fenolftaleína 1 % (Mendonça; Matos, 2005).

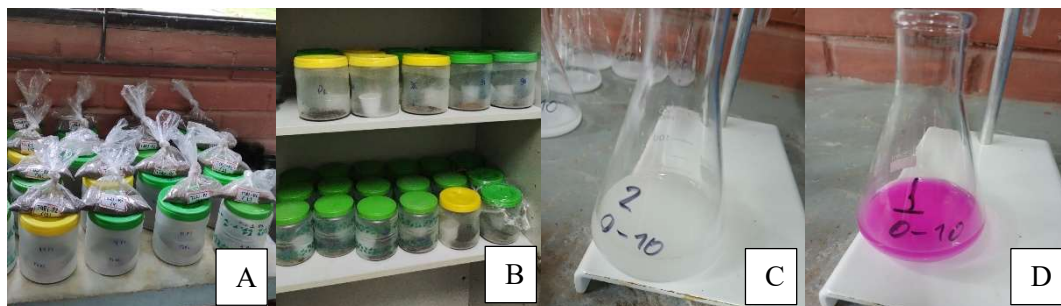


Figura 7- A- Pesagem e condicionamento de amostras de solo em potes hermeticamente fechados; B- Potes com amostras sendo incubados em local sem luminosidade; C e D- titulação do hidróxido de sódio restante após a reação com C emitido.

3.6. Carbono Lábil extraído por água quente (C-aq)

A determinação do conteúdo de C extraído por água quente foi realizada de acordo com a metodologia descrita por Ghani et al. (2003). Foi pesado 1,5 g de solo em um tubo de ensaio de 15 ml. As amostras foram mantidas a 80°C por 16 h com 15 ml de água deionizada. Após a extração por água quente as amostras foram centrifugadas e o sobrenadante pipetado para um erlenmeyer onde o conteúdo de C foi determinado por combustão úmida pelo método de Walkley Black (Nelson e Sommers, 1996).

3.7. Carbono Lábil extraído por permanganato de potássio (COXP)

A metodologia de extração de C por permanganato de potássio foi adaptada dos estudos realizados por Tirol-Padre; Ladha (2004) e Culman et al. (2012). A extração por permanganato foi realizada após a extração de C por água quente nas mesmas amostras de solo. Resumidamente, foi adicionado uma solução de Permanganato de potássio (KMnO_4 0,06 mol L⁻¹) para realizar a extração do C. Os tubos então foram agitados em agitador horizontal e posteriormente centrifugados. Em seguida, o sobrenadante foi pipetado e diluído em água deionizada. O C extraído foi mensurado por colorímetro a 565 nm de absorbância. Os valores de absorbância foram convertidos para g kg⁻¹ por uma curva padrão de calibração, baseado na relação linear entre a concentração de KMnO_4 e o conteúdo de carbono oxidado.

3.8. Determinação do Carbono orgânico total e Estoque total de Carbono no solo

O carbono orgânico total (COT) foi determinado pelo método proposto por Yeomans & Bremner, 1988, com adaptações. Foram pesadas 0,3 g amostras de solo previamente maceradas em almofariz e passadas na peneira de 0,02 mm, em seguida foram transferidas para um tubo de vidro (100 ml), e adicionados 5 ml de dicromato de potássio à 0,167 mol L⁻¹ e 10 ml de ácido sulfúrico concentrado. Posteriormente, o tubo foi levado ao bloco digestor e pré-aquecido a 170 °C, por 30 min. Passado esse tempo, deixou-se o tubo esfriar durante 15 min, e todo o conteúdo foi transferido para um erlenmeyer tarado (100 mL), usando água destilada para elevar o volume final a 50 mL. Aguardou-se o esfriamento da solução à temperatura ambiente. Em seguida, adicionaram-se 10 mL de ácido fosfórico concentrado e 0,3 mL de solução indicadora (ferroin), seguindo-se a titulação com sulfato ferroso amoniacal 0,2 mol L⁻¹.

O estoque de carbono do solo foi calculado com base no método de massa equivalente de solo (Ellert e Bettany, 1995), tomando como referência a densidade do solo da vegetação nativa para retirar o efeito da ação antrópica sobre a densidade do solo nas áreas cultivadas. Para o cálculo de estoque de C no solo foi utilizada a seguinte equação:

$$\text{Estoque de C (t ha}^{-1}\text{)} = \text{COT (kg ha}^{-1}\text{)} * \text{Ds (t ha}^{-1}\text{)} * \text{VPA (m}^3\text{)}$$

Onde:

COT = Carbono orgânico total no solo na camada;

Ds = Densidade do solo da camada;

VPA = Volume de solo da Camada.

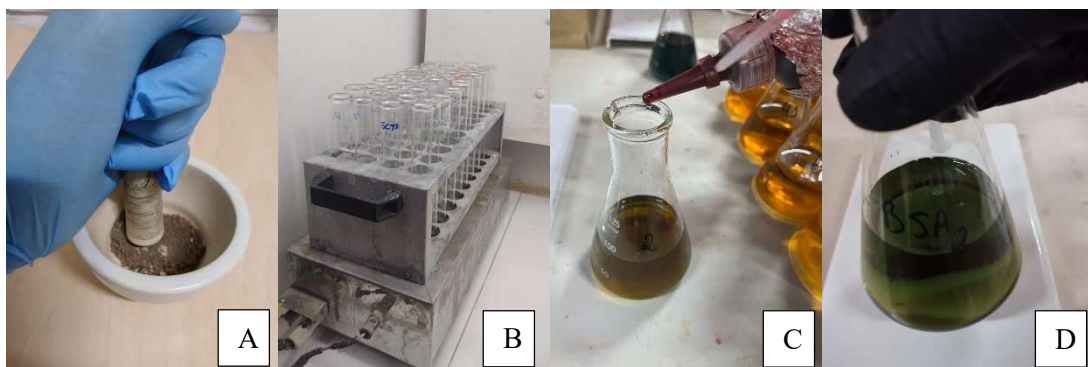


Figura 8- A- Amostras sendo maceradas para digestão do carbono; B- Amostras no bloco digestor; C- Adição de solução indicadora (Ferroin) e D- Titulação do carbono orgânico total.

3.9. Avaliação da produtividade das culturas

Para avaliação da produtividade das culturas foi utilizado o método proposto por Silva et al. 2015, com adaptações. Onde a produtividade da palma, sorgo e capim buffel foi avaliada pela produção de massa seca da parte aérea (a 65°C). A partir da matéria seca foi estimada a produtividade por hectare de cada cultura.

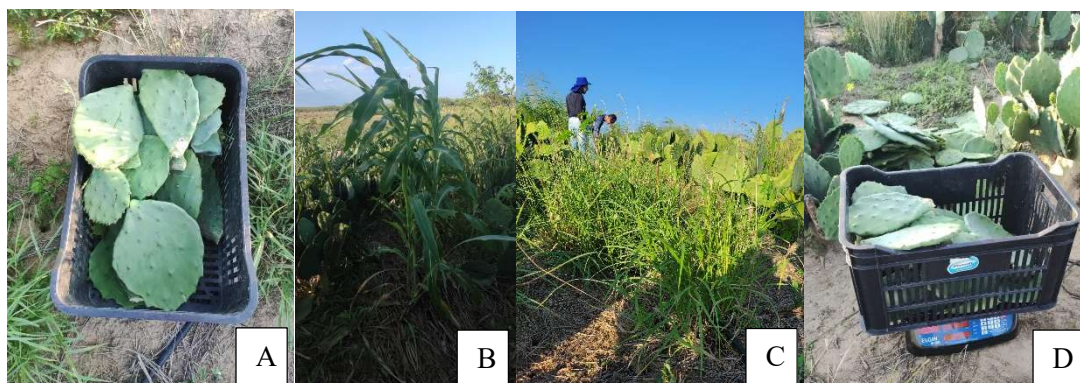


Figura 9. A- Coleta da palma forrageira; B- Coleta do Sorgo Sudanês. C- Coleta do Capim Buffel; D- Pesagem da matéria fresca da palma em campo.

3.10. Análise dos dados

Os resultados foram submetidos à análise de variância utilizando o software SISVAR 5.0, e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Influência da cobertura morta e consórcio de espécies forrageiras em solo irrigado com água de reuso sobre a atividade microbiana

Os microrganismos do solo, juntamente com algas e a microfauna, são os principais responsáveis pela aceleração ou retardamento dos processos de ciclagem de nutrientes e/ou a decomposição da matéria orgânica do solo (MOS). A biomassa microbiana está em constante renovação obtendo a sua energia da MOS, consequentemente atuando na mineralização e imobilização temporária dos nutrientes necessários ao desenvolvimento das plantas (Ferreira et al., 2007). A biomassa microbiana pode ser compreendida como um compartimento da MOS que é influenciado por fatores bióticos e abióticos, também a mesma e seus metabólitos compõem a fração ativa da matéria orgânica que é caracterizada por detectar com maior facilidade variações nos teores de MOS, carbono orgânico do solo e o nitrogênio associado (Gama-Rodrigues et al., 2005).

A figura 10 representa os teores de C-microbiano expressos em mg kg⁻¹ de áreas sob diferentes consórcios e aportes de cobertura morta em profundidades distintas. Os dados demonstram que de forma geral a adição das taxas de cobertura contribuiu positivamente nos teores de carbono microbiano do solo nas profundidades representadas. De acordo com Hoffman et al. (2018), isso ocorre porque em sistemas de cultivo associados há uma maior diversidade vegetal e um menor manejo do solo, o que favorece o acúmulo de carbono associado à biomassa microbiana, provavelmente, em razão da maior disponibilidade de matéria orgânica. Também é importante mencionar que as áreas que receberam a maior taxa de cobertura (12 t ha⁻¹) foram as que apresentaram os maiores teores de carbono da biomassa, sendo este fenômeno observado em todas as profundidades. Portanto conforme o descrito por Balota et al. (1998), o carbono da biomassa microbiana é um bom indicador para as alterações microbianas do solo em virtude do seu manejo.

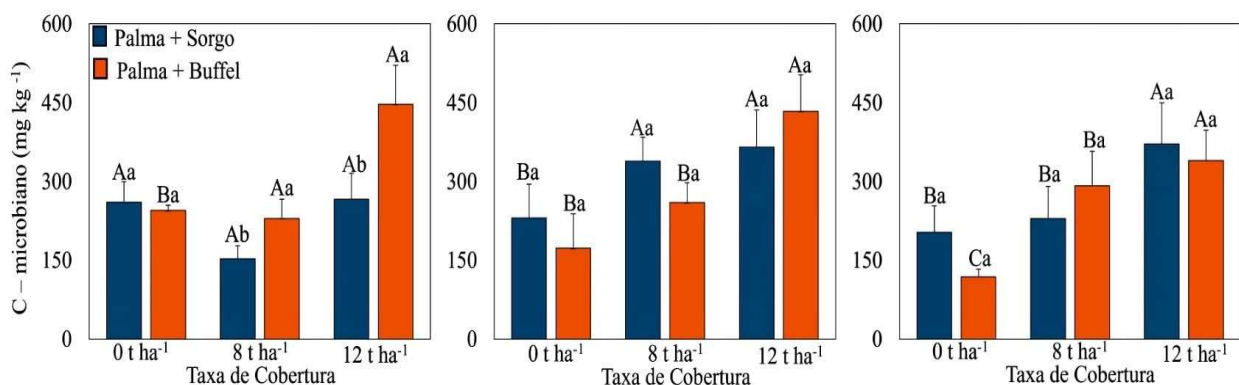


Figura 10. Carbono da biomassa microbiana do solo sob diferentes taxas de cobertura em um consórcio de espécies forrageiras irrigado com água de reuso no semiárido pernambucano em diferentes profundidades.

Os valores obtidos para respiração basal do solo demonstram que a quantidade de aporte de cobertura sobre o solo estimulou a atividade microbiana e aumentou a emissão de C-CO₂ pelos microrganismos do solo (Figura 11). A aplicação de 12 t ha⁻¹ foi a que promoveu maior respiração basal dos microrganismos em todas as profundidades avaliadas, para ambos os consórcios. Para Moura et al., 2015 as adoções de práticas conservacionistas promovem o aumento da RAS no solo quando comparada ao manejo convencional.

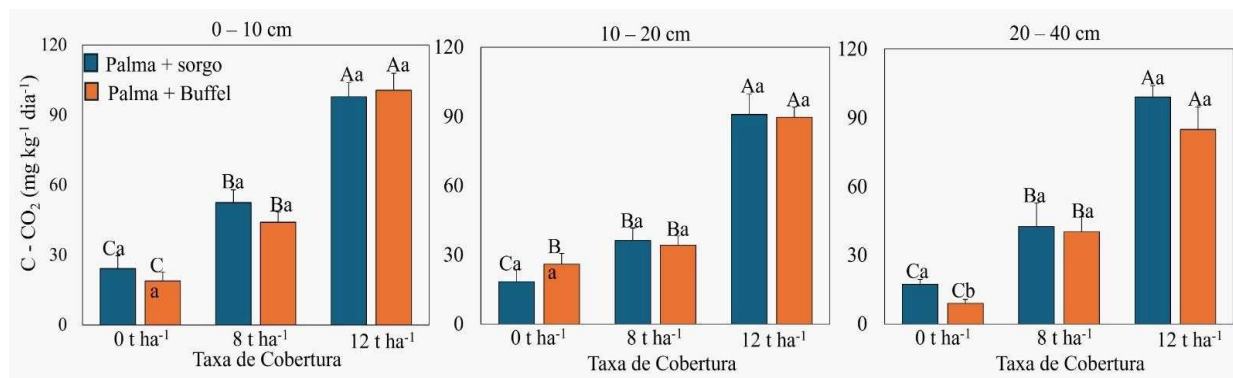


Figura 11- Respiração basal do solo sob diferentes taxas de cobertura em um consórcio de espécies forrageiras irrigado com água de reuso no semiárido pernambucano em diferentes profundidades.

Contudo, houve diferenças desses fenômenos nas diferentes profundidades representadas, em que na profundidade de 0-10 cm os valores de emissão de carbono via microbiana apresentaram uma maior proporcionalidade em relação às taxas de cobertura, segundo Andreia et al. 2010 isso ocorre porque nesta camada o processo de mineralização da MOS têm maior intensidade que nas demais camadas. Além disso, foi observado que as áreas que receberam a maior taxa de cobertura (12 t ha⁻¹) foram aquelas que também demonstraram os maiores valores de RAS em suas respectivas profundidades. Outro fenômeno identificado é que não houve de forma geral diferenças significativas entre os dois tratamentos, o que demonstra que os dois consórcios sob as taxas de cobertura foram suscetíveis ao aumento da atividade microbiana no solo diante do incremento de matéria orgânica via cobertura morta.

4.2. Carbono Lábil extraído por água quente (C-aq)

Os valores de carbono orgânico extraído por água quente não diferiram entre os consórcios e entre as taxas de 8 e 12 t ha⁻¹ na camada de 0-10 cm de profundidade. Quando comparadas as taxas de cobertura na camada superficial foi observado um incremento de 20% e 130% no aporte de C lábil extraído por água quente para os consórcios com sorgo e capim buffel, respectivamente. Nas profundidades subsuperficiais foram observadas poucas variações entre as diferentes taxas de cobertura aplicadas e os consórcios implantados.

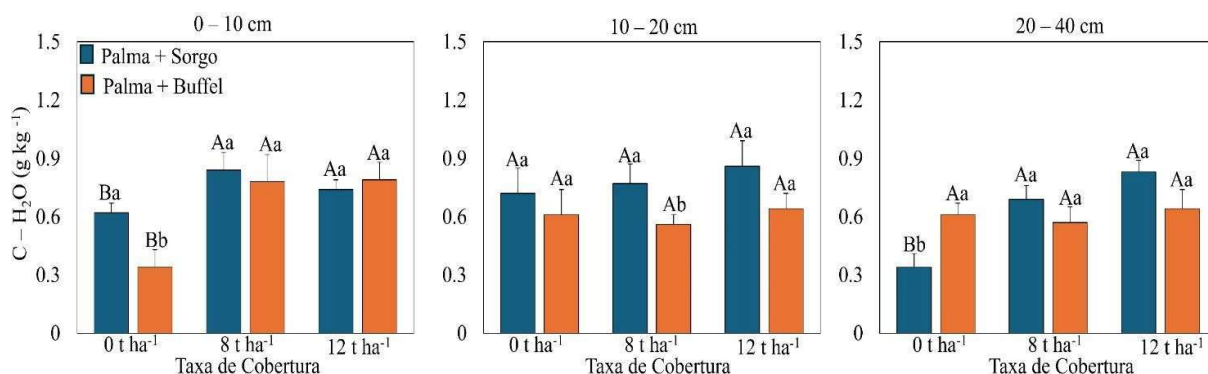


Figura 12. Carbono orgânico extraído por água quente em área de cultivo de palma forrageira consorciada com sorgo sudanês e capim buffel irrigados com água de reuso. As diferenças significativas entre as três taxas de cobertura e os diferentes consórcios são indicadas por letras maiúsculas e minúsculas de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$), respectivamente.

4.3. Carbono lábil extraído por permanganato de potássio (COXP)

A figura 12 mostra gráficos referente aos teores de COS extraídos por permanganato de potássio expressos em g kg^{-1} de áreas consorciadas com palma forrageira, com diferentes aportes de cobertura e em 3 profundidades do solo. Os dados apresentados revelam que os diferentes aportes de cobertura morta sob o solo impactaram positivamente nos teores de C- KMnO_4 do solo nas 3 profundidades analisadas das áreas com os dois consórcios. Esse fenômeno pode ser compreendido pelo que foi descrito por Maia & Cantarutti, 2003 que o uso de matéria orgânica sob o solo proporciona o aumento de teores de diversos componentes do solo como o carbono lábil, o carbono total, o nitrogênio solúvel em KMnO_4 e nitrogênio total. Outro fenômeno observado foi que os teores de carbono oxidado por permanganato de potássio foram maiores nos horizontes superficial (0-10 cm) e subsuperficial (10-20 cm) em relação ao horizonte mais profundo (20-40 cm), o que também foi observado por Rangel et al., 2018.

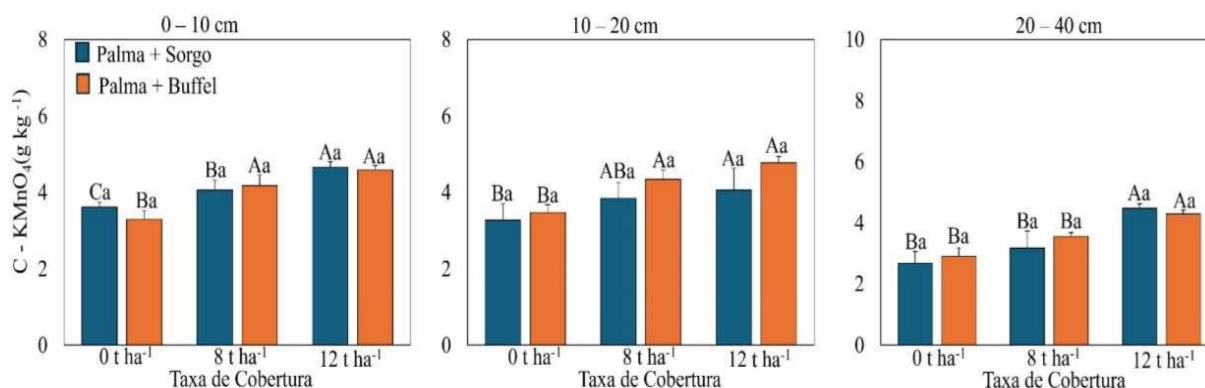


Figura 13. Carbono orgânico do solo extraído por Permanganato de Potássio em área de cultivo de palma

forrageira consorciada com sorgo forrageiro e capim buffel irrigados com água de reuso. As diferenças significativas entre as três taxas de cobertura e os diferentes consórcios são indicadas por letras maiúsculas e minúsculas de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$), respectivamente.

4.4. Carbono Orgânico Total e Estoque de Carbono no solo

Os teores de COT de forma geral diminuíram conforme a profundidade (Tabela 2). Na camada de 0 – 10 cm de profundidade foi observado que a taxa de cobertura de 12 t ha⁻¹ promoveu o incremento no teor de COT para ambos os consórcios de palma com sorgo e capim buffel (8,44 e 9,57 g kg⁻¹, respectivamente. O aumento no teor de COT do solo na taxa de cobertura de 12 t ha⁻¹ foi cerca de 29% maior que as parcelas em que não houve cobertura. Na camada de 20 – 40 cm de profundidade foi observado comportamento semelhante a camada superficial no aporte de COT. Nos tratamentos SC e VE foram encontrados os menores valores nas três camadas avaliadas. Na camada 10 – 20 cm e 20 – 40 cm não foram observadas diferenças significativas para os consórcios de palma com sorgo e com capim buffel, respectivamente.

Tabela 2. Carbono orgânico total do solo em área de cultivo de palma forrageira consorciada com sorgo forrageiro e capim buffel irrigados com água de reuso.

Taxa de Cobertura	Profundidade (cm)		
	0 – 10	10 - 20	20 - 40
Consórcio de Palma Forrageira com Sorgo Sudanês			
0 t ha ⁻¹	15,75 (^{±1,3}) Ba	14,44 (^{±1,1}) Ba	13,94 (^{±0,7}) Aa
8 t ha ⁻¹	12,66 (^{±1,8}) Ba	17,83 (^{±2,0}) Aa	14,74 (^{±2,5}) Aa
12 t ha ⁻¹	24,19 (^{±1,5}) Aa	18,15 (^{±1,2}) Aa	13,45 (^{±1,9}) Aa
Consórcio de Palma Forrageira com Capim Buffel			
0 t ha ⁻¹	13,87 (^{±1,6}) Ba	13,11 (^{±1,6}) Aa	10,91 (^{±2,3}) Bb
8 t ha ⁻¹	14,01 (^{±2,1}) Ba	14,15 (^{±1,2}) Ab	10,21 (^{±1,8}) Bb
12 t ha ⁻¹	23,44 (^{±1,7}) Aa	12,75 (^{±1,5}) Aa	13,45 (^{±1,4}) Aa

As diferenças significativas entre as três taxas de cobertura e os diferentes consórcios são indicadas por letras maiúsculas e minúsculas de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$), respectivamente.

A taxa de cobertura de 8 t ha⁻¹ aplicada ao solo promoveu maior estoque de C na camada superficial (Figura 10). No entanto, os valores de estoque encontrados nos solos com cobertura morta foram superiores aos tratamentos sem cobertura, com incremento de 4,5 e 3,7 Mg ha⁻¹ em relação às taxas de 8 e 12 t ha⁻¹ de cobertura,

respectivamente. Nas camadas de 10 – 10 e 20 – 40 cm de profundidade o tratamento com 12 t ha⁻¹ de cobertura foi o que mais estocou C ao solo (26,7 e 39,5 Mg ha⁻¹, respectivamente) no consórcio de palma com capim buffel e os menores valores foram encontrados no tratamento sem cobertura. Nas camadas subsuperficiais não foram observadas diferenças significativas para o consórcio de palma com sorgo sudanês, independente da taxa de cobertura aplicada ao solo.

A contribuição do manejo aplicado no experimento com água de esgoto tratada que possui carbono na sua composição e o uso das diferentes quantidades de cobertura morta no solo, proporcionaram um aumento no aporte de C ao solo. Pode-se observar que com o uso destas técnicas de manejo por 18 meses foi suficiente para recuperar o estoque de C do solo em relação à área de vegetação nativa de Caatinga (Tabela 1). Se comparada a área de cultivo sem cobertura morta com o estoque de C inicial do solo, pode-se observar que houve um incremento de 3,0, 2,3 e 1,8 Mg ha⁻¹, respectivamente, evidenciando que a utilização de água de reuso para irrigação de palma forrageira no Semiárido contribui para o aporte de C ao solo, mesmo sem a utilização de outras práticas de manejo. Contudo, a utilização de cobertura ao solo atrelada a água de reuso promoveu os maiores incrementos. Além do aumento no C do solo a cobertura morta pode promover outras melhorias na qualidade do solo, como maior retenção de água e menor taxa de erosão (De Oliveira Ferreira et al., 2018).

Segundo Chakraborty et al. (2022), a aplicação de palhada como cobertura morta influencia positivamente no carbono orgânico e estoque de carbono do solo. Yang et al. (2023) trabalhando com o retorno da palha para o solo, observaram que em relação ao controle (sem o retorno da palha), houve um aumento de carbono orgânico do solo de mais de 20% além de aumentar o estoque de carbono. Li et al. (2022) também encontraram resultados que corroboram com esta pesquisa. Estes autores observaram que o uso de palha de milho e a combinação de palha de milho e trigo aumentaram o estoque e o conteúdo de carbono em relação a áreas sem adição de cobertura.

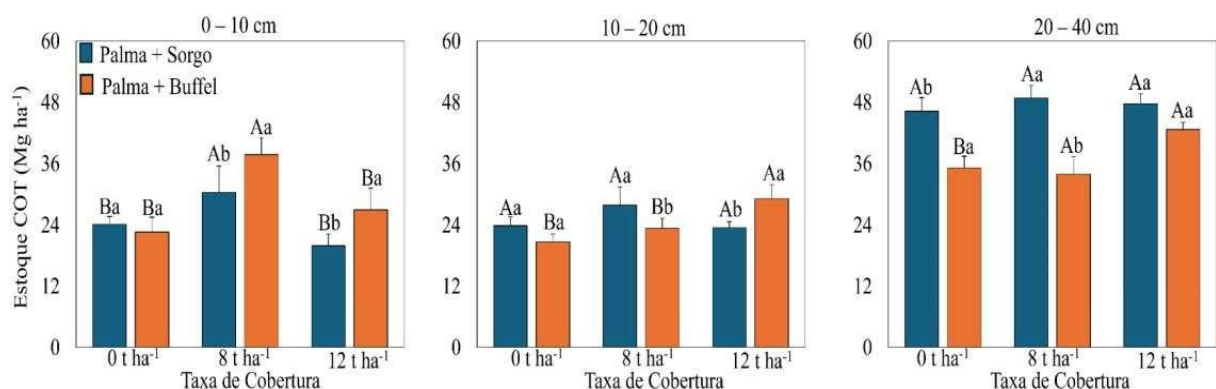


Figura 14- Estoque Carbono orgânico total do solo em área de cultivo de palma forrageira consorciada com sorgo forrageiro e capim buffel irrigados com água de reuso. As diferenças significativas entre as três taxas de cobertura e os diferentes consórcios são indicadas por letras maiúsculas e minúsculas de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$), respectivamente.

4.5. Produtividade de palma forrageira, sorgo e capim buffel em solo irrigado com água de reuso e sob aplicação de diferentes taxas de cobertura morta

A figura 13 mostra valores de produtividade da palma forrageira expressos em tonelada de matéria fresca por hectare de áreas com diferentes consórcios e taxas de cobertura. Diante dos dados apresentados pode-se perceber que as diferentes taxas de cobertura morta aplicadas ao solo influenciaram positivamente a produtividade da palma. O consórcio palma com sorgo sudanês apresentou uma produtividade maior que do consórcio de palma com capim buffel diante das taxas de cobertura aportadas (8 e 12 t ha⁻¹). A cobertura morta a uma taxa de 12 t ha⁻¹ contribui para um aumento na produtividade de cerca de 214 e 179 % em relação aos tratamentos sem cobertura para os consórcios com sorgo sudanês e capim buffel, respectivamente. Esse aumento na produtividade nos tratamentos com cobertura morta evidencia os benefícios desta prática de manejo na melhoria na qualidade das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo que contribuem positivamente para o desenvolvimento da cultura (Liu et al., 2017; Sales et al., 2018). O que também é descrito por Singh et al. (2021), que destacam como a cobertura morta sobre o solo (palhada) pode ser uma importante fonte de nutrientes em especial N, P e K.

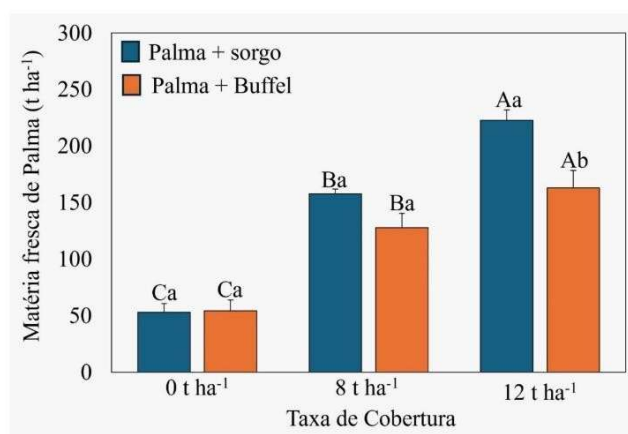


Figura 15. Produtividade de Palma forrageira em diferentes consórcios em solo irrigado com água de reúso de sob diferentes taxas de cobertura. As médias seguidas pela mesma letra não são estatisticamente diferentes pelo teste de Tukey em $p < 0,05$.

Já a figura 14 mostra as produtividades do sorgo sudanês e capim buffel consorciados com palma irrigados com água de reuso, onde essa produtividade foi expressa por tonelada de matéria seca por hectare. Os valores representados demonstram que a produtividade do sorgo e do buffel foram beneficiadas pelo aporte de cobertura morta, como o descrito por Carvalho et al., 2021. Discorrendo detalhadamente sobre o impacto produzido pelas diferentes taxas de cobertura sobre a produtividade, nota-se que ambas as áreas consorciadas obtiveram uma produtividade maior após o segundo corte, onde no capim buffel esse fenômeno foi mais expressivo. De acordo com Elias et al., 2017 isso ocorre devido a alta capacidade de rebrota que essas plantas possuem.

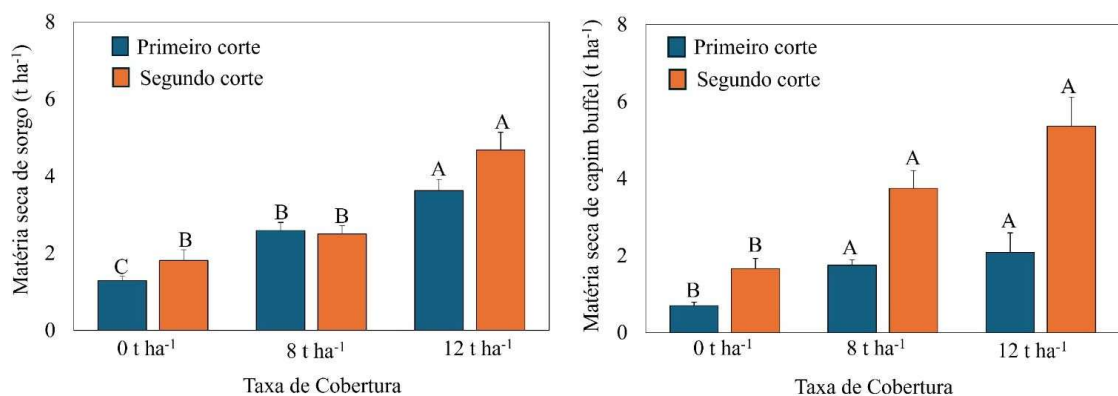


Figura 16. Produtividade de Sorgo forrageiro e capim buffel em cultivo consorciado com palma forrageira irrigados com água de reuso. As diferenças significativas entre as três taxas de cobertura e os diferentes consórcios são indicadas por letras maiúsculas e minúsculas de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$), respectivamente.

5. CONCLUSÕES

A ação combinada do consórcio de palma forrageira com Capim Buffel e Sorgo Sudanês e a adição de cobertura morta na taxa de 12 t ha⁻¹ promoveu aumento significativo na biomassa microbiana e na respiração do solo, indicando aumento da atividade microbiana em resposta a adição de matéria orgânica ao solo.

Os resultados encontrados demonstram que a utilização de práticas combinadas de manejo do solo no Semiárido Pernambucano contribui para o aumento na produtividade de palma forrageira e melhoram o estoque de C nos solos.

A aplicação de palhada de sorgo a uma taxa de 12 t ha⁻¹ foi a que promoveu maior aporte de C ao solo e onde foi encontrada a maior produtividade de Palma forrageira.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, R. F. Palma forrageira na alimentação de ovinos e caprinos no semiárido brasileiro. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 4, p. 08-14, 2012.
- ANDRADE SANTOS, A. et al. Alterações na atividade microbiana e na matéria orgânica do solo após aplicação de lodo de esgoto. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 25, n. 2, p. 17-23, mar./abr. 2009.
- ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 3, 2007. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/6684>. Acesso em: 31 mar. 2024.
- BARRETO, A. C. et al. Fracionamento químico e físico do carbono orgânico total em um solo de mata submetido a diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 4, p. 1471-1478, 2008.
- BLAIR, G. J. et al. Soil carbon fractions, based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 46, p. 1459-1466, 1995.
- CARNEIRO, C. E. A. et al. Efeitos dos sistemas de manejo sobre o carbono orgânico total e carbono residual de um Latossolo Vermelho eutroférico. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 30, p. 5-10, 2009.
- CARVALHO, A. A. et al. Análise do crescimento fisiológico do sorgo irrigado com água residuária tratada associado com cobertura morta. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 14, n. 5, p. 4258-4270, 2021.
- CARVALHO, N. L. et al. Reutilização de águas residuárias. **Revista Monografias Ambientais**, v. 13, n. 2, p. 3164–3171, 2014. DOI: 10.5902/2236130812585.
- CETESB (São Paulo). **Tipos de água: reúso de água**. São Paulo, 2010. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/tpos-de-agua/reuso-de-agua/>. Acesso em: 8 fev. 2024.
- CIOTTA, M. N. et al. Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. **Ciência Rural**, v. 33, n. 6, nov./dez. 2003. DOI: 10.1590/S0103-84782003000600026.
- CONCEIÇÃO, M. C. G. et al. Atividade microbiana em áreas com diferentes usos do solo em agricultura dependente de chuva no Semiárido do Submédio São Francisco. **Embrapa Semiárido**, Documentos 248, p. 337-343, 2012.
- ELIAS, O. F. A. S. et al. Características agronômicas de cultivares de sorgo em sistema de plantio direto no Semiárido de Pernambuco. **Journal of Chemical Information and Modeling**, v. 14, p. 29–36, 2017.

FERREIRA, A. S.; CAMARGO, F. A. O.; VIDOR, C. Utilização de microondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 6, p. 991-996, 1999.

FERREIRA, D. M. et al. Reúso agrícola de águas no Brasil: limites analíticos do efluente para controle de impactos. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 32, n. 4, p. 1048-1059, 2019.

FERREIRA, E. A. B. et al. Dinâmica do carbono da biomassa microbiana em cinco épocas do ano em diferentes sistemas de manejo do solo no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1625–1635, 2007.

FIDALGO, E. C. C. et al. **Estoque de carbono nos solos do Brasil**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2007. 27 p.

GAMA-RODRIGUES, E. F. et al. Nitrogênio, carbono de atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 9, p. 893-901, 2005.

GINEBRA, M. et al. Carbono lábil como um indicador de cambios em dos suelos bajo diferentes usos. **Cultivos Tropicales**, v. 36, n. 3, p. 67-70, 2015.

GONÇALVES, D. R. P. et al. Relações entre os compartimentos de carbono orgânico do solo e a produtividade de culturas em plantio direto de longa duração. **Revista Varia Scientia Agrárias**, v. 5, n. 2, p. 79-91, 2017.

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

ISERNHAGEN, E. C. C. et al. Estoques de Carbono lábil e total em solo sob integração lavoura-pecuária-floresta na região de transição Cerrado/Amazônia. **Nativa**, v. 5, n. 7, p. 515-521, 2017. DOI: 10.5935/2318-7670.v05nespa09.

LIMA, I. M. O. et al. Adubos verdes para o incremento dos estoques de carbono em Neossolo Quartzarênico de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 13, n. 4, p. 1-7, 2018. DOI: 10.5039/agraria.v13i4a5588.

MACHADO NETO, G. J. **Desempenho de palmas forrageiras no sistema de cultivo sobre o solo comparado ao sistema convencional em período chuvoso**. 2021. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) – Centro de Educação e Saúde, Universidade Federal de Campina Grande, Cuité, 2021.

MAIA, C. E.; CANTARUTTI, R. B. Disponibilidade de nitrogênio pela oxidação do carbono lábil com permanganato de potássio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, p. 489-493, 2003.

MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P.; ALVES, L. M. A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico. **Revista Climanálise**, v. 3, n. 1, p. 49-54, 2016.

MATOS, A. T. et al. Produtividade de forrageiras utilizadas em rampas de tratamento de águas residuárias da lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 1, p. 154-158, 2003.

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. **Matéria Orgânica do Solo: métodos e análises**. 2. ed. Viçosa: Cromosete, 2017. 221 p.

MOURA, J. A. et al. Respiração basal e relação de estratificação em solo cultivado com citros e tratado com resíduos orgânicos no Estado de Sergipe. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 2, p. 731-746, 2015. DOI: 10.5433/1679-0359.2015v36n2p731.

NANZER, M. C. et al. Estoque de carbono orgânico total e fracionamento granulométrico da matéria orgânica em sistemas de uso do solo no Cerrado. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, n. 1, p. 136-145, 2019. DOI: 10.5965/223811711812019136.

NEVES, C. S. V. J.; FELLER, C.; KOUAKOUA, E. Efeito do manejo do solo e da matéria orgânica solúvel em água quente na estabilidade de agregados de um Latossolo argiloso. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 5, p. 1410-1415, 2006.

OFORI, S. et al. Treated wastewater reuse for irrigation: pros and cons. **Science of The Total Environment**, v. 751, 144026, 2020.

OLIVEIRA, T. P. et al. Carbono lábil e frações oxidáveis de carbono em solos cultivados sob diferentes formas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 8, n. 4, 2018. DOI: 10.21206/rbas.v8i4.3068.

QUEIROZ, F. M. et al. Características químicas de solo submetido ao tratamento com esterco líquido de suínos e cultivado com gramíneas forrageiras. **Ciência Rural**, v. 34, n. 5, p. 1487-1492, 2004.

RANGEL, O. J. P. et al. Frações oxidáveis do carbono orgânico de latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, p. 429-437, 2008.

SÁ, J.C.M.; TIVET, F.; LAL, R.; DE OLIVEIRA FERREIRA, A.; BRIEDIS, C; ROMANIW, J. (2020). Carbon management practices and benefits in Conservation Agriculture systems: soil organic carbon fraction losses and restoration. In: Amir Kassam. (Org.). 2ed. Cambridge: Burleigh Dodds Science Publishing, 2, 229-266.

SALIMON, C. I.; WADT, P. G. S.; ALVES, S. S. Decrease in carbon stocks in na oxisol due to land use and cover change in the Southwestern Amazon. **Ambiente e Água**, v. 4, p. 57-65, 2009.

SLEUTEL, S.; DE NEVE, S.; HOFMAN, G. Estimates of carbon stock changes in Belgian Cropland. **Soil Use and Management**, v. 19, n. 2, p. 166-171, 2006.

WATSON, R. T. (ed.). **Climate change 2001: synthesis report: third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University, 2001. 408 p.