

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CAMPUS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA EM
FREDERICO WESTPHALEN
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

Tailine Ramos Vieira

**RESPIRAÇÃO BASAL E INDUZIDA PELO SUBSTRATO DE
SOLOS CONTAMINADOS COM ARSENIATO DE COBRE
CROMATADO (CCA)**

Frederico Westphalen, RS
2023

Tailine Ramos Vieira

**RESPIRAÇÃO BASAL E INDUZIDA PELO SUBSTRATO DE SOLOS
CONTAMINADOS COM ARSENIATO DE COBRE CROMATADO
(CCA)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito para obtenção do grau de **Engenheira Ambiental e Sanitarista**.

Orientador: Prof. Dr. Raphael Corrêa Medeiros

Frederico Westphalen, RS
2023

Tailine Ramos Vieira

**RESPIRAÇÃO BASAL E INDUZIDA PELO SUBSTRATO DE SOLOS
CONTAMINADOS COM ARSENIATO DE COBRE CROMATADO
(CCA)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Engenheira Ambiental e Sanitarista**.

Aprovado em 24 de janeiro de 2023

Raphael Corrêa Medeiros, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Rômulo Trevisan, Dr. (UFSM)

Willian Fernando de Borba, Dr. (UFSM)

Frederico Westphalen, RS
2023

AGRADECIMENTO

Agradeço imensamente meu namorado Yuri, por todo o apoio durante os 5 anos de graduação, por toda a compreensão e ajuda nos momentos de estresse e dificuldade, amo você.

Aos meus sogros por sempre estarem apoiando desde o início minhas decisões, sem o apoio de vocês eu não teria chegado até aqui, amo vocês.

Agradeço ao Professor Rômulo Trevisan, pela oportunidade, disponibilidade e apoio de sempre, obrigada por todo o auxílio para a realização deste trabalho.

A Professora Marcia Matsuoka Rosa, que mesmo a distância manteve o apoio, compreensão e ajuda, além de acreditar em mim para realização do trabalho.

Ao meu orientador Professor Raphael Corrêa Medeiros, que me acolheu como orientada, prestando todo o apoio e ajuda necessários para realização deste trabalho.

As minhas amigas Laura da Silva Zanchetta e principalmente Tauana de Souza Mangini, obrigada por serem minhas parceiras na realização deste trabalho, pelo auxílio, companheirismo, amparo e, principalmente, pela amizade. Gratidão por todo conhecimento e momentos compartilhados.

Às minhas amigas Caroline, Gabriela, Suzane, Ingrid e Milena, por todos os momentos inesquecíveis compartilhados, pela força, apoio e motivação durante todos esses anos, amo vocês!

Aos demais professores da Universidade Federal de Santa Maria, campus Frederico Westphalen, que de alguma forma contribuíram para que eu chegasse até aqui.

“Faça o que puder, com o que tiver, onde estiver.”

Theodore Roosevelt

RESUMO

RESPIRAÇÃO BASAL E INDUZIDA PELO SUBSTRATO DE SOLOS CONTAMINADOS COM ARSENIATO DE COBRE CROMATADO (CCA)

AUTORA: Tailine Ramos Vieira
ORIENTADOR: Raphael Corrêa Medeiros

Perante as diversas utilizações da madeira e devido as suas características propensas à deterioração por fungos e insetos, faz-se necessário o uso de preservativos químicos como, por exemplo, o arseniato de cobre cromatado, o qual se caracteriza por ação fungicida e inseticida. Esse preservante, apesar de possuir propriedades satisfatórias quando em uso no material, pode ter seus componentes lixiviados para o ambiente em função das condições climáticas, podendo causar contaminação nos recursos hídricos, solo e conseqüentemente nos microrganismos presentes. Em vista desse produto ser composto por metais pesados, pode resultar em estresse e até mesmo morte da microbiota do solo. Este trabalho teve por objetivo avaliar a respiração basal e induzida pelo substrato de solos contaminados com arseniato de cobre cromatado. Para tanto, as amostras de dois solos foram coletadas em pontos previamente determinados em área experimental da UFSM/FW, ambos com características distintas. Uma delas proveniente de mata nativa, considerado de alta fertilidade natural, e outro de um cultivo antigo de espécies frutíferas, considerado de baixa fertilidade. Com base nisso, foram determinadas a respiração basal e a respiração induzida por substrato. As características biológicas avaliadas mostraram-se importantes quando relacionadas à fertilidade do solo em relação ao contaminante, além de apresentar o comportamento dos microrganismos perante este preservante. De forma geral, observou-se que os contaminantes podem causar de alguma forma estresse nos microrganismos modificando assim a sustentabilidade e aumentando a produção de energia. Sendo assim, foi possível concluir que a aplicação do arseniato de cobre cromatado em ambos os solos estudados ocasiona diferença nos resultados apenas para respiração basal, onde se destaca o solo de alta fertilidade. Pode-se indicar a realização de novos estudos, para melhor avaliar os efeitos de dosagens mais elevadas do contaminante a fim de observar seu potencial poluidor no solo.

Palavra-chave: Fertilidade. Microrganismos do solo. Preservante de madeira.

ABSTRACT

BASAL AND SUBSTRATE-INDUCED RESPIRATION OF TWO TYPES OF SOILS CONTAMINATED WITH CHROMATED COPPER ARSENATE (CCA)

AUTHOR: Tailine Ramos Vieira
ADVISOR: Raphael Corrêa Medeiros

In view of the various uses of wood and due to its characteristics prone to deterioration by fungi and insects, it is necessary to use chemical preservatives such as, for example, chromated copper arsenate, which is characterized by fungicide and insecticide action. This preservative, despite having satisfactory properties when used in the material, may have its components leached into the environment due to climatic conditions, which may cause contamination of water resources, soil and consequently the microorganisms present. As this product is composed of heavy metals, it can result in stress and even death of the soil microbiota. This work aimed to evaluate the basal and substrate-induced respiration of soils contaminated with chromated copper arsenate. For this purpose, samples of two soils were collected at previously determined points in the UFSM/FW experimental area, both with different characteristics. One of them comes from native forest, considered of high natural fertility, and the other from an ancient cultivation of fruit species, considered of low fertility. Based on this, basal respiration and substrate-induced respiration were determined. The biological characteristics evaluated were important when related to soil fertility in relation to the contaminant, in addition to presenting the behavior of microorganisms in relation to this preservative. In general, it was observed that contaminants can somehow cause stress to microorganisms, thus modifying sustainability and increasing energy production. Therefore, it was possible to conclude that the application of chromated copper arsenate in both soils studied causes a difference in the results only for basal respiration, where the high fertility soil stands out. It is possible to indicate the performance of new studies, to better evaluate the effects of higher dosages of the contaminant in order to observe its polluting potential in the soil.

Keywords: Fertility. Soil microorganisms. Wood preservative.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização do município e área de estudo – Frederico Westphalen-RS.....	20
Figura 2 - Dados relacionados às médias das temperaturas máximas ocorridas durante as semanas de experimento.....	21
Figura 3 - Coleta e preparo das amostras para contaminação dos solos.....	22
Figura 4 - Preparo das amostras para as análises de respiração basal.	24
Figura 5 - Respiração basal (RBS) com e sem aplicações de doses do contaminante CCA nos solos 1 e 2, sendo de alta e baixa fertilidade, respectivamente.	27
Figura 6 - Respiração basal em solos de alta e baixa fertilidade em relação ao tempo nos diferentes tratamentos.....	29
Figura 7 - RIS com e sem aplicações de doses do contaminante CCA em solos de alta e baixa fertilidade.....	32

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Características químicas dos solos utilizados no estudo.	21
TABELA 2 - Dosagens dos contaminantes utilizados por tratamento.	23
TABELA 3 - Análise de variância (ANOVA) para os diferentes solos e tratamentos de contaminante utilizados.	27

LISTA DE SIGLAS

As	Arsênio
BaCl ₂	Cloreto de Bário
C/N	Carbono/nitrogênio
CCA	Arseniato de Cobre Cromatado
CO ₂	Dióxido de Carbono
Cr	Cromo
CTC	Capacidade de troca de cátions
Cu	Cobre
HCL	Ácido Clorídrico
MO	Matéria orgânica
NaOH	Hidróxido de Sódio
RBS	Respiração basal do solo
RIS	Respiração induzida pelo substrato
UFSM/FW	Universidade Federal de Santa Mária campus Frederico Westphalen-RS

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS	14
1.1.1 Objetivo geral	14
1.1.2 Objetivos específicos	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 PRESERVANTE DE MADEIRA	15
2.2 LIXIVIAÇÃO.....	15
2.3 SOLO	16
2.4 MICRORGANISMO/BIOINDICADORES	17
2.5 RESPIRAÇÃO BASAL E INDUZIDA PELO SUBSTRATO.....	17
2.6 INFLUÊNCIA DO CCA NA QUALIDADE DO SOLO.....	18
3. MATERIAIS E MÉTODOS	20
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	20
3.2 DOSAGENS	22
3.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E APLICAÇÃO DOS CONTAMINANTES	23
3.4 CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS DO SOLO	23
3.4.1 Respiração basal do solo	23
3.4.2 Respiração induzida pelo substrato	25
3.5 ANÁLISES QUÍMICAS	26
3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1 CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS DO SOLO	27
4.1.1 Respiração Basal	27
4.1.2 Respiração induzida por substrato	32
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	34

REFERÊNCIAS	35
-------------------	----

1. INTRODUÇÃO

Para elevar a vida útil e a qualidade dos produtos oriundos da madeira, faz-se necessário o uso de alguns preservantes como o Arseniato de Cobre Cromatado (CCA), conforme Vito (2013), sendo sua formulação a base dos elementos Cobre (Cu), Cromo (Cr) e Arsênio (As) (MOHAJERANI et al., 2018; KIMA; PARK, 2020;). A composição é a mais utilizada no Brasil, e apesar de possuir propriedades satisfatórias quando empregado no material, pode ter seus componentes lixiviados para o solo gerando uma crescente preocupação em função do seu potencial poluidor.

O solo é o componente fundamental dos ecossistemas terrestres (WELC et al., 2012) abrigando processos, reações biológicas e desempenhando diversas funções-chave (CHAER; MYROLD; BOTTOMLEY, 2009). Nele está presente uma ampla biodiversidade e possui um vasto número de grupos de microrganismos, dentre esses, destacam-se os que apresentam interação com as plantas e que contribuem para a sustentabilidade dos sistemas (GOI; SOUZA, 2012), como também podem ser utilizados como bioindicadores de qualidade dos solos.

Os seres bioindicadores estão presentes em variados níveis de organização biológica, representando uma abordagem ampla para avaliar e interpretar o impacto e análise de risco ecológico por ações naturais ou antrópicas no ecossistema (HEGER et al., 2012; PRESTES; VINCENCI, 2019). Por esta ser a parte considerada viva e mais ativa da Matéria Orgânica (MO) do solo e por sua atuação nos processos bioquímicos, estudos mostraram que os indicadores biológicos são mais sensíveis que os indicadores químicos e físicos para identificar previamente alterações que ocorrem no solo, decorrentes do seu uso e tipo de manejo (STÖCKER et al., 2017). Alguns exemplos de bioindicadores biológicos de qualidade do solo são: o carbono da biomassa microbiana, a respiração basal e as atividades enzimáticas (ROCHA et al., 2021).

A respiração basal é o método mais utilizado para quantificar a atividade metabólica nos solos, pode ser definida como a soma de todas as funções que produzem dióxido de carbono, sendo dividida em dois tipos: respiração basal e respiração induzida pelo substrato (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002). A sua mensuração é conceituada como uma estimativa indireta da velocidade de decomposição da matéria orgânica ou de algum outro material (FARIAS et al., 2018), sendo que, a quantidade de CO₂ emitido está relacionada à capacidade de degradação realizada por fungos e bactérias. Com base nisso, esse estudo tem como objetivo avaliar a respiração basal e induzida pelo substrato de solos contaminados com arseniato de cobre cromatado (CCA).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar a respiração basal e induzida pelo substrato de solos contaminados com arseniato de cobre cromatado.

1.1.2 Objetivos específicos

- ✓ Determinar a respiração basal e induzida pelo substrato de dois tipos de solo, alta e baixa fertilidade com aplicação de diferentes doses de CCA;
- ✓ Analisar alterações ocorridas nas reações dos microrganismos dos solos em decorrência da aplicação de diferentes doses de CCA;
- ✓ Avaliar a influência da fertilidade do solo na respiração basal e induzida pelo substrato em solos com aplicação de CCA; e
- ✓ Incentivar os estudos e discussões sobre o impacto da aplicação desse composto na população microbiana do solo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PRESERVANTE DE MADEIRA

O preservante é a denominação dada a algumas formulações químicas, de composição e características exclusivas, aplicados em diversos fins. Eles buscam a proteção e durabilidade dos materiais, principalmente, quando derivados de madeira, já que a durabilidade ou resistência natural desta refere-se ao grau de susceptibilidade à ação de intempéries e ao ataque de agentes destruidores (FREITAS, 2002).

A partir disso, estes materiais são submetidos à impregnação com diferentes preservativos químicos, sendo a maioria deles óleos solúveis e hidrossolúveis (FREITAS, 2002). O hidrossolúvel é um dos mais empregados e consiste numa solução composta por vários sais e óxidos que possuem ação inseticida e pesticida, por exemplo, o CCA (OHGAMI et al., 2015), o principal conservante utilizado mundialmente (FERRARINI et al., 2016). A sigla CCA deriva do inglês “*Chromated Copper Arsenate*” e denota a formulação de sais preservativos a base de: Cu, Cr e As.

Este preservante desempenha função inseticida e fungicida, atuando nas camadas externas permeáveis do material quando aplicado. O Cr tem a função essencial fixar o Cu e o As, os quais agem no combate a fungos e cupins, respectivamente (FERNÁNDEZ-COSTAS et al., 2017; MOHAJERANI et al., 2018; KIMA; PARK, 2020;), bloqueando assim a deterioração dos seus produtos.

Porém, o CCA é restrito em alguns países, como Canadá, Estados Unidos, Reino Unido, Austrália e Noruega em função de a mistura desses elementos inorgânicos ser altamente tóxica, e quando dispostos no meio ambiente podem causar sérios danos por conta da impregnação dos componentes presentes no material (MERCER; FROSTICK, 2014).

2.2 LIXIVIAÇÃO

A larga escala de utilização do preservativo CCA em madeiras pode expressar riscos devido à lixiviação que seus componentes apresentam na natureza. Fatores climáticos, quantidade de CCA aplicada no material, dentre outros, pode influenciar a taxa de lixiviação, gerando crescente preocupação em função de seu potencial nocivo (MATOS et al., 2020). Essas

restrições possuem como base a lixiviação e volatilização desses elementos presentes na madeira tratada para o solo, ar e águas com o passar do tempo, podendo acarretar riscos de contaminação ao ser humano e ao meio.

Sendo assim, além desses malefícios, a exposição crônica ao arsênico tem sido associada ainda a efeitos adversos à saúde, como doenças de pele, problemas neurológicos, diabetes e câncer (ATSDR, 2007). O contato direto com madeira tratada com CCA e a ingestão de solo contaminado são duas possíveis vias de exposição humana ao arsênio. Crianças apresentam maior risco de exposição devido à frequente atividade de levar a mão à boca. Estudos mostraram níveis mais altos de arsênio em crianças, depois de brincar em playgrounds onde há madeira com CCA versus locais sem CCA (SHALAT et al., 2000; KWON et al., 2004;).

King et al. (2019) analisaram a concentração do componente químico As nas camadas superficiais de um solo com 4 estruturas com 16 e 26 anos de instalação, o resultado do estudo demonstrou acúmulo do componente no solo em volta das estruturas antigas do playground e apontou exposição em potencial por contato dérmico de crianças. Com isso, é possível observar a influência do conjunto que envolve esses materiais e a lixiviação, gerando assim um risco relacionado ao contato, tanto de pessoas quanto ao meio ambiente.

2.3 SOLO

O solo é um componente com estrutura diversificada que apresenta grande absorção em relação aos seus constituintes associados, pois exhibe características relacionadas às suas propriedades físicas, químicas e biológicas, as quais definem padrões ecológicos e de utilização da terra. Com esse potencial, a humanidade sempre buscou desfrutar para sua sobrevivência, por exemplo, na produção agrícola e pecuária, porém nem sempre de forma sustentável (MOREIRA; VASCONCELOS, 2007), gerando assim, consequências como enfraquecimento de suas reservas orgânicas e minerais, transformando solos com grande potencial de produção em solos de baixa fertilidade (DUARTE et al., 2014).

A capacidade do solo de fornecer nutrientes é derivada de sua fertilidade, e, para o desenvolvimento e produção da qualidade dos cultivos, é essencial que apresente frações e medidas adequadas, permitindo assim, a utilização de práticas mais confiáveis de manejo e uso da terra (SANZONOWICZ, 2004). Com isso, pode ser utilizados microrganismos como indicadores para determinar a qualidade do solo em diferentes condições ambientais, como por exemplo, áreas não submetidas ao manejo e com baixo estresse ecológico em relação a áreas

com tal consequência (FERREIRA; WENDLAND; DIDONET, 2011).

2.4 MICRORGANISMO/BIOINDICADORES

Os indicadores microbiológicos mostram-se de extrema relevância, pois são responsáveis diretamente pelo desempenho do solo, agem nos processos de gênese, decomposição de resíduos orgânicos, ciclagem de nutrientes, formação da MO e biorremediação de áreas contaminadas por poluentes e agrotóxicos (MENDES; SOUSA; REIS JÚNIOR, 2015).

Sendo assim, a vida microbiana no solo pode ser afetada, principalmente, pelos fatores: temperatura, pH, luminosidade, salinidade, fontes de energia, substratos orgânicos, nutrientes e presença ou ausência de elementos tóxicos. Variadas formas de manejo que são aplicadas em solos podem realizar interferência nesses fatores, modificando a população e a atividade microbiana, sendo essas, utilizadas para avaliação da qualidade (SILVA et al., 2015).

Os bioindicadores têm competência de responder às mudanças ocorridas no solo, como por exemplo, a avaliação da atividade microbiana que é um indicador sensível de estresse ecológico e dos processos de restauração do solo em ambientes naturais e nos agro ecossistemas sob cultivo (SILVA et al., 2015; ALVES et al., 2019). Nesse sentido, para superior desempenho da comunidade microbiana, é essencial o monitoramento da matéria orgânica nos solos, ao ser responsável pela sobrevivência dos microrganismos (AQUINO et al., 2017; FERREIRA et al., 2018).

2.5 RESPIRAÇÃO BASAL E INDUZIDA PELO SUBSTRATO

O solo ou qualquer outro substrato podem ter sua qualidade mensurada através de indicadores biológicos como a biomassa microbiana e a atividade microbiana. Desta forma, um dos parâmetros utilizados no monitoramento da decomposição da matéria orgânica do solo é a Respiração Basal do Solo (RBS). Portanto, para realizar uma estimativa da atividade microbiana de um solo, a respiração basal quantifica o carbono liberado na forma de dióxido de carbono (CO₂) oriundo da respiração dos microrganismos heterotróficos aeróbicos (FREITAS et al., 2017; URBANO et al., 2015).

Ademais a respiração basal reflete o CO₂ produzido pelos microrganismos durante os processos de decomposição e mineralização da MO adicionada ao solo, sendo um dos indicadores microbiológicos aplicados para avaliar a atividade da microbiota (MOREIRA;

SIQUEIRA, 2006). Com isso, além de apontar funções importantes, também desempenha um papel crucial no ciclo global do CO₂, pois o solo contém duas vezes mais esse elemento do que a atmosfera (COLEMAN et al., 2002).

Altos valores de respiração basal podem indicar uma elevada atividade metabólica dos microrganismos, onde o fluxo de CO₂ está relacionado à intensidade dos processos de transformação da MO e da biomassa microbiana (COUTO et al., 2013).

Já a respiração induzida é um método que se faz o uso de um substrato em concentração de saturação, onde é utilizado pelos microrganismos, e a resposta se dá através do aumento da evolução de CO₂ nas primeiras horas de incubação, antes de apresentar uma resposta de crescimento (SILVEIRA, 2011). É previsto que, os organismos ativos respondam à adição do substrato, pois são eles os responsáveis pela reciclagem de nutrientes e pela decomposição (CARDOSO, 2004). Normalmente, adiciona-se uma fonte orgânica específica, como a sacarose ou glicose (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Embora este método ainda não seja estabelecido como padrão, seus resultados fornecem de forma relativa ou indicativa à colaboração de cada grupo de microrganismos na respiração total (WARDLE et al., 1993; SCHINNER et al., 1996). O mesmo é de grande valia para avaliação da respiração em solos que estão sendo perturbados ou estressados de alguma forma, visto que, nestas condições estes propendem a responder ao substrato de forma mais lenta do que solos não perturbados que apresentam suas condições em equilíbrio (WARDLE et al., 1993).

2.6 INFLUÊNCIA DO CCA NA QUALIDADE DO SOLO

A qualidade de um solo pode ser definida como sendo a capacidade de funcionamento que este apresenta dentro de um ecossistema, garantindo produtividade biológica, promovendo qualidade ambiental, saúde de animais, seres humanos e plantas.

O Decreto nº 28.687/82 (BRASIL, 1982), no art. 72, define poluição do solo e do subsolo como a deposição, disposição, infiltração, acumulação, injeção de substâncias ou produtos poluidores nos estados sólido, líquido ou gasoso e que provoquem alterações nas características dos solos, comprometendo o seu uso e o tornando prejudicial.

A qualidade do solo pode passar por alterações, assim como por estresses relacionados à contaminação por alguns passivos. Essas modificações podem ser físicas, químicas e biológicas, resultantes de atividades de ação antrópica, como por exemplo: atividades agrícolas,

queimadas, erosão, impermeabilização, fertilização artificial, salinização, aplicação de pesticidas, disposição de resíduos sólidos e líquidos entre outros (LEMOS et al., 2014).

A contaminação de solos pode ocorrer por várias substâncias, entre elas, os metais pesados, como é o caso dos três elementos que constituem o CCA. A movimentação desses metais no solo pode ocorrer tanto no sentido vertical como no horizontal, podendo provocar contaminação em diferentes áreas, dependendo das características ambientais, geoquímica e a fonte do contaminante, que é fator determinante na biodisponibilidade (SCHULIN et al., 2007).

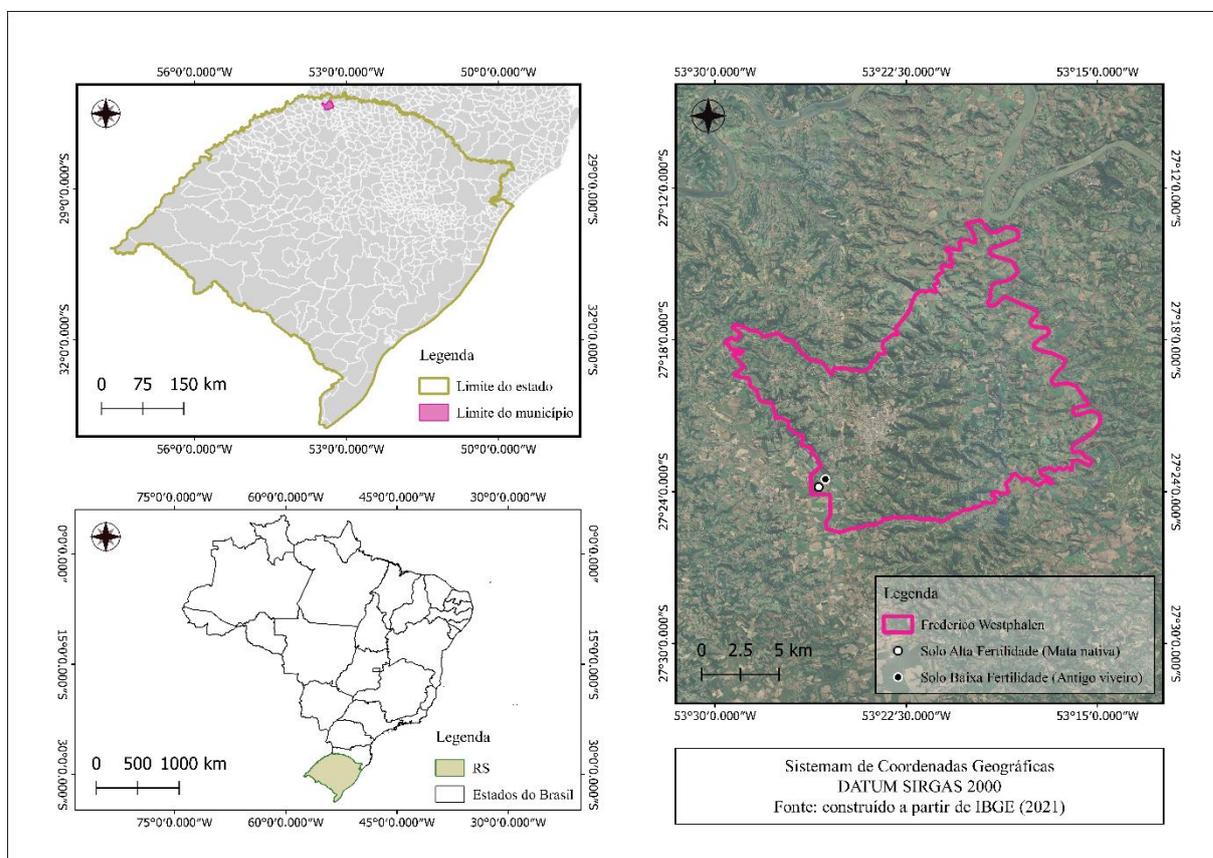
Em estudos realizados por Kim et al. (2007), estruturas de madeiras tratadas com CCA de apenas um ano de idade, em contato direto com solo, liberaram mais cromo, cobre e arsênio em relação as estruturas com tempo de vida maior. Ainda, entre os três metais presentes no CCA, a quantidade de arsênio liberado das estruturas de madeira tratada foi a maior, seguida pelo cobre e cromo.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Essa pesquisa foi realizada no Laboratório de Tecnologia de Produtos Florestais, localizado no campus da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) em Frederico Westphalen - RS (UFSM/FW), conforme Figura 1, Rio Grande do Sul, localizado nas coordenadas 27° 22" S; 53° 25" W, e a uma altitude de 480 m.

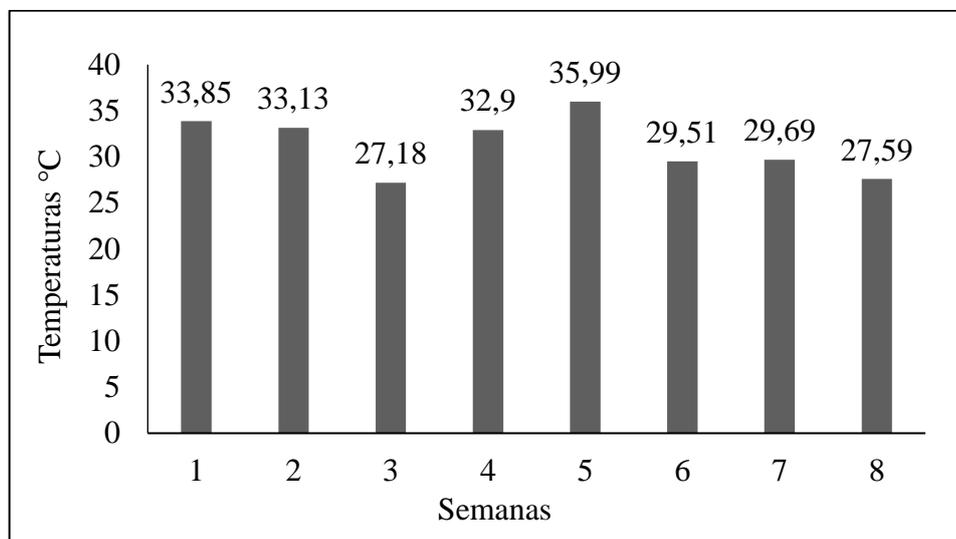
Figura 1 - Localização do município e área de estudo – Frederico Westphalen-RS



Fonte: Autora (2022).

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é caracterizado como sub-temperado subúmido (Cfa), com uma temperatura média anual de 18,8 °C. Sendo assim, analisaram-se as médias das temperaturas máximas ocorridas durante o período de experimento (Figura 2).

Figura 2 - Dados relacionados às médias das temperaturas máximas ocorridas durante as semanas de experimento.



Fonte: Autora (2022).

O solo utilizado foi oriundo de pontos previamente determinados em áreas experimentais da UFSM/FW, onde foram coletados dois solos caracterizados como Latossolo Vermelho Aluminoférrico típico (EMBRAPA, 2006), com textura argilosa, sendo que, ambos possuíam características distintas. Um deles oriundo de uma área de mata nativa considerado de alta fertilidade natural (Solo 1) e outro de um cultivo antigo de espécies frutíferas considerado de baixa fertilidade (Solo 2), ambos caracterizados a partir das análises químicas do solo, realizadas por Carminatti (2020), de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 - Características químicas dos solos utilizados no estudo.

Solo	pH	Al	Ca	Mg	K	P
		cmolc/dm ³	cmolc/dm ³	cmolc/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³
1	6,8	0	18,4	7,1	224	12,9
2	5,2	2,4	1,9	1,1	159,2	3,4
Solo	CTC (pH ₇)	MO	V	Na	Cu	Zn
	cmolc/d m ³	%	%	mg/dmt	mg/dmt	mg/dmt
1	27,8	3,5	93,5	12,4	13,7	16,2
2	16,6	3,6	21,4	10,8	10,1	1,3

Fonte: Adaptado de Carminatti (2020).

Onde: Solo 1 = solo de alta fertilidade; Solo 2 = solo de baixa fertilidade; Al = Alumínio; Ca =

Cálcio; Mg = Magnésio; K = Potássio; P = Fósforo; CTC (pH7) = Capacidade de Troca de Cátions; MO = MO; V = Saturação por Bases; Na = Sódio; Cu = Cobre; Zn = Zinco.

3.2 DOSAGENS

Posteriormente, à coleta (Figura 3A), os solos foram pesados e colocados em recipientes de polietileno (Figura 3B) sendo em seguida destinados a contaminação com Sulfato de Cobre II (CuSO_4), Dicromato de Sódio ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) e Arsênio de Sódio (NaAsO_2). Esses compostos, em estado sólido (Figura 3C), foram diluídos em água destilada de acordo com as dosagens definidas (Figura 3D e E) e assim adicionadas aos solos (Figura 3F).

Figura 3 - Coleta e preparo das amostras para contaminação dos solos.



Fonte: Autora (2022).

As concentrações foram determinadas através de revisão bibliográfica sobre a lixiviação

vertical do volume de cada elemento em amostras de solo, seguindo os resultados obtidos em estudos de Kim (2007). Para essa pesquisa, foram utilizadas três diferentes dosagens, além de um solo sem aplicação de resíduo utilizado como referência, conforme se observa na Tabela 2.

Tabela 2 - Dosagens dos contaminantes utilizados por tratamento em dois solos diferentes.

Contaminantes	T1 (mg/kg)	T2 (mg/kg)	T3 (mg/kg)	T4 (mg/kg)
Cr	34,6	28,7	26,9	00,0
Cu	56,6	50,1	26,9	00,0
As	24,8	7,5	5,9	00,0

Onde: Cr = cromo; Cu = cobre; As = arsênio; T1 = tratamento 1; T2 = tratamento 2; T3 = tratamento 3; T4 = testemunha

3.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E APLICAÇÃO DOS CONTAMINANTES

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial, sendo 4x2x3: 3 doses de contaminante e uma testemunha (sem contaminação), 2 solos provenientes de alta e baixa fertilidade e 3 repetições por tratamento. As unidades experimentais constituíram-se de 28 vasos de polietileno com capacidade de 3 litros, preenchidos igualmente com 3 quilos de solo úmido contendo 20 cm de profundidade.

Após posterior aplicação do contaminante, os solos passaram por um intervalo de 7 dias em repouso para melhor adaptação dos microrganismos ao contaminante antes do início das determinações da respiração basal e induzida pelo substrato. Os solos foram mantidos sob contaminação por um período de 56 dias até a finalização do experimento.

3.4 CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS DO SOLO

As análises microbiológicas foram realizadas no Laboratório de Tecnologia de Produtos Florestais da UFSM-FW, procedendo inicialmente com a respiração basal, a qual foi avaliada a cada 7 dias por um período de 8 semanas, totalizando 56 dias.

3.4.1 Respiração basal do solo

A RBS foi determinada através da metodologia proposta por Silva, Azevedo e De Polli (2007), com as amostras analisadas em triplicatas. Foram utilizados frascos de vidro com tampa com fechamento hermético, aos quais foram adicionados 50g dos solos (Figura 4A). Em

seguida, foram acondicionados, no seu interior, recipientes plásticos contendo 10 mL de hidróxido de sódio (NaOH 1 M) (Figura 4B e C). Do total de amostras, quatro foram utilizadas para controle recebendo apenas os recipientes com NaOH 1 M. Posteriormente, todas as amostras foram incubadas a cada de 7 dias (Figura 4D).

Para determinar a quantificação de CO₂ respirado, após os 7 dias, adicionaram-se 2 ml de Cloreto de Bário (BaCl₂ 10 %) (Figura 4E) para precipitar o CO₂. O BaCl₂ é responsável pela paralisação da apreensão do CO₂ liberado pelos microrganismos que é capturado pelo NaOH. Assim, após a adição do cloreto de bário, ocorre mudança na coloração da solução, passando de incolor para esbranquiçado. Após, houve titulação com ácido clorídrico (HCl 0,4 M), utilizando fenolftaleína 1% (Figura 4D) como indicador, sendo que a coloração da solução se converte de rosa ao incolor. Ainda, calculou-se a molaridade exata do HCl 0,4 M.

Figura 4 - Preparo das amostras para as análises de respiração basal.



Fonte: Autora (2022).

Os valores obtidos após a titulação foram utilizados para determinação da respiração basal do solo que se deu a partir do cálculo proveniente da seguinte equação:

$$RBS = ((Vb - Va) \cdot M \cdot 6 \cdot 1000) / Ps / T$$

Em que:

- RBS: Carbono oriundo da respiração basal do solo (mg de C-CO₂ Kg⁻¹ solo dia¹);
- Vb: Volume de ácido clorídrico gasto na titulação da solução controle (mL);
- Va: Volume gasto na titulação da amostra (mL);
- M: Molaridade exata do HCl;
- Ps: Massa do solo seco (g);
- T: tempo de incubação da amostra (dias):

3.4.2 Respiração induzida pelo substrato

A Respiração induzida pelo substrato foi realizada utilizando a metodologia descrita por Hoper (2006), a qual é processada através da quantificação do CO₂ liberado pelas amostras de solo com adição de glicose como substrato. Com isso, adicionou-se 20 g dos solos em frascos, e em seguida foram adicionados 60 mg de glicose e incubados por 2 horas a 25 °C, sendo hermeticamente fechados.

Posteriormente, acrescentaram-se recipientes plásticos com 10 mL de NaOH 1 M e incubou-se novamente por 4 horas a 25 °C, incluindo ainda três vidros contendo apenas o NaOH 1 M, usados como amostras controle. A quantificação de CO₂ liberada foi determinada pela adição de 1 mL de BaCl₂ 10 % e posterior titulação com HCl 0,4 M utilizando fenolftaleína como indicador. Sendo assim os valores da respiração induzida pelo substrato foi determinado pela seguinte equação:

$$Cmic = 30(Vb - Va) \frac{K \times 22 \times 1000}{1,8295 \times PA \times A}$$

Em que:

- Cmin: carbono da biomassa microbiana (mg Cmic/Kg de solo seco);
- Vb: média do volume (ml) de HCl gasto para titular os cinco brancos;
- Va: ml gasto para titular as amostras;
- PA: peso seco;
- K: molaridade do ácido; e
- A: horas de incubação.

3.5 ANÁLISES QUÍMICAS

As análises químicas foram realizadas no laboratório de Química do Solo da Universidade Federal de Santa Maria, Campus de Frederico Westphalen-RS, segundo a metodologia de Tedesco et al. (1995). Foram realizadas determinações de MO, fósforo, potássio, cobre, zinco, sódio, cálcio, magnésio, CTC a pH₇ e saturação por bases.

3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados obtidos das características biológicas foram submetidos à análise estatística por meio do “Statistical Analysis System” (SAS 2003), no qual foram realizadas análise de variância e teste de Tukey, com nível de 5% de probabilidade de erro e ainda se utilizou o softwarer *Excel* como auxílio nas demais informações apresentadas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS DO SOLO

4.1.1 Respiração Basal

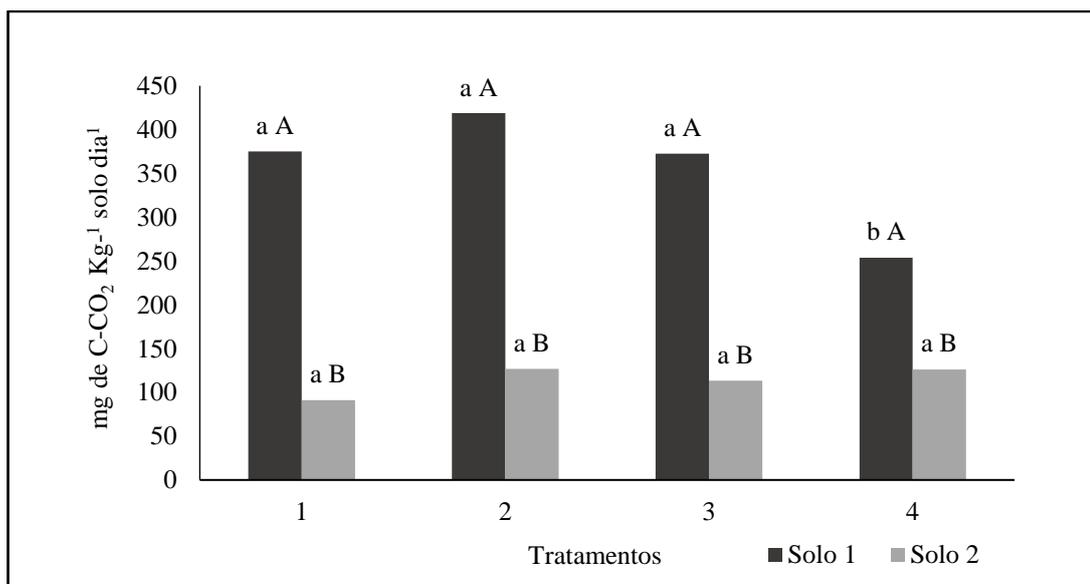
A análise de variância dos valores de respiração basal do solo evidenciou a interação entre os solos e as dosagens de contaminantes utilizados, relacionado com o comportamento da atividade microbiana (Tabela 3). Os valores médios da RBS podem ser observados a partir da Figura 5.

Tabela 3 - Análise de variância (ANOVA) para os diferentes solos e tratamentos de contaminante utilizados.

Fator de estudo	Grau de liberdade	Quadrado Médio
Solo	1	7042,8 *
Tratamento	3	347498,6 *
Solo x Tratamento	3	8809,2 *
Bloco	2	1068,8 ns
R ²		0,93
CV		20,15

*Significativo a 5% de probabilidade; ns= não significativo.

Figura 5 - Respiração basal (RBS) com e sem aplicações de doses do contaminante CCA nos solos 1 e 2, sendo de alta e baixa fertilidade, respectivamente.



Onde: Respiração basal do solo = mg de C-CO₂ Kg⁻¹ solo dia⁻¹; Solo 1 = alta fertilidade; Solo 2 = baixa fertilidade. Médias seguidas por letras minúsculas comparam os tratamentos das diferentes dosagens, e os mesmos seguidos de letras maiúsculas comparam os tratamentos dentro de cada tipo de solo, de acordo com o teste Tukey em 5% de probabilidade de erro.

Quando analisada a RBS nas distintas fertilidades dos solos, observa-se uma diferença estatística entre ambos. O solo de alta fertilidade apresentou os maiores valores de respiração basal, devido à alta concentração de elementos de grande importância para os solos, além da elevada presença de microrganismos que auxiliam na manutenção da qualidade ambiental (CABEZAS, 2011). Sendo assim, o trabalho está em conformidade com o desenvolvido por Carminatti (2020), a qual analisou o mesmo comportamento em solos de mata nativa, em relação a aplicações de doses de soro de leite.

Ainda, é possível observar que, com a adição do preservante no solo de alta fertilidade, houve diferença quando comparado com o solo testemunha. Isso porque o contaminante pode ter intensificado a produção de CO₂, e isso se deve ao fato de que os agentes microbiológicos presentes realizaram a sua degradação. Segundo Leita et al. (1995), a atividade microbiana avaliada pode ser maior em solos que passaram por algum tipo de interferência química, como consequência do maior consumo de energia dos microrganismos para garantir a sua sobrevivência em relação ao contaminante.

De acordo com Balota et al. (1998) e Li et al. (2018), cada tipo de solo comporta-se de maneira diferente, e, geralmente, os valores mais elevados de RBS ocorre em solos de alta fertilidade, como por exemplo em solos de mata nativa, corroborando com os resultados encontrados neste estudo. Outro fator que pode vir a influenciar nesse caso, todavia de maneira negativa, é a forma de manejo, como o sistema de preparo convencional. Outra situação que pode interferir na respiração basal e que serve como indicativo de estresse no sistema é quando o solo se encontra contaminado com metais pesados (VARGAS; SCHOLLES, 2000; CHEN; JAFFÉ, 2014; FERREIRA et al., 2018).

Porém, outros autores afirmaram que, independentemente do tipo de contaminação aplicado aos solos, os contaminantes podem ter efeitos negativos, positivos ou até mesmo não influenciar a respiração (INSAN et al., 1996; DIAS-JÚNIOR et al., 1998). Isso pode ser observado no solo 2, o qual apresenta uma menor quantidade de MO, e demais nutrientes que podem ser verificados na Tabela 1, os quais podem conferir uma menor população e atividade dos microrganismos no solo, por esta razão não apresentou diferença estatística entre os tratamentos e a testemunha.

Os resultados de RBS para solo 2 exibiu valores menores em relação ao solo 1, o que pode estar correlacionados com a análise química (Tabela 1). Já que solo de baixa fertilidade apresentou a maioria dos elementos avaliados com valores inferiores ao solo de alta fertilidade.

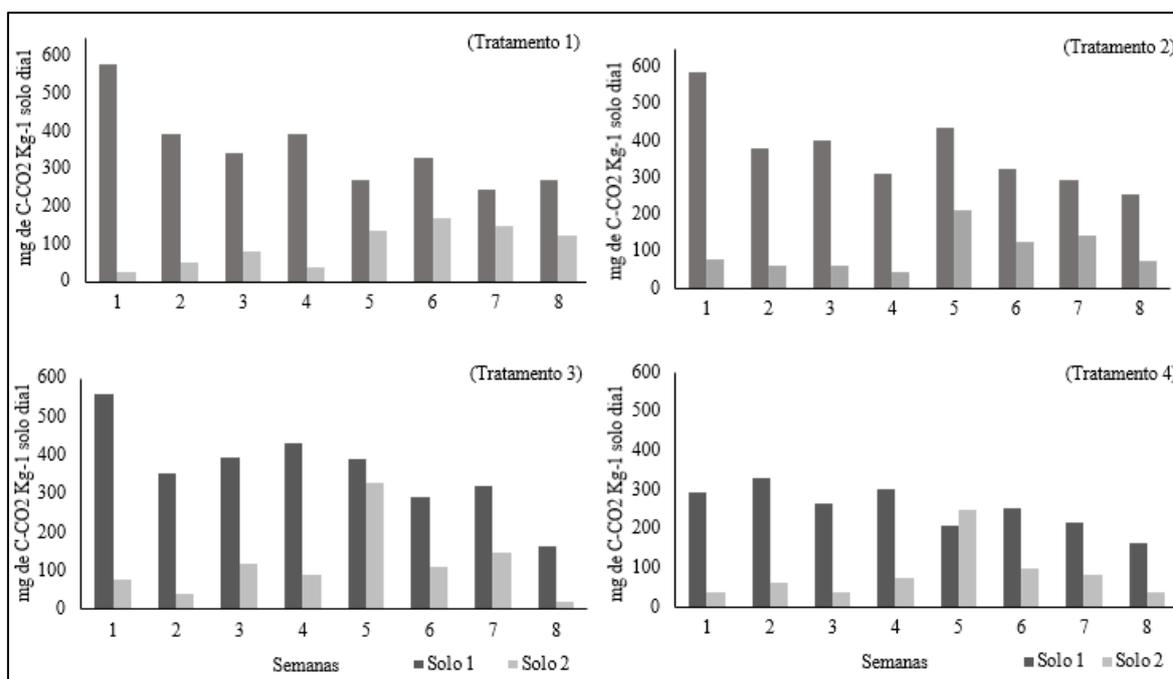
Estes componentes são de grande importância para os microrganismos, pois são responsáveis pela estruturação do solo, aumento da biota edáfica e na disponibilização de nutrientes (LUCENA et al., 2019).

Outra propriedade indicativa de condições de boa fertilidade é a saturação por bases (V%), em que no solo 1 apresentou valor maior em relação ao solo 2, observando-se resultados de 93,5 e 21,4 %, respectivamente. Esses resultados corroboram com estudos de Ronquim (2010), em que os solos poderiam ser divididos de duas formas, exemplo: Solos eutróficos (férteis) = $V\% \geq 50\%$; solos distróficos (pouco férteis) = $V\% < 50\%$. Portanto, no presente trabalho, o solo 1 é classificado como solo eutrófico e o solo 2 como distrófico corroborando com os resultados em relação à respiração basal.

Os resultados referentes à CTC pH7,0 do solo, demonstram que o de alta fertilidade apresenta valores mais elevados, este é explicado por Rajj et al. (2001) e Santos (2021), os quais relataram que, na maioria das vezes, os solos que exibem elevada CTC são os que possuem altos teores de MO e conseqüentemente apresentaram um solo com maior fertilidade.

Na Figura 6, pode-se observar o comportamento da respiração basal do solo de alta e baixa fertilidade com aplicação dos diferentes tratamentos avaliados em relação ao período de incubação dos solos (8 semanas, totalizando 56 dias).

Figura 6 - Respiração basal em solos de alta e baixa fertilidade em relação ao tempo nos diferentes tratamentos.



Onde: mg de C-CO₂ Kg⁻¹ solo dia⁻¹ = Respiração basal do solo; Solo 1 = alta fertilidade; Solo 2 = baixa fertilidade.

Os tratamentos 1, 2 e 3 receberam quantidades diferentes de CCA, sendo 116,02 mg/kg, 86,32 mg/kg e 59,70 mg/kg de contaminante por solo, respectivamente, e o 4 como testemunha. A quantidade de contaminante presente no solo pode vir a influenciar na respiração microbiana, o que pode ser observado nas diferentes concentrações dos tratamentos. Os que tiveram a maior quantidade CCA adicionada acabaram por causar maior estresse e instigam os microrganismos a degradarem os compostos. Estes resultados estão de acordo com estudos de Anderson e Domsch (1993), onde os microrganismos presentes em solos contaminados com metais empregaram mais energia para sua manutenção do que aqueles presentes em solos não contaminados, isso resulta em maiores níveis de respiração do solo e menor eficiência na incorporação de substratos frescos em nova biomassa microbiana.

De maneira geral, foi possível observar que, na primeira semana houve alta liberação de CO₂ em ambos os tratamentos para o solo de alta fertilidade, com exceção do tratamento 4 (testemunha). Isso pode ser explicado pelo fato que, no início do experimento, o solo está sob condições favoráveis de umidade e temperatura. Em decorrência disso, com adição de contaminante, propicia-se uma maior atividade microbiana motivando uma maior degradação do carbono orgânico presente neste solo.

A alta liberação de CO₂ ocorrida nos solos, segundo Loss et al. (2013), acontece em função de uma tentativa de reposição de umidade, baixa relação C/N e aumento de teor de carbono orgânico e nitrogênio neste solo. Já os picos de CO₂ representados durante a primeira semana de incubação nos solos avaliados podem ser chamados de efeito 'priming' que é a estimulação da atividade dos microrganismos, por meio da aplicação de resíduos e que se encontra disponível para ser decomposta. Desta forma, acelera-se a decomposição da MO aumentando a evolução de CO₂ (KUZUYAKOV et al., 2000).

Sendo assim, os maiores resultados de respiração basal no solo de alta fertilidade foram observados no tratamento 2, seguido do 1, 3 e 4 para a primeira semana, chegando a valores de 585,6; 579,0; 559,5 e 292,8 mg de C-CO₂Kg⁻¹ solo dia¹. Posteriormente, observou-se um decréscimo, com exceção da testemunha. Entretanto, na quarta e quinta semana, um acréscimo, o qual pode estar vinculado com a temperatura do ambiente nos determinados dias das análises. Esse fato pode ser observado na Figura 2, em que ambas as semanas citadas apresentaram as maiores temperaturas.

Estes resultados condizem com Norby et al. (2004) e Allison et al. (2010), os quais afirmaram que as altas temperaturas podem aumentar a atividade microbiana em um ecossistema. Todavia, este aumento pode ser eliminado se estas mudanças ocasionarem baixa

umidade ou redução do teor e qualidade da MO no solo.

Esta relação com a temperatura e a respiração basal também pode ser observada no solo de baixa fertilidade. Na primeira semana, verificaram-se valores de 79,4 mg de C-CO₂ Kg⁻¹ solo dia¹ para os tratamentos 2 e 3, seguido do tratamento 4 e 1 com 36,7 e 27,5 mg de C-CO₂ Kg⁻¹ solo dia¹, respectivamente. No decorrer das semanas, não apresentou tendência bem definida quando relacionado com o período de incubação; porém, na quinta semana, observou-se um acréscimo da respiração basal o qual pode ser justificado pelo mesmo propósito das elevadas temperaturas ocorridas no ambiente.

Sendo assim, outro motivo de o solo 2 apresentar os menores valores pode estar associado com as análises químicas. Os níveis de pH baixo conferem uma acidez alta, o que contribuiu para a redução dos valores da respiração basal, pois em solos com estas condições a atividade biológica é reduzida (SILVA; SOUZA, 1998).

As variações ocorridas em ambos os solos em relação às quantidades de CO₂ liberados entre as diferentes dosagens de CCA e entre as semanas avaliadas, são denominadas como flutuações. Elas exercem grande efeito nas atividades microbianas do solo, como na respiração basal, em razão de alterações climáticas locais e, principalmente, umidade e temperatura.

Os solos podem apresentar grandes flutuações tanto na biomassa microbiana do solo quanto a respiração basal, de acordo com Cattelan e Vidor (1990) e Campbell e Biederbeck (1976) estas podem ser bem mais acentuadas na camada superficial do solo, pois é onde existem as maiores oscilações na umidade e temperatura.

Nos solos 1 e 2, a liberação de CO₂ ao longo do tempo foram distintos e apresentaram tendências diferentes de comportamento durante o período de incubação. No entanto, quando avaliado de maneira geral, do início do experimento até a última semana, os valores diminuíram em razão do consumo do contaminante com o decorrer dos dias. Entretanto, no solo de alta fertilidade pode-se observar que, na última semana, foram alcançados valores de 273,2; 253,7; 162,5 e 162,7 mg de C-CO₂ Kg⁻¹ solo dia¹ para os tratamentos 1, 2, 3 e 4 respectivamente. Enquanto que, para o solo de baixa, os resultados foram de: 122,7; 73,3; 18,2; 36,7 mg de C-CO₂ Kg⁻¹ solo dia¹ de forma respectiva para as dosagens 1, 2, 3 e 4, sem tendência de estabilização ao final das avaliações.

Sendo assim, cabe salientar que a respiração basal pode ser influenciada até mesmo pelos mínimos distúrbios no solo, não indicando necessariamente que este comportamento da microbiota irá perdurar (MIJANGOS et al., 2006; COSTA et al., 2006).

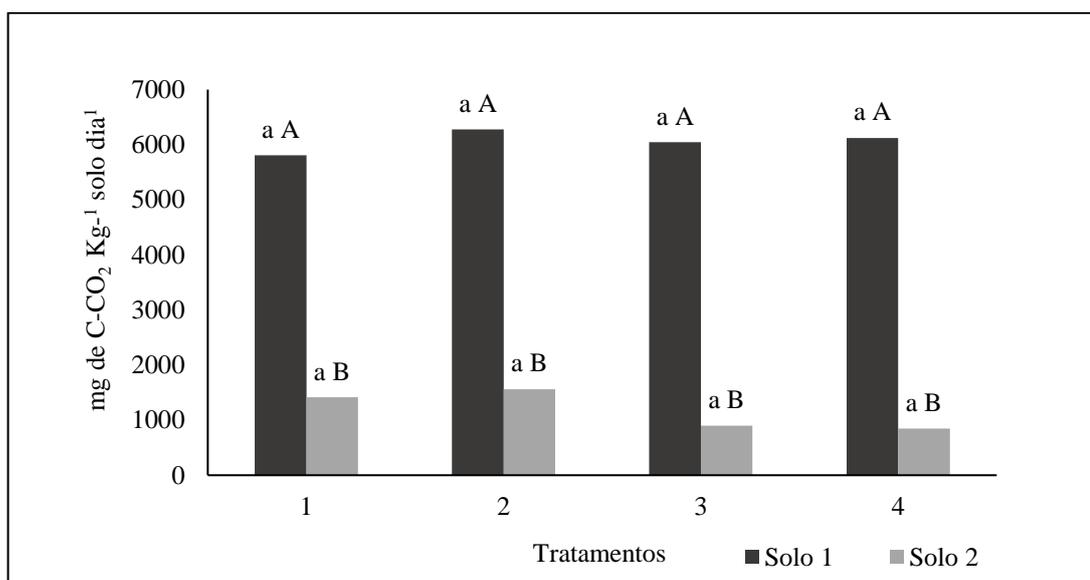
A alternância de valores, conforme as semanas, pode acontecer em decorrência também

da adaptação dos microrganismos a fim de realizar a decomposição das substâncias que foram adicionadas ao solo (CRUZ et al., 2004).

4.1.2 Respiração induzida por substrato

A avaliação da RIS pode ser observada na Figura 7. A partir da análise, a mesma demonstrou que houve diferença entre os dois solos estudados.

Figura 7 - RIS com e sem aplicações de doses do contaminante CCA em solos de alta e baixa fertilidade.



Onde: mg de C-CO₂ Kg⁻¹ solo dia⁻¹ = Respiração basal do solo; Solo 1 = alta fertilidade; Solo 2 = baixa fertilidade. Médias seguidas por letras minúsculas comparam os tratamentos das diferentes dosagens, e os seguidos de letras maiúsculas comparam os tratamentos dentro de cada tipo de solo, de acordo com o teste Tukey em 5% de probabilidade de erro.

Os valores encontrados após a adição de glicose foram elevados, isso demonstrou que a velocidade de decomposição aumentou em relação à respiração basal. Portanto, ocorreu a degradação do substrato e, como consequência, a liberação de energia, este processo indica o estado fisiológico da determinada população microbiana (WARDLE et al., 1993). Estes resultados condizem com os encontrados por Paula (2006), onde a respiração induzida pelo substrato apresentou valores superiores à respiração basal, indicando a não ocorrência de impedimento no consumo de fontes simples de carbono pela microbiota do solo.

Em relação aos solos estudados, o de alta fertilidade, apresentou valores mais elevados de RIS em relação ao solo de baixa, indicando que os microrganismos não foram afetados negativamente pela aplicação de CCA. Estes resultados condizem com os estudos realizados por Silveira (2011), onde o mesmo avaliou a RIS de diferentes tipos de solo, entre eles um de

mata nativa e outro já manejado.

Os valores obtidos na RIS do presente estudo condizem com a literatura, onde demonstraram que geralmente a adição de fungicidas como o CCA estimula a atividade microbiana (MONKIEDJE et al., 2002; NANNIPIERI, 1990). Em estudos realizados por Monkiedje et al. (2002) em dois tipos de solo, arenosos e argilosos, com aplicação de dois tipos de fungicidas ambos apresentaram efeito estimulante nas atividades.

Além disso, a RIS pode ser influenciada pela MO do solo, como observado por Diniz et al. (2021) ao encontrarem valores de MO para o solo de mata nativa de 4,7 %, enquanto, nos demais solos estudados pelos autores a MO variou entre 2,7 à 3,9 %. Cabezas (2011) observou valores muito semelhantes em relação ao solo de alta fertilidade, sendo este de 3,0 %. Na análise química realizada em ambos os solos utilizados no presente estudo, estes apresentaram MO mais elevada no solo 2 com valores de 3,6 % em relação ao solo 1 com 3,5 %, desta forma não houve influência da MO no resultado, provavelmente devido a pequena diferença dos valores de MO entre os solos. Portanto, quanto maior quantidade de carbono, maior será a quantidade de MO ativa no solo, capaz de manter elevada a taxa de decomposição de restos vegetais e assim reciclar mais nutrientes (STENBERG, 1999).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados alcançados é possível concluir que, a aplicação do CCA em ambos os solos estudados ocasionou diferença nos resultados apenas para respiração basal, onde se destaca o solo de alta fertilidade, demonstrando desta forma que a fertilidade do solo é um fator a ser considerado em relação à aplicação de resíduos, pois é de suma importância quando vinculada à diversidade e à abundância de microrganismos, responsáveis pela atividade e equilíbrio do solo.

Além disso, quando se avalia a respiração basal e a induzida pelo substrato, em relação à aplicação de diferentes doses de contaminante, não houve distinção, apenas para solos de alta fertilidade, porém quando comparadas com a testemunha.

São de relevância para a área ambiental, estudos que abordem solos com distintas fertilidades, com a implementação de diferentes doses de contaminantes, para que, desta forma, possam se buscar maneiras mais adequadas e com eficiência em relação à biorremediação de solos contaminados, até mesmo com a utilização de resíduos orgânicos para aumentar a degradação de contaminantes, já que foi observado valores bem mais elevados de degradação com adição de substrato nos solos contaminados.

REFERÊNCIAS

- ALLISON, S. D.; WALLENSTEIN, M. D.; BRADFORD, M. A. Soil carbon response to warming dependent on microbial physiology. **Nature Geoscience**, v. 3, n. 5, p. 336-340, 2010.
- ALVES, M. A. B. *et al.* Espacialização da Respiração Basal de um Plintossolo sob pastagem. **Brazilian Journal of Animal and Environment Research**, v. 2, n. 4, p. 1423-1443, 2019.
- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v.25, p.393-395, 1993.
- AQUINO, D. N. *et al.* Nutrient cycling and CO₂ emissions in areas of preserved and thinned caatinga. **Revista Árvore**, v. 41, n. 3, 2017.
- ATSDR. Perfil toxicológico para arsênico. Serviço de Saúde Pública dos EUA, Agência para Substâncias Tóxicas e Registro de Doenças, 2007.
- BALOTA, E. L. *et al.* Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do solo**. [S. l.] 1998.
- BRASIL. Decreto número 28.687, de 11 de fevereiro de 1982. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, n.18, 1982.
- CABEZAS, WARL. Matéria orgânica de solo: agente determinante da eficiência de fertilizantes nitrogenados. **Pesquisa & Tecnologia**, v. 8, n. 2, p. 1-6, 2011.
- CAMPBELL, C. A.; BIEDERBECK, V. O. Soil bacterial changes as affected by growing season weather conditions: a field and laboratory study. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 56, n. 3, p. 293-310, 1976.
- CARDOSO, M. O. Método para quantificação da biomassa microbiana do solo. **Agropecuária Técnica**, v. 25, n. 1, p. 1-12, 2004.
- CARMINATTI, T. **Efeito da aplicação de soro de leite nas características químicas e microbiológicas de solos**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, RS, 2020.
- CATTELAN, A. J.; VIDOR, C. Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo, em função de variações ambientais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, p.133-142, 1990.
- CHAER, G. M.; MYROLD, D. D.; BOTTOMLEY, P. J. A soil quality index based on the equilibrium between soil organic matter and biochemical properties of undisturbed coniferous forest soils of the Pacific Northwest. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 41, p. 822-830, 2009.

- CHEN, M.; JAFFÉ, R. Photo-and bio-reactivity patterns of dissolved organic matter from biomass and soil leachates and surface waters in a subtropical wetland. **Water research**, v. 61, p. 181-190, 2014.
- COLEMAN, D. C. *et al.* Soil respiration from four aggrading forested watersheds measured over a quarter century. **Forest Ecology and Management**, v. 157, n.1-3, p. 247-253, 2002.
- COSTA, E. A.; GOEDERT, W. J.; SOUSA, D. M G. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com prepare convencional e plantio direto. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 41, n. 7, p. 1185-1191. 2006.
- COUTO, R. D. R. *et al.* Microbiological and chemical attributes of a Hapludalf soil with swine manure fertilization. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, p. 774-782, 2013.
- CRUZ, A. R. *et al.* Evolução de CO₂ de serrapilheira de diferentes coberturas vegetais. **Revista Universidade Rural, Série Ciência da Vida**, v. 24, n. 2, p. 23 – 27, 2004.
- DIAS-JÚNIOR, H. E. *et al.* Metais pesados, densidade e atividade microbiana em solo contaminado por rejeitos de indústria de zinco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p.631-640, 1998.
- DUARTE, I. B. *et al.* Plantas de cobertura e seus efeitos na biomassa microbiana do solo. **Acta Iguazu**, v. 3, n. 2, p. 150-165, 2014.
- FARIAS, F. J. *et al.* Qualidade microbiológica do solo em sistema agroecológico de produção. **Cadernos de Agroecologia**, v. 13, n. 1, 2018.
- FERNÁNDEZ-COSTAS, C. *et al.* A sustainable treatment for wood preservation: enzymatic grafting of wood extractives. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering**, v. 5, n. 9, p. 7557-7567, 2017.
- FERRARINI, S. F. *et al.* Decontamination of CCA-treated eucalyptus wood waste by acid leaching. **Waste Management**, v. 49, p. 253-262, 2016.
- FERREIRA, C. R. P. C. *et al.* Soil CO₂ Efflux Measurements by Alkali Absorption and Infrared Gas Analyzer in the Brazilian Semiarid Region. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, 2018.
- FERREIRA, E. P. de B.; WENDLAND, A.; DIDONET, A. D. Microbial biomass and enzyme activity of a Cerrado Oxisol under agroecological production system. **Bragantia**, v. 70, p. 899-907, 2011.
- FREITAS, I. C. V. *et al.* Soil textural class plays a major role in evaluating the effects of land use on soil quality indicators. **Ecological Indicators**, v. 74, n. 1, p. 182-190, 2017.
- FREITAS, V. D. P. **Variações na retenção de CCA-A em estacas de Pinus após 21 anos de exposição em campo de apodrecimento**. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais), Universidade de São Paulo, SP, 2002.

GOI, S. R.; SOUZA, F. A. de. Diversidade de microrganismos do solo. **Floresta e Ambiente**, v. 13, n. 2, p. 46-65, 2012.

HEGER, T. J.; IMFELD, G.; MITCHELL, E. A. D. Special issue on “Bioindication in soil ecosystems”. **European Journal of Soil Biology**, v. 49, p. 1–4, 2012.

HOPER, H. Substrate-induced Respiration. In: BLOEM, J.; HOPKINS, D. W.; BENEDETTI, A. **Microbiological Methods for Assessing Soil Quality**, p. 84-92, 2006.

INSAM, H.; HUTCHINSON, T. C.; REBER, H. H. Effects of heavy metal stress on the metabolic quotient of the soil microflora. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 28, n. 4-5, p. 691-694, 1996.

KIM, H. *et al.* Distribution and mobility of chromium, copper, and arsenic in soils collected near CCA-treated wood structures in Korea. **Science of the total environment**, v. 374, n. 2-3, p. 273-281, 2007.

KIMA, J. Y.; OHB, S.; PARKC, Y. K. Overview of biochar production from preservativetreated wood with detailed analysis of biochar characteristics, heavy metals behaviors, and their ecotoxicity. **Journal of Hazardous Materials**, v. 384, n. 121356, 2020.

KING, C. M. D. *et al.* Long-term leaching of arsenic from pressure-treated playground structures in the northeastern United States. **Science of the Total Environment**, v. 656, p. 834-842, 2019.

KUZYAKOV, Y.; FRIEDEL, J. K.; STAHR, K. Review of mechanisms and quantification of priming effects. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 32, n. 11-12, p. 1485-1498, 2000.

KWON, E. *et al.* Arsenic on the hands of children after playing in playgrounds. **Environ. Health Perspect**, v. 112, p. 1375–1380, 2004.

LEITA, L. *et al.* Bioavailability and effects of heavy metals on soil microbial biomass survival during laboratory incubation. **Biology and Fertility of Soils**, v. 19, n. 2, p. 103-108, 1995.

LEMONS, H. M.; MUSAFIR, R. E. **Poluição do solo**. 2014. Disponível em: <http://www.mecanica-ufrrj.educacao.ws/util/b2evolution/media/blogs/ricardo/Apost_Pol_Solos_HML_REM-2014.pdf> Acesso em: 15 de dez. 2022.

LI, Y. *et al.* Conservation agriculture practices increase soil microbial biomass carbon and nitrogen in agricultural soils: A global meta-analysis. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 121, p. 50-58, 2018.

LOSS, A. *et al.* Evolução e acúmulo de C-CO₂ em diferentes sistemas de produção agroecológica. **Acta Agronômica**, v. 62, n. 3, p. 242-250, 2013.

LUCENA, W. B. de, *et al.* **Matéria Orgânica e Biologia do Solo**. IV Congresso Internacional das Ciências Agrárias – COINTER – PDVAgro, 2019.

- MATOS, R. C. *et al.* Comparative Cr, As and CCA induced Cytostaticity in mice kidney: A contribution to assess CCA toxicity. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, v. 73, 2020.
- MENDES, A. M. S.; Introdução a fertilidade do solo. In: **Embrapa Semiárido-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CURSO DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 2007, Barreiras. Palestras... Barreiras: MAPA; SFA-BA: Embrapa Semi-Árido; Embrapa Solos-UEP Recife, 2007. 1 CD-ROM., 2007.
- MENDES, I. C.; SOUSA, D. M. G. De.; REIS JÚNIOR, F. B. dos. Bioindicadores de qualidade de solo: dos laboratórios de pesquisa para o campo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 32, p.185-203, 2015.
- MERCER, T. G.; FROSTICK, L. E. Evaluating the potential for environmental pollution from chromated copper arsenate (CCA)-treated wood waste: A new mass balance approach. **Journal of Hazardous Materials**, v. 276, p. 10–18, 2014.
- MIJANGOS, I. *et al.* Effects of fertilization and tillage on soil biological parameters. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 40, n. 1, p. 100-106, 2006.
- MOHAJERANI, A.; VAJNA, J.; ELLCOCK, R. Chromated copper arsenate timber: A review of products, leachate studies and recycling. **Journal of Cleaner Production**, v. 179, p. 292-307, 2018.
- MONKIEDJE, A.; ILORI, M. O.; SPITELLER, M. Soil quality changes resulting from the application of the fungicides mefenoxam and metalaxil to a sandy loam soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 34, p. 1939-1948, 2002.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Ecologia do Solo. In: MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. (Ed.). **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Editora UFLA, 2002. p. 81-152.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2.ed. Universidade Federal de Lavras, 2006. 729p.
- MOREIRA, M. L. C.; VASCONCELOS, T. N. N. **Mato Grosso: Solos e Paisagens**. Cuiabá: Entrelinhas/Seplan, 2007. 272 p.
- NANNIPIERI, P.; GRECO, S.; CECCANTI, B. Ecological significance of the biological activity in soil. **Soil biochemistry**, p. 293-356, 2017.
- NORBY, R. J. *et al.* Fine-root production dominates response of a deciduous forest to atmospheric CO₂ enrichment. **Proceedings of the national Academy of Sciences**, v. 101, n. 26, p. 9689-9693, 2004.
- OHGAMI, N. *et al.* Carcinogenic risk of chromium, copper and arsenic in CCA-treated wood. **Environmental Pollution**, v. 206, p. 456–460, 2015.

- PAULA, A. M. de; SOARES, C. R. F. S; SIQUEIRA, J. O. Biomassa, atividade microbiana e fungos micorrízicos em solo de "landfarming" de resíduos petroquímicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, p. 448-455, 2006.
- PRESTES, R. M.; VINCENCI, K. L. Bioindicadores como avaliação de impacto ambiental. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 2, n. 4, p. 1473-1493, 2019.
- RAIJ, B. V. *et al.* **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, Instituto Agrônômico, p. 285, 2001.
- ROCHA, A. F. B. *et al.* Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroecológicos no Cerrado Mineiro. **Sociedade & Natureza**, v. 34, 2022.
- RONQUIM, C. C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. **Embrapa, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, n. 8, 2010.
- SANTOS, M. S. **CTC do solo, o que é e qual sua importância**. Mais Soja, Santa Maria – RS, 2021.
- SANZONOWICZ, C. **Amostragem de solos, corretivos e fertilizantes**. Cerrado: correção do solo e adubação. 2ª ed. Brasília-DF: Embrapa Informação Tecnológica, 63-80, 2004.
- SAS Learning Edition, 2003. **Getting started with the SAS Learning Edition**.
- SCHINNER, F. *et al.* **Methods in soil biology**. Germany: Springer-Verlag, 1996.
- SCHULIN, R. *et al.* Heavy metal contamination along a soil transect in the vicinity of the iron smelter of Kremikovtzi (Bulgaria). **Geoderma**, v.140, p.52–61, 2007.
- SHALAT, S. L. *et al.* A pilot study of children's exposure to CCA-treated wood from playground equipment. **Science of the Total Environment**, v. 367, n. 1, p. 80-88, 2006.
- SILVA, C. R., SOUZA, Z. M. **Eficiência do uso de nutrientes em solos ácidos: manejo de nutrientes e uso pelas plantas**. Faculdade de Ilha Solteira, UNESP, Ilha Solteira, 1998.
- SILVA, E. E; AZEVEDO, P. H. S; DE-POLLI, H. **Determinação da respiração basal e quociente metabólico do solo**. EMBRAPA: Seropédica/RJ, 2007.
- SILVA, G. F. *et al.* Indicadores de Qualidade do Solo sob diferentes sistemas de uso na Mesorregião do Agreste Paraibano. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 3, p. 25 – 35, 2015.
- SILVEIRA, A. de O. **Avaliação de metodologias para o monitoramento da qualidade do solo**. 2011. 87f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2011.
- SILVEIRA, M. *et al.* Biomassa e atividade microbiana em solo acrescido de dejetos suíno. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 17, n. 1, p. 85-93, 2011.
- STENBERG, B. Monitoring soil quality of arable land: Microbiological indicators. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-plant Soil Science**, v. 49, n. 1, p. 1-24, 1999.

STÖCKER, C.M. *et al.* **Bioindicadores da qualidade do solo em sistemas agroflorestais.** 14ª Jornada de Pós-Graduação e Pesquisa, 2017.

TEDESCO, M. J. *et al.* **Análises de solo, plantas e outros animais.** 2. Ed. Porto Alegre: Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia, UFRGS, 1995. 174 p. Boletim Técnico de Solos 5.

URBANO, L. C. *et al.* **Efeito da aplicação de fertilizantes nitrogenados sobre a atividade biológica no solo.** In: CONGRESSO MINEIRO DE ENGENHARIAS E ARQUITETURA - CENAR STARTUPS E INOVAÇÃO. v.1, n.1, 2015,

VARGAS, L. K.; SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO₂ e N mineral de um podzólico vermelho-escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.24, n.1, p.35-42, 2000.

VITO, M. **Estudo das propriedades mecânicas do eucalipto citriodora em condição de incêndio.** 2013. 112f. Tese (Mestrado), Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade do Extremo Sul Catarinense.

WARDLE, D. A. *et al.* Response of soil microbial biomass and plant litter decomposition to weed management strategies in maize and asparagus cropping systems. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, n. 7, p. 857-868, 1993.

WELC, M. *et al.* Soil bacterial and fungal communities along a soil chronosequence assessed by fatty acid profiling. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 49, p. 184-192, 2012.