

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

THALITA VICENTE DAS NEVES

**FERTILIDADE E ATIVIDADE MICROBIOLÓGICA DO SOLO ARENOSO EM
FLORESTA PLANTADA DE EUCALIPTO, E SUA RELAÇÃO COM OS RESÍDUOS
DA COLHEITA**

**Ilha Solteira
2022**

THALITA VICENTE DAS NEVES

**FERTILIDADE E ATIVIDADE MICROBIOLÓGICA DO SOLO ARENOSO EM
FLORESTA PLANTADA DE EUCALIPTO, E SUA RELAÇÃO COM OS RESÍDUOS
DA COLHEITA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Unesp
como parte dos requisitos para obtenção do grau
de Engenheiro Agrônomo.

Orientadora
Prof. Dr. Kátia Luciene Maltoni

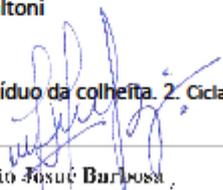
FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

N518f Neves, Thalita Vicente das.
Fertilidade e atividade microbiológica do solo arenoso em floresta plantada de eucalipto, e sua relação com os resíduos da colheita / Thalita Vicente das Neves. – Ilha Solteira: [s.n.], 2022
38 f.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Agrônoma) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2022

Orientador: Kátia Luciene Maltoni
Inclui bibliografia

1. Sistemas de manejo do resíduo da colheita. 2. Ciclagem de Nutrientes. 3. Matéria orgânica.



João Josué Barbosa,
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação
Diretor Técnico
CRB 8-5642

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE ENGENHARIA - CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

CURSO DE ENGENHARIA AGRÔNOMICA

ATA DA DEFESA – TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO: Fertilidade e atividade microbiológica do solo arenoso em floresta plantada de eucalipto, e sua relação com os resíduos da colheita

ALUNO: *Thalita Vicente das Neves*

RA: 162054009

ORIENTADOR: Kátia Luciene Maltoni

Aprovado (x) - Reprovado () pela Comissão Examinadora com Nota: 9,0 (nove)

Comissão Examinadora:



Prof. Dra. Kátia Luciene Maltoni
Presidente (Orientador)



Dra. Karla Nascimento Sena



Dra. Viviane Cristina Modesto



Thalita Vicente das Neves

Ilha Solteira, 01 de fevereiro de 2022.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por estar comigo em todo o tempo e preparar pessoas boas para estarem no meu caminho.

À minha mãe, Gislaine Cristina Vicente, que esteve ao meu lado, me apoiando e incentivando a nunca desistir dos meus objetivos. E a todos familiares, que mesmo distantes continuam torcendo por mim.

À UNESP, Faculdade de Engenharia, Campus de Ilha Solteira, por me proporcionar ensino de qualidade e gratuito.

À professora Kátia Maltoni, pela orientação e conselhos durante toda a graduação.

Aos companheiros do laboratório de Pedologia, que sempre me ajudaram em todas as coisas, Thaís Boni, Diego Feitosa, Loiane Romão, Lucas Felizardo. Em especial a Karla Sena, que sempre me ouviu e aconselhou nos momentos difíceis.

Ao meu namorado Leonardo Malta e sua família, por me abraçarem e me apoiarem.

E a todos, que direta ou indiretamente contribuíram com meu aprendizado.

Minha gratidão eterna a todos!

RESUMO

O cultivo do eucalipto vem se destacando no setor florestal brasileiro, principalmente por se concentrar em áreas de baixa fertilidade natural. Isso ocorre, pois, a cultura do eucalipto apresenta maior adaptabilidade, em relação a outras culturas agrícolas, a este tipo de ambiente edáfico. Visando identificar e quantificar manejos que contribuam para o desenvolvimento sustentável da cultura do eucalipto, diferentes sistemas de manejo do resíduo da colheita (SMRC) foram implantados em área experimental. Estes avaliam se a deposição do material orgânico residual da colheita, melhora as condições edáficas do solo, por meio da ciclagem de nutrientes e do aporte de matéria orgânica. O estudo foi realizado em plantio comercial de *Eucalyptus urograndis* (clone E13) no município de Água Clara (MS). O solo foi classificado como Neossolo Quartzarênico, de textura arenosa e os SMRC empregados foram: *cut-to-length* (CTL= manutenção de 100% dos resíduos da colheita na área); *bare* (BA= retirada de 100% dos resíduos e da serapilheira, por meio de varrição); *bare litter* (BL = remoção de 100% dos resíduos da colheita na área com entrada de serapilheira) e *tree-length* (TL= retirada da casca e manutenção dos demais resíduos). Foram coletadas amostras compostas, nas profundidades de 0,00 a 0,05 e 0,05 a 0,10 m, foram coletadas. Nestas quantificou-se o carbono orgânico total (COT), o carbono da biomassa microbiana (CBM), a respiração basal do solo (RBS), quocientes metabólico (qCO_2) e microbiano ($qMic$), além da fertilidade do solo (P, MO, pH, K, Ca, Mg, H+Al, Al, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn). Os SMRC proporcionaram variações nas condições químicas do solo e permitiram pontuar, que no SMRC CTL, MO, Ca^{2+} , Mg^{2+} , SB e CTC superaram os valores observados nos demais tratamentos. Os efeitos da interação tempo decorrido x SMRC foram significativos para MO, S-SO₄ e Fe. Os SMRC promoveram mudanças significativas no COT, CBM, RBS e qCO_2 e a permanência de todos os resíduos na área é promissora no *input* de matéria orgânica no sistema.

Palavras-chave: sistemas de manejo do resíduo da colheita; ciclagem de nutrientes; matéria orgânica.

FERTILITY AND MICROBIOLOGICAL ACTIVITY OF SANDY SOIL IN PLANTED EUCALYPTUS FOREST, AND ITS RELATIONSHIP WITH HARVEST RESIDUES

ABSTRACT

Eucalyptus cultivation has been highlighted in the Brazilian forestry sector, mainly because it is concentrated in areas of low natural fertility. This occurs because the eucalyptus crop presents greater adaptability, in relation to other agricultural crops, to this type of edaphic environment. In order to identify and quantify management practices that contribute to the sustainable development of the eucalyptus crop, different harvest residue management systems (SMRC) were implemented in an experimental area. These evaluate whether the deposition of residual organic material from the harvest improves soil edaphic conditions, through nutrient cycling and the contribution of organic matter. The study was carried out in a commercial plantation of *Eucalyptus urograndis* (clone E13) in the municipality of Água Clara (MS). The soil was classified as Quartzarenic Neosol, with a sandy texture and the SMRC used were: cut-to-length (CTL= maintenance of 100% of harvest residues in the area); bare (BA= removal of 100% of harvest residue and litter, by sweeping); bare litter (BL = removal of 100% of crop residues in the area with litter entry) and tree-length (TL = bark removal and maintenance of other residues). Composite samples, at depths of 0.00 to 0.05 and 0.05 to 0.10 m, were collected for quantification of total organic carbon (TOC), microbial biomass carbon (MBC), basal soil respiration (RBS), metabolic (qCO_2) and microbial ($qMic$) quotients, in addition to soil fertility (P, MO, pH, K, Ca, Mg, H+Al, Al, S, B, Cu, Fe, Mn and Zn). The SMRC provided variations in the soil chemical conditions and allowed to point out that in the SMRC CTL, MO, Ca^{2+} , Mg^{2+} , SB and CTC exceeded the values observed in the other treatments. The effects of the elapsed time x SMRC interaction were significant for MO, S- SO_4 and Fe. The SMRC promoted significant changes in TOC, CBM, RBS and qCO_2 and the permanence of all residues in the area is promising as an input of organic matter in the system.

Keywords: Crop residue management systems; Nutrient cycling; Organic matter.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1	SETOR FLORESTAL NO BRASIL	11
2.2	CARACTERÍSTICAS DO EUCALIPTO	11
2.3	RELAÇÃO PLANTA-SOLO	13
2.4	MATÉRIA ORGÂNICA	14
2.5	IMPORTÂNCIA DO RESÍDUO DA COLHEITA DO EUCALIPTO.....	16
3	MATERIAL E MÉTODOS	18
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
5	CONCLUSÃO.....	32
6	REFERÊNCIAS.....	33

1 INTRODUÇÃO

O setor florestal vem ganhando cada vez mais destaque no cenário da economia brasileira, principalmente com o cultivo do eucalipto. O Brasil possui 9,0 milhões de hectares de florestas plantadas, dos quais 6,97 milhões de hectares são de eucalipto (IBÁ, 2020), com destaque para a região Centro Oeste, onde o estado de Mato Grosso do Sul é responsável por 24,6% da produção nacional de eucalipto (IBGE, 2019). O rápido crescimento, diversidade de espécies, adaptabilidade em diversos ambientes, menor custo de implementação e manutenção quando comparado com outras espécies (BARBOSA *et al.*, 2020), mas, sobretudo, a capacidade produtiva em condições onde outras não seriam viáveis, tornaram possível a ascensão do setor florestal.

As espécies do gênero *Eucalyptus* apresentam, em geral, características nutricionais mais rústicas quando comparadas as culturas agrícolas, tendo sua maior demanda por nutrientes na fase de fechamento da copa (GONÇALVES *et al.*, 2000). Isso devido a serapilheira formada galhos, folhas e outros resíduos vegetais depositados sobre o solo que, ao se decompor, libera os nutrientes para o solo, disponibilizando-os para absorção (GAMA-RODRIGUES; BARROS 2002) durante todo o ciclo de crescimento da planta.

No entanto, as áreas de florestas plantadas de eucaliptos são geralmente conduzidas em áreas com solos marginais em termos de fertilidade (MORAIS *et al.*, 1990), conseqüentemente, de menor valor econômico para aquisição. O solo sob cobertura vegetal natural quando convertido em áreas agricultáveis passa por mudanças, que interferem em suas propriedades físicas, químicas e biológicas (microbiológicas) (OLIVEIRA *et al.*, 2016). Estas são, portanto, influenciadas pelos sistemas de manejo, que podem afetar negativamente os processos ecológicos (VINHAL-FREITAS *et al.*, 2017).

Diante deste cenário, os sistemas de manejo conservacionista que buscam a manutenção dos resíduos vegetais na superfície do solo são os mais indicados, por possibilitar melhorias nas condições físico-químicas e biológicas do solo, incorporando a estas áreas matéria orgânica, possibilitando a ciclagem e eficiência na utilização de nutrientes (ALVARENGA *et al.*, 2010).

Espécies florestais, com ciclo de vida longo, proporcionam várias vantagens, como, a permanência da vegetação por um período maior comparado com culturas anuais (LAL, 2005). Com maior tempo na área, favorece o armazenamento de carbono pela vegetação na sua biomassa, assim como maior aporte de fitomassa vegetal será depositado e armazenado ao solo (COSTA e STRECK, 2018).

As áreas florestais, além de sua importância no setor econômico, têm relevante papel no ciclo global do carbono, tendo sido apontadas como uma das práticas mais importantes no sequestro deste, quando associada a práticas silviculturais conservacionistas (BRUN, 2008; GONÇALVES; STAPE, 2002), onde o revolvimento do solo é reduzido e a sua cobertura mantida, a fitomassa residual de colheita permanece na para melhor aproveitamento dos nutrientes das áreas de cultivo e a ampliação das áreas de desmatamento para a produção é controlada.

Em solos arenosos, a produção e sustentabilidade é dependente da presença de matéria orgânica (MO), e ao mesmo tempo tem papel relevante na proteção física da MO, evitando sua decomposição ao permitir sua oclusão dentro das unidades estruturais, reduzindo sua decomposição microbológica ou sua biodegradação, preservando assim o carbono orgânico no solo. (SALTON *et al.*, 2008; COSTA JÚNIOR *et al.*, 2012).

Assim, investigou-se a hipótese de que os sistemas de colheita do eucalipto que deixam à superfície todos os resíduos da cultura (folhas, galhos, casca) após esta atividade podem melhorar as condições edáficas do solo por meio da ciclagem de nutrientes e do aporte de matéria orgânica.

Dentro deste contexto, o objetivo do trabalho foi identificar diferenças nas propriedades químicas e na respiração do solo submetido a quatro diferentes sistemas de manejo dos resíduos da colheita do eucalipto.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 SETOR FLORESTAL NO BRASIL

O setor florestal vem ganhando cada vez mais destaque no cenário da economia brasileira, principalmente com o cultivo do eucalipto, que pode ser empregado na indústria de celulose e papel, biomassa/bioenergia, para combustíveis, entre outros. Além de seu elevado impacto social, a atividade apresenta um grande potencial de crescimento e expansão do setor, gerando emprego e renda, principalmente ao longo da sua cadeia produtiva (MOREIRA, SIMIONI e OLIVEIRA, 2017).

O Brasil possui 9,0 milhões de hectares de florestas plantadas, onde, cerca de 6,97 milhões de hectares são de eucalipto (IBÁ, 2020). Além disso, o setor florestal apresenta uma taxa de importação menor do que a taxa de exportação, sendo responsável por 9,3% do saldo positivo da balança comercial do agronegócio (MOREIRA, SIMIONI e OLIVEIRA, 2017). Desta forma, contribuiu com 1,2% do PIB nacional e 6,9% do PIB industrial em 2019, apresentando um acréscimo de 11,8% em 2018 em comparação com o ano anterior (IBÁ, 2020).

Características como: rápido crescimento, capacidade produtiva, adaptabilidade em diversos ambientes e menor custo de implementação e manutenção quando comparado com outras espécies (BARBOSA *et al.*, 2020), mas, sobretudo, a diversidade de espécies, tornaram possível atender a grande demanda do setor florestal.

Deste modo, o Brasil vem se destacando no mercado mundial no setor florestal, sendo este o segundo maior produtor e o maior exportado de celulose, com posição relativa no ranking de certificação de madeira e sendo o maior produtor de carvão vegetal, ocupando posições relevantes na produção de papel, madeira serrada e painéis de madeira (IBÁ, 2020).

Estes resultados positivos, estão associados a adoção de boas práticas de manejo, o melhoramento genético, tecnologia incorporada e as condições edafoclimáticas do país.

2.2 CARACTERÍSTICAS DO EUCALIPTO

O *Eucalyptus* é um gênero de plantas, pertencente à família *Myrtaceae* que engloba espécies conhecidas pelo nome popular de eucalipto. Originário da Austrália, Tasmânia e outras ilhas da Oceânia, chegou ao Brasil em 1825, sendo usado inicialmente como cultura ornamental. Se adaptou aos fatores significativamente oportunos para seu desenvolvimento, tais como solo e clima rapidamente (VECHI; MAGALHÃES JÚNIOR, 2018). Em 1968, no estado

do Rio Grande do Sul, foi introduzido como monocultura destinada a suprir a demanda de lenha para combustíveis das locomotivas (SARTÓRIO, 2014).

No decorrer das décadas, através de incentivos fiscais e demanda de madeira contribuíram para a expansão do setor. Na década de 1960, houve um grande salto de produtividade, resultado de avanços tecnológicos, melhoramento genético e operações silviculturais (GONÇALVES *et al.* 2013). A implementação do eucalipto no Brasil acarretou múltiplas discussões ambientais, por se tratar de uma espécie exótica. No entanto, através de muitas pesquisas que associam a exploração de eucalipto a uma série de benefícios socioambientais, como por exemplo, a instalação de indústrias de grande porte a qual utilizam madeira como obra-prima e produção sustentável de madeira, evitando a extração de florestas nativas, e, conseqüentemente, conservando a biodiversidade (VECHI; MAGALHÃES JÚNIOR, 2018).

Segundo o IBGE (2019), o estado de Mato Grosso do Sul é responsável por 24,6% da produção nacional de eucalipto, região esta que possuía um foco para a pecuária, foi se modificando conforme o avanço da silvicultura. As florestas plantadas estão assumindo espaços que antes era das pastagens, observando-se então a conversão de áreas de pastagem ou áreas degradadas em ambientes produtivos (SILVA *et al.*, 2004).

As espécies do gênero *Eucalyptus* apresentam, em geral, maior tolerância a valores elevados de atividade de alumínio trocável na solução do solo do que a maioria das culturas agrícolas (SILVA *et al.*, 2004; TAHARA *et al.*, 2008), além de requererem níveis de cálcio e magnésio inferiores aos estabelecidos como críticos para as demais das culturas (BARROS *et al.*, 1990). Seu rápido crescimento, capacidade de adaptação e potencial econômico, tendo em vista a utilização diversificada de sua madeira são fundamentais para sua utilização no setor florestal (RODRIGUES, 2020).

A exportação de biomassa resulta na elevada exportação de nutrientes, reduzindo conseqüentemente sua disponibilidade (RESQUIN *et al.*, 2019). Sua maior demanda por nutrientes se encontra na fase de fechamento da copa, quando as partes inferiores começam a perder folhas devido à falta de luminosidade. Momentos antes da queda das folhas, grande parte dos nutrientes se realocam para tecidos mais jovens. Os galhos e outros resíduos vegetais, formam a serapilheira sobre o solo que, ao se decompor, libera os nutrientes para o solo, disponibilizando-os para absorção (GAMA-RODRIGUES; BARROS 2002).

Calagem e adubação adequados aos plantios florestais devem ser conduzidos no plantio, evitando que a cultura atinja os níveis críticos (BARROS *et al.*, 2004). Particularmente para o eucalipto, uma vez que a maioria dos primeiros plantios, tem sido feita em áreas com solos

marginais em termos de fertilidade (MORAIS *et al.*, 1990), conseqüentemente, de menor valor econômico para aquisição, aliado a técnicas florestais apresentam alta eficiência absorviva (BARROS *et al.*, 1990), ou seja, através de métodos de correção e adubação adequados o eucalipto apresenta bom desenvolvimento em solos onde outras culturas não se desenvolveriam de forma satisfatória com o mesmo nível de investimento. Lima (1996), relata que o cultivo de eucalipto, em geral, promove resultados benéficos nos atributos químicos do solo como: serapilheira, ciclagem de nutrientes e matéria orgânica.

O manejo dos resíduos da cultura e do solo garantem a produtividade e a longevidade da produção florestal ao longo dos anos, onde a sustentabilidade florestal consiste na adequada fertilização para realizar exploração do eucalipto sem empobrecer o solo (TIYUAN *et al.*, 2010).

2.3 RELAÇÃO PLANTA-SOLO

As espécies do gênero *Eucalyptus*, além da implicação financeira, também foram utilizadas em reflorestamentos e na recuperação de áreas degradadas, por viabilizarem economicamente estas áreas (GONÇALVES *et al.*, 2013). Viana (2004), relata que florestas plantadas de rápido crescimento podem auxiliar a recuperação de áreas degradadas ou de mau uso, nas questões físicas e químicas, visando contribuir na restauração e controle de erosões.

A estreita relação entre o tipo de vegetação e as propriedades do solo sobre o qual essa vegetação ocorre são diversas (RESENDE *et al.*, 1988). Desta forma, o solo sob cobertura vegetal natural quando convertido em áreas agricultáveis passa por mudanças, que interferem em suas propriedades físicas, químicas e biológicas (microbiológicas) (OLIVEIRA *et al.*, 2016). Estas são, portanto, influenciadas pelos sistemas de manejo, que podem afetar negativamente os processos ecológicos, a depender da forma como é conduzido (VINHAL-FREITAS *et al.*, 2017). Desta maneira, os sistemas de manejo conservacionista do solo, favorecem a qualidade do solo, onde por sua vez a manutenção dos resíduos vegetais possibilitam as melhorias dos atributos físico-químicas, biológicos, com incorporação de matéria orgânica, além de aumentar a ciclagem e eficiência de utilização dos nutrientes (ALVARENGA *et al.*, 2010).

Segundo Doran e Parkin (1994), qualidade do solo pode ser conceituada como sua capacidade em sustentar a produtividade biológica e manter ou melhorar a qualidade ambiental, de acordo com os sistemas de manejo empregadas, pois estes são sensíveis as movimentações. Desta forma, a adoção de sistemas conservacionistas de manejo apresenta-se como medida

necessária não apenas por evitar a redução da qualidade do solo, pois este dá ao sistema suporte ao acúmulo de matéria orgânica, às atividades biológicas e a fertilidade do solo (ROCHA *et al.*, 2018).

Neste sentido, as plantações de eucaliptos, quando bem manejadas, podem melhorar as condições físicas do solo, contribuir para o aumento da matéria orgânica e possibilitar a atividade microbiológica, melhorando simultaneamente a estrutura, a aeração, a capacidade de armazenamento e a infiltração da água (LIMA, 1996), sendo estes, fatores importantes para solos com baixa CTC, como é o caso dos solos arenosos, da região do Cerrado.

2.4 MATÉRIA ORGÂNICA

A matéria orgânica é um indicador importante da qualidade e produtividade do solo, principalmente em solos arenosos, entretanto, sua avaliação isolada não reflete adequadamente as mudanças ocorridas no solo (KOOCH *et al.*, 2019; HEYDARI *et al.*, 2020). Entre a qualidade natural do solo, a matéria orgânica e a ciclagem de nutrientes há uma dependência, cujos processos são catalisados por microrganismos (ALCÂNTARA NETO, 2011). Estes são considerados a parte viva da matéria orgânica, responsáveis pela disponibilidade dos nutrientes, os quais desempenham função chave em diversos processos importantes do solo como decomposição e mineralização, representando um importante reservatório de nutrientes (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006), ocorrendo na camada mais superficial do solo a maior atividade da biomassa microbiana devido à proximidade e a disponibilidade de resíduos vegetais (SOUZA *et al.*, 2006).

Segundo Dick *et al.* (1994), o componente microbiológico do solo são o centro de inúmeros processos e funções, como a ciclagem de nutrientes, decomposição de resíduos, síntese de substâncias húmicas, agregação e desagregação de compostos, estes podem influenciar na fertilidade do solo e na produtividade dos agroecossistemas.

As áreas florestais, além de sua importância no setor econômico, têm relevante papel no ciclo global do carbono, tendo sido apontadas como uma das práticas mais relevantes, quando associada a práticas silviculturais conservacionistas (BRUN, 2008; GONÇALVES; STAPE, 2002), onde o revolvimento do solo é reduzido, contribuindo para o melhor aproveitamento das áreas. Evitando-se assim, a ampliação das áreas de desmatamento para a produção, as queimadas são evitadas e devidamente controladas. Os impactos do uso e manejo do solo sobre sua qualidade física têm sido quantificados por meio de atributos relacionados à sua estabilidade estrutural.

Esta é dependente da mineralogia do solo, da granulometria e da presença de matéria orgânica (MO), que conjuntamente possuem um papel relevante na proteção física da MO, evitando sua decomposição ao permitir sua oclusão dentro das unidades estruturais, reduzindo assim, a decomposição microbiológica ou sua biodegradação, preservando o carbono orgânico no solo. (SALTON *et al.*, 2008; COSTA JR *et al.*, 2012).

O manejo conservacionista conta com a dinâmica da serapilheira, representada pela entrada de folhas e galhos via deposição e saída via sua decomposição/mineralização das mesmas, fundamental na manutenção da ciclagem de nutrientes (BALIEIRO *et al.*, 2004). Além de efetiva para a conservação e evidenciado pelas florestas que se mantêm em áreas com solos de baixa fertilidade (SCHUMACHER *et al.*, 2003). Gama-Rodrigues e Barros (2002) e Miranda *et al.* (2002), notaram menores quantidades de nutrientes a serem repostos via fertilizantes no solo em áreas onde apenas a madeira do eucalipto foi retirada, desta forma, se a serapilheira for mantida, o material vegetal (folhas e pequenos ramos) contribuem na manutenção nutricional sob a superfície do solo.

A manutenção da serapilheira e de outros resíduos sobre o solo pode modificar os índices de acidez, devido ao conteúdo de bases presentes (PRITCHETT; FISHER, 1987). O pH do solo, um importante indicador da condição química da área, interfere na disponibilização de vários elementos químicos essenciais ao desenvolvimento vegetal (BRANDÃO; LIMA, 2002). Freitas (2000) observou pH baixo em um povoamento de *Eucalyptus grandis*, com nove anos de idade, no município de Alegrete (RS), com o pH diminuindo em profundidade e comprovando a importância do componente orgânico para sua manutenção que à na camada superficial (0,00 a 0,10 m) na ordem de 4,9 para camada de solo de 0-10 cm de profundidade; 4,6 para 10-20 cm e 4,5 nas profundidades de 20-30, 30-40 e 40-50 cm. Ainda segundo o autor, o solo apresentava baixa fertilidade natural, com necessidade de manejos para a produtividade.

A matéria orgânica do solo influencia inúmeros atributos, como exemplo, as recomendações de calagem e adubação, no caso, o nutriente nitrogênio, ocorrem em função dos teores de matéria orgânica, conseqüentemente, quanto maior esses teores, menor será a dose de fertilizante aplicada (GONÇALVES; BENEDETTI, 2005). Em áreas com florestas plantadas geralmente apresentam maiores conteúdos de matéria orgânica, quando comparados com solos agrícolas, devido a quantidade de material depositado e à menor taxa de mineralização da matéria orgânica observada na floresta (MIRANDA, 2005), que está relacionado com a menor temperatura no ambiente florestal e redução da taxa de mineralização.

Diversos estudos sobre o plantio do eucalipto têm demonstrado que áreas de Cerrado, onde a vegetação natural foi substituída por florestas plantadas, houve um aumento do estoque de C orgânico total (COT) devido ao manejo adotado (RANGEL; SILVA, 2007).

2.5 IMPORTÂNCIA DO RESÍDUO DA COLHEITA DO EUCALIPTO

Em geral, os plantios florestais ocorrem em áreas com solos de baixa fertilidade, em antigas áreas agrícolas ou pastagens degradadas. Estes solos, já degradados, associados a movimentações e modificações causadas pelas operações de manejo, tem grande potencial para reduzir ainda mais sua capacidade produtiva, mesmo sob florestas plantadas (HERNANI *et al.*, 2002).

Práticas que contribuam para minimizar esses impactos, garantindo uma produção sustentável e de menor impacto ao meio ambiente, são desejáveis. Com esta perspectiva, o manejo dos resíduos da colheita passa a ter grande importância, por possibilitar, quando os resíduos são mantidos à superfície, aporte de matéria orgânica ao solo, o que também contribui com outros aspectos químicos, físicos e biológicos do solo (ROSA, 2010).

O sistema de colheita florestal implica diretamente no tipo e na quantidade de material vegetal que é disponibilizado à superfície do solo, e influencia a quantidade de nutrientes que pode ser liberada para o solo, por meio de sua decomposição (NAVE *et al.*, 2010). A simples ação de deposição de restos florestais sobre o solo contribui para formação de serapilheira, reduz processos erosivos, estimula a atividade microbológica, que dinamiza o processo de mineralização da serapilheira depositada (BRUN, 2008; GAMA-RODRIGUES *et al.*, 2005).

Estes sistemas que possibilitam a permanência da fitomassa residual sobre o solo, após as operações de colheita, possibilitam a sustentabilidade no sistema produtivo (MOYIN-JESU *et al.*, 2007). Assim a adoção de sistemas de manejo do resíduo da colheita (SMRC), que mantem os resíduos na superfície do solo, contribuem para melhorar as condições edáficas do mesmo.

Segundo Machado (2008), os sistemas de colheita podem variar de acordo com diversos fatores, como: tipo de floresta, máquinas, topografia do terreno, rendimento volumétrico do povoamento, equipamentos e recursos disponíveis. Segundo a FAO (1978) e Malinovski e Malinovski (1998), os sistemas de colheita podem ser classificados de acordo com o comprimento das toras, forma como são extraídas e o local de processamento. Assim, existem basicamente quatro sistemas de colheita:

- Sistema de toras curtas (*cut-to-length*): consiste no processamento da árvore no local onde é derrubada, sendo extraída, sem folhas, galhos, casca e serapilheira, todos mantidos na área, e levada para a margem da estrada ou para o pátio intermediário em forma de pequenas toras, com menos de seis metros de comprimento. Este é o sistema mais antigo em uso no Brasil;
- Sistema de toras compridas (*tree-length*): consiste no semi-processamento da árvore, neste caso as folhas, galhos e serapilheira ficam depositados na área, exceto a casca, que não é removida das toras no local de derrubada, sendo levada para a margem da estrada ou pátio temporário em forma de fuste, com mais de seis metros de comprimento;
- Sistema de árvores inteiras (*full-tree*): consiste em derrubar a árvore, esta é, então, levada para a margem da estrada ou pátio intermediário, onde é processada, neste caso apenas a serapilheira permanece no local;
- Sistema de árvores completas (*whole-tree*): consiste na retirada da árvore com parte do sistema radicular, esta é levada para a margem da estrada ou para o pátio temporário, onde é processada, neste caso parte da serapilheira pode ser perdida.

3 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida no município de Água Clara (MS), em plantio comercial de *Eucalyptus urograndis*, clone E13. O clima na região é do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen (ALVARES *et al.*, 2013), com inverno seco, verão chuvoso, e média anual de precipitação e temperatura de 1370 mm e 24,4°C, respectivamente.

A área selecionada para o desenvolvimento da pesquisa tinha por vegetação original o cerrado, este foi convertido em pastagem na década de 60, e em 2011 recebeu o primeiro cultivo de eucalipto, cuja colheita ocorreu em junho de 2017, quando o primeiro ciclo da cultura completou 6 anos. O processo de colheita se deu no sistema *cut-to-length* (CTL) e a madeira produzida permaneceu na área por 120 dias para secagem. Transcorrido este período, os sistemas de manejo do resíduo da colheita (SMRC) foram implantados, seguindo o delineamento estatístico inteiramente casualizado (DIC), com 4 repetições (representadas por parcelas). Os sistemas de manejo (SMRC) empregados foram:

CUT-TO-LENGTH (CTL) - Manutenção de 100% dos resíduos (resíduos: folhas, galhos, casca e serapilheira todos mantidos na área, conforme a colheita *Cut-to-length*);

BARE (BA) - Retirada de 100% dos resíduos e da serapilheira com instalação de sombrite, para impedir a deposição da biomassa vegetal do ciclo atual na superfície do solo e a supressão da adubação de cobertura;

BARE LITTER (BL) - Retirada de 100% dos resíduos e da deposição de serapilheira, sem instalação de sombrite; com entrada de resíduos do ciclo atual;

TREE-LENGTH (TL) - Retirada da casca e manutenção dos demais resíduos (todos os resíduos, folhas, galhos e serapilheira foram mantidos na área, com exceção da casca - simulação de colheita *Tree-length*).

A área, onde os SMRC foram implantados, recebeu adubação de plantio, em dezembro de 2017, que consistiu em 300 kg ha⁻¹ de formulado NPK (15-20-18) e 120 kg ha⁻¹ de S elementar com micronutrientes (5% de S, 0,3% de B, 0,6 % de Cu e 0,6% de Zn) incorporados a 0,30 m de profundidade e 140 kg ha⁻¹ de superfosfato simples (00-20-00) incorporados a 0,60 m de profundidade, durante o preparo com subsolador e antes do plantio.

A adubação suplementar ocorreu em novembro de 2018, tendo sido aplicado calcário dolomítico (1 t ha⁻¹ - PRNT 85%, 30% CaO e 12% MgO) e potássio (K) com micronutrientes (270 kg ha⁻¹ - 00-00-47, 5% de S, 0,3% de B, 0,6 % de Cu e 0,6% de Zn) apenas para os SMRC CTL, BL e TL. A adubação suplementar foi realizada manualmente ao redor das plantas.

No SMRC BA, durante todo o período de desenvolvimento da pesquisa (11/2017 a 11/2019) foram realizadas, a cada 4 meses, varrições com rastelo para remover a serapilheira do ciclo vigente.

Os SMRC foram dispostos em parcelas experimentais retangulares (40,8 m x 27,6 m e área de 1.126,00 m²), com 12 linhas de plantio em espaçamento de 3,4 m entre linhas e 2,3 m entre plantas. Dentro destas parcelas, as 8 linhas centrais foram consideradas para avaliação (500,8 m²), para evitar efeitos de carreador e interferências de áreas vizinhas.

Na área selecionada para desenvolvimento da pesquisa o solo foi classificado, segundo o sistema brasileiro de classificação de solos (SANTOS *et al.*, 2018), como Neossolo quartzarênico, de textura arenosa e pobre em fertilidade, cujos teores médios, para caracterização inicial da área feita em nov. de 2017, foram determinados em amostras compostas (12 amostras simples) coletadas na profundidade de 0,00 a 0,20 m, na área onde o experimento foi estabelecido, a granulometria determinada pelo método da pipeta (TEIXEIRA *et al.*, 2017) e a fertilidade (fósforo (P), matéria orgânica (MO), reação do solo (pH_(CaCl₂)), potássio (K⁺), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), alumínio (Al³⁺), acidez potencial (H+Al)), segundo Texeira *et al.*, (2017), dados apresentados nas tabelas 01 e 02.

Tabela 01. Valores médios de areia, silte e argila, na profundidade de 0,00 a 0,20 m, na área experimental

Profundidade	Areia	Silte (g kg ⁻¹)	Argila
0,00-0,20 m	857	74	69

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 02. Valores médios de fósforo (P), matéria orgânica (MO), reação do solo (pH_(CaCl₂)), potássio (K⁺), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), alumínio (Al³⁺), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V%) e alumínio (m%), na área experimental.

Profundidade	P mg dm ⁻³	MO g dm ⁻³	pH (CaCO ₃)	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	Al ³⁺	SB	CTC	V	m
				mmolc dm ⁻³							%	%
0,00-0,20 m	1,9	7,9	4,2	0,17	3,0	2,2	14,7	6,2	5,37	20,07	27	31

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para avaliação dos tratamentos foram coletadas amostras compostas (3 amostras simples) em cada repetição de cada um dos SMRC, nas profundidades de 0,00 a 0,05 e 0,05 a 0,10 m de profundidade, nas quais quantificou-se a respiração basal do solo (RBS), por meio do CO₂ liberado, utilizando metodologia proposta por Anderson e Domsch (1985).

A quantificação do carbono da biomassa microbiana (CBM) foi realizada nas mesmas amostras que a RBS, pelo método de fumigação-extração (VANACE; BROOKES; JENKINSON, 1987). A determinação do quociente metabólico (qCO₂), representado pela quantidade de C-CO₂ liberado por unidade de CBM, segundo Anderson (1994), foi estimada pela razão C-CO₂ liberado / CBM, ou seja: mg C-CO₂ g solo fresco⁻¹ h⁻¹/mg de C de biomassa g de C⁻¹ solo⁻¹.

A determinação do quociente microbiano (qMic), que reflete o aporte de carbono e a conversão de substratos orgânicos para CBM, foi calculado pela relação entre o CBM e o carbono orgânico total, (CBM/COT) /10, (SPARLING, 1992).

A área experimental também foi analisada para carbono orgânico total (COT) por meio do método de perda de massa por ignição - PMI, (BEN DOR; BANIN, 1989) e para fertilidade (fósforo (P), matéria orgânica (MO), pH, potássio (K⁺), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), acidez potencial (H+Al) e alumínio (Al³⁺)), segundo Texeira *et al.*, (2017), nas profundidades de 0,00 a 0,20; 0,20 a 0,40; 0,40 a 0,60; 0,60 a 0,80; e 0,80 a 1,00 m.

Os resultados obtidos foram submetidos a análise de variância, sendo aplicado o teste F à 5% de probabilidade, encontradas diferenças significativas entre as fontes de variação, as médias dos SMRC foram comparados pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$) e as profundidades (0,00 a 0,20; 0,20 a 0,40; 0,40 a 0,60; 0,60 a 0,80; e 0,80 a 1,00 m) foram analisadas por meio de regressão. O programa SISVAR (Ferreira, 2014) foi utilizado para a análise dos dados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Transcorridos 18 meses da instalação do experimento verificou-se que a maioria das propriedades químicas analisadas foram modificadas ao longo do tempo, exceto teores de K^+ ($0,2 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), de Mg^{2+} ($1,9 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), valores de SB ($6,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e teores de Zn ($0,1 \text{ mg dm}^{-3}$) (Tabelas 03 e 04).

Entre 2017 e 2019 de maneira a analisar os teores como um todo, ocorreram reduções nos teores de P (71%), MO (73%), H+Al (44%), Al^{3+} (24%), CTC (34%) e Fe (30%), aumento nos teores de Ca^{2+} (12%), S (13%), Cu (13%), B (117%) e Mn (67%), bem como valores de V% (67%) e m% (15%). Os incrementos citados para V% e m% ocorrem devido a redução observada na CTC, uma vez que a SB não aumentou e o Al^{3+} diminuiu (Tabelas 03 e 04). No pH ocorre, estatisticamente uma elevação, porém bastante pequena (de 4,2 para 4,3), mas suficiente para mudar a classe reação do solo, de extremamente ácido (<4,3) para fortemente ácido (4,3-5,3), condição considerada na classificação dos solos (Santos *et al.* 2018).

Parte da redução observada nos teores de P (Tabela 03) ao longo do período experimental pode ser atribuída a extração pela cultura e parte pode ter sido lixiviada, fato atribuído a textura arenosa do solo (847 g kg^{-1}) e ao reduzido conteúdo de MO ($3,0 \text{ g dm}^{-3}$), o que contribui também para redução da CTC. A lixiviação do P, pouco considerada até recentemente em ambientes tropicais tem importância para solos arenosos, como relataram Matos *et al.*, (2021), em seus estudos com solos de diferentes texturas em colunas. A partir disto, depreende-se que, mesmo com o auxílio da fertilização, não só o P, mas outros elementos podem ser lixiviados em solos arenosos, como os deste estudo, que possuem baixa capacidade de retenção e elevado potencial para lixiviação (WERLE; GARCIA; ROSOLEM, 2008; GONÇALVES; BENEDETTI, 2005).

Os SMRC também proporcionaram variações nas condições químicas do solo e permitiram destacar o SMRC CTL, neste MO, Ca^{2+} , Mg^{2+} , SB e CTC superaram os valores observados nos demais tratamentos. O P apresentou maiores teores nos SMRC CTL e TL, destacando os SMRC onde os resíduos, ou parte destes, permaneceram à superfície.

Esta observação corrobora a descrição feita por Ronquim *et al.*, (2010) de que a matéria orgânica é um condicionante biofísico que contém praticamente todos os macro e micronutrientes, melhorando assim a estrutura e a fertilidade do solo. A melhor resposta observada para o SMRC CTL e TL, em relação a MO, Ca^{2+} , Mg^{2+} , SB e CTC, está associada a manutenção dos resíduos vegetais da colheita do eucalipto sobre o solo. Estes resíduos, também tratados como serapilheira, são compostos de folhas, galhos, casca, órgãos reprodutivos e

detritos e compõem a camada de matéria orgânica disposta à superfície do solo em ambientes florestais (COSTA *et al.*, 2010).

Em profundidade, apenas as concentrações de Cu e B não se alteraram, todos os demais atributos químicos sofreram modificações, tendo a maioria apresentado redução em profundidade (P, MO, pH, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, H+Al, SB, CTC, V%, Mn e Zn), e outros incrementos (m%, S e Fe).

A redução na concentração de vários elementos químicos em profundidade também foi observada por HECHMI *et al.* (2021), em solo arenoso, e foi atribuída às variações nos conteúdos de material orgânico adicionados ao solo, com maiores teores verificados na camada mais superficial onde o conteúdo de MO é sempre mais elevado.

Os efeitos da interação tempo decorrido x SMRC (Tabela 05) foram significativos para MO, S_{SO4} e Fe, com redução da MO de 2017 para 2019, em todos os SMRC. Destaca-se que em 2017 não ocorreu variação nos teores de MO entre os SMRC, no entanto, em 2019, embora com menores valores o SMRC CTL apresentou maior conteúdo de MO que os demais sistemas, evidenciando a importância da permanência dos resíduos da colheita sobre o solo, que além de contribuir com os teores de matéria orgânica, contribui na ciclagem de nutrientes do ecossistema, pela decomposição desse material, seguida de liberação para o solo de elementos químicos, que serão utilizados pelas plantas e, portanto, indispensável para manutenção do equilíbrio da floresta (SCHUMACHER *et al.*, 2003; SILVA *et al.*, 2007, COELHO *et al.*, 2021)

Outro aspecto a ser considerado é o tipo de material orgânico depositado, no SMRC CTL além de folhas e galhos, também fica depositada a casca do eucalipto, que tem maior concentração de Ca²⁺ que nas folhas (MADEIRA; PEREIRA, 1991; COELHO *et al.*, 2021) justificando a diferença observada após 18 meses, em relação aos demais SMRC (Tabela 03)

Como observado para MO, os teores de Fe diminuíram em torno de 30% com o passar do tempo (2017 para 2019) e apresentaram, em linhas gerais, comportamento semelhante, isto é, a variação entre os SMRC em 2017 ocorreu apenas no BA, onde os teores de Fe foram menores, em 2019 os menores teores de Fe foram identificados nos SMRC CTL e BA.

O enxofre não variou em 2017 entre os SMRC, no entanto, em 2019 os conteúdos variaram, apresentando redução no CTL e incrementos em TL e BL, apenas no BA não ocorreram variações entre 2017 e 2019. Os teores de enxofre não variaram em 2017 entre os SMRC, porém em 2019 o teor de S aumentou no TL, seguido do BL. Alguns incrementos observados para micronutrientes podem ser atribuídos a adubação suplementar realizada em 2018, contendo S, B, Cu Zn e Mn.

Tabela 03. Valores médios para fósforo (P), matéria orgânica (MO), reação do solo ($\text{pH}_{(\text{CaCl}_2)}$), potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), alumínio (Al^{3+}), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases (V%) e por alumínio (m%) do solo, bem como, valores de F (F), média geral (Média), coeficiente de variação (CV) em porcentagem, equações de regressão e determinação (R^2) sob diferentes sistemas de manejo do resíduo da colheita (SMRC), em dois períodos (2017 e 2019)

Fontes de Variação	P mg dm ⁻³	MO g dm ⁻³	pH CaCl ₂	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al mmol dm ⁻³	Al ³⁺	SB	CTC	V %	m %
Valores de F												
Tempo (T)	794,325**	653,861**	22,723**	3,694 ^{ns}	6,467*	0,530 ^{ns}	777,534**	55,856**	4,052 ^{ns}	411,821**	248,740**	17,279**
SMRC (S)	11,819**	5,646*	2,087 ^{ns}	2,814 ^{ns}	3,001*	6,161**	1,701 ^{ns}	1,264 ^{ns}	5,452*	4,556**	2,017 ^{ns}	1,440 ^{ns}
PROF (P)	77,760**	491,093**	13,791**	9,659**	17,563**	134,691**	9,264**	3,019**	68,655**	42,823**	47,604**	20,455**
T x S	1,911 ^{ns}	3,948*	2,225 ^{ns}	2,052 ^{ns}	0,098 ^{ns}	2,124 ^{ns}	0,023 ^{ns}	1,343 ^{ns}	0,603 ^{ns}	0,196 ^{ns}	0,410 ^{ns}	1,153 ^{ns}
T x P	49,696**	119,763**	25,054**	7,185**	2,318 ^{ns}	8,902**	8,387**	32,980**	2,544 ^{ns}	5,355**	7,015**	21,063**
S x P	0,739 ^{ns}	1,058 ^{ns}	0,890 ^{ns}	0,590 ^{ns}	1,752 ^{ns}	5,171**	0,342 ^{ns}	0,677 ^{ns}	2,877*	0,976 ^{ns}	1,885 ^{ns}	0,693 ^{ns}
T x S x P	1,337 ^{ns}	0,778 ^{ns}	0,825 ^{ns}	0,300 ^{ns}	1,504 ^{ns}	1,740 ^{ns}	1,052 ^{ns}	0,757 ^{ns}	1,694 ^{ns}	1,179 ^{ns}	1,115 ^{ns}	0,785 ^{ns}
Média	1,1	4,5	4,5	0,2	3,5	1,9	17,8	4,8	6	12,7	24,5	22,0
CV (%)	25	16	3	20	29	42	13	22	29	12	20	24
Médias												
Tempo												
2017	1,7a	5,9a	4,2b	0,2a	3,3b	1,8a	22,8a	5,5a	5,4a	28,2a	18b	20b
2019	0,5b	3,0b	4,3a	0,2a	3,7a	1,9a	12,8b	4,2b	5,8a	18,6b	30a	23a
Médias												
SMRC												
CTL	1,3a	4,8a	4,3a	0,24a	3,9a	2,3a	18,5a	4,8a	6,5a	24,9a	25a	21a
BA	0,9b	4,4b	4,3a	0,21a	3,3b	1,7b	17,8a	4,8a	5,2b	23,0b	23a	22a
BL	1,0b	4,3b	4,2a	0,21a	3,2b	1,6b	17,7a	5,0a	5,1b	22,8b	23a	23a
TL	1,2a	4,2b	4,2a	0,22a	3,5b	1,9b	17,4a	4,6a	5,6b	23,0b	25a	21a
Médias												
Prof (m)												
0,0-0,20	1,76	9,43	4,4	0,25	4,7	4,8	19,3	4,9	9,8	29,1	35	16
0,20-0,40	1,27	4,27	4,4	0,24	3,7	1,8	18,5	4,4	5,7	24,2	25	18
0,40-0,60	1,00	2,93	4,2	0,21	3,0	1,0	18,0	5,1	4,2	22,2	20	24
0,60-0,80	0,79	3,14	4,2	0,21	3,0	1,0	17,3	5,2	4,2	21,5	21	25
0,80-1,00	0,70	2,48	4,2	0,20	3,0	1,0	16,1	4,4	4,2	20,3	22	25
Variável	Equações de regressão		R ²	Valor F	Desvio	Variável		Equações de regressão		R ²	Valor F	Desvio
P	$\hat{y}=1,89-0,2605x$		0,9956	287,892**	0,335**	H+Al	$\hat{y}=20,14-0,7698x$		0,9744	36,106**	0,204 ^{ns}	
MO	$\hat{y}=8,96-1,5031x$		0,6897	1354,907**	65,786**	Al³⁺	$\hat{y}=4,43+0,3284x-0,0532x^2$		0,0094	0,023 ^{ns}	5,466**	
pH	$\hat{y}=4,42-0,0494x$		0,7638	42,133**	4,403**	SB	$\hat{y}=9,42-1,2660x$		0,6888	189,154**	3,823**	
K⁺	$\hat{y}=0,26-0,0148x$		0,8636	33,366**	1,005**	CTC	$\hat{y}=29,56-2,0358x$		0,8686	148,784**	2,004 ^{ns}	
Ca²⁺	$\hat{y}=4,75-0,4217x$		0,7467	52,458**	0,510**	V%	$\hat{y}=47,21-14,74x+1,9511x^2$		0,9793	188,033**	1,966**	
Mg²⁺	$\hat{y}=4,39-0,8292x$		0,6462	348,174**	13,392**	m%	$\hat{y}=14,41+2,5434x$		0,8581	70,212**	2,783**	

^{ns}= valores de F não significativos; * significativos a 5% e ** significativos a 1%. CTL= Cut-To-Length; BA=Bare; BL=Bare Litter e TL=Tree-Length. PM= ponto de máximo, para Al³⁺

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 04. Valores médios para enxofre (S-_{SO4}), cobre (Cu), boro (B), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) do solo em dois anos nos diferentes sistemas de manejo do resíduo da colheita (SMRC), bem como, valores de F (F), média geral (Média), coeficiente de variação (CV) em porcentagem, equações de regressão e determinação (R²) sob diferentes sistemas de manejo do resíduo da colheita (SMRC), em dois períodos (2017 e 2019)

Fontes de Variação	S- _{SO4}	Cu	B mg dm ⁻³	Fe	Mn	Zn
Valores de F						
Tempo (T)	14,367**	6,280**	192,479**	298,5**	140,7**	0,210^{ns}
SMRC (S)	8,009**	4,235**	0,450 ^{ns}	7,2**	0,7 ^{ns}	1,315 ^{ns}
Prof (P)	29,397**	1,288 ^{ns}	0,062 ^{ns}	20,2**	60,3**	32,717**
T x P	15,713**	2,181 ^{ns}	1,258 ^{ns}	3,6**	2,4 ^{ns}	1,634 ^{ns}
T x S	14,665**	2,362 ^{ns}	2,627 ^{ns}	9,6**	50,2**	0,631 ^{ns}
S x P	1,370 ^{ns}	1,337 ^{ns}	1,241 ^{ns}	0,6 ^{ns}	2,2**	1,730 ^{ns}
T x S x P	1,605 ^{ns}	1,008 ^{ns}	1,020 ^{ns}	0,5 ^{ns}	0,9 ^{ns}	1,572 ^{ns}
Média	5,7	0,3	0,3	42,2	5,3	0,1
CV (%)	18	38	33	13	27	34
Médias						
Tempo						
2017	5,3b	0,24b	0,18b	49,6a	3,9b	0,1a
2019	6,0a	0,27a	0,39a	34,8b	6,5a	0,1a
Médias						
SMRC						
CTL	5,11b	0,28a	0,29a	41,2b	5,5a	0,13a
BA	5,53b	0,27a	0,28a	39,4b	5,3a	0,11a
BL	5,97a	0,25a	0,28a	43,8a	5,1a	0,12a
TL	6,16a	0,21b	0,30a	44,3a	5,1a	0,13a
Prof (m)						
0,0-0,20	4,08	0,29	0,29	37,2	7,1	0,20
0,20-0,40	6,06	0,24	0,28	47,6	7,6	0,12
0,40-0,60	6,70	0,25	0,29	45,1	4,2	0,10
0,60-0,80	6,16	0,24	0,29	42,3	3,3	0,10
0,80-1,00	5,46	0,25	0,29	38,8	4,1	0,10
Equações de regressão						
Variável	Equações de regressão		R ²	Valor F	Desvio	PM
S-_{SO4}	$\hat{y}=1,56+3,09x-0,4664x^2$		0,9630	24,160**	2,178**	0,46m
Fe	$\hat{y}=28,71+11,89x-20163x^2$		0,7646	0,470 ^{ns}	9,553*	-
Mn	$\hat{y}=8,38-1,0378x$		0,7151	173,558**	29,248	
Zn	$\hat{y}=0,19-0,0221x$		0,6481	84,818**	2,108	

^{ns}= valores de F não significativos; * significativos a 5% e ** significativos a 1%. CTL= Cut-To-Length; BA=Bare; BL=Bare Litter e TL=Tree-Length.

Fonte: Elaborado pelo autor.

No solo arenoso, os maiores teores de micronutrientes estão nas folhas (B e Cu), seguido por raízes (Fe e Zn), e cascas (Mn) (falta referencia). As quantidades estão relacionadas com a capacidade que o sistema radicular tem em absorver nutrientes e o grau de eficiência que as árvores possuem na translocação e metabolização desses nutrientes (WOLKWEISS, 1986).

Em relação ao SMRC, o CTL apresentou resultados positivos para os nutrientes P, MO, Ca²⁺, Mg²⁺, V% e Cu em relação aos demais sistemas. O TL apresentou resultados positivos para S-_{SO4} e Fe. A interação SMRC x profundidade (Tabela 06) revelou valores significativos

para Mg^{2+} , SB e Mn, com as camadas mais superficiais apresentando significância em função dos SMRC com destaque para CTL.

Em profundidade a análise química mostra redução nos teores de P, MO, K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , H+Al, Al^{3+} , Cu, Mn e Zn, redução em profundidade também ocorre no pH, na SB e na CTC, apenas S e Fe mostram certo incremento em profundidade, enquanto B não se altera.

A interação profundidade x tempo (Tabela 03 e 04) mostra diferenças significativas para P, MO, pH, K^+ , Mg^{2+} , H+Al, Al^{3+} , CTC, V%, m%, S_{-SO4} e Fe, onde os valores (Tabela 05) de K^+ , Mg^{2+} e S_{-SO4} apresentaram aumento em função do tempo decorrido.

A interação tempo x SMRC foi significativa apenas para MO, S, Fe e Mn. No entanto, ao analisar o desdobramento (Tabela 06) verificou-se que os SMRC CTL e TL, em 2019, apresentavam teores de P superiores aos demais sistemas, embora a quantidade encontrada possa ser considerada bem reduzida, ainda assim é maior nos tratamentos que tiveram os resíduos mantidos à superfície. A MO também sofre redução ao longo do tempo e, em 2019, os maiores teores foram observados no SMRC CTL, o que certamente está relacionado a permanência dos resíduos da colheita na superfície do solo. Dos atributos analisados, apenas enxofre e manganês registraram maiores teores em 2019, exceto no SMRC CTL o enxofre é menor em 2019, os demais atributos químicos avaliados tinham teores mais elevados em 2017 (Tabela 06). Segundo Barros *et al.*, 1986, a exportação de nutriente pode aumentar, quando a idade da planta aumenta e a disponibilidade do nutriente no solo diminui; ou seja, existe uma diminuição na concentração dos nutrientes na solução do solo relacionada com a idade da planta.

A interação SMRC x profundidade produziu resultados significativos para Mg^{2+} , SB e Mn (Tabelas 03 e 04) e no desdobramento (Tabela 07 e Figura 01) observou-se que independente de qual SMRC seja utilizado, Mg^{2+} e Mn têm sua concentração reduzida em profundidade, assim como a soma de bases. Entre SMRC verificou-se que abaixo de 0,20 m praticamente não há diferenças entre os mesmos, exceto para o Mn que apresenta alguma variação até 0,40 m de profundidade. Na camada de 0,00 a 0,20 m destaca-se o comportamento do Mg^{2+} com maior teor no CTL, seguido do TL e este dos demais, com valores menores. Lepsch (1980), observou avaliando a influência do cultivo de eucalipto nas propriedades químicas de solos do cerrado, notou reduções nas concentrações de Mg^{2+} , cujos menores valores desses nutrientes foram observados para os solos sob cultivo de eucalipto em comparação com o cerrado.

Analisando agora os dados de RBS, CBM, COT, qCO_2 e $qMic$ (Tabela 08), constatou-se ausência de alteração nos 0,20 m superficiais do solo, mas todos variaram entre 2017 e 2019,

tendo COT, RBS e CBM aumentado neste período, enquanto qCO_2 e $qMic$ diminuíram. Os SMRC promoveram mudanças significativas no COT, CBM, RBS e qCO_2 , tendo o SMRC CTL apresentado os maiores teores de COT e CBM e menor RBS. Por outro lado, o SMRC BL tem o menor COT e CBM e a maior RBS. O SMRC BA tem comportamento muito parecido com BL e é seguido pelo SMRC TL (Tabela 08).

Tabela 05. Desdobramento profundidade x tempo para fósforo (P), matéria orgânica (MO), reação do solo (pH), potássio (K^+), magnésio (Mg^{2+}), acidez potencial (H+Al), alumínio (Al^{3+}), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases (V%), enxofre (S_{SO_4}), ferro (Fe), e valores de F.

	Profundidade (m)					Valor F
	0,00 - 0,20	0,20 - 0,40	0,40 - 0,60	0,60 - 0,80	0,80 - 1,00	
Tempo	P (mg dm⁻³)					
2017	2,9a	2,0a	1,5a	1,1a	1,0a	120,910**
2019	0,6b	0,5b	0,5b	0,5b	0,4b	1,769 ^{ns}
Valor F	523,174**	229,326**	119,158**	45,242**	39,813**	
Tempo	MO (g dm⁻³)					
2017	13,3a	4,6a	4,1a	3,7a	3,8a	469,566**
2019	5,5b	3,9b	1,7b	2,4b	1,4b	80,076**
Valor F	827,761**	6,729 ^{ns}	77,782**	24,575**	78,802**	
Tempo	pH (CaCl2)					
2017	4,1b	4,3a	4,2a	4,2a	4,2a	7,903**
2019	4,6a	4,3a	4,2a	4,2a	4,2a	30,941**
Valor F	122,646**	0,270 ^{ns}	0,017 ^{ns}	0,002 ^{ns}	0,004 ^{ns}	
Tempo	K⁺ (mmol dm⁻³)					
2017	0,2b	0,3a	0,2a	0,2a	0,2a	5,210**
2019	0,3a	0,2b	0,2a	0,2a	0,2a	11,634**
Valor F	25,659**	5,301*	1,325 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,147 ^{ns}	
Tempo	Mg²⁺ (mmol dm⁻³)					
2017	4,3b	1,1b	1,0a	1,0a	0,2b	91,276**
2019	5,3a	2,4a	1,0a	1,0a	1,0a	65,100**
Valor F	12,156**	23,929**	0,049 ^{ns}	0,00 ^{ns}	7,974**	
Tempo	H+Al (mmol dm⁻³)					
2017	26,3a	23,5a	22,6a	22,1a	19,9a	17,918**
2019	12,3b	13,5b	13,4b	12,5b	3,1b	64,931**
Valor F	326,773**	166,231**	140,316**	152,004**	469,869**	
Tempo	Al³⁺ (mmol dm⁻³)					
2017	7,4a	4,9a	5,0a	5,1a	4,8a	17,061**
2019	2,4b	3,8b	5,1a	5,2a	4,3a	18,937**
Valor F	177,171**	7,955*	0,172 ^{ns}	0,248 ^{ns}	2,229 ^{ns}	
Tempo	CTC (mmol dm⁻³)					
2017	35,9a	28,3a	26,7a	26,3a	24,1a	38,773**
2019	22,2b	20,3b	17,7b	16,7b	14,7b	16,705**
Valor F	177,682**	57,856**	77,196**	86,306**	54,532**	
Tempo	V% (mmol dm⁻³)					
2017	25,8b	16,4b	15,5b	16,1b	17,4b	11,959**
2019	43,9a	33,4a	24,6a	25,6a	78,8a	324,846**
Valor F	106,228**	93,765**	26,981**	29,595**	1221,963**	
Tempo	S_{so4} (mg dm⁻³)					
2017	2,6b	6,31a	6,4a	6,0a	5,0b	41,970**
2019	5,6a	5,8a	6,9a	6,3a	5,6a	2,092 ^{ns}
Valor F	63,956**	1,827 ^{ns}	1,606 ^{ns}	0,811 ^{ns}	4,825 ^{ns}	

Tempo	Fe (mg dm ⁻³)					
2017	40,7a	58,6a	54,3a	50,5a	44,1a	28,826**
2019	33,6b	36,4b	35,3b	34,2b	33,5b	1,119 ^{ns}
Valor F	13,575**	128,739**	92,607**	72,001**	30,188**	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. ^{ns}= valores de F não significativos; * significativos a 5% e ** significativos a 1%. CTL= Cut-To-Length; BA=Bare; BL=Bare Litter e TL=Tree-Length.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 06. Desdobramento tempo x sistemas de manejo do resíduo da colheita (SMRC) para matéria orgânica (MO), enxofre (S), ferro (Fe), e manganês (Mn), bem como, valores de F.

Tempo	P (mg dm ⁻³)					Valor de F
2017	CTL	TL	BL	BA		5,868**
2019	1,9 Aa	1,7 Ba	1,7 Ba	1,6 Ba		7,862**
Valor de F	0,7 Ab	0,6 Ab	0,4 Bb	0,2 Bb	213,327**	
	217,212**	144,776**	144,776**	213,327**		
Tempo	MO (g dm ⁻³)					Valor de F
2017	CTL	TL	BL	BA		1,697 ^{ns}
2019	6,1 Aa	5,9 Aa	5,7 Aa	6,1 Aa		7,897**
Valor de F	3,6 Ab	2,6 Bb	3,0 Bb	2,7 Bb	219,309**	
	111,103**	197,933**	136,761**	219,309**		
Tempo	Enxofre (mg dm ⁻³)					Valor de F
2017	CTL	TL	BL	BA		1,181 ^{ns}
2019	5,6Aa	5,1Ab	5,5Ab	5,3Aa		22,541**
Valor de F	4,6Cb	7,2Aa	6,4Ba	5,8Ba	2,600 ^{ns}	
	9,758*	42,546**	6,601 ^{ns}	2,600 ^{ns}		
Tempo	Ferro (mg dm ⁻³)					Valor de F
2017	CTL	TL	BL	BA		3,559 ^{ns}
2019	50,9Aa	50,2Aa	51,1Aa	46,2Ba		7,241**
Valor de F	31,5Bb	38,4Ab	36,5Ab	32,6Bb	62,863**	
	127,736**	47,095**	71,604**	62,863**		
Tempo	Manganês (mg dm ⁻³)					Valor de F
2017	CTL	TL	BL	BA		1,336 ^{ns}
2019	3,8Ab	3,7Ab	3,9Ab	4,5Ab		1,936 ^{ns}
Valor de F	7,2Aa	6,5Aa	6,5Aa	6,2Aa	14,578**	
	59,916**	40,771**	34,604**	14,578**		

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. ^{ns}= valores de F não significativos; * significativos a 5% e ** significativos a 1%. CTL= Cut-To-Length; BA=Bare; BL=Bare Litter e TL=Tree-Length.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 07. Desdobramento da interação sistemas de manejo do resíduo da colheita (SMRC) x profundidade para as variáveis magnésio (Mg), soma de bases (SB), manganês (Mn), bem como, valores de F.

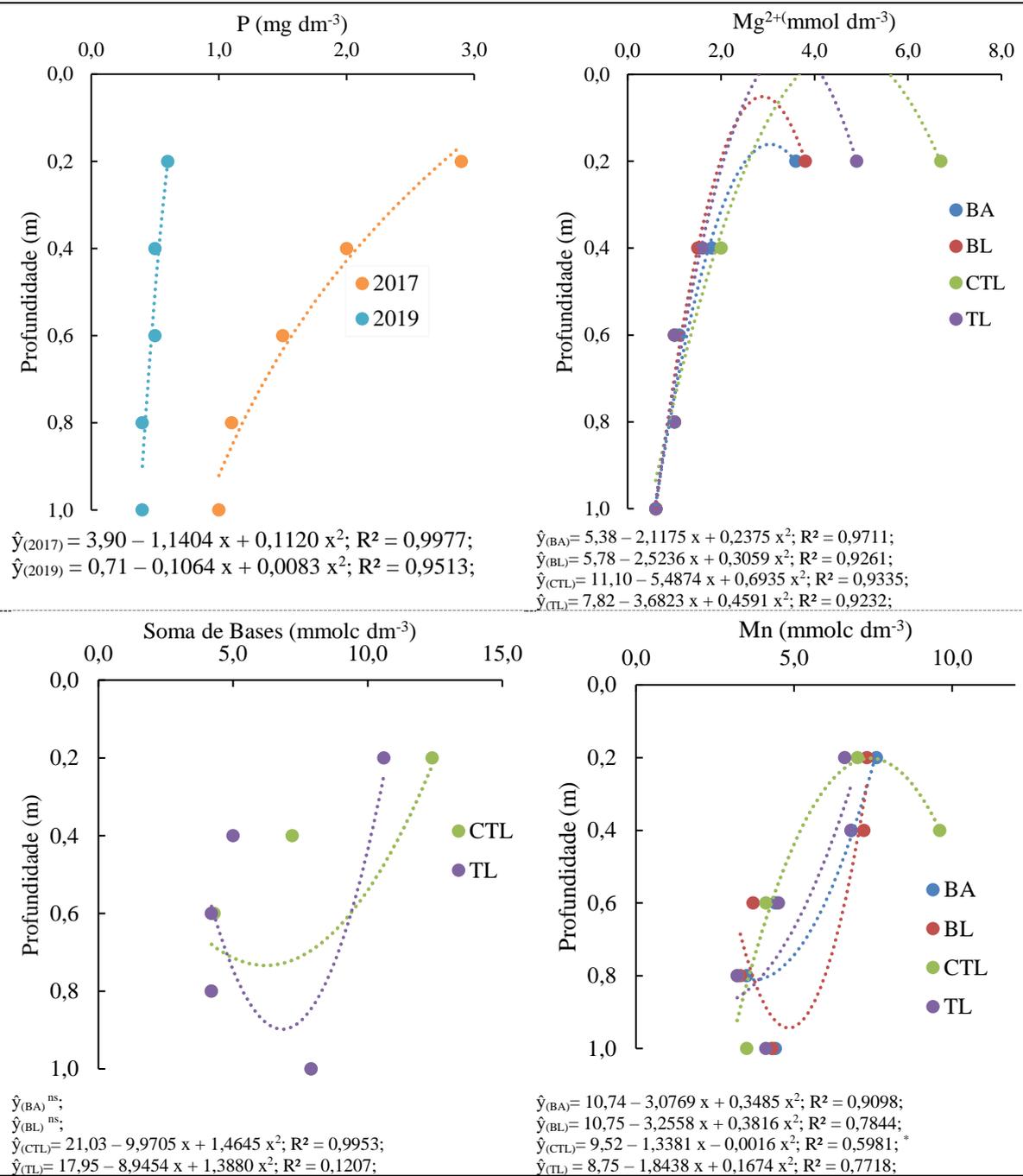
SMRC	Profundidade (m)					Valor F
	0,00 - 0,20	0,20 - 0,40	0,40 - 0,60	0,60 - 0,80	0,80 - 1,00	
	Mg ²⁺ (mmol dm ⁻³)					
CTL	6,7a	2,0a	1,0a	1,0a	0,6a	85,425**
TL	4,9b	1,6a	1,0a	1,0a	0,6a	39,614**
BL	3,8c	1,5a	1,0a	1,0a	0,6a	20,660**
BA	3,6c	1,9a	1,1 ^a	1,0a	0,6a	18,200**
Valor F	26,090**	0,659 ^{ns}	0,049 ^{ns}	0,000 ^{ns}	0,000 ^{ns}	
	Soma de Bases (mmolc dm ⁻³)					
CTL	8,2c	7,2a	4,3 ^a	4,2a	7,8a	32,789**
TL	10,6b	5,0a	4,2 ^a	4,2a	7,9a	23,237**
BL	7,9c	4,7a	4,2 ^a	4,2a	7,8a	11,903**
BA	12,4a	5,9a	4,1 ^a	4,2a	7,8a	10,261**
Valor F	13,314**	3,615 ^{ns}	0,037 ^{ns}	0,000 ^{ns}	0,004 ^{ns}	
	Mn (mg dm ⁻³)					
CTL	7,0a	9,6a	4,1 ^a	3,2a	3,4a	30,319**

TL	6,6a	6,8b	4,5 ^a	3,2a	4,1a	9,621 ^{**}
BL	7,2a	7,2b	3,7 ^a	3,5a	4,3a	14,477 ^{**}
BA	7,6a	6,8b	4,4 ^a	3,5a	4,3a	12,524 ^{**}
Valor F	0,819 ^{ns}	7,391 ^{**}	0,545 ^{ns}	0,077 ^{ns}	0,686 ^{ns}	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. ^{ns}= valores de F não significativos; * significativos a 5% e ** significativos a 1%. CTL= Cut-To-Length; BA=Bare; BL=Bare Litter e TL=Tree-Length.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 01. Desdobramento da interação tempo x profundidade para fósforo (P), e sistemas de manejo do resíduo da colheita (SMRC) x profundidade para magnésio (Mg^{2+}), soma de bases (SB) e manganês (Mn).



Fonte: Elaborado pelo autor.

A RBS apresentou maior valor no SMRC BL, com redução de 19% no BA e BL e 35% no CTL. Houve aumento nos valores desta propriedade ao longo do tempo, quando em 2019 a RBS foi aproximadamente o dobro do valor obtido em 2017 (Tabela 09).

Comparando o funcionamento biológico do solo em fisionomias de Cerrado, variando as formações e considerando quatro períodos de amostragem, nas profundidades 0,00-0,05 m e 0,05-0,20 m, Mendes *et al.* (2012) relataram para campo sujo e cerrado ralo, valores médios de CBM em 489 e 497 ($\text{mg C}^{-1} \text{kg solo}^{-1}$). O que coloca os valores encontrados neste trabalho como baixos, e segundo Rocha *et al.* (2018) baixos valores de RBS e CBM estão relacionados à baixa disponibilidade de substrato para atividade microbiana em áreas de eucalipto com remoção dos resíduos. Estudo recente demonstrou que a remoção dos resíduos florestais pode resultar em redução de 50% na respiração microbiana do solo e 40% nos teores de CBM (ROCHA *et al.*, 2018).

Tabela 08. Valores médios para atividade microbiana do solo, carbono orgânico total (COT), carbono da biomassa microbiana (CBM), respirometria (RBS), quociente metabólico ($q\text{CO}_2$), quociente microbiano ($q\text{Mic}$) em dois anos nos diferentes sistemas de manejo do resíduo da colheita (SMRC), bem como, valores de F, média geral e coeficiente de variação (CV) em porcentagem.

Fontes de Variação	COT ($\text{mg C}^{-1} \text{g solo}^{-1}$)	CBM	RBS ($\mu\text{g C-BM}^{-1} \text{g solo}^{-1}$)	$\#q\text{CO}_2$	$q\text{Mic}$ %
Valores de F					
Tempo (T)	615,985**	9438,9655**	560,0945**	540,2905**	190,7845**
SMRC(S)	17,0735**	6,9025**	31,0285**	8,1785**	0,180 ^{ns}
Prof (P)	0,699 ^{ns}	0,043 ^{ns}	0,006 ^{ns}	1,465 ^{ns}	4,675 ^{ns}
T x S	11,5725**	0,428 ^{ns}	27,235**	7,9915**	0,0605 ^{ns}
T x P	10,024*	1,192 ^{ns}	4,774 ^{ns}	1,781 ^{ns}	0,107 ^{ns}
S x P	3,189 ^{ns}	0,345 ^{ns}	8,404**	0,879 ^{ns}	1,616 ^{ns}
T x S x P	3,715 ^{ns}	0,495 ^{ns}	19,1585**	1,046 ^{ns}	1,019 ^{ns}
Média	25,49	4,34	16,8	0,01	0,06
CV (%)	16	6	12	30	24
Médias					
Tempo					
2017	12,6b	0,24b	10,6b	0,05b	0,094a
2019	38,3a	0,98a	22,9a	0,02a	0,039b
Médias					
SMRC					
CTL	30,8a	4,5a	13,4c	0,009b	0,068a
BA	21,5c	4,3b	16,2b	0,012b	0,066a
BL	22,6c	4,2b	20,5a	0,014a	0,067a
TL	27,1b	4,2b	16,9b	0,016a	0,064a
Médias					
Prof (m)					
0,0-0,10	25,1a	4,3a	16,7a	0,012a	0,062b
0,10-0,20	25,9a	4,3a	16,8a	0,013a	0,071a

^{ns}= valores de F não significativos; * significativos a 5% e ** significativos a 1%. CTL= Cut-To-Length; BA=Bare; BL=Bare Litter e TL=Tree-Length. # ($\mu\text{g C-CO}_2 / \mu\text{g CBM}^{-1} \text{dia}^{-1}$)

Fonte: Elaborado pelo autor.

O desdobramento da interação SMRC x profundidade (Tabela 09) apresentou resultado significativo para RBS, apenas nos SMRC TL e BA, com comportamento antagônico entre eles, isto é, o SMRC TL tem maior RBS na profundidade de 0,00-0,10m enquanto BA tem maior RBS na profundidade de 0,10 a 0,20m.

Na interação SMRC x tempo foram significativamente influenciadas as variáveis COT, RBS e qCO_2 . COT e RBS aumentaram em todos os SMRC de 2017 para 2019, O COT não foi significativo em 2017 para os SMRC, já em 2019, 18 meses após a instalação do experimento, apresentou seus maiores teores no SMRC CTL, enquanto a RBS em 2017 dá destaque ao SMRC BL, com maior valor. Em 2019 a maior RBS foi registrada no SMRC TL, seguido dos demais, que não variaram entre si.

O desdobramento tempo x profundidade (Tabela 09) mostrou efeitos significativos apenas para o COT, que não variou em profundidade em 2017, porém em 2019, apresenta maior conteúdo de COT indicando a contribuição dos resíduos deixados à superfície e também maior conteúdo na profundidade de 0,10 a 0,20 m. Como o solo é arenoso, a matéria orgânica pode ter sofrido uma pequena movimentação descendente. Segundo Wink *et al.* (2013), em condições de estresse, os microrganismos derivam uma maior porção energia para manutenção dos mecanismos celulares, ou seja, há um maior custo de manutenção ou taxa de respiração relativa, em detrimento ao crescimento da biomassa. Assim, em solos com adição de serapilheira de baixa qualidade nutricional, como no caso dos plantios de eucaliptos, a biomassa microbiana encontra-se sob estresse e é incapaz de utilizar toda a energia obtida na decomposição para crescimento.

Tabela 09. Desdobramentos: Tempo x sistemas de manejo do resíduo da colheita (SMRC) para carbono orgânico total (COT), respiração basal do solo (RBS) e quociente metabólico (qCO_2); Tempo x profundidade para RBS, e SMRC x profundidade para COT, bem como, valores de F.

		COT (mg C ⁻¹ g solo ⁻¹)				
Tempo	CTL	TL	BL	BA	Valor de F	
2017	13,6 Ab	12,9 Ab	11,9 Ab	12,1 Ab	0,278 ^{ns}	
2019	47,9 Aa	41,3 Ba	33,2 Ba	30,9 Ca	28,368**	
Valor de F	275,572**	186,942**	105,433**	82,755**		
		RBS (µg C-BM ⁻¹ g solo ⁻¹)				
2017	5,69 Cb	9,0 Bb	18,3 Ab	9,34 Bb	53,649**	
2019	21,1 Ba	24,9 Aa	22,6 Ba	23,13 Ba	4,616**	
Valor de F	218,066**	232,658**	16,943**	174,141**		
		# qCO_2				
2017	0,001 Ab	0,001 Ab	0,002 Ab	0,001 Ab	0,208 ^{ns}	
2019	0,010 Ca	0,030 Aa	0,020 Ba	0,020 Ba	15,961**	
Valor de F	73,364**	236,934**	133,275**	120,690**		
Profundidade SMRC	0,00 - 0,10	0,10 - 0,20	Valor F			
	RBS (µg CBM ⁻¹ g solo ⁻¹)					

CTL	13,2 Ab	13,6 Ac	0,201 ^{ns}
TL	18,9 Aa	14,9 Bc	14,550 ^{**}
BL	20,5 Aa	20,4 Aa	0,000 ^{ns}
BA	14,5 Bb	17,9 Ab	10,465 ^{**}
Valor F	22,355 ^{**}	17,067 ^{**}	
Profundidade	0,00 - 0,10	0,10 - 0,20	Valor F
Tempo	COT (mg C⁻¹ g solo⁻¹)		
2017	13,5 Ab	11,4 Bb	234,424 ^{**}
2019	36,3 Ba	40,4 Aa	391,585 ^{**}
Valor F	234,424 ^{**}	391,585 ^{**}	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. ^{ns}= valores de F não significativos; * significativos a 5% e ** significativos a 1%. CTL= Cut-To-Length; BA=Bare; BL=Bare Litter e TL=Tree-Length.

Fonte: Elaborado pelo autor.

5 CONCLUSÃO

Os sistemas de manejo dos resíduos da colheita do eucalipto interferem em aspectos químicos do solo, indicando que a permanência dos resíduos na superfície resulta em benefícios às condições químicas do solo.

O maior aporte de cálcio, via resíduo de colheita, ocorre na presença da casca do eucalipto, neste aspecto o sistema de colheita *cut-to-length* é o mais indicado.

A atividade microbiológica foi maior em 2019, 18 meses após a deposição dos resíduos da colheita na superfície do solo.

A manutenção dos resíduos à superfície pode ser indicada como parte de um plano de manejo conservacionista para florestas plantadas de eucalipto.

A fertilidade do solo teve melhor resultado no sistema *cut-to-length*, demonstrando que a permanência da fitomassa residual de colheita pode melhorar a ciclagem de nutrientes.

6 REFERÊNCIAS

- ALCÂNTARA NETO, F.; LEITE, L.F.C.; ARNHOLD, E.; MACIEL, G.A.; CARNEIRO, F.V. Compartimentos de carbono em Latossolo Vermelho sob cultivo de eucalipto e fitofisionomias de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, p. 849-856, 2011.
- ALVARENGA, R.C.; SILVA, V.P.; GONTIJO NETO, M.M; VIANA, M.C.M.; VILELA, L. Sistema Integração Lavoura-Pecuária-Floresta: Condicionamento do solo e intensificação da produção de lavouras. **Informe Agropecuário**, v.31, p.59-67, 2010.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22, p.711-728, 2013.
- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Determination of ecophysiological maintenance carbon requirements of soil microorganisms in a dormant state. **Biology and Fertility of Soils**, Firenze, v. 1, n. 2, p. 81-89, 1985.
- ANDERSON, T.H. Physiological analysis of microbial communities in soil: applications and limitations. In: RITZ, K.; DIGHTON, J.; GILLER, K.E. (Ed.). **Beyond the biomass**. London: British Society of Soil Science, 1994. p.67-76.
- BALIEIRO, F. C. et al. Acúmulo de nutrientes na parte aérea, na serapilheira acumulada sobre o solo e decomposição de filódios de *Acacia mangium* Willd. **Ciência Florestal**, local, v.14, p.59-65, 2004a.
- BARBOSA, R. A., BRAGA, G. B., VALVERDE, S. R., VILELA, K. F. V., QUEIROZ, C. S., SOUZA, P. B., & GONÇALVES, W. (2020). The evolution of planted forests from 1986 to 2017: the brazilian case of Peçanha, Minas Gerais. **Brazilian Journal of Production Engineering**, 6(4), 72-84.
- BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L. Fertilização e correção do solo para o plantio de eucalipto. In: BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. **Relação solo-eucalipto**. Viçosa, MG, Folha de Viçosa, 1990. p.127-186.
- BARROS, N.F. et al. Recomendações de fertilizantes minerais em plantios de eucalipto. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2004. p.269-286.
- BEN-DOR, E.; BANIN, A. Determination of organic matter content in arid-zone soils using a simple “loss-on-ignition” method. *Comm. Soil Science and Plant Anal.... completar*. v.20, p. 1675-1695, 1989.
- BRUN, E. J. **Matéria orgânica do solo em plantios de *Pinus taeda* e *P. elliottii* em duas regiões do Rio Grande do Sul**. 2008, 118 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.
- BRANDÃO, S. L.; LIMA, S.C. pH e condutividade elétrica em solução do solo, em áreas de pinus e cerrado na chapada, em Uberlândia (MG). **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 3, n. 6, p. 46–56, 2002.

COELHO, MARIA CRISTINA BUENO. © 2021 Journal of Biotechnology and Biodiversity ISSN: 2179-4804 DOI: <https://doi.org/10.20873/jbb.uft.cemaf.v9n1.coelho> 28 Aporte de nutrientes em diferentes compartimentos de Eucalipto no sul do Tocantins. **Journal of biotechnology and Biodiversity**, [s. l], v. 9, n. 1, p. 28-39, jan. 2021.

COSTA C. C. A, CAMACHO RGV, MACEDO ID, SILVA PCM. Análise comparativa da produção de serapilheira em fragmentos arbóreos e arbustivos em área de caatinga na FLONA de Açú-RN. **Revista Árvore, local**, v.34(2): p. 259-265. , 2010;

COSTA JR, C.; PICCOLO, M.C.; SIQUEIRA NETO, M.; BERNOUX. M. Carbono em agregados do solo sob vegetação nativa, pastagem e sistemas agrícolas no bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n.1, p. 1-12, 2012.

COSTA, D. B. DA; STRECK, N. A. Duração da fase de mudas em eucalipto simulada em cenários de aumento de temperatura. *Ciência Florestal*, v.28, p.1263-1270, 2018.

DICK, R.P. Soil enzyme activities as indicators of soil quality. **In:** DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, **Soil Science Society of America, LOCAL**, v.? . p.107-124. 1994.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência Agrotecnologia**. 2014; v. 38; p. 109-112.

FREITAS, R.A. Estudo da biomassa e do conteúdo de nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden plantado em solo sujeito a arenização, no município de Alegrete-RS. 2000. 60 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

GAMA-RODRIGUES, A.C.; BARROS, N.F. Ciclagem de nutrientes em floresta natural e em plantios de eucalipto e de dandá no sudeste da Bahia, Brasil. **Revista Árvore**, v. 26, n. 2, p. 193- 207, 2002.

GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L.; BENEDETTI, V.; FESSEL, V. A. G.; GAVA, J. L. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das árvores. **In:** GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Eds.) **Nutrição e Fertilização Florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 1-58.

GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. 498p.

HECHMI, S. Variation of soil properties with sampling depth in two different light-textured soils after repeated applications of urban sewage sludge. **Journal of environmental management**, [s. l], v. 297, p. 113355, 2021.

HERNANI, L.C.; FREITAS, P.L. de; PRUSKI, F.F.; DE MARIA, I.C.; CASTRO FILHO, C. de; LANDERS, J.N. A erosão e seu impacto. **In:** MANZATO, C.V.; FREITAS JÚNIOR, E. de; PERES, J.R.R. (Ed.). *Uso agrícola dos solos brasileiros*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. p.47-60.

HEYDARI, M., ESLAMINEJAD, P., VALIZADEH KAKHKI, F., MIRAB-BALOU, M., OMIDIPOUR, R., PREVOSTO, B., KOOCH, Y., LUCAS-BORJA, M.E. Soil quality and

mesofauna diversity relationship are modulated by woody species and seasonality in semiarid oak forest. **Forest Ecology and Management**, local, v. 473, p. 118332, 2020.

KOOCH, Y., MOGHIMIAN, N., KOLB, S. Microbial hotspot areas of C and N cycles in old-growth Hyrcanian forests top soils. **Forest Ecology and Management**, local, v. 446, p. 93–104. 2019.

IBÁ. Indústria Brasileira de Árvores - **Relatório 2020**. São Paulo-SP: [sn], 2020.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Brasileiro de 2019. Mato Grosso do Sul: **IBGE**, 2019.

LAL, Rattan. Forest soils and carbon sequestration. **Forest Ecology And Management**, [s. l], v. 220, n. 1-3, p. 242-258, dez. 2005.

LEPESCH, I. F. Influência do cultivo de Eucalyptus e Pinus nas propriedades químicas de solos sob cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 4, n. 2, p. 103-107, maio/ago. 1980.

LIMA, W.P. Impacto ambiental do eucalipto. 2. ed. São Paulo: **Ed. da Universidade de São Paulo**, 1996. 301 p.

MACHADO, C.C.; SILVA, E.N.; PEREIRA, S.R.; O Setor Florestal Brasileiro e a Colheita Florestal. In: MACHADO, C.C. **Colheita Florestal**. Viçosa: UFV, 2008. cap. 1, p. 15-42.

MADEIRA, M.; PEREIRA, J.S. Productivity, nutrient immobilisation and soil Chemical properties in Eucalyptus globulus plantation under different irrigation and fertilisation regimes. **Water, Air and Soil Pollut**, Dordrecht, v. 54, p. 621–634, 1991.

MALINOVSKI, R. A.; MALINOVSKI, J. R. Evolução dos sistemas de colheita de Pinus na região sul do Brasil. Curitiba, **PR: FUPEF**, 1998. 138 p.

MATOS, CARLOS HENRIQUE LIMA de. Utilização de colunas de solo na avaliação da lixiviação do fósforo em Roraima. **Brazilian Journal Of Development**, Curitiba, v. 7, n. 1, p. 11051-11059, jan. 2021.

MENDES, I. C., et al. Biological functioning of Brazilian Cerrado soils under different vegetation types. **Plant and Soil**, local, v. 359, n. 1, p. 183-195, Oct. 2012.

MIRANDA, C. C. Caracterização da matéria orgânica do solo em fragmentos de Mata Atlântica e em plantios abandonados de eucalipto, Reserva Biológica União-RJ. 2005. 82 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - **Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes**, 2005.

MIRANDA, G.M.; SILVA, M.L.; LEITE, H.G.; MACHADO, C.C. Estimativa do custo de reposição dos nutrientes exportados pela colheita da casca da madeira em povoamentos de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 26, p. 149-154, 2002.

MORAIS, E.J.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. & BRANDI, R.M. Biomassa e eficiência nutricional de espécies de eucalipto em duas regiões bioclimáticas de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.14, p. 353-362, 1990.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2006. 626p.

MOREIRA, J. M. M. A. P.; SIMIONI, F. J.; OLIVEIRA, E. B. Importância e Desempenho das Florestas Plantadas no Contexto do Agronegócio Brasileiro. **FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 47, n. 1, p. 85 - 94, jan. / mar. 2017.

MOYIN-JESU, E. I. Use of plant residues for improving soil fertility, pod nutrients root growth and pod weinht of okra (*Abelmoschus esculentum* L). *Bioresource Amsterdam*, v. 255, n.3-4, p.365-373. Mar. 2007.

NAVE, L. E, et al. Harvest impacts on soil carbono storage im temperate forest. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.259, n.5, p.857-866, fev. 2010.

OLIVEIRA, S.P., JOSÉ, M., CÂNDIDO, D., WEBER, O.B., ALISSON, F., XAVIER, S., EUGENIA, M., ESCOBAR, O., OLIVEIRA, T.S. Conversão da floresta em pastagem irrigada I. Alterações das propriedades químicas e biológicas do solo. **Catena**, local, v.37, p. 508-516, 2016.

PRITCHETT, R F., FISHER AND W L. **Properties and Management of Forest Soils**. John Wiley & Sons, [s. l], v. 2, p. 494, 1987.

RAIJ, B.V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. 285p.

RANGEL, C. M.; SILVA, R. A.; PAIVA, T. I.; CHARASSE, B. Materials for solar hydrogen production with simultaneous mineralization of ethanol. **In: Materiais 2007: IV International Materials Symposium**, Porto, Abril 2007

RESENDE, M.; CURI, N. & SANTANA, D.P. **Pedologia e fertilidade do solo: Interações e aplicações**. Brasília, MEC/ESAL/POTAFOS, 1988. 81p.

RESQUIN, F.; NAVARRO-CERRILLO, R. M.; CARRASCO-LETELIER, L.; CASNATI, C. R. Influence of contrasting stocking densities on the dynamics of above-ground biomass and wood density of *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus dunnii*, and *Eucalyptus grandis* for bioenergy in Uruguay. **Forest Ecology And Management**, [S.L.], v. 438, p. 63-74, abr. 2019.

ROCHA J. H. T. et al. Forest residue removal decreases soil quality and affects wood productivity even with high rates of fertilizer application. **Forest Ecology Management**, local, v.430, p.188-95, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.08.010>.

RONQUIM, C. C. **Conceito de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas, SP: Embrapa, 2010.

ROSA, S.F. **Propriedades físicas e químicas de um solo arenoso sob o cultivo de *Eucalyptus* spp.** 2010. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P.C.; FABRÍCIO, A.C.; MACEDO, M.C.M.; BROCH, D.L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n.1, p. 11-21, 2008.

SANTOS, H. G. et al. Sistema brasileiro de classificação de solos. 5ª ed. Brasília, DF: **Embrapa**, 2018. 356 p

SARTÓRIO, I. P. **Avaliação e modelagem do crescimento de florestas energéticas de eucalipto plantadas em diferentes densidades.** Dissertação, Universidade Federal do Paraná., v. 151, n. 4, p. 1-46, 2014.

SCHUMACHER MV, BRUN EJ, RODRIGUES LM, SANTOS EM. Retorno de nutrientes via deposição de serrapilheira em um povoamento de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Árvore**, local, v. 27(6), p. 791-798, 2003.

SILVA, I.R. et al. Responses of eucalypt species to aluminum: the possible involvement of low molecular weight organic acids in the Al tolerance mechanism. **Tree Physiology**, local, v.24, p.1267-1277, nov. 2004.

SILVA CJ, LOBO FA, BLEICH ME, SANCHES L. Produção de serrapilheira no Cerrado e na floresta de transição Amazônia-Cerrado do Centro Oeste brasileiro. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 37(4), p. 543-548. 2007.

SPARLING, G. P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic matter. **Australian Journal of Soil Research**, Victoria, v. 30, p. 195-207, 1992.

TAHARA, K. et al. Role of aluminum-binding ligands in aluminum resistance of *Eucalyptus camaldulensis* and *Melaleuca cajuputi*. **Plant and Soil**, local, v.302, n.1-2, p.175-187, jan. 2008.

TEIXEIRA, Paulo César. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3. ed. Brasília, Df: Embrapa, 2017.

TIYUAN, X.; CHANGQUN, D.; CAIXIAN, Z.; DENGGAO, F.; ZONGYAN, D.; LIANGJUN, D. A study on the soil fertility in *Eucalyptus robusta* plantation and their adjacent vegetations. **Journal of Yunnan University**, Kunming, v. 32, n. 1, p. 118-123, 2010.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, local, v. 19, p. 773-77, 1987.

VECHI, A. de; MAGALHÃES JÚNIOR, C. A. O. Aspectos positivos e negativos da cultura do eucalipto e os efeitos ambientais do seu cultivo. **Revista Valore**, local, v. 3, n. 1, p. 495-507, 2018.

VINHAL-FREITAS, I. C., et al. Soil textural class plays a major role in evaluating the effects of land use on soil quality indicators. **Ecological Indicators**, local, v. 74, p. 182-190, 2017.

WERLE, R.; GARCIA, A.R.; ROSOLEM, C.A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 2297-2305, 2008.

WINK, C.; REINERT, D. J.; MÜLLER, I.; REICHERT, J. M.; JACOMET, L. A idade das plantações de Eucalyptus sp. influenciando os estoques de carbono. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 2, p. 333-343, 2013.

WOLKWEISS, S. J. Otimização das características da planta para maximizar a eficiência do adubo. **In:** Seminário fósforo, cálcio, magnésio, enxofre e micronutrientes: Situação atual e perspectivas na agricultura. 1986, São Paulo. Anais...São Paulo: Manah, 1986. p. 8-15.