



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS - CCA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM AGROECOSSISTEMAS - PGA

Gabriel Fernandes da Silva

ATRIBUTOS DO SOLO E ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO APÓS
QUEIMA CONTROLADA E CALAGEM EM ÁREA SUCESSIVA A FLORESTA DE
Pinus elliottii

Florianópolis

2022

Gabriel Fernandes da Silva

ATRIBUTOS DO SOLO E ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO APÓS
QUEIMA CONTROLADA E CALAGEM EM ÁREA SUCESSIVA A FLORESTA DE
Pinus elliottii

Dissertação submetida ao Programa de Pós-
Graduação em Agroecossistemas da Universidade
Federal de Santa Catarina para a obtenção do
título de mestre em Agroecossistemas.
Orientador: Prof. Dr. Cledimar Rogério Lourenzi
Co-orientadora: Dr^a Marlise Nara Ciotta

Florianópolis

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

da Silva, Gabriel Fernandes
ATRIBUTOS DO SOLO E ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO
APÓS QUEIMA CONTROLADA E CALAGEM EM ÁREA SUCESSIVA A
FLORESTA DE *Pinus elliottii* / Gabriel Fernandes da Silva
; orientador, Cledimar Rogério Lourenzi, coorientadora,
Marlise Nara Ciotta, 2022.
68 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós
Graduação em Agroecossistemas, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Agroecossistemas. I. Lourenzi, Cledimar Rogério. II.
Ciotta, Marlise Nara. III. Universidade Federal de Santa
Catarina. Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas. IV.
Título.

Gabriel Fernandes da Silva

ATRIBUTOS DO SOLO E ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO APÓS
QUEIMA CONTROLADA E CALAGEM EM ÁREA SUCESSIVA A FLORESTA DE
Pinus elliottii

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca
examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Dr. Cledimar Rogério Lourenzi
PGA/UFSC

Prof. Dr. Paulo Emilio Lovato
PGA/UFSC

Prof. Dr. Daniel Alexandre Heberle
Univinte

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi
julgado adequado para obtenção do título de mestre em Agroecossistemas.

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Prof. Dr. Cledimar Rogério Lourenzi
Orientador

Florianópolis, 2022.

Este trabalho é dedicado a todas as pessoas que, direta ou indiretamente, foram peças únicas para a conclusão dessa pesquisa.

AGRADECIMENTOS

Este feito é destinado aos que me suportam e aos que me dão suporte.

Àqueles que quando a peteca caiu, não mediram esforços para erguê-la.

Também, porque não agradecer aos momentos? De afeto e acalanto, que amenizaram essa trajetória.

E afinal, também me agradeço, mas de nada seria o esforço, senão também a sorte em ser um intermediário a receber o apoio de muita gente de bem, que contribuiu por detrás da cena para o acontecimento de toda essa história.

Meu obrigado a vocês, queridas pessoas, e a espiritualidade amiga.

Que assim (sempre) seja!

ATRIBUTOS DO SOLO E ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO
APÓS QUEIMA CONTROLADA E CALAGEM EM ÁREA SUCESSIVA A FLORESTA
DE *Pinus elliottii*

RESUMO

O Brasil tem grandes áreas ocupadas por florestas plantadas, alcançando aproximadamente 7,2 milhões de hectares. A região Sul do Brasil apresenta condições favoráveis para o cultivo de florestas de pinus (*Pinus spp.*). Dentre as práticas adotadas em áreas de recuperação de solo com plantios de pinus, podem ser consideradas a calagem e as queimadas como formas de manejo. O trabalho teve como objetivo avaliar atributos químicos do solo, além dos estoques de C e N, após a supressão de pinus com uso de diferentes práticas de manejo do solo na região Serrana de Santa Catarina. O experimento foi conduzido na Estação Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), em Lages. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com 9 repetições, em parcelas com dimensões de 5 x 8 m (40 m²) e os tratamentos avaliados foram: RN - regeneração natural de espécies vegetais; CIQ - queima dos resíduos de pinus e incorporação do calcário; CIR - sem queima dos resíduos de pinus e incorporação do calcário; CSQ - queima dos resíduos de pinus e calagem superficial; CSR - sem queima dos resíduos de pinus e calagem superficial. Foram coletadas amostras de solo, deformadas e indeformadas, nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm e determinou-se os atributos químicos do solo: pH em água, H+Al, teores disponíveis de P e K, teores trocáveis de Al, Ca e Mg, saturação por bases, saturação por Al, capacidade de troca de cátions potencial (CTC_{pH7,0}), densidade do solo e os estoques de carbono (C) e nitrogênio (N). O uso da calagem melhorou os atributos químicos do solo, especialmente, na camada de 0-5 cm, mas não foi eficiente em profundidade, independente da forma de aplicação. A queima dos resíduos de pinus reduziu os estoques de C e N, especialmente, na camada de 10-30 cm, evidenciando que essa prática deve ser evitada no manejo de resíduos. A manutenção apenas da vegetação natural após a supressão de pinus mantém baixos níveis de fertilidade do solo, sendo recomendada a adoção de práticas que melhorem os atributos do solo para o reestabelecimento de vegetação, seja natural ou implantada.

Palavras-chave: silvicultura, manejo do solo, fertilidade do solo.

SOIL ATTRIBUTES AND CARBON AND NITROGEN STOCKS AFTER
CONTROLLED BURNING AND LIME IN SUCCESSIVE AREA OF THE *Pinus elliotti*
FOREST

Abstract

Brazil has large areas occupied by planted forests, reaching approximately 7.2 million hectares. The southern region of Brazil presents favorable conditions for the cultivation of pine forests (*Pinus spp.*). Among the practices adopted in areas of soil recovery with pine plantations, liming and burning can be considered as forms of management. The objective of this work was to evaluate soil chemical attributes, in addition to C and N stocks, after pine suppression using different soil management practices in the serrana region of Santa Catarina. The experiment was conducted at the Estação Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), in Lages, SC. The experimental design was randomized blocks, with 9 replications, in plots measuring 5 x 8 m (40 m²) and the evaluated treatments were: RN - natural regeneration of plant species; CIQ – burning of pine residues and incorporation of limestone; CIR - pine residues on the soil and incorporation of limestone; CSQ – burning of pine residues and superficial liming; CSR – without burning pine residues and superficial liming. Soil samples were collected, deformed and undisturbed, in the layers of 0-5, 5-10, 10-20 and 20-30 cm and the chemical attributes of the soil were determined: pH in water, H+Al, available levels of P and K, exchangeable contents of Al, Ca and Mg, base saturation, Al saturation, potential cation exchange capacity (CEC), soil bulk density and carbon (C) and nitrogen (N) stocks. The use of liming improved the chemical properties of the soil, especially in the 0-5 cm layer, but it was not efficient in depth, regardless of the form of application. The burning of pine residues reduced C and N stocks, especially in the 10-30 cm layer, showing that this practice should be avoided in waste management. Maintain in only natural vegetation after pine suppression maintain low levels of soil fertility, recommending the adoption of practices that improve soil attributes for the reestablishment of vegetation, whether natural or implanted.

Keywords: forestry, soil management, soil fertility.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área de estudo EPAGRI – Estação experimental de Lages	22
Figura 2 - Estoques de carbono e nitrogênio (Mg ha^{-1}) determinados em analisador elementar em Cambissolo Húmico após supressão de pinus com diferentes manejos de calagem e queima controlada de resíduos.....	39

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Valores de pH, acidez potencial, saturação por Al, $CTC_{pH\ 7,0}$, saturação por alumínio (V%) em Cambissolo Húmico após supressão de pinus com diferentes manejos de calagem e queima controlada de resíduos26
- Tabela 2 - Teores de fósforo (P) e potássio (K), extraídos por Mehlich 1, e Ca e Mg, extraídos por KCl 1,0 mol L⁻¹, em Cambissolo Húmico após supressão de pinus com diferentes manejos de calagem e queima controlada de resíduos .33

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1. Importância econômica do <i>Pinus spp.</i> para o estado de Santa Catarina	12
2.2. Introdução do fogo no manejo de áreas sucessivas a florestas de pinus	13
2.3. Calagem e atributos químicos do solo	15
2.4. Estoques de C e N no solo.....	18
3. HIPÓTESES.....	19
4. OBJETIVOS	20
4.1. Objetivo Geral	20
4.2. Objetivos específicos	20
5. MATERIAL E MÉTODOS	20
5.1. Área do estudo:.....	20
5.2. Histórico e caracterização da área experimental:	21
5.3 Análises laboratoriais e estatísticas:	22
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
6.1. Atributos da acidez do solo	24
6.2. Disponibilidade de nutrientes	31
6.3. Estoques de C e N no solo.....	36
7. Conclusões.....	42
8. REFERÊNCIAS.....	43

1. INTRODUÇÃO

Na Era Paleozóica originaram-se as coníferas, incluindo-se a família Pinaceae e o gênero *Pinus* L. que colonizou, naturalmente, grande parte do Hemisfério Norte, incluindo os continentes da América do Norte, Europa e Ásia, chegando algumas das 105 espécies a atravessar o equador, conforme relatado por Mirov (1967). Tal gênero ocupa áreas marginais, de frio extremo, topos de montanhas, latitudes elevadas e solos pobres e/ou ácidos (RICHARDSON & BOND, 1991).

A partir de 1960, no Sul e Sudeste do Brasil, grandes extensões de terras começaram o plantio de espécimes de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* (SHIMIZU, 2008). As condições edafoclimáticas de Santa Catarina, favoráveis ao desenvolvimento de *Pinus spp.*, fizeram com que esse gênero se adaptasse ao estado. E com isso, o crescimento econômico catarinense, impulsionou em grande parte devido a exploração madeireira registrada no século XX devido a impulsos governamentais (ANDREJOW et al., 2018).

Por outro lado, as preocupações ambientais dos órgãos florestais eram fracas e não se traduziam com clareza, com a falta de orientações precisas e fiscalização, levando a problemas ecológicos (MORETTO, 2016). A partir disto, a introdução deste gênero no Brasil tem gerado diferentes resultados, como maior qualidade da camada superficial da estrutura do solo (ABRÃO et al., 2015), incrementos nos teores de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) (ROTTERS, 2016; FACHINI, 2012); compactação superficial do solo (0-10 cm) ocasionada pela colheita florestal mecanizada (SZYMCZAK et al., 2014). Dessa forma, a supressão de florestas, assim como o preparo do local, deve ser levado em conta porque esses parâmetros têm influência nas vegetações posteriores (GRANHALL, 1992; STOIN et al., 1985).

Apesar do crescimento agrosilvipastoril no Brasil e no estado de Santa Catarina, existe uma preocupação crescente acerca dos possíveis problemas ambientais gerados e, sendo assim, a consequente recuperação do solo em áreas de plantios de pinus (SALAMI et al., 2018). Dentre as práticas adotadas em áreas necessitadas de recuperação química, física e biológica de solo com plantios de pinus, são comumente usadas a calagem e as queimadas como formas de manejo. A primeira, devido a acidez do solo ocorrer em áreas com cultivos de espécies do gênero (BATISTA, 2011), e as queimas controladas, utilizadas como prática de

manejo, a fim de limpeza de áreas agrícolas e/ou florestais, renovar pastagens, expansão de áreas agrícolas, entre outros (REDIN et al., 2011).

Como forma de manejo, a correção do pH do solo realizado através da prática da calagem é influenciada de acordo com a forma de aplicação dos corretivos, sendo superficial ou incorporado, interferindo de maneiras diferentes na neutralização da acidez. Em alguns casos, após a sucessão de florestas plantadas, o fogo prescrito é uma prática que tem diversos intuitos, mas, algumas propriedades químicas, físicas, biológicas e mineralógicas do solo podem ser afetadas (CERTINI, 2005).

Outra questão importante que se relaciona com as florestas de alto rendimento são as mudanças no uso do solo, que alteram a cobertura vegetal e podem modificar os estoques de C e N, contribuindo para o atenuamento de gases de efeito estufa. Zanatta et al. (2013), em estudo avaliando os estoques de C e N em solos florestais e agrícolas observaram maiores estoques de C nos sistemas de cultivo com eucalipto e milho, e os menores no sistema com pinus, já os maiores teores de nitrogênio total foram encontrados no sistema milho.

A divergência de resultados apontada nas pesquisas questiona o estado dos parâmetros do solo, após a supressão de floresta plantada de pinus envolvendo a calagem e a queima controlada como práticas de manejo pós-colheita.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Importância econômica do *Pinus spp.* para o estado de Santa Catarina

As características de clima, solo, alta insolação, chuvas bem distribuídas durante o ano todo no estado de Santa Catarina, proporcionam condições excepcionais para o crescimento de florestas. Uma das atividades mais importantes para a economia catarinense e que pode ser apontada como uma atividade de valor para a sustentabilidade rural do estado é a silvicultura. Além de ser uma das atividades incluídas no tripé agrosilvipastoril, nos ciclos de produtividade da região (EPAGRI, 2017).

O estado de Santa Catarina é composto por alguns tipos de florestas plantadas destinadas a diversas funções, dessas, as florestas plantadas do gênero *Pinus spp.* constituem 67% da totalidade, equivalendo a 553,3 mil ha (ACR, 2019). Em 2016, mais que um terço de toda área plantada com pinus no Brasil estava no

estado de Santa Catarina e as maiores concentrações de plantios desse gênero se encontravam nas regiões Centro-Sul e Norte do estado, e isto, segundo a Associação Catarinense de Empresas Florestais (2019), praticamente tem se mantido para os estados da região sul. Em âmbito internacional, as florestas de pinus em Santa Catarina têm uma produção elevada, chegando em alguns anos a ter produtividade três vezes maior a dos EUA e quase o dobro da China, chegando a ocupar o primeiro lugar do Brasil na exportação de móveis com madeira de pinus; o primeiro exportador do Brasil em madeira serrada de pinus; e segundo maior exportador brasileiro de compensado de pinus, dados esses que refletem na economia do estado (EPAGRI, 2017; ACR, 2019).

Em adendo, a Associação Catarinense de Empresas Florestais (2019) destaca que o estado conta com um total aproximado de 5,6 mil empresas ligadas ao setor florestal-madeireiro, onde 2,6 mil estão nos setores de indústria madeireiros (46%) (serrado, lâminas e painéis) e indústria de móveis (46%) de madeira. Deste total de empresas no estado, 4,2% representam as atividades silviculturais, e 3,8% de empresas relacionadas ao setor de papel e celulose, além disso, dados históricos apontam que Santa Catarina é responsável por gerar 15% do número de empregos formais em base florestal, consolidando uma estimativa de 90,2 mil empregos diretos em 2018.

2.2. Introdução do fogo no manejo de áreas sucessivas a florestas de pinus

O acúmulo de material combustível é um dos principais constituintes para as queimadas florestais imprevistas. Dentre os componentes que aumentam o risco de danos caso ocorra um incêndio florestal, o material combustível é o único componente que pode ser alterado pelo homem. A queima controlada aparece como uma alternativa para a resolução desse problema, uma vez que o acúmulo de material combustível merece atenção dos técnicos florestais, pois deve ser mantido a níveis toleráveis (SOARES, 2000).

Dentre outras funcionalidades aliadas a queima prescrita, esta prática também é utilizada para renovação da vegetação dominante, eliminando as espécies indesejáveis (CERTINI, 2005), bem como limpeza de áreas florestais, resíduos culturais, entre outros (REDIN et al., 2011). Segundo alguns autores, na região serrana, mais precisamente no Planalto Sul Catarinense, a prática da queima

controlada em campos e áreas florestais voltada para a pecuária tem se tornado cada vez mais usual nos estudos da Ciência do Solo, pois acredita-se que tal ação pode alterar significativamente os atributos químicos e biológicos do solo (FERNANDES, 1997; HERINGER & JACQUES, 2002; JACQUES, 2003; RHEINHEIMER et al., 2003).

A ação do fogo pode ocasionar uma série de modificações nas características físicas, químicas e biológicas dos solos (REDIN et al., 2011), com alterações temporárias ou definitivas, como na disponibilidade hídrica e de nutrientes, na temperatura superficial e no teor de umidade (MEIRELLES, 1990). As alterações nas propriedades físicas são demonstradas pela diminuição do volume de macroporos, do tamanho de agregados e da taxa de infiltração, com isso há uma probabilidade de ocorrência no aumento da densidade do solo e, conseqüentemente, na resistência a penetração das raízes (ALBUQUERQUE et al., 1995; CAVENAGE et al., 1999; UTSET & CID, 2001; REDIN et al., 2011), assim como também pode ocorrer diminuição na velocidade de infiltração instantânea da água no solo (CEDDIA et al., 1999).

Já as propriedades químicas e biológicas estão interligadas e são afetadas pelo fogo de forma simultânea (REDIN et al., 2011). Para as propriedades químicas, Rheinheimer et al. (2003) citam de forma abrangente que a queima da vegetação morta enriquece a camada superficial do solo na maioria dos nutrientes em decorrência do fogo catalisar o processo da mineralização. Algumas pesquisas na literatura apontam aumento nos teores de N, P, K, Ca e Mg que são mineralizados logo após a ação da queima (CEDDIA et al., 1999; GATTO et al., 2003; RHEINHEIMER et al., 2003). Mas, a médio prazo esses nutrientes podem ser lixiviados pela ação das chuvas, e resultar em concentrações que podem ser inferiores à de solos que não passaram pela prática da queima (KNICKER, 2007). Ademais, Soares (2000) cita que a queimada também traz um risco de empobrecimento do solo, devido a degradação de quase toda a matéria orgânica do solo e a maior parte dos nutrientes. Também salienta que no caso de sucessivas repetições da prática o estoque de nutrientes é reduzido gradualmente e impede a sua recomposição no solo.

As propriedades biológicas também podem ser modificadas por intermédio do fogo, afetando os microrganismos e a fauna edáfica que utilizam o solo como habitat e contribuem com funções para o solo como, por exemplo, auxiliando na ciclagem

dos nutrientes (BARREIRO & DÍAS-RAVIÑA, 2021). Sobretudo, essas alterações ocorrem logo após a queima, momento no qual o fogo interfere na fauna edáfica principalmente nos níveis populacionais (ARAÚJO & RIBEIRO, 2005). Esse fator decorre pela diminuição da quantidade de MO que é a fonte inicial de energia para os microrganismos, o que acarreta na diminuição da população da mesofauna e, posteriormente, na perda de capacidade produtiva (PRESSLER; JOHN & COTRUFO, 2019). Analisando o impacto de incêndios florestais sobre microartrópodes edáficos em uma comunidade de *Pinus pinaster*, Lisa et al. (2015) verificaram que o fogo afeta essa comunidade de indivíduos, em curto, médio e longo prazos e que as zonas que foram impactadas pela queima mais de uma vez mostraram impactos maiores na fauna do solo. Grupos taxonômicos como, Diplopoda, Symphyla, Chilopoda, Protura, Diplura, Pseudoscorpionida foram os mais afetados, enquanto, milípedes, Araneidae e Isopoda não foram influenciados. Ademais, os autores também constatarem que grupos importantes para o solo em fase larval (Coleoptera e Diptera) foram os mais sensíveis a curto prazo após o incêndio.

2.3. Calagem e atributos químicos do solo

Na história da introdução e desenvolvimento da silvicultura com o *Pinus spp.* no Brasil há relatos de que o rápido crescimento e a ausência de sintomas de deficiência nutricional nos cultivos com espécies desse gênero, fez com que fossem dispensados manejos de calagem e adubação, por conta do bom desempenho dessas árvores nos solos do Brasil (BATISTA, 2015).

Com isso, florestas de *Pinus spp.* desde o início da silvicultura do gênero no país foram exploradas sem a adoção de práticas de manejo como a calagem e adubação, e que o solo sem a fundamental reposição química pode levar a sintomas de deficiência nutricional em plantas, diminuição da produtividade, e impacto ambiental ocasionado pelo empobrecimento e acidificação do solo (BATISTA, 2015). Essas características podem ser encontradas em áreas de pinus, ocasionadas pela exportação e não reposição dos nutrientes do solo após a sucessão, e a presença de compostos orgânicos ácidos oriundos da decomposição da serapilheira e da exsudação de ácidos orgânicos pela rizosfera (BRANDÃO E LIMA 2002; PÁDUA et al., 2006; SILVA et al., 2002; SALAMI et al., 2018; DEL PINO, HERNÁNDEZ & ARRARTE, 2020).

Sendo assim, a prática da calagem, tanto para produção de culturas, como para recuperação de áreas degradadas, segundo Tissi et al., (2004), pode apresentar resultados distintos na correção, devido a forma de aplicação do calcário e o manejo do solo, o que pode interferir na neutralização da acidez, disponibilidade de nutrientes e resposta das culturas. Estudando a relação do calcário com a matéria orgânica, Aye et al. (2016) encontraram diminuição nos estoques de carbono orgânico total (COT) em uma área cultivada sob rotação de pousios, cereais, pastagens e leguminosas, avaliada 34 anos após a aplicação da calagem. No mesmo estudo, uma área que recebeu a aplicação de calcário, anteriormente cultivada com pastagem não melhorada, e foi avaliada 5 anos após esse manejo, conseguiu manter os estoques iniciais de COT. Nesse sentido, Wang et al. (2016) também encontraram diminuições nos estoques de COT nas camadas superficiais do solo (0-10 cm), em áreas que passaram pela prática da calagem há 5, 29 e 34 anos e concluem que essas diminuições no COT, após a calagem, ocorrem principalmente pela influência do calcário na melhoria na mineralização do C devido ao aumento da sua solubilidade e/ou atividade microbiana.

Pesquisando o manejo com calcário e seus efeitos nos atributos químicos do solo, Tissi et al., verificaram que quando aplicado de forma superficial, o baixo revolvimento do solo e a baixa solubilidade do calcário pode dificultar a mobilidade de alguns elementos, como o Ca^{2+} e Mg^{2+} . Em sistema de semeadura direta, por exemplo, Almeida et al. (2007) avaliaram diferentes formas de aplicação e doses de calcário e verificaram que onde o calcário foi incorporado, os teores de Ca^{2+} mantiveram-se uniformes até 20 cm de profundidade do solo, enquanto o Mg^{2+} apresentou maiores teores nas camadas superficiais (0-5 e 5-10 cm), em relação a camada de 10-20 cm (dose: 1SMP – 12 Mg ha⁻¹). Quando aplicado de forma superficial, a menor dose de calcário elevou os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} camada superficial (0-5 cm), quando comparada com as demais camadas (dose: 1/5 SMP – 2,3 Mg ha⁻¹). Além disso, a maior dose de calcário (dose: ½ SMP – 6 Mg ha⁻¹) aplicado em superfície conseguiu aumentar os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} em maiores profundidades, sendo observados incrementos nas camadas de 5-10 cm e 10-20 cm. Em adição, os autores constatam que a fauna edáfica não apresentou correlação direta com as modificações químicas geradas pela calagem.

Em duas áreas com cultivo de *Pinus spp*, Batista et al. (2015) verificou que o efeito de neutralização do pH pelo uso do calcário aplicado de forma superficial foi

observado até os 10cm de profundidade. Ademais, também foram encontrados maiores teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} e decréscimos de Al^{3+} e saturação por Al na camada superficial (0-10cm de profundidade), demonstrando o potencial da calagem superficial em corrigir a acidez do solo.

Também avaliando a eficiência da calagem superficial e incorporada sobre atributos da acidez em profundidade, Kaminski et al. (2005) constataram que a incorporação do calcário proporcionou maiores modificações nos atributos químicos do que a calagem superficial, mas as alterações que ocorreram nessas profundidades foram insuficientes, para manter um ambiente adequado para o crescimento radicular. Os autores salientam que de acordo com as recomendações da Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS-RS/SC – 2004) para a prática corretiva, a calagem superficial no experimento foi eficiente até a camada de 10 cm e apenas na dose mais alta, que foi de 17 Mg ha^{-1} .

Os atributos químicos do solo podem sofrer grandes alterações durante cultivo de pinus. Nesse sentido, Prado e Natale (2003) verificaram aumento da acidez do solo na camada de 0-10cm e relacionaram esse aumento a decomposição das acículas que ficam sobre o solo, reduzindo os valores de pH e aumentando os teores de Al^{3+} . Silva et al. (2009) também relatam reduções de pH, nos teores de K, Ca, e Mg e aumento médio de 40% na saturação por alumínio e saturação por bases quando esses resultados são comparados com os da vegetação nativa de Cerrado. As causas para esses resultados, segundo Giddens et al. (1997), também se dá pela liberação de ácidos orgânicos oriundos das acículas em decomposição, e a acidificação dos solos sob pinus ocorre por conta da maior absorção de cátions do que ânions. Além do pH do solo, os mesmos autores, relacionando áreas de Cerrado com áreas de plantios de pinus, encontraram reduções consideráveis nos teores de MO, onde associou-se esse fenômeno a oxidação biológica da matéria orgânica original do solo, ocasionado pelo preparo e cultivo do solo, pelo declínio inicial da produção de serapilheira e as mudanças na composição qualitativa presente nos plantios florestais.

Avaliando os atributos químicos do solo em florestas de pinus, situadas em diferentes tipos de solos, Morales et al. (2012) classificaram o pH dos solos em estudos entre fortemente ácidos e extremamente ácidos (de 4,3 a 5,3 e $<4,3$, respectivamente) na maioria dos tratamentos. Além disso, os teores de P ($0,1$ a $3,9 \text{ mg dm}^{-3}$), de K ($0,02$ a $0,20 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), de Ca ($0,01$ a $0,60 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), de Mg ($0,01$

a $0,05 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e Ca+Mg ($<0,5$ e $<2,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), em geral, foram constatados como baixos e extremamente baixos, de acordo com a Comissão de Química e Fertilidade do Solo RS/SC (2004) para a maioria dos solos, com teores mais elevados nas camadas superficiais.

2.4. Estoques de C e N no solo

As atividades agropecuárias, como as florestas plantadas do estado de Santa Catarina, sucedem solos que anteriormente poderiam ter sido desprovidos de qualquer tipo de uso, assim como, ter sido uma área com diferentes históricos, usos e manejos de solo. Nesse contexto, de acordo com Zinn et al. (2005), a transformação de ecossistemas naturais para sistemas agrícolas implica em uma sequência de parâmetros que influenciam nas taxas de adição e decomposição da matéria orgânica do solo. Nos sistemas naturais, os fatores de formação do solo exercem influência sobre o aporte de resíduos e sobre as saídas de C no solo, e assim se torna determinante nos processos de ciclagem de C (STEVENSON, 1994). Já nos sistemas agrícolas, Lal & Bruce (1999) comentam que tanto o uso como o manejo do solo atuam modificando a entrada e a saída de C no solo, ou seja, no seu estoque, e isso se justifica pela produção diferenciada de resíduos, número de cultivos, espécies vegetais cultivadas, adubação, procedimentos de colheita de culturas, métodos adotados no preparo do solo e manejo dos restos culturais.

Fatores como temperaturas elevadas, altos índices pluviométricos e intensa atividade microbiana, encontrados em regiões tropicais, proporcionam rápida decomposição dos materiais orgânicos presentes no solo (SILVA & MACHADO, 2000; MIELNICZUK et al., 2003). Já em relação aos estoques de nitrogênio, este é controlado especialmente pelas condições climáticas e de vegetação. Para os solos das regiões tropicais os teores de N total podem variar de 0,02% a 0,4%, podendo chegar a 2% no caso de solos orgânicos com altas doses desse elemento (STEVENSON, 1994). Mais de 95% do N do solo se encontra na forma orgânica, dessa forma, a MO é um reservatório para o N nítrico e o amoniacal, que são as formas em que esse elemento se apresenta disponível para as plantas. Os usos e manejos do solo controlam processos como a mineralização da MO, isso também implica nos processos de aminação e amonificação, ou seja, na conversão do N orgânico em N mineral (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006; D'ANDRÉA et al., 2004). Mielniczuk et al. (2003) salienta que as espécies que são utilizadas nos sistemas de

rotação de culturas, assim como o maior uso de leguminosas ou a implantação de espécies que produzam mais biomassa, promovem maior armazenamento de N total no solo.

Avaliando os estoques de C e N do solo submetido a sistemas de uso e manejo (mata nativa, eucalipto, pinus, pastagem, milho em cultivo mínimo, milho em cultivo convencional) Rangel e Silva (2007) verificaram que os estoques de C foram afetados de modo significativo pelos sistemas de uso e manejo do solo na camada de 0-20 cm. Observaram que os maiores estoques de C foram nos sistemas de mata nativa > eucalipto > pinus > pastagem > milho em cultivo mínimo. Ademais, os autores salientam que os estoques de C nos sistemas de eucalipto e pinus estiveram próximos ou acima dos valores de mata nativa, resultado foi atribuído a maior densidade do solo encontrada nessas áreas. Ainda na mesma pesquisa, foi constatado que houve poucas alterações nos estoques de N do solo, nos sistemas estudados, mas o aumento nos estoques de N observado para os sistemas mata nativa, eucalipto, pinus e pastagem pode estar associado ao maior volume de resíduos vegetais que retornam ao solo, e também aos maiores estoques de C nesses sistemas. Ao avaliarem os estoques de C e N em solos florestais e agrícolas, Zanatta et al. (2013) observaram maiores estoques de C nos sistemas de cultivo com eucalipto e milho, e os menores no sistema pinus, enquanto os maiores teores de N total foram encontrados no sistema milho. Já Ibarra et al. (2015), ao avaliarem os estoques de C e N em Latossolo sob pinus com diferentes idades e ciclos de cultivo, encontraram redução dos teores de C e N nos sistemas de pinus em primeira rotação com o aumento de idade dos cultivos, e nos cultivos em segunda rotação houve diminuição dos teores de C e N em superfície e aumento em subsuperfície.

3. HIPÓTESES

Diante da variabilidade de resultados que podem ocorrer nos parâmetros químicos, físicos e microbiológicos que a supressão de árvores da espécie *Pinus elliottii* e as formas de manejo e preparo do solo adotadas nesse trabalho podem ocasionar, acredita-se que para a área em estudo:

- O efeito da queima controlada de resíduos florestais reduz a disponibilidade de elementos químicos (C, N, Ca, Mg, P, K) no solo em relação a não realização da queima;

- Os estoques de C e N apresentam-se maiores nas zonas de queimada devido ao fogo catalisar o processo de mineralização.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo Geral

Avaliar atributos químicos do solo e os estoques de C e N, após a supressão de pinus com uso de diferentes práticas de manejo do solo em Cambissolo Húmico.

4.2. Objetivos específicos

Avaliar os atributos químicos do solo, como acidez e disponibilidade de nutrientes, em solo com supressão de pinus e diferentes manejos de calagem e queima controlada;

Avaliar os estoques de carbono e nitrogênio após 21 meses a supressão de floresta plantada de pinus em solo com diferentes manejos de calagem e queima controlada;

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Área do estudo:

O estudo foi realizado na Estação Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), localizada no município de Lages (27°48'13,6"S, 50°20'03,5"W, 933 m de altitude) (Figura 1). O clima é Cfb, mesotérmico úmido com ocorrência de precipitação em todos os meses do ano e verão ameno (22°C). A temperatura média normal das máximas varia de 19,4 a 26°C e a mínima de 9,2 a 10,8°C, com ocorrência de 20 a 29 geadas ao ano. A precipitação pluviométrica total anual varia de 1.360 a 1.600 mm, com um total aproximado de 135 dias de chuva no ano. A umidade relativa do ar é entre 80 e 83%, com insolação total de 1.824 a 2.083 horas (Epagri, 2002).

Figura 1: Localização da área de estudo EPAGRI – Estação experimental de Lages.



(Fonte: Google earth. Legendas: a: Município de Lages – SC; b: Localização aproximada do local; b1: área institucional da EPAGRI; b2: área experimental da pesquisa de dissertação).

5.2. Histórico e caracterização da área experimental:

Para a pesquisa foi utilizada uma área onde havia o cultivo de *Pinus elliottii*, durante 20 anos, e o corte das plantas foi realizado em dezembro de 2018. O solo na área do experimento é um Cambissolo Húmico (EMBRAPA, 2013). Logo após o corte do pinus, antes da implantação do experimento, o solo apresentava as seguintes características físico-químicas: 300 g kg⁻¹ de argila; pH_{H2O} 4,5; 3,4 cmol_c dm⁻³ de Al trocável; 6,5 mg kg⁻¹ de P disponível; 126,7 mg kg⁻¹ K trocável, 39 g kg⁻¹ de matéria orgânica; 2,6 e 1,3 cmol_c dm⁻³ de Ca e Mg trocáveis, respectivamente; CTC_{pH7,0} de 28,6 cmol_c dm⁻³; saturação por Al de 45 % e saturação por bases de 14,7% na CTC.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, com 9 repetições, em parcelas com dimensões de 5 x 8 m (40 m²) e os tratamentos avaliados foram: RN - regeneração natural de espécies vegetais, sem queima e sem

aplicação de calcário; CIQ - calagem incorporada e queima dos resíduos de pinus; CIR - calagem incorporada sem queima dos resíduos de pinus; CSQ - calagem superficial e queima dos resíduos de pinus; CSR - calagem superficial sem queima dos resíduos de pinus. Nos tratamentos com manejo da calagem e dos resíduos de pinus foi realizada a implantação de festuca (*Festuca arundinacea*), cultivar Rizomat, e trevo branco (*Trifolium repens*).

A implantação do experimento ocorreu em maio de 2019. O manejo dos resíduos de pinus no solo foi realizado conforme os tratamentos, com e sem queima e incorporação dos mesmos. Seguindo a recomendação da CQFS RS/SC (2016) foram aplicados 12 Mg ha⁻¹ de calcário, conforme os tratamentos nas parcelas. A semeadura das espécies forrageiras ocorreu em junho de 2019, na densidade de 30 kg ha⁻¹ de festuca e 3 kg ha⁻¹ de trevo branco inoculado. No mês de agosto de 2019 foi realizada a aplicação de 150 kg ha⁻¹ de N, na forma de ureia.

5.3 Análises laboratoriais e estatísticas:

Em fevereiro de 2021, 21 meses após a implantação do experimento, foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, para avaliação dos atributos químicos, e nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-30 cm, para quantificação dos estoques de C e N do solo. Para avaliação da densidade do solo (DS), utilizada nos cálculos dos estoques de C e N, foram coletadas amostras indeformadas de solo com o auxílio de um anel de aço, o anel de Kopecky, com volume conhecido de 50 cm³, e a DS foi determinada seguindo metodologia da Embrapa (2017).

As amostras após serem coletadas em sacos plásticos na área em estudo, foram levadas até o Laboratório de Análise de Solo, Água e Tecidos Vegetais da UFSC. Para as amostras destinadas as análises químicas obteve-se a Terra Fina Seca ao Ar (TFSA), onde para isso, as amostras de terra coletadas foram secas em estufa a 65° C. Após secas, as amostras foram moídas em moedor e trituradas manualmente com pilão de madeira quando necessário, e passadas em peneira de 2mm. As amostras coletadas para densidade do solo foram secas a 105 °C em estufa de circulação forçada de ar, onde após secas foram pesadas junto a cadinhos de alumínio.

Para as análises químicas foram determinados os valores de pH em água (relação 1:1); índice SMP; teores disponíveis de P e K (extraídos por Mehlich 1);

teores trocáveis de Ca, Mg e Al (extraídos com KCl 1 mol L⁻¹), conforme metodologias descritas por Tedesco et al. (1995). Nos extratos obtidos os teores de P foram determinados por colorimetria, conforme Murphy & Riley (1962); os teores de K foram determinados em fotômetro de chama; os teores de Ca e Mg foram determinados em espectrofotômetro de absorção atômica; e os teores de Al foram obtidos por titulação com NaOH 0,0125 mol L⁻¹. Com os resultados obtidos foram calculados os teores de H+Al, saturação de bases (V %), saturação por Al (m %), Capacidade de Troca de Cátions potencial (CTC_{pH7,0}), conforme equações descritas pela CQFS-RS/SC (2016).

Os teores de COT e NT do solo foram determinados por combustão a seco, em um autoanalisador elementar (Flash EA 1112, Thermo Electron Corporation, Milão, Itália), sendo expressos em g C ou N kg⁻¹ solo. Os cálculos dos estoques de C e de N do solo foram realizados a partir dos teores de COT e de NT, utilizando a densidade do solo (descrita abaixo), em cada profundidade amostrada, seguindo a metodologia de Canellas et al. (2007).

$$\text{Est. C} = [\text{C}] \times \text{L} \times \text{Ds} \times 10$$

Onde:

Est. C: estoque de carbono orgânico em determinada profundidade (Mg ha⁻¹);

[C]: carbono orgânico total da amostra (g kg⁻¹);

L: espessura da camada avaliada (m);

Ds: densidade do solo da profundidade (Mg m⁻³);

$$\text{Est. N} = [\text{N}] \times \text{L} \times \text{Ds} \times 10$$

Onde:

Est. N: estoque de nitrogênio em determinada profundidade (Mg ha⁻¹);

[N]: nitrogênio total da amostra (g kg⁻¹);

L: espessura da camada avaliada (m);

Ds: densidade do solo da profundidade (Mg m⁻³).

Para a análise dos dados, primeiramente, foram verificadas as normalidades e as homogeneidades das médias obtidas através dos resultados. Para verificar se haviam diferenças estatísticas entre os dados, estes foram submetidos à análise de variância com o auxílio do programa estatístico R, onde, na análise dos atributos químicos foram considerados as quatro profundidades avaliadas, e todos os tratamentos do experimento. Para a verificação dos estoques de carbono e nitrogênio, nesse caso, foram consideradas as três profundidades estudadas para

esses atributos e todos os tratamentos. Na comparação entre as médias foi utilizado o teste de Tukey à 5% de significância ($p < 0,05$).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Atributos da acidez do solo

Os valores de pH em água apresentaram diferença entre os tratamentos apenas para a camada superficial (0-5 cm) (Tabela 1). Os tratamentos que receberam calagem apenas diferiram do tratamento RN (0-5 cm), sendo este último o tratamento que apresentou os menores valores de pH. Para as demais camadas avaliadas não foi observada diferença entre os tratamentos avaliados. Quando avaliadas as camadas em cada tratamento, verifica-se que a RN não apresentou diferenças para o pH entre as camadas, enquanto os demais tratamentos, que receberam calagem, apresentam maiores valores na camada de 0-5 cm, e menores valores nas demais camadas (Tabela 1).

Em geral, os resultados encontrados para a RN podem ser explicados devido à presença das acículas de pinus que, em decomposição, podem promover a liberação de ácidos orgânicos, maior absorção de cátions do que ânions pelas plantas sucessivas e aumento nos teores de Al^{3+} (GIDDENS et al., 1997; PRADO & NATALE, 2003; SILVA et al.; 2009). Já para os demais tratamentos, com manejos que envolvem a calagem e a queima controlada, os maiores valores de pH são devido ao corretivo de acidez aplicado e também a presença das cinzas que liberam íons de caráter básico para o solo (AROCENA E OPIO 2003; DIKICI E YILMAZ 2006; FERNANDEZ ET AL. 1997; GIOVANNINI ET AL. 1988; ULERY ET AL. 1993; ULERY ET AL. 1995).

Já nos tratamentos que receberam aplicação de calcário, verifica-se que houve neutralização do pH (Tabela 1), porém essa discreta neutralização em caso de aplicação superficial pode ser explicada devido ao contato do calcário com a camada orgânica do solo (resíduos culturais ou cinzas), que faz com que o calcário não entre em contato direto com os prótons (H^+) do solo, dificultando seu processo de dissolução/neutralização, além do poder tampão do solo. Para as aplicações incorporadas, em algumas situações, doses ainda maiores de corretivos podem ser necessárias para se elevar o pH em plantações de pinus (HOULE et al., 2002; HWANG & SON, 2006; KREUTZER, 1995; MEIWES et al., 2002; PARK et al., 1998; SIKSTRÖM, 2002; YOO et al., 1998).

Tabela 1. Valores de pH, acidez potencial, saturação por Al, $CTC_{pH\ 7,0}$ e saturação por bases (V%) em Cambissolo Húmico após supressão de pinus com diferentes manejos de calagem e queima controlada de resíduos.

Prof. cm	RN	CIQ	CIR	CSQ	CSR
pH em água (1:1)					
0-5	4,4 ^{nsB}	5,1 aA	5,1 aA	5,1 aA	5,0 aA
5-10	4,6	4,7 ab	4,8 ab	4,9 ab	4,7 a
10-20	4,5	4,5 b	4,7 b	4,7 b	4,6 b
20-30	4,7	4,7 b	4,6 b	4,7 ab	4,6 b
H +Al (cmol_c dm⁻³)					
0-5	20,9 ^{nsA}	9,5 cB	6,0 cB	6,8 cB	6,9 cB
5-10	21,4	19,8 b	16,7 b	17,6 b	19,5 b
10-20	24,4	24,4 ab	21,0 ab	22,3 ab	23,8 ab
20-30	27,1	27,5 a	26,4 a	25,2 a	26,9 a
Saturação por alumínio (Al%)					
0-5	51,0 dA	5,7 cB	4,8 dB	6,2 dB	5,4 dB
5-10	67,8 cA	66,4 bAB	54,9 cC	59,2 cBC	63,6 cAB
10-20	82,0 b	82,1 a	77,2 b	77,0 b	80,5 b
20-30	90,5 a	88,5 a	87,3 a	88,0 a	91,1 a
$CTC_{pH\ 7,0}$ (cmol_c dm⁻³)					
0-5	24,7 ^{nsA}	20,5 bAB	16,9 bB	17,8 bAB	17,3 bB
5-10	23,8	22,3 ab	19,9 b	20,1ab	21,9 ab
10-20	25,8	25,6 ab	22,6 ab	23,9 ab	25,2 a
20-30	27,8	28,3 a	27,5 a	26,0 a	27,5 a
Saturação por bases (V%)					
0-5	16,5 aC	53,7 aB	64,1 aA	62,4 aA	61,3 aAB
5-10	10,8 ab	12,3 b	17,3 b	13,1 b	11,3 b
10-20	6,0 bc	5,3 bc	7,4 c	7,6 bc	6,73 bc
20-30	2,8 c	3,1 c	4,2 c	3,3 c	2,28 c

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. ns = não significativo. RN - regeneração natural; CIQ - calagem incorporada e queima dos resíduos de pinus; CIR - calagem incorporada sem queima dos resíduos de pinus; CSQ - calagem superficial e queima dos resíduos de pinus; CSR - calagem superficial sem queima dos resíduos de pinus.

Resultados semelhantes foram encontrados por Salami et al. (2018) que, ao avaliarem os atributos químicos e físicos em Latossolo Bruno com diferenças entre as duas áreas estudadas ($P < 0,01$) em área regenerada e não regenerada (irregularidades na sucessão ecológica) pós corte de *Pinus spp.*, verificaram que a área regenerada apresentou valores de pH em água de 4,65 (0-20 cm) e 4,69 (20-40 cm), enquanto a área não regenerada apresentou valores de pH em água de 4,25 (0-20 cm) e 4,33 (20-40 cm).

Em relação aos efeitos da queima de resíduos, Sousa et al. (2020) avaliaram a influência de sistemas de manejo e verificaram pH mais elevado no tratamento

com aplicação da técnica do fogo, comparado com outros sistemas (manejo sem queima da vegetação e mata secundária) na camada de 0-30 cm do solo, 48 meses após a queima.

Em relação a aplicação de calcário, superficial ou incorporado, valores próximos ou mais elevados aos encontrados na presente pesquisa também foram encontrados em outros trabalhos (GRADY & HART, 2006; HWANG & SON, 2006; KAMINSKI et al., 2005). Para Kaminski et al. (2005), em experimento com aplicações de diferentes doses de calcário precedendo sistema plantio direto, a incorporação de 17 Mg ha⁻¹ de calcário resultou em valores de pH próximos de 5,5 para a camada de 0-5 cm, e a mesma dose de calcário aplicada em superfície apresentou valores de pH de 6,4, na mesma camada.

A acidez potencial apresentou diferença na comparação entre os tratamentos apenas para a camada de 0-5 cm. O tratamento RN foi o que apresentou os maiores teores de H+Al e foi o único tratamento a diferir dos demais (Tabela 1). Em relação as camadas avaliadas, não houve diferença entre as camadas para a RN, enquanto os demais tratamentos apresentaram os maiores teores de H+Al nas camadas de 10-20 e 20-30 cm (Tabela 1).

Avaliando atributos químicos do solo em povoamentos de *Pinus taeda* e relacionando estes com a produtividade das árvores, Morales et al. (2012) encontraram teores médios de H+Al, na camada de 0-20 cm, de 15,9 e 17,8 cmol_c kg⁻¹ nos sítios florestais com diferentes solos (Nitossolo Vermelho, Neossolo Litólico, Cambissolo Húmico, Cambissolo Háplico, e Gleissolo Háplico). Já Melo & Resck (2006), investigando o efeito do reflorestamento com diferentes espécies (*Eucalyptus camaldulensis*, *Sclerobium paniculatum*, *Pinus tecunumanii*, e *Dipteryx alata*) nos atributos químicos do solo, encontraram os maiores valores para acidez potencial nas áreas reflorestadas com *Pinus tecunumanii*.

Em trabalho avaliando as propriedades químicas de um Cambissolo Húmico sob preparo convencional e semeadura direta após seis anos de cultivo, Almeida et al. (2005) verificaram que, para a camada de 0-2,5 cm, o H+Al foi maior no sistema de semeadura direta. Os autores atribuíram esse resultado ao maior teor de carbono orgânico encontrado na mesma camada, que contribuiu no aumento das fontes de acidez potencial, reduzindo o pH e aumentando os compostos orgânicos complexantes e diminuindo o Al³⁺.

Em relação ao efeito do uso da queima na acidez potencial, Sousa et al. (2020) verificaram que após 18 meses da aplicação dos tratamentos a acidez potencial foi menor no sistema de queima ($3,04 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) em comparação com os sistemas de controle (área de vegetação secundária estabelecida há 20 anos - $4,69 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e manejo da vegetação (corte e moagem manual da vegetação do sub-bosque, mantendo as árvores adultas e de valor econômico - $4,49 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Constataram também que quatro anos após, o sistema de manejo do fogo teve as concentrações desse atributo aumentadas, porém ainda menores que as médias dos dois outros sistemas de manejo. Tais dados, segundo os autores, podem ser explicados pelo poder de neutralização da acidez do solo através das cinzas geradas pela queima.

Avaliando os efeitos da calagem na acidez potencial, Tissi et al. (2004) evidenciaram que a aplicação superficial de calcário, em diferentes doses ($1, 2$ e 3 t ha^{-1}), diminuiu os teores de acidez potencial na camada de $0-10 \text{ cm}$. Também efetuando o manejo da aplicação de calcário em superfície, com as doses de $2, 4$ e 6 t ha^{-1} , Caires et al. (2002) verificaram que os teores de H+Al , após 92 meses, foram de $8,5, 6,3$ e $5,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente, na camada de $0-5 \text{ cm}$. Em sistema de plantio direto, avaliando os atributos químicos de um Latossolo Vermelho de acordo com as doses e formas de aplicação de calcário, Alleoni et al. (2005) constataram que a acidez potencial para a calagem superficial, foi modificada apenas na camada de $0-5 \text{ cm}$ na primeira amostragem (6 meses após aplicação), sendo observado alterações até 10 cm nas outras épocas de coleta (18 e 30 meses após aplicação). Já, quando o calcário foi incorporado, o H+Al teve alteração até os 20 cm do solo nos três períodos de amostragem.

Para a saturação por Al foram observadas diferenças entre os tratamentos para as camadas de $0-5$ e $5-10 \text{ cm}$, sendo que a RN apresentou os maiores valores na camada de $0-5 \text{ cm}$. Na camada de $5-10 \text{ cm}$ os tratamentos diferiram entre si, apresentando a seguinte ordem decrescente dos resultados: $\text{RN} > \text{CIQ} > \text{CSR} > \text{CSQ} > \text{CIR}$ (Tabela 1). Em relação as camadas, todos os tratamentos apresentaram maiores valores de saturação por Al na camada de $20-30 \text{ cm}$ e menores em $0-5 \text{ cm}$ (Tabela 1). No entanto, as variações observadas foram muito distintas entre os tratamentos que receberam calagem em relação a RN, por exemplo, no tratamento CSR houve variação de $85,7\%$ nos valores de saturação por Al da camada de $0-5 \text{ cm}$ para $20-30 \text{ cm}$, enquanto essa variação foi de $39,5\%$ para a RN. Tais resultados

evidenciam o poder de neutralização da acidez do solo através da calagem, logo, o controle dos teores de alumínio no solo através da elevação do pH. Além disso, fica evidente como o tipo de resíduo vegetal depositado no solo também pode influenciar no teor desse elemento.

Em trabalho realizado para avaliar os atributos químicos do solo sob diferentes domínios botânicos, Silva & Braga (2015) observaram que os teores de saturação por alumínio, na camada de 0-5 cm, foram maiores nas áreas florestais de pinus (62,1 %), seguida por eucalipto (41,2 %) e pasto (8,3). Os autores relacionaram esses resultados ao tipo de material orgânico depositado no solo e a remoção das bases trocáveis pelas raízes das plantas, contribuindo para a diminuição do pH e maiores valores de Al% (MAFRA et al., 2008; ABURJAILE et al., 2011, SILVA & BRAGA, 2015). Em adição, Silva et al. (2009) avaliaram os atributos químicos de um Latossolo no cerrado sob diferentes espécies vegetais e encontraram, na camada de 0-10 cm, maiores teores de saturação por alumínio em áreas de carvoeiro (*Sclerolobium paniculatum*) e pinus (*Pinus tecunumanii*), em comparação a plantios florestais de eucalipto (*Eucalyptus grandis*) e área nativa de cerrado.

Avaliando o efeito do fogo nos atributos químicos, físicos e microbiológicos em solos de pastagem no sul de Minas Gerais em áreas queimadas e não queimadas, Vieira et al. (2016) verificaram que os teores de Al% foram maiores no tratamento queimado, nos primeiros 20 cm. Em adição, Chaer & Tótola (2007) encontraram maiores teores de Al% em área de vegetação natural de mata secundária, em relação ao tratamento com queima dos resíduos, nas camadas de 0-5 e 5-20 cm, em experimento que avaliava diferentes formas de manejo durante a reforma de povoamento florestal de *Eucalyptus grandis* em Neossolo Quartzarênico.

Em trabalho com aplicação de doses de calcário, superficial e incorporado, Kaminski et al. (2005) verificaram que a aplicação de 8,5 Mg ha⁻¹ alterou a saturação por alumínio na camada de 0-5 cm, com valores próximos a zero, e menores que 10% até os 7,5 cm do solo, com aplicação superficial. Quando incorporado a mesma dose de calcário, a saturação se limitou a 20%, porém nunca menor do que 10% até os 15 cm de profundidade. Com a aplicação de 17 Mg ha⁻¹ as formas de aplicação foram semelhantes até os 7,5 cm, sendo que a aplicação superficial resultou em teores maiores da saturação até 10 cm em relação a aplicação incorporada, esta última nessa dose, apresentou maiores teores a partir dos 15 cm de profundidade.

A $CTC_{pH7,0}$ apresentou diferença entre os tratamentos apenas para a camada de 0-5 cm. Nessa camada, a RN e os tratamentos com queima dos resíduos (CIQ e CSQ) apresentaram os maiores valores (Tabela 1). Os maiores teores de H+Al no tratamento RN podem ajudar a explicar esse resultado, já os tratamentos onde houve queima, a rápida mineralização dos elementos químicos após a combustão das acículas pode ter elevado a CTC nesses ambientes (Tabela 1). Em relação as camadas avaliadas, verifica-se que a RN não apresentou diferença entre as camadas, enquanto nos demais tratamentos os maiores valores de $CTC_{pH7,0}$ foram observados nas camadas subsuperficiais, sendo a camada de 0-5 cm a que apresentou os menores valores (Tabela 1), podendo ser atribuído possivelmente aos menores valor de pH.

Em estudo avaliando os atributos químicos de um Latossolo sob diferentes espécies vegetais em reflorestamentos no cerrado, Silva et al. (2009) observaram que o solo reflorestado com pinus apresentou menores valores de $CTC_{pH7,0}$ na área com *Pinus tecunumanii* e carvoeiro (*Sclerolobium paniculatum*), com valores decrescidos respectivamente dos tratamentos com vegetação nativa de cerrado seguido de área de *Eucalyptus grandis* (0-10 cm). Em estudo conduzido em um Chernossolo com diferentes coberturas vegetais, Silva et al. (2007) observaram maiores valores de $CTC_{pH7,0}$ na mata e menores na capoeira e pastagem. Os autores atribuíram esse resultado a eficiência da mata em realizar a manutenção dos nutrientes no ecossistema, e comentam que o poder de adsorção dos nutrientes favorece a manutenção da fertilidade por um período prolongado de tempo.

Utilizando gramíneas e leguminosas para a recuperação de áreas degradadas, Santos et al. (2001) constataram que as zonas vegetadas com pangola (*Digitaria decumbens* L.), capim-elefante (*Pennisetum purpureum* L.), siratro (*Macroptilium atropurpureum* L.) e guandu (*Cajanus cajan* L.) apresentaram teores de $CTC_{pH7,0}$ mais elevados que a área testemunha, parcela desnuda. Os autores concluíram que a utilização de leguminosas e gramíneas ajudou nesse atributo do solo, e associaram esse ocorrido ao material orgânico diferenciado que se depôs sobre o solo, proveniente da cobertura vegetal.

Comportamento semelhante foi encontrado em trabalho avaliando os atributos químicos do solo em áreas de pastagem queimadas, onde Vieira et al. (2016) observaram que as áreas manejadas com fogo após 1 ano da prática apresentaram

teores maiores de CTC ($7,51 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) do que nas áreas que não passaram por esse manejo ($6,81 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$).

Avaliando o efeito da calagem superficial e incorporada, Alleoni et al. (2005) observaram aumento da $\text{CTC}_{\text{pH}7,0}$ do solo na camada de 0-5 cm, chegando aos 10 cm do solo, após 30 meses da aplicação, quando realizada aplicação em superfície. Na mesma camada, foram observados maiores valores nos tratamentos de aplicação superficial em relação ao incorporado, e isso foi atribuído ao maior teor de MO no solo.

Para a saturação por bases (V%), semelhante ao observado para a $\text{CTC}_{\text{pH}7,0}$, somente houve efeito dos tratamentos na camada de 0-5 cm, com os maiores valores sendo observados nos tratamentos CIR e CSQ, seguidos por CSR. A RN apresentou valores de até três vezes menores que os demais tratamentos (Tabela 1). Além disso, verifica-se que houve efeito da calagem, quando os resíduos foram queimados, onde a aplicação superficial de calcário apresentou segundo maior valor de V%; e também efeito da não queima, com a incorporação do calcário, onde o tratamento onde os resíduos foram mantidos apresentou maior valor em relação a queima dos resíduos. Em relação as camadas de solo, os maiores valores de V% foram observados na camada de 0-5 cm, para todos os tratamentos, com redução dos valores nas camadas subsuperficiais (Tabela 1). Provavelmente, os menores valores de saturação por bases na RN se devem a acidez do solo, influenciada pelas acículas de pinus, como também, absorção de cátions de reação básica pela floresta e extração pela colheita florestal. Em contrapartida, os tratamentos com queima podem ter o acréscimo nesse atributo em relação ao RN, devido a mineralização da MO, em adição a esse fenômeno, verifica-se também a eficiência da calagem em melhorar a disponibilidades de cátions de reação básica no solo.

Analisando usos e manejos distintos em Latossolo Vermelho nos Campos de Cima da Serra, Tomasi et al. (2012) observaram menores valores de saturação por bases nas profundidades de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm para área manejada com florestamento de *Pinus elliottii* estabelecido há 18 anos sobre campo nativo e queimado pós inverno, quando comparado com os outros tratamentos: campo nativo pastejado sem queima e sem roçada; mata nativa; lavoura há 40 anos sob SPC; e campo nativo pastejado e manejado com queima anual. A redução de bases em floresta de pinus foi associada pelos autores a lixiviação, absorção de

cátions pelo pinus e a liberação de ácidos orgânicos pelas acículas em decomposição.

Em área seguida por corte raso e queima, Neto et al. (2018) verificaram que a camada superficial (0-5 cm) foi a que mais apresentou sensibilidade a ação do fogo e, nessa camada, a saturação por bases aumentou com o passar do tempo, em avaliações realizadas logo após a queima, aos 30 e 60 dias após a queima. Os autores associaram esse fenômeno aos valores da acidez potencial encontrados nessa área de estudo, sendo menores na camada superficial do solo, que apresentou maiores valores de saturação, do que nas camadas subsuperficiais (5-10 cm) onde foram encontrados maiores valores de H+Al e menores de saturação.

Estudando as formas da aplicação de calcário em SPD, Alleoni et al. (2005) encontraram maiores valores de saturação por bases na camada mais superficial do solo (0-5 cm) quando aplicado em superfície, sendo os maiores valores de V% (~90%) para a dose mais alta (7,8 t ha⁻¹) após 30 meses da aplicação. Quando feita de forma incorporada, para o mesmo período e mesma dose, houve aumento na saturação por bases também na camada de 5-10 cm.

6.2. Disponibilidade de nutrientes

Os teores de P não apresentaram diferenças entre os tratamentos e entre as camadas avaliadas após 21 meses da aplicação dos tratamentos (Tabela 2). Esses resultados podem ser explicados, de acordo com Brady (1979) e Raij (1991), pelo fato de que em regiões de clima tropical (com características semelhantes ao clima da área de estudo Cfb mesotérmico) solos com pH na faixa de 4 a 5 podem apresentar predominância de óxidos de ferro e alumínio, como também, minerais de argila 1:1, favorecendo então a formação de fosfatos de ferro e alumínio que podem dificultar a disponibilização de fósforo, deixando-o em teores baixos, devido a fixação (MALAVOLTA, 1979). Além da não aplicação de fertilizante fosfatado, fator que deve favorecer a não diferenciação entre os tratamentos.

Em estudo avaliando os efeitos do florestamento com *Pinus taeda* em primeira e segunda rotação em Cambissolo Húmico, Abrão et al. (2015) verificaram que o P teve maiores concentrações nos povoamentos com pinus do que nas áreas testemunhas de campos nativos adjacentes, para a camada de 0-5 cm. Os autores relacionaram esse resultado ao pH do solo, e comentam que o potencial hidrogeniônico pode guardar relação de controle com o P, deixando-o retido.

Explicam ainda que em solos ácidos ricos em óxidos Fe e Al o fósforo tende a formar fosfatos de ferro e alumínio que fixam grandes proporções do elemento e são altamente insolúveis.

Tabela 2. Teores de fósforo (P) e potássio (K), extraídos por Mehlich 1, e Ca e Mg, extraídos por KCl 1,0 mol L⁻¹, em Cambissolo Húmico após supressão de pinus com diferentes manejos de calagem e queima controlada de resíduos.

Prof. cm	RN	CIQ	CIR	CSQ	CSR
P (mg/L)					
0-5	9,61 ^{ns}	8,81 ^{ns}	6,87 ^{ns}	7,08 ^{ns}	7,82 ^{ns}
5-10	6,88	8,18	10,2	7,56	10,5
10-20	6,86	7,56	8,68	5,81	6,02
20-30	9,40	7,82	8,48	7,13	7,99
K (cmol_c dm⁻³)					
0-5	138,0 aAB	52,0 ^{ns} C	117,6 aB	147,8 aA	139,0 aAB
5-10	107,3 bA	72,1 D	89,7 bBC	81,3 bCD	104,6 bAB
10-20	99,3 bA	63,8 B	75,0 bAB	71,1 bB	70,1 cB
20-30	59,0 cAB	70,0 AB	72,8 bA	45,8 cB	61,5 cAB
Ca (cmol_c dm⁻³)					
0-5	2,44 aB	6,52 aA	6,41 aA	6,37 aA	6,05 aA
5-10	1,29 b	1,34 b	1,98 b	1,48 b	1,27 b
10-20	0,72 bc	0,51 bc	0,67 c	0,84 bc	0,53 bc
20-30	0,37 c	0,38 d	0,47 c	0,38 c	0,24 c
Mg (cmol_c dm⁻³)					
0-5	0,96 aB	4,38 aA	4,13 aA	4,24 aA	3,98 aA
5-10	0,78 a	0,93 b	1,04 b	0,81 b	0,78 b
10-20	0,44 ab	0,54 bc	0,67 bc	0,62 b	0,62 bc
20-30	0,20 b	0,24 c	0,37 c	0,30 b	0,19 c

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. ns = não significativo. RN - regeneração natural; CIQ - calagem incorporada e queima dos resíduos de pinus; CIR - calagem incorporada sem queima dos resíduos de pinus; CSQ - calagem superficial e queima dos resíduos de pinus; CSR - calagem superficial sem queima dos resíduos de pinus.

Objetivando avaliar as propriedades químicas de um Latossolo Vermelho sob mata queimada e mata preservada, Mesquita; Santos & Correchel (2020) também encontraram teores de P maiores na mata queimada do que na área de mata preservada na camada de 0-5 cm. Verificaram também redução dos teores de P em profundidade, relacionando esse resultado a baixa mobilidade do P no solo.

De forma similar aos nossos dados coletados para P, Tissi et al. (2004) também não encontraram diferenças para esse elemento em sistema de semeadura direta, enquanto avaliavam os efeitos da aplicação de calcário nos atributos

químicos de um Latossolo Vermelho distrófico, crescimento das raízes e nutrição da planta de milho.

Os teores de K foram maiores na camada de 0-5 cm nos tratamentos RN, CSQ e CSR. (Tabela 2). Para as camadas avaliadas, apenas o tratamento CIQ não demonstrou diferenças significativas entre as camadas. Para a RN, CIR, CSQ, CSR foram observados teores mais elevados na camada de 0-5 cm, decrescendo nas demais camadas. Mais uma vez, a mineralização da MO do solo pode ter influenciado os maiores teores de K no solo, uma vez que o tratamento CSQ apresentou as médias mais altas na camada superficial. A calagem superficial, por sua vez, evidencia que o aumento do pH ajuda na disponibilidade de cátions de reação básica no solo, como o K^+ , cujo nesse experimento pode ter tido aumento de sua disponibilidade de acordo a acidez do solo (pH: CSQ – 5,12; CSR – 5,07). A RN ainda que pH ácido (4,43) pode ter sua explicação no ciclo biogeoquímico encontrado no ecossistema, onde as plantas espontâneas desde período da aplicação do experimento até o momento da amostragem podem ter interferido no ciclo do elemento.

Avaliando mudanças nas características químicas e texturais de um Chernossolo com diferentes coberturas vegetais (sequência: mata - capoeira - pastagem), Silva et al. (2007) também encontraram diferenciação em profundidade nos teores de K nos tratamentos mata e pastagem com maiores teores na superfície (0-10 cm) diminuindo em profundidade. Os autores associaram os maiores teores em superfície à reciclagem mais eficiente realizada pela vegetação natural.

Em uma área de cultivo comercial, comparando os efeitos da queima de resíduos culturais de milho versus área de cultivo em SPD sem queima, e ambos com e sem revolvimento do solo sobre um Latossolo Vermelho, Simon et al. (2016) não encontraram diferenças nos teores de K entre os tratamentos, nas camadas avaliadas (0,0-0,05 e 0,10-0,20 m). De acordo com Sousa e Lobato (2004) os autores deram a disponibilidade de K como alta, para a camada de 0-5 cm, e adequadas para a camada de 10-20 cm (82,11 mg kg⁻¹, 62,56 mg kg⁻¹ respectivamente).

No que diz respeito a calagem, Tiritan et al. (2016), avaliando as alterações nos atributos químicos e os efeitos da aplicação superficial e incorporada de calcário na produtividade de grãos de milho (*Zea mays*) em Latossolo Amarelo não identificaram diferenças entre os sistemas de manejo, doses de calcário e tempo de

amostragem para as propriedades químicas, incluindo os teores de K. Mas encontraram menores teores de K nas camadas subsuperficiais em avaliação realizada 6 meses após aplicação. Para os autores, a preservação das propriedades físicas do solo contribui para a reatividade do calcário no subsolo e a mobilidade de cátions, como o K, tem dependência na formação de complexos orgânicos, que podem potencializar a mobilidade de K no solo, quando esses complexos são formados e solubilizados em água.

Os teores de Ca trocável apresentaram diferença entre os tratamentos apenas na camada de 0-5 cm, sendo o tratamento RN com os menores valores. Todos os tratamentos que receberam calagem, independente da forma de aplicação, não apresentaram diferenças entre si. Em adição, as camadas subsuperficiais apresentaram menores teores em relação a camada superficial (0-5 cm) em todas as áreas (Tabela 2). Para tal, Alcarde et al. (1989), Caires et al. (2000) e Mello et al. (2003) citam que o período de 24 meses é suficiente para a reação do calcário e logo o efeito de sua neutralização, conseqüentemente também para se elevar os teores de Ca no solo, como ocorrido nesse experimento entre os tratamentos que receberam a aplicação do corretivo e teve período aproximado a 24 meses entre a aplicação do experimento e data de amostragem.

Em pesquisa acerca do impacto do florestamento com *Pinus taeda* nos atributos químicos e na composição da matéria orgânica em Neossolos Litólicos, Dick et al. (2011) verificaram teores de Ca menores nas áreas florestadas com pinus, tanto de 8 como de 30 anos, em relação a pastagem nativa (*Paspalum notalum* e *Paspalum plicatum*). Segundo os autores, esse fenômeno destaca o ciclo dos nutrientes mais rápidos em áreas sob pastagem em comparação com pinus, e comentam também que a alta densidade radicular da pastagem, principalmente na camada superficial, promove retorno de nutrientes através da decomposição dos resíduos vegetais. Já o sistema radicular do pinus mesmo alcançando maiores profundidades, tem rotação mais lenta, levando a uma menor ciclagem de nutrientes.

Em trabalho avaliando as mudanças temporais nos atributos químicos do solo após corte e queima de floresta nativa na Amazônia Ocidental sob Argissolo Amarelo, Neto et al. (2018) verificaram que o Ca apresentou diminuição nos teores entre a pré e pós queima nas camadas de 0-5, 5-10, 10-15 e 15-20 cm do solo. Os autores associam esses resultados à fragilidade do sistema após a remoção da

vegetação, aliada a altas temperaturas e chuvas intensas, indicando perda dos nutrientes por lixiviação. Também interligam esses dados ao fato de que o ciclo dos nutrientes em florestas tropicais envolve um conjunto complexo de resposta direto entre o solo e a vegetação e indicam que a queima da vegetação resulta em desequilíbrio desse sistema causando efeitos negativos na fertilidade do solo em longo prazo.

Avaliando os efeitos de diferentes doses de calcário calcítico e dolomítico aplicado em superfície de um Latossolo Vermelho-Amarelo sobre características químicas do solo e produtividade da cultura de soja em sistema de semeadura direta, Schoninger et al. (2010) obtiveram aumentos nos teores de Ca na camada superficial do solo (0-2,5 cm) com o uso de calcário calcítico ($1,5 \text{ t ha}^{-1}$). Em adição, Filho; Fageria & Zimmermann (2005), avaliando os efeitos de doses de calcário e formas de aplicação (superficial e incorporado) sobre os atributos de fertilidade de um Latossolo Vermelho e produtividade do feijoeiro irrigado (*Phaseolus vulgaris* L.) e soja (*Glycine Max* (L.) Merrill), encontraram aumentos nos teores de Ca na camada de 0-10 e 10-20 cm com aplicação incorporada. Este aumento não foi observado para a aplicação superficial, onde os autores atribuem isso ao melhor contato do calcário com as partículas do solo e ao alcance do corretivo as camadas mais profundas quando a aplicação do neutralizante ocorre por incorporação através da aração e gradagem.

Os teores de Mg, semelhante ao Ca, foram menores na RN e os demais tratamentos não apresentaram diferença entre si. Além disso, em todos os tratamentos, os maiores teores foram observados na camada de 0-5 cm, decrescendo nas camadas subsuperficiais (Tabela 2). Como relatado anteriormente, a neutralização da acidez do solo é extremamente importante para a disponibilidade de nutrientes, evidenciando outra vez a sua relação com os resultados dos teores de Mg. Porém para as subcamadas do solo, de acordo com os resultados obtidos para o elemento em questão, a aplicação incorporada do calcário pode não ter tido reação suficiente com as partículas mais profundas do solo.

Em estudo avaliando 21 anos de gestão de diferentes espécies florestais (*Acer velutinum* Bioss; *Quercus castaneifolia* C. A. Mey; e *Pinus brutia* Ten.) acerca da produtividade e fertilidade do solo, Kooch & Zoghi (2014) verificaram efeitos nos atributos de um Argissolo Vermelho Amarelo, como maiores teores de Mg na camada superficial (0-10 cm), sendo que a plantação de pinus foi a que apresentou

as menores concentrações de Mg. Os autores atribuíram esse resultado ao pH do solo nesse povoamento (6,36 – *A. velutinum*; 6,52 – *Q. castaneifolia*; 5,58 – *P. brutia*) pois a acidez do solo aumenta a solubilidade de Al e Fe que remove cátions de reação básica do solo, por ocupar os complexos de troca da CTC dos colóides levando os cátions de reação básica para a solução do solo correndo o risco de serem lixiviados. Em adição, salientam também que os resultados podem ser devido as florestas de coníferas absorverem prontamente os cátions, levando a uma diminuição destes no solo.

Ao contrário do encontrado no presente estudo, Neto et al. (2018), em avaliação temporal dos atributos químicos do solo após queima em Argissolo Amarelo, encontraram diminuições nos teores de Mg na camada de 0-5 e 5-10 cm após 12 meses da prática. Os autores indicam que esta diminuição pode ocorrer com o tempo, devido a fragilidade do ecossistema e também a lixiviação dos nutrientes em condições de altas temperaturas e chuvas intensas. Em adição, Vieira et al. (2016) também encontraram maiores teores de Mg em solo não queimado, comparado com o que passou pela queima, em Argissolo Vermelho-Amarelo sob pastagem.

Em um Argissolo vermelho, estudando o efeito do calcário aplicado nos sulcos das plantas e entre as fileiras do cultivo sobre a acidez do solo e nutrição, rendimento e crescimento de *Coffea arabica* L., Parecido et al. (2021) verificaram aumento nos teores de Mg após 1 ano e 6 meses da aplicação nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, tanto em sulcos como entre as fileiras de cultivo, com diferentes doses de aplicação (2,1 e 4,2 t ha⁻¹). Em outro estudo, em Latossolo Vermelho com calcário aplicado com diferentes métodos e doses, Filho, Fageria & Zimmermann (2005) observaram aumento nos teores de Mg nas camadas de 0-10 e 10-20 cm com o calcário incorporado. Os autores comentam que esse dado é devido ao maior revolvimento do solo em profundidade, feito através dos implementos agrícolas.

6.3. Estoques de C e N no solo

Os estoques de carbono do solo (Figura 2) apresentaram diferenças entre os tratamentos para as camadas de 0-5 e 10-30 cm. Sendo que para a camada superficial (0-5 cm) os resultados foram na seguinte ordem perante os manejos: CSQ> RN> CIR> CIQ> CSR. Na camada mais profunda avaliada (10-30 cm) as

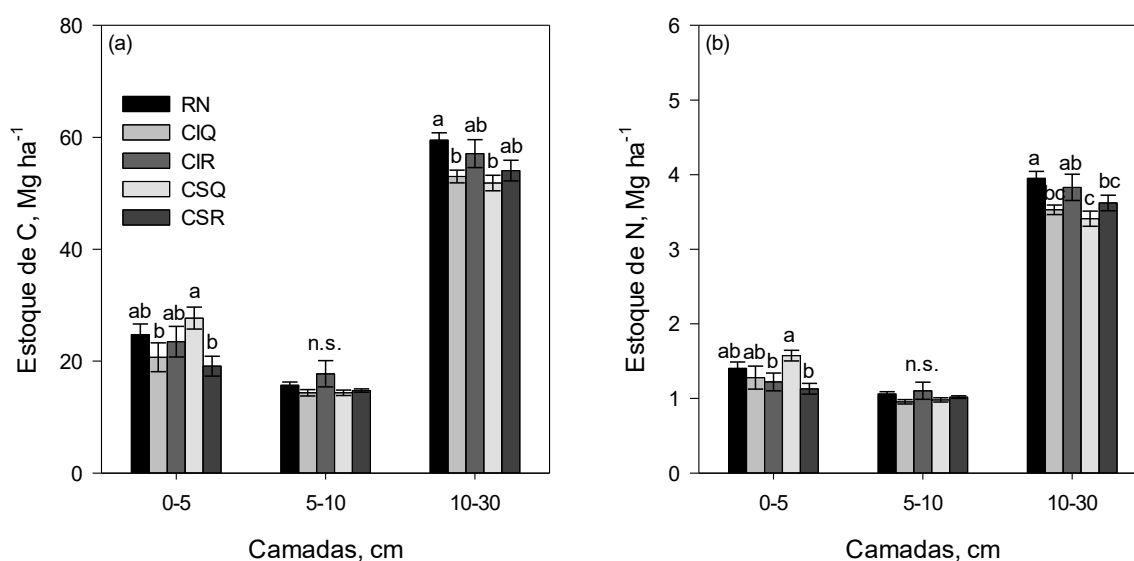
médias em sequência decrescente foram: RN> CIR> CSR> CIQ> CSQ. Em geral, os estoques desse elemento apresentam íntima relação com a matéria orgânica. Sendo assim, verifica-se que os resíduos de pinus mesmo com a sua lenta decomposição, junto da biomassa das plantas espontâneas pode ter incrementado COT na camada superficial do solo, assim como, os resíduos vegetais da flora espontânea que se desenvolveu pós colheita.

Avaliando o efeito de povoamentos mistos e monoespecíficos de *Pinus sylvestris* e *P. pinaster* no armazenamento de carbono e cátions trocáveis em um Cambissolo, López-Marcos et al. (2018) verificaram que os estoques de COT diminuíram com a profundidade, nos três tipos de povoamento, diferente do encontrado no nosso experimento para os médias do elemento nas camadas do solo, e também puderam constatar que o tratamento com a mistura de ambas espécies foi o que apresentou maiores estoques nas camadas de 10-20 e 20-30 cm. Os autores relatam que os maiores estoques de COT na camada superficial do solo, depende da quantidade de deposição de serapilheira, como também, da composição química dos resíduos da biomassa. Em adição, trazem os autores em seus resultados, que o COT das camadas do subsolo teve correlações positivas com a quantidade de raízes finas, corroborando com a teoria de adição de COT através das raízes nas camadas mais profundas do solo.

Em complemento, Olsson et al. (2019) com o objetivo de identificar fatores que podem explicar as diferenças observadas nos estoques de C na serapilheira e solo em florestas de 34 anos de miombo (*Brachystegia spiciformis*, *Julbernardia globiflora*, *Pericopsis angolensis*, *Uapaca kirkiana*, *Parinari curatellifolia* e *Bridelia micrantha*), monoculturas de eucaliptos (*Eucalyptus cloeziana*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus camaldulensis*) e pinus (*Pinus elliottii*, *Pinus patula*, *Pinus taeda*) através de modelos quantitativos, os autores observaram que a taxa de decomposição era mais acelerada para a diversidade de serapilheira de miombo e mais lenta para pinus mesmo sendo a deposição de liteira maior nas florestas de pinus e eucalipto. Tal fator foi relacionado a temperatura do solo, sendo esse aproximadamente 1,7 °C maior na floresta de miombo em relação as outras florestas. A pesquisa de Olsson et al. (2019) tendo como referência os dados de Guedes et al. (2016) avaliando os mesmos parâmetros nos mesmos locais constatou diferenças para os estoques de C, sendo estes muito menores para a área de *E. cloeziana* comparado a *E. grandis* mesmo com a quantidade de deposição de serapilheira semelhante. Além disso, os

estoques totais de C estimados pelos autores eram muito menores dos que o realmente encontrado pelo estudo anterior. Os autores concluem com isso, que o acúmulo de C total no solo derivado da liteira apenas é capaz de explicar parcialmente os estoques de C no solo indicando que as raízes e a sua decomposição também são parâmetros que devem ser considerados.

Figura 2: Estoques de carbono (a) e nitrogênio (b) em Cambissolo Húmico após supressão de pinus com diferentes manejos de calagem e queima controlada de resíduos.⁽¹⁾Barras seguidas de mesma letra, dentro de cada camada, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância;n.s. = não significativo; RN - regeneração natural; CIQ - calagem incorporada e queima dos resíduos de pinus; CIR - calagem incorporada sem queima dos resíduos de pinus; CSQ - calagem superficial e queima dos resíduos de pinus; CSR - calagem superficial sem queima dos resíduos de pinus.



Estudando as mudanças no carbono orgânico total do solo após queima experimental em uma floresta de coníferas (*Larix gmelinii* Rupr., *Betula platyphylla* Suk.), Cui et al. (2014) puderam constatar que a quantidade de COT do solo foi dinâmica após a perturbação do fogo e que tais mudanças dependeram em grande parte da severidade do fogo e do período pós-fogo, quando verificaram seus resultados na única camada avaliada (0-10 cm) e os compararam com uma área sem queima. Os autores encontraram resultados de aumento de COT após uma ou duas temporadas chuvosas nas áreas queimadas com baixa e média severidade e

associaram o incremento ao conteúdo de C presente na MO queimada, como fragmentos da floresta e raízes semi-decompostas. O efeito do fogo e essas modificações no solo também podem ter ocorrido no tratamento que apresentou os maiores teores de COT na camada mais superficial. Os autores também discutem possíveis causas para os ganhos e perdas de COT que se relacionam a esse estudo, em ambas as camadas: como incorporação de MO proveniente dos detritos gerados pelo fogo; acúmulo de MO queimada ou orgânica no solo; possível entrada de MO pela recuperação vegetativa subsequente. Tais fatores esses que justificam os resultados encontrados em nosso experimento, tanto para a camada de 0-5 cm com maiores teores em área queimada, como maiores médias de COT nas áreas que se mantiveram os resíduos de pinus na camada de 10-30 cm.

Em um Cambissolo Háplico aluminico com consórcio de *Avena strigosa* e *Vicia villosa* e cultivo de *Zea mays* na primavera-verão localizado na Região Sudeste do Paraná, Melo (2020) avaliando o efeito de diferentes doses e métodos de aplicação de calcário acerca dos atributos físico-hídricos e carbono do solo constatou que os estoques de COT foram maiores nos tratamentos calagem superficial e calagem incorporada com escarificador + grade niveladora, sendo os menores no tratamento de cal. incorporada com arado de discos + grade niveladora. A camada de 0-10 cm teve maiores concentrações dos estoques de C, onde o tratamento de calagem superficial também apresentou os estoques. Tais dados relacionam-se parcialmente a essa pesquisa, que apresentou médias intermediárias para o COT na camada mais superficial. As razões biogeoquímicas discutidas na obra citada, onde, a ausência de perturbação do solo aliado à deposição de biomassa deve justificar as concentrações de COT na camada superficial, devido ao aporte de MO, e ao aumento de V% promovido pela neutralização da acidez do solo.

Em paralelo a essa pesquisa, o tratamento calagem incorporada com escarificador + grade niveladora apresentou aumentos na camada mais profunda avaliada no estudo de Melo (2020) (10-20 cm). Associou-se esse resultado com a intensidade de preparo e incorporação de resíduos vegetais no solo, como também, o preparo mínimo, deixando C no solo menos vulnerável a degradação através do revolvimento, ocorrendo menor oxidação de COT e aumentando o seu teor, além da contribuição das raízes decompostas.

Os estoques totais de nitrogênio nesse trabalho apresentaram diferenças na camada de 0-5 e 10-30 cm. Para a camada mais superficial (0-5 cm) os estoques

apresentaram resultados na seguinte ordem decrescente: CSQ>RN>CIQ>CIR>CSR. Para a camada mais profunda (10-30 cm) a ordem decrescente das médias totais de N é a seguinte: RN>CIR>CSR>CIQ>CSQ. Tais resultados sugerem que na camada superficial, a queima dos resíduos assim como o mantimento das acículas de pinus junto das plantas espontâneas influenciou benéficamente os teores totais de N em relação aos outros tratamentos.

Tais médias apresentadas para os resultados de teores totais de N indicam que as raízes de pinus deixadas pós-colheita incrementaram os estoques de N na camada mais profunda, em relação as outras profundidades avaliadas. Enquanto isso, os manejos adotados influenciaram o N total na camada superficial, e sugerindo o descarte de lixiviação do elemento nesse experimento, uma vez que a camada subsuperficial apresentou os menores teores totais entre todas as profundidades.

Nesse sentido, com base nos resultados de CIR e CSR, Wei et al. (2020) com o objetivo de examinar as relações entre diferentes quantidades de resíduos de corte nos nutrientes do solo e crescimento de árvores em florestas de *Pinus contorta* em um Luvisolo num experimento de longo prazo, não notaram diferenças significativas entre os estoques de N para todos os anos de coleta (2001; 2006; e 2015) e os tratamentos avaliados (1 – remoção manual de todos os resíduos do chão da floresta; 2 – concentração de resíduos semelhante à colheita de árvores inteiras; 3 – concentração de resíduos semelhante à colheita de apenas caule; 4 – concentração de resíduos semelhante à encontrada em florestas mortas por doenças ou insetos) na camada de 0-20 cm.

Os autores sugerem que tal resultado pode ser devido à resiliência do solo em aumentar os teores dos elementos químicos quando esses são provenientes de resíduos de colheita, e indicam que a quantidade de resíduos dos tratamentos 2 e 3 pode não ter sido grande o suficiente para aumentar os estoques de N a ponto de diferenças estatísticas. Supõe também, a esse resultado, que os resíduos por serem em sua maioria detritos madeireiros grosseiros podem desempenhar um papel limitado na dinâmica de transferência de elementos para o solo devido à lenta decomposição do estágio inicial dos resíduos madeireiros pós perturbação de colheita. Além de atribuírem que o solo do estudo é altamente resiliente as alterações químicas por manejo florestal, sendo a possível razão dada por serem solos jovens com capacidade limitada de armazenar nutrientes.

Em um povoamento pré-estabelecido de *Pinus ponderosa* (80 à 90%) e *Pseudotsuga menziesii* (10 à 20%), DeLuca & Zouhar (2000) avaliando a dinâmica do nitrogênio do solo influenciada pela colheita e queima prescrita, encontraram resultados que não corroboram com os observados nesse experimento. Os autores não evidenciaram diferenças nos estoques totais de N na camada de 0- 7,5 cm, quando comparados entre áreas de controle, apenas corte, e corte + queima após 2 anos da prática. Os autores sugerem que tal resultado se associa ao potencial reduzido de mineralização do elemento quando combinados perturbações de colheita e queima prescrita, podendo afetar a dinâmica do N por longos períodos após a queima. Em contrapartida a isso, adicionam também, que a área testemunha provavelmente não é totalmente representativa das condições naturais do ambiente local, não deixando claras as condições necessárias para sustentar a produtividade.

Nesse experimento os tratamentos que receberam a prática da queima controlada apresentaram junto da área testemunha os maiores estoques de N. Tratamentos esses, que ao contrário do observado pelos autores citados no parágrafo anterior, devem contar com a influência da MO mineralizada pela queima dos resíduos, além do tratamento RN, contar com a mineralização do elemento químico pelos atributos controladores (clima, microrganismos, MO, umidade), refletindo os dados apontados.

Em contraste aos dados dessa pesquisa para o N total, Garbuio et al. (2011) também não encontraram diferenças entre os teores totais desse elemento num Latossolo nas camadas subsuperficiais (5-10 e 10-20 cm), enquanto avaliavam os efeitos a curto prazo da aplicação de calcário e resíduos de aveia preta (*Avena strigosa*) com e sem fertilização nitrogenada, dados nos quais os autores não atribuem causa ao efeito.

Ao contrário do obtido por eles, nesse estudo, os dados não dão indícios que a forma de aplicação de calcário e o seu uso tenham afetado os estoques de N, uma vez que as diferenças encontradas perante os tratamentos foram relacionadas a permanência ou retirada dos resíduos silviculturais de pinus.

Percebe-se com base em todos os resultados obtidos que os manejos de calagem e queima adotados nesse experimento foram capazes de influenciar os atributos de fertilidade do solo, porém, as diferentes formas de aplicação de calcário não resultaram diferenças tão nítidas perante os dados. De maneira geral, a maioria dessas alterações entre os manejos se manteve na camada mais superficial do solo

(0-5 cm), tendo alguns atributos como estoques totais de C e N e teores de K resultado diferenças em camadas mais profundas.

Fica evidente também que, se tratando da fertilidade do solo acerca dos diferentes manejos e dos atributos avaliados nesse experimento o tratamento RN resultou em menor fertilidade do solo, quando comparados com os outros atributos, visto que os dados evidenciam menor pH do solo, menores teores de Ca e Mg, menor saturação por bases e maior saturação por alumínio.

Entre os tratamentos que receberam calagem e as hipóteses do que poderia ser encontrado nos resultados dessa pesquisa, verifica-se que para os elementos químicos do solo não ficou evidente uma diferenciação entre o mantimento ou queima dos resíduos do pinus, visto que para todos os tratamentos, resultados semelhantes foram obtidos. Já a segunda hipótese desse trabalho, referente ao fogo catalisar o processo de mineralização de C e N pode ser atribuída para esse segundo elemento, ao menos para a camada mais superficial. Devido aos maiores estoques de N encontrados nos tratamentos de CIQ e CSQ.

7. Conclusões

1. O uso da calagem melhorou os atributos químicos do solo, especialmente, na camada de 0-5 cm, mas não foi eficiente em profundidade, independente da forma de aplicação.
2. A queima dos resíduos de pinus reduziu os estoques de C e N, especialmente, na camada de 10-30 cm, evidenciando que essa prática deve ser evitada no manejo de resíduos.
3. A manutenção apenas da vegetação natural após a supressão de pinus mantém baixos níveis de fertilidade do solo, sendo recomendada a adoção de práticas que melhorem os atributos do solo para o reestabelecimento de vegetação, seja natural ou implantada.

8. REFERÊNCIAS

- ABRÃO, S. F., SECCO, D., REINERT, D. J., REICHERT, J. M., & EBLING, Â. A. Impacto do florestamento com *Pinus taeda* na porosidade e permeabilidade de um solo húmico. **REVISTA ÁRVORE**: Viçosa, v. 39, p. 1073-1082, nov./dez., 2015. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622015000601073. Acesso em: 08 de abril de 2020.
- ABURJAILE, S. B.; SILVA, M. P.; BATISTA, E. A. F. S.; BARBOSA, L. P. J. L.; BARBOSA, F. H. F. Pesquisa e caracterização da diversidade microbiológica do solo, na região de São José do Buriti-MG, em decorrência da substituição de cobertura florestal nativa (Cerrado) por plantações de eucalipto. **Ciência Equatorial**, Macapá, v. 1, n. 2, p. 69-81, 2011. Disponível em: <https://periodicos.unifap.br/index.php/cienciaequatorial/article/view/565>. Acesso em: 13 de outubro de 2022.
- ALBUQUERQUE, J. A. et al. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 19, n. 1, p. 115-119, jan./abr. 1995.
- ALCARDE, J. C.; PAULINO, V. T.; DERNARDIN, J. S. Avaliação da reatividade de corretivos da acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 13, p. 387-392, 1989. Disponível em: http://www.fisicadosolo.ccr.ufsm.whoos.com.br/downloads/Producao_Artigos/81.pdf. Acesso em: 14 de outubro de 2022.
- ALLEONI, L. R. F., CAMBRI, M. A., & CAIRES, E. F. Atributos químicos de um Latossolo de cerrado sob plantio direto, de acordo com doses e formas de aplicação de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 923-934, dez. 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/4BxdWwsWwvzgXtH56V3bKHM/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 26 de setembro de 2022.
- ALMEIDA, J. A. D., BERTOL, I., LEITE, D., AMARAL, A. J. D., & ZOLDAN JÚNIOR, W. A. Propriedades químicas de um Cambissolo Húmico sob preparo convencional e semeadura direta após seis anos de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 437-445, jun. 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/3TWXS5txWqSxbVCDHkrTwtg/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 31 de agosto de 2022.

ASSOCIAÇÃO CATARINENSE DE EMPRESAS FLORESTAIS (ACR). **Anuário Estatístico de Base Florestal para o Estado de Santa Catarina 2014**. Lages: STCP, 2014. 41 p.

Associação Catarinense de Empresas Florestais (ACR). **Anuário Estatístico de Base Florestal para o Estado de Santa Catarina 2016**. Lages: STCP, 2016. 108 p.

ASSOCIAÇÃO CATARINENSE DE EMPRESAS FLORESTAIS (ACR). **Anuário Estatístico de Base Florestal para o Estado de Santa Catarina 2019**. Lages: STCP, 2014. 118 p.

ALMEIDA, H. C., ALMEIDA, D., ALVES, M. V., SCHNEIDER, J., MAFRA, Á. L., & BERTOL, I. Propriedades químicas e fauna do solo influenciadas pela calagem em sistema semeadura direta. **Ciência Rural**: Santa Maria, v. 37, p. 1462-1465, out., 2007. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/cr/a/sfb6X9dFDdrzy4SvPgMvfBd/abstract/?lang=pt>.

Acesso em: 08 de abril de 2020.

ALMENDROS M. G., GONZÁLEZ-VILA F.J. Wildfires, soil carbon balance and resilient organic matter in Mediterranean ecosystems. A review. **Spanish Journal of Soil Science**: Espanha v. 2, p. 8-33, jul., 2012. Disponível em: <https://digital.csic.es/handle/10261/53745>. Acesso em: 08 de abril de 2020.

ANDREJOW, G. M. P., PEDRASSANI, D., TUSSULINI, F., ANGELO, A. C., TAMBARUSSI, E. V., & AUER, C. G. Planalto Norte Catarinense: Considerações sobre o setor florestal e a eucaliptocultura. **DRd**: Canoinhas, v. 8, n. 2, p. 143-168, jul./dez. 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1093119/planalto-norte-catarinense-consideracoes-sobre-o-setor-florestal-e-eucaliptocultura>. Acesso em: 06 de agosto de 2020.

ANJOS, J. T., UBERTI, A. A., VIZZOTTO, V. J., LEITE, G. B., & KRIEGER, M. Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**: Viçosa, v.18, p.139-145. 1994. Disponível em: <https://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=4125495>.

Acesso em: 06 de agosto de 2020.

ARAÚJO, A. S. F., & MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**: Uberlândia, v. 23, n. 3, p. 66-75, jul./set. 2007. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/6684/4403>. Acesso em: 06 de agosto de 2020.

- ARAÚJO, E. A.; RIBEIRO, G. A. Impactos do fogo sobre a entomofauna do solo em ecossistemas florestais. **Natureza & Desenvolvimento**: Viçosa, v. 1, n. 1, p. 75-85, jan./fev. 2005. Disponível em: <https://silo.tips/download/impactos-do-fogo-sobre-a-entomofauna-do-solo-em-ecossistemas-florestais-1>. Acesso em: 08 de abril de 2020.
- ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M.P.C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**: Viçosa, v.31, n.5, p.1099-1108. 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/cYKyvFQzN3YBTCHqtDd6JFr/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 12 de abril de 2020.
- AROCENA J. M., OPIO C. Prescribed fire-induced changes in properties of sub-boreal forest soils. **Geoderma**: Netherlands, v. 113, n. 1-2, p. 1-16. 2003. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016706102003129>. Acesso em: 12 de abril de 2020.
- ASSAD, M. L. R. C. L. Recursos biológicos: ocorrência e viabilidade. *In*: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 8., 1996, Brasília, DF. **Anais [...]** Planaltina, DF: Embrapa-CPAC, 1996.
- ASSAD, M. L. L. Fauna do Solo. *In*: VARGAS, M. A .T.; HUNGRIA, M. (Ed.). **Biologia dos solos dos cerrados**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1997. p. 363-443.
- AYE, N. S., SALE, P. W., & TANG, C. The impact of long-term liming on soil organic carbon and aggregate stability in low-input acid soils. **Biology and Fertility of Soils**, Germany, v. 52, n. 5, p. 697-709, abr. 2016. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00374-016-1111-y>. Acesso em: 15 de abril de 2020.
- AZEVEDO, E. C. de. **Uso da geoestatística e de recursos de geoprocessamento no diagnóstico da degradação de um solo argiloso sob pastagem no estado de Mato Grosso**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.
- BARETTA, D., SANTOS, J. C. P., FIGUEIREDO, S. R., & KLAUBERG-FILHO, O. Efeito do monocultivo de pinus e da queima do campo nativo em atributos biológicos do solo no Planalto Sul Catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 715-724, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/ZDy7q3cr73xCYrs8qHbBQhL/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 15 de abril de 2020.

BATISTA, A. H. **Influência da calagem e adubação na acidez do solo e ciclagem de K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ em plantios de *Pinus taeda* L. no pólo florestal de Jaguariaíva-PR.** 2011. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

BÁRCENAS-MORENO, G., BÅÅTH E. Bacterial and fungal growth in soil heated at different temperatures to simulate a range of fire intensities. **Soil Biology and Biochemistry**, United Kingdom, v. 41, n. 12, p. 2517-2526, dez. 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038071709003368>.

Acesso em: 15 de abril de 2020.

BÁRCENAS-MORENO G, GÓMEZ-BRANDÓN M, ROUSK J, BÅÅTH E. Adaptation of soil microbial communities to temperature: comparison of fungi and bacteria in a laboratory experiment. **Global Change Biology**, United Kingdom, v. 15, n. 12, p. 2950-2957, nov. 2009. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2486.2009.01882.x>. Acesso em: 15 de abril de 2020.

BARREIRO, A., & DÍAZ-RAVIÑA, M. Fire impacts on soil microorganisms: Mass, activity, and diversity. **Current Opinion in Environmental Science & Health**, Netherlands, v. 22, p. 100264, ago. 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468584421000362>. Acesso em: 7 de outubro de 2022.

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., (eds.) **Relação solo-eucalipto**. Viçosa, Folha de Viçosa, 1990. p.127-186.

BATISTA, A. C. **AVALIAÇÃO DA QUEIMA CONTROLADA EM POVOAMENTOS DE *Pinus taeda* L. NO NORTE DO PARANÁ.** 1995. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1995.

BATISTA, A. H., MOTTA, A. C. V., REISSMANN, C. B., SCHNEIDER, T., MARTINS, I. L., & HASHIMOTO, M. Liming and fertilisation in *Pinus taeda* plantations with severe nutrient deficiency in savanna soils. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 37, p. 117-125, mar. 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asagr/a/yNVfWXw9xyWKyXbbCfHHCXt/abstract/?lang=en>.

Acesso em: 17 de agosto de 2022.

BRADY, H. O. **Natureza e propriedades dos solos**: compêndio universitário sobre edafologia. 5. ed. Rio de Janeiro, 1979. 647 p.

BRANDÃO, S. L.; LIMA, S. D. 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, jun. 2002. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/download/15294/8593/57969>. Acesso em: 15 de abril de 2020.

BRESSIANI, C. et al. Manual de Silvicultura: cultivo de florestas plantadas. **Boletim Didático**, Florianópolis, p. 71-71, fev. 2017. Disponível em: <https://publicacoes.epagri.sc.gov.br/BD/article/view/439>. Acesso em: 15 de abril de 2020.

BRUN, E. J. **Matéria orgânica do solo em plantios de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii* em duas regiões do rio grande do sul**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

CAIRES, E. F.; BANZATTO, D. A.; FONSECA, A. F. Calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 161-169, mar. 2000. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/z3kWyhzMMY3PdVXdBDmpp8h/abstract/?lang=pt>. Acesso: 16 de junho de 2022.

CAIRES, E. F., BARTH, G., GARBUIO, F. J., & KUSMAN, M. T. Correção da acidez do solo, crescimento radicular e nutrição do milho de acordo com a calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 26, p. 1011-1022, dez. 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/S5T8RYDzv3BQkwCqcc9zjbq/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 1 de setembro de 2022.

CANEI, A. D. et al. Atributos microbiológicos e estrutura de comunidades bacterianas como indicadores da qualidade do solo em plantios florestais na Mata Atlântica. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, p. 1405-1417, out./dez. 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cflo/a/HxzFb8L3DWYNPXv7Mmmh7Yb/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 15 de abril de 2020.

CARDOSO, E. L., CRISPIM, S. M. A., RODRIGUES, C. A. G., & BARIONI JÚNIOR, W. Efeitos da queima na dinâmica da biomassa aérea de um campo nativo no

Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 6, p. 747-752, jun. 2003. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/pab/a/K4q34T44Jdkq7KdWCqqGWhy/?lang=pt&format=html>.

Acesso em: 17 de abril de 2020.

CAVENAGE, A. et al. Alterações nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 4, p. 997-1003, dez. 1999. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/T86gscdkgv7DxjjGm66QbYm/?lang=pt&format=html>.

Acesso em: 9 de outubro de 2021.

CECHIN, N. F. **Compactação de dois argissolos na colheita florestal de *Pinus taeda* L.** Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

CEDDIA, M. B., ANJOS, L. H. C. D., LIMA, E., RAVELLI NETO, A., & SILVA, L. A. D. Sistemas de colheita da cana-de-açúcar e alterações nas propriedades físicas de um solo Podzólico Amarelo no Estado do Espírito Santo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, p. 1467-1473, ago. 1999. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/NXcHJGhSbFJgZ5SrGfxQbSx/>. Acesso em: 17 de abril de 2020.

CERTINI, G. Effects of fire on properties of forest soils: a review. **Oecologia**, Germany, v. 143, n. 1, p. 1-10, fev. 2005. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00442-004-1788-8>. Acesso em: 17 de abril de 2020.

CHAER, G. M., & TÓTOLA, M. R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 1381-1396, dez. 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/pwzJtXHCSQbZzcGHYmbtZyC/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 17 de abril de 2020.

CONCEIÇÃO, P. C. et. al. Componentes da matéria orgânica como indicadores de qualidade do solo. *In*: **Congresso brasileiro de ciência do solo**. Ribeirão Preto: Anais... SBCS, 2003. p. 1-4.

CORREA, J. C.; REICHARDT, K. Efeito do tempo de uso das pastagens sobre as propriedades de um Latossolo Amarelo da Amazônia Central. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, n.1, p.107-114. jan. 1995. Disponível em:

https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/AI-SEDE/19373/1/pab95_jan_14.pdf.

Acesso em: 03 de março de 2020.

CUI, X., GAO, F., SONG, J., SANG, Y., SUN, J., & DI, X. Changes in soil total organic carbon after an experimental fire in a cold temperate coniferous forest: A sequenced monitoring approach. **Geoderma**, Netherlands, v. 226, p. 260-269, ago. 2014. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016706114000780>. Acesso em: 24 de junho de 2022.

D'ANDRÉA, A. F., SILVA, M. L. N., CURI, N., & GUILHERME, L. R. G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 39, p. 179-186, fev. 2004. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/pab/a/PRDk83v9ySjWXgG7WkNh3jf/abstract/?lang=pt>.

Acesso em: 2 de abril de 2020.

DEBANO, L. F. The role of fire and soil heating on water repellency in wildland environments: A review. **Journal of Hydrology**, Netherlands, v. 231, p. 195-206, maio 2000. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169400001943>. Acesso em: 3 de maio de 2020.

DEDECEK, R. A., FIER, I. S. N., SPELTZ, R., & LIMA, L. D. S. Influência do sítio no desenvolvimento do *Pinus taeda* L. aos 22 anos: estado nutricional das plantas. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 2, abr./jun. 2008. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/314534>. Acesso em: 17 de abril de 2020.

DEL PINO, A., HENÁNDEZ, J., & ARRARTE, G. Nutrient Export with Logs, and Release from Residues, after Harvest of a *Pinus taeda* Plantation in Uruguay. **Open Journal of Forestry**, United States, v. 10, n. 03, p. 360, jun. 2020. Disponível em: https://www.scirp.org/html/5-1620657_100944.htm?pagespeed=noscript. Acesso em: 29 de setembro de 2022.

DELUCA, T. H., & ZOUHAR, K. L. Effects of selection harvest and prescribed fire on the soil nitrogen status of ponderosa pine forests. **Forest Ecology and Management**, Netherlands, v. 138, n. 1-3, p. 263-271, nov. 2000. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112700004011>. Acesso em: 29 de setembro de 2022.

DIECKOW, J., MIELNICZUK, J., KNICKER, H., BAYER, C., DICK, D. P., & KÖGEL-KNABNER, I. Composition of organic matter in a subtropical Acrisol as influenced by land use, cropping and N fertilization, assessed by CPMAS ¹³C NMR spectroscopy. **European Journal of Soil Science**, United Kingdom, v. 56, n. 6, p. 705-715, mar. 2005. Disponível em: <https://bsssjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2389.2005.00705.x>. Acesso em: 5 de março de 2020.

DICK, D. P., LEITE, S. B., DALMOLIN, R. S. D., ALMEIDA, H. C., & KNICKER, H. Pinus afforestation in South Brazilian high lands: soil chemical attributes and organic matter composition. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 68, p. 175-181, abr. 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sa/a/TFVgcNKQfBWW47pr4BWJzYj/abstract/?lang=en>. Acesso em: 12 de julho de 2022.

DIKICI H, YILMAZ C. H. Peat fire effects on some properties of an artificially drained peatland. **Journal of environmental quality**, United States, v. 35, n. 3, p. 866-870, maio 2006. Disponível em: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2134/jeq2005.0170>. Acesso em: 27 de setembro de 2022.

DURÁN, J., RODRÍGUEZ, A., FERNÁNDEZ-PALACIOS, J. M., & GALLARDO, A. Changes in net N mineralization rates and soil N and P pools in a pine forest wildfire chronosequence. **Biology and Fertility of Soils**, Germany, v. 45, n. 7, p. 781-788, jun. 2009. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00374-009-0389-4>. Acesso em: 4 de março de 2020.

FACHINI, L. **Frações e estoques de carbono orgânico em solo do planalto catarinense cultivado com pinus**. 2012. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2012.

FERNANDES, V. B. B. **A queima de campos nativos no planalto Catarinense, em especial no município de Lages: subsídios para uma proposta de gerenciamento ecológico**. 1997. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

FERNANDEZ I, CABANEIRO A, CARBALLAS T. Organic matter changes immediately after a wildfire in an Atlantic forest soil and comparison with laboratory

soil heating. **Soil biology and Biochemistry**, United Kingdom, v. 29, n. 1, p. 1-11, jan. 1997. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038071796002891>. Acesso em: 12 de fevereiro de 2022.

FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D. da; REISSMANN, C. B.; BELLOTE, A. F. J.; MARQUES, R. **Nutrição de *Pinus* no sul do brasil**. 1ª ed. Colombo: Embrapa Florestas, 2001.

FERREIRA, R. L. C.; MARIO-JR, A. L.; ROCHA, M. S.; SANTOS, M. V. F.; LIRA M. A.; BARRETO L. P. Deposição e acúmulo de matéria seca e nutrientes em serapilheira em um bosque de Sabiá (*Mimosa caesalpinifolia*Benth.). **Revista árvore**, Viçosa, v. 31, p. 7-12, fev. 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/mGpkzmLXjyTCskpLgLrdSfh/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 24 de maio de 2020.

FILHO, M. P. B., FAGERIA, N. K., & ZIMMERMANN, F. J. P. Atributos de fertilidade do solo e produtividade do feijoeiro e da soja influenciados pela calagem em superfície e incorporada. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, p. 507-514, jun. 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/LLMXP9HxFr64fdVZTzNYxhC/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 2 de fevereiro de 2022.

GAMA-RODRIGUES, E. F. D., BARROS, N. F. D., VIANA, A. P., & SANTOS, G. D. A. Alterações na biomassa e na atividade microbiana da serapilheira e do solo, em decorrência da substituição de cobertura florestal nativa por plantações de eucalipto, em diferentes sítios da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 32, p. 1489-1499, ago. 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/r5HGpwhSTJhWfyf3Nmrt7Bq/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 14 de março de 2020.

GARBUIO, F. J., JONES, D. L., ALLEONI, L. R., MURPHY, D. V., & CAIRES, E. F. Carbon and Nitrogen Dynamics in na Oxisol as Affected by Liming and Crop Residues under No-Till. **Soil Science Society of America Journal**, United States, v. 75, n. 5, p. 1723-1730, set. 2011. Disponível em: <https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2136/sssaj2010.0291>. Acesso em: 26 de março de 2022.

GATTO, A., BARROS, N. F. D., NOVAIS, R. F. D., COSTA, L. M. D., & NEVES, J. C. L. Efeito do método de preparo do solo, em área de reforma, nas suas

características, na composição mineral e na produtividade de plantações de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 635-646, out. 2003.

Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rarv/a/Mp7rppBPJvnMyQT8wncx8Lj/?lang=pt&format=html>.

Acesso em: 7 de junho de 2020.

GIDDENS, K. M., PARFITT, R. L., & PERCIVAL, H. J. Comparison of some soil properties under *Pinus radiata* and improved pasture. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, United Kingdom, v. 40, n. 3, p. 409-416, maio, 1997.

Disponível em:

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00288233.1997.9513262>. Acesso em: 9

de junho de 2020.

GIOVANNINI G., LUCCHESI S. S., GIACHETTI. Effect of heating on some physical and chemical parameters related to soil aggregation and erodibility. **Soil Science**, United States, v. 146, n. 4, p. 255-261, out. 1988. Disponível em:

https://journals.lww.com/soilsci/Abstract/1988/10000/Effect_of_Heating_on_Some_Physical_and_Chemical.6.aspx. Acesso em: 26 de janeiro de 2022.

GONÇALVES, J. L. M., MENDES, K. C. F. S., & SASAKI, C. M. Mineralização de nitrogênio em ecossistemas florestais naturais e implantados do estado de São Paulo. **R. Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 601-616, set. 2001. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/cPMTcprbw96Q8tS8Lm3s8SD/abstract/?lang=pt>.

Acesso em: 20 de abril de 2020.

GONÇALVES, J. L. M. Principais solos usados para plantações florestais. In: GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. p. 1-46.

GONZÁLEZ-PÉREZ, J. A., GONZÁLEZ-VILA, F. J., ALMENDROS, G., KNICKER, H. The effect of fire on soil organic matter – a review. **Environment International**, United Kingdom, v. 30, n. 6, p. 855-870, ago. 2004. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412004000376>. Acesso em:

6 de julho de 2020.

GRADY, K. C., & HART, S. C. Influences of thinning, prescribed burning, and wild fire on soil processes and properties in south western ponderosa pine forests: a retrospective study. **Forest Ecology and Management**, Netherlands, v. 234, n. 1-3,

p. 123-135, out. 2006. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S037811270600452X>. Acesso em: 26 de fevereiro de 2022.

GRANGED, A. J. P., ZAVALA, L. M., JORDÁN, A., BÁRCENAS-MORENO, G. Post-fire evolution of soil properties and vegetation cover in a Mediterranean heathland after experimental burning: A 3-year study. **Geoderma**, Netherlands, v. 164, n. 1-2, p. 85-94, ago. 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016706111001406>.

Acesso em: 15 de junho de 2020.

GRANHALL, U. Clear-cutting of a scots pine forest - effects on soil biology. In TELLER, A; MATHY, P; JEFFERS, J. N. R. (eds) **Responses of forest ecosystems to environmental changes**. Dordrecht: Springer, 1992. p. 797 – 799.

GRINSTEN, M. J., HEDLEY, M. J., WHITE, R., & NYE, P. H. Plant induced changes in the rhizosphere of rape (*Brassica napus* var. Emerald) seedlings. **New Phytologist**, United Kingdom, v. 91, p. 19-29, nov. 1982. Disponível em: <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1469-8137.1982.tb03291.x>.

Acesso em: 15 de agosto de 2020.

HERINGER, I., JACQUES, A. V. Á., BISSANI, C. A., & TEDESCO, M.. Características de um Latossolo Vermelho sob pastagem natural sujeita à ação prolongada do fogo e de práticas alternativas de manejo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 2, p. 309-314, abr. 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/4b5hKzRYqGJ5MNkq6GrmMhn/abstract/?lang=pt>.

Acesso em: 25 de agosto de 2020.

HOFF, D. N., SIMIONI, F. J. **O Setor de Base Florestal na Serra Catarinense**. 1. ed. Lages: Editora Uniplac, 2004. 254p .

HOLT, J. A.; BRISTOW, K. L.; McIVOR, J. G. The effects of grazing pressure on soil animals and hydraulic properties of two soils in semi-arid tropical Queensland. **Soil Research**, Australia, v. 34, p. 69-79. 1996. Disponível em: <https://www.publish.csiro.au/sr/SR9960069>. Acesso em: 5 de setembro de 2020.

HOULE D., DUCHESNE L., MOORE J. D., LAFLE`CHE M.R., OUI MET, R. Soil and tree-ring chemistry response to liming in a sugar maple stand. **Journal of environmental quality**, United States, v. 31, n. 6, p. 1993-2000, nov. 2002. Disponível em: <https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2134/jeq2002.1993>. Acesso em: 27 de março de 2022.

HWANG, J., & SON, Y. Short-term effects of thinning and liming on Forest soils of pitch pine and Japanese larch plantations in central Korea. **Ecological Research**, Japan, v. 21, n. 5, p. 671-680, abr. 2006. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11284-006-0170-1>. Acesso em: 16 de dezembro de 2021.

IBARR, M. A., DIECKOW, J., ZANATTA, J. A., RACHWAL, M. F. G., HIGA, R., & BREVILLIERI, R. C. Estoques de carbono e nitrogênio em Latossolo sob pinus com diferentes idades e ciclos de cultivo. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 35., 2015, Natal, RN. **Anais [...]**. Natal, RN: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015.

Jacques, A. V. A. A queima das pastagens naturais: efeitos sobre o solo e a vegetação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, p. 177-181, fev. 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/gNbwxwhPCQnxMdctWMQgBmM/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 27 de setembro de 2020.

KAMINSKI, J., SANTOS, D. R. D., GATIBONI, L. C., BRUNETTO, G., & SILVA, L. S. D. Eficiência da calagem superficial e incorporada precedendo o sistema plantio direto em um Argissolo sob pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 573-580, jul. 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/RSqvsNTby5JTvbs4HMg6v5d/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 30 de setembro de 2020.

KNICKER, H. How does fire affect the nature and stability of soil organic nitrogen and carbon? A review. **Biogeochemistry**, Netherlands, v. 85, n. 1, p. 91-118, mar. 2007. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10533-007-9104-4>. Acesso em: 14 de novembro de 2020.

KOOCH, Y., ZOGHI, Z. Comparison of soil fertility of *Acer insigne*, *Quercus castaneifolia*, and *Pinus brutia* stands in the Hyrcanian forests of Iran. *应用与环境生物学报*, v. 5, 2014. Disponível em: <https://www.cnki.com.cn/Article/CJFDTTotal-YYHS201405023.htm>. Acesso em: 24 de abril de 2022.

KREUTZER, K. Effects of forest liming on soil processes. *In*: NILSSON, O. L., HÜTTL, R. F., JOHANSSON, U. T., (eds) **Nutrient Uptake and Cycling in Forest Ecosystems**. Dordrecht: Springer, 1995. p. 447-470.

LAL, R., & BRUCE, J. P. The potential of world cropland soils to sequester C and mitigate the greenhouse effect. **Environmental Science & Policy**, Netherlands, v. 2,

n. 2, p. 177-185, maio 1999. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S146290119900012X>.

Acesso em: 19 de outubro de 2020.

LAVELLE, P.; PASHANASI, B. Soil macrofauna and land management in Peruvian Amazonia (Yurimaguas, Loreto). **Pedobiologia (Jena)**, Germany, v. 33, n. 5, p. 283-291, jan. 1989. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/292323300_Soil_macrofauna_and_land_management_in_Peruvian_Amazonia_Yurimaguas_Loreto. Acesso em: 15 de dezembro de 2020.

LEITE, L. F. C., MENDONÇA, E. S., NEVES, J. C. L., MACHADO, P. L. O. A., & GALVÃO, J. C. C. Estoques de carbono orgânico e seus compartimentos em Argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 821-832, out. 2003.

Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/nswMgCrTx5C583HxVmMJrpk/abstract/?lang=pt>.

Acesso em: 13 de janeiro de 2021.

LIPIEC, J., TARKIEWICZ, S., & KOSSOWSKI, J. Soil physical properties and growth of spring barley as related to the degree of compactness of two soils. **Soil & Tillage Research**, Netherlands, n. 19, p. 307-317, fev. 1991. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0167198791900981>. Acesso em: 21 de janeiro de 2021.

LISA, C., PAFFETTI, D., NOCENTINI, S., MARCHI, E., BOTTALICO, F., FIORENTINI, S., & TRAVAGLINI, D. Impact of wildfire on the edaphic microarthropod community in a *Pinus pinaster* forest in central Italy. **iForest-Biogeosciences and Forestry**, Italian, v. 8, n. 6, p. 874, maio 2015. Disponível em:

<http://www.sisef.it/iforest/contents/?id=ifor1404-008&v=abstr>. Acesso em: 3 de março de 2021.

LIU, F. TODA, H. HAIBARA, K. Effects of clear-cutting and burning on characteristics of nitrogen mineralization and microbes in the forest soil of a *Pinus massoniana* plantation in Southern China. **Springer Link**, 2001. Disponível em:
<<https://link.springer.com/article/10.1046/j.1440-1703.2001.00415.x>> Acesso em: 10 de junho de 2020.

LÓPEZ-MARCOS, D., MARTÍNEZ-RUIZ, C., TURRIÓN, M. B., JONARD, M., TITEUX, H., PONETTE, Q., & BRAVO, F. Soil carbon stocks and exchangeable

cations in monospecific and mixed pine forests. **European Journal of Forest Research**, Germany, v. 137, n. 6, p. 831-847, set. 2018. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10342-018-1143-y>. Acesso em: 27 de maio de 2022.

MADEIRA, M. A. V., ANDREAUX, F., & PORTAL, J. M. Changes in soil organic matter characteristics due to reforestation with *Eucalyptus globulus*, in Portugal. **Science of the total environment**, Netherlands, v. 81, p. 481-488, jun. 1989. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0048969789901575>. Acesso em: 7 de março de 2021.

MAFRA, Á. L., GUEDES, S. D. F. F., KLAUBERG FILHO, O., SANTOS, J. C. P., ALMEIDA, J. A. D., & ROSA, J. D. Carbono orgânico e atributos químicos do solo em áreas florestais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, p. 217-224, abr. 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/t9VtJfXnvynXDvST6dyxbVr/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 24 de junho de 2022.

MAIA, R. S., VASCONCELOS, S. S., CARVALHO, C. J. R. Impactos da remoção de serapilheira sobre a disponibilidade de nitrogênio e carbono orgânico no solo em floresta secundária na amazônia oriental. **Cadernos de Agroecologia**, Belém, v. 10, n. 3, out. 2015. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1046289>. Acesso em: 29 de março de 2021.

MALAVOLTA, E. **ABC da adubação**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979.

MEIRELLES, M. L. Efeito do fogo sobre a umidade do solo em area de campo sujo de cerrado.; Effect of fire on the soil humidity in a Campo Sujo of Cerrados. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 42, n. 7, p. 359-360, jul. 1990.

DE MELLO PRADO, R., & NATALE, W. Alterações na granulometria, grau de flocculação e propriedades químicas e de um Latossolo Vermelho distrófico, sob plantio direto e reflorestamento. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 25, n. 1, p. 45-52, abr. 2003. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/view/2344>. Acesso em: 12 de abril de 2021.

MEIWES K. J., MINDRUP, M., KHANNA, P. K. Retention of Ca and Mg in the forest floor of a spruce stand after application of various liming materials. **Forest ecology and management**, Netherlands, v. 159, n. 1-2, p. 27-36, abr. 2002. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112701007071>. Acesso em: 17 de março de 2022.

MELO, H. F. **Atributos físicos e carbono orgânico de um cambissolo háplico alumínico submetido a diferentes métodos de incorporação e doses de calcário**. 2020. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Setor de Ciências Agrárias e de Tecnologia, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2020.

MELLO, J. C. A.; VILLAS BÔAS, R. L.; LIMA, E. V.; CRUSCIOL, C. A. C.; BÜLL, L. T. Alterações nos atributos químicos de um latossolo distroférico decorrentes da granulometria e das doses de calcário em sistema plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 553-561, jun. 2003.

Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/hjgKMMMckTKfkV3PpvQrrNf/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 3 de abril de 2022.

MELO, J. T., & Resck, D. V. S. Efeito do reflorestamento com diferentes espécies sobre os atributos químicos em solo de cerrado. **Embrapa Cerrados. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, 164, Planaltina, 19 p.2006. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/570259>. Acesso em: 17 de dezembro de 2021.

MESQUITA, G. M., DOS SANTOS, F. C. V., & CORRECHEL, V. Efeito do fogo no comportamento e na variabilidade espacial dos atributos químicos do solo sob mata, no jardim botânico, Goiânia-GO. **Brazilian Journal of Development**, Brazil, v. 6, n. 11, p. 91253-91267, nov. 2020. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/20367>. Acesso em: 3 de julho de 2022.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F.M.; LOVATO, T.; FERNANDES, F.F. & DEBARBA, L. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. *In*: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A.S. & ALVAREZ V., V.H. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. p. 209-248.

MIROV, N. T. **The genus Pinus**. 1. ed. New York: The Ronald Press Company, 1967.

MOÇO, M. K. S., **ATRIBUTOS BIOLÓGICOS EM SOLO E SERAPILHEIRA SOB SISTEMAS AGROFLORESTAIS DE CACAU E OUTRAS COBERTURAS**

VEGETAIS. 2010. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2010.

MOODY, J. A., SHAKESBY, R. A., ROBICHAUD, P. R., CANNON, S. H., & MARTIN, D. A. Current research issues related to post-wildfire runoff and erosion processes. **Earth-Science Reviews**, Netherlands, v. 122, p. 10-37, jul. 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0012825213000536>.

Acesso em: 15 de dezembro de 2021.

MONTOYA, S.; MARTIN, G.; ORTEGA, E. Impact of prescribed burning on soil properties in a Mediterranean area (Granada, SW Spain). **Spanish Journal of Soil Science: SJSS**, Spain, v. 4, n. 1, p. 88-98, nov. 2014. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4736599>. Acesso em: 17 de dezembro de 2021.

MORAES, A.; LUSTOSA, S. B. C. Efeito do animal sobre as características do solo e a produção da pastagem. *In*: SIMPÓSIO SOBRE AVALIAÇÃO DE PASTAGENS COM ANIMAIS. MARINGÁ, v.2., 1997, Maringá, PR. **Anais [...] Maringá, PR: Universidade Estadual de Maringá, 1997.**

MORALES, C. A. S., ALBUQUERQUE, J. A., SAMPIETRO, J. A., MORALES, B. P., & DE ALMEIDA, J. A. Carbono orgânico e atributos químicos do solo em florestas de *Pinus taeda*. **Scientia Plena**, Sergipe, v. 8, n. 4 (b), jun. 2012. Disponível em: <https://scientiaplena.org.br/sp/article/view/1413>. Acesso em: 03 de janeiro de 2022.

MORETTO, S. P. O (re) florestamento e os incentivos para introdução da monocultura de *Pinus* spp no planalto de Santa Catarina, Brasil. **Historia Ambiental Latinoamericana y Caribeña (HALAC) revista de la Solcha**, v. 6, n. 2, p. 298-310, mar. 2016. Disponível em: <https://www.halacsolcha.org/index.php/halac/article/view/253>. Acesso em: 27 dez. 2022.

MULLER, M. M. L., GUIMARÃES, M. D. F., DESJARDINS, T., & MARTINS, P. F. D. S. Degradação das pastagens na Região Amazônica: propriedades físicas do solo e crescimento das raízes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, p. 1409-1418, nov. 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/MspmNXdcmKYfBTTrkk7FnphD/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 21 dez. 2021.

NAMBIAR, E. S. Sustained productivity of forests is a continuing challenge in soil science. **Soil Science Society of America Journal**, United States, v. 60, p. 1629-1642, nov./dez. 1996. Disponível em:

<https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssaj1996.03615995006000060006x>. Acesso em: 23 de dezembro de 2021.

NAMBIAR, E. S. BROWN, A. G. Towards sustained productivity of tropical plantations: science and practice. *In*: E. S. NAMBIAR AND A.G BROWN (Ed.). **Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forests**. Australian:Canberra, 1997. p. 527-557.

NETO, E. C. S., PEREIRA, M. G., FRADE, E. F., SILVA, S. B. D., CARVALHO, J. A. D., & SANTOS, J. C. D. Temporal evaluation of soil chemical attributes after slash-and-burn agriculture in the Western Brazilian Amazon. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 41, mar. 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asagr/a/d6n3CmrcdpBZGkknLGTMXVg/abstract/?lang=en>.

Acesso em: 27 de agosto de 2022.

NSABIMANA, D., HAYNES, R. J., & WALLIS, F. M. Size, activity and catabolic diversity of the soil microbial biomass as affected by land use. **Applied Soil Ecology**, Netherlands, v. 26, n. 2, p. 81-92, jun. 2004. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0929139303001859>.

Acesso em: 25 de janeiro de 2022.

OLSSON, B. A., GUEDES, B. S., DAHLIN, A. S., & HYVÖNEN, R. Predicted long-term effects of decomposition of leaf litter from *Pinus taeda*, *Eucalyptus cloeziana* and deciduous miombo trees on soil carbon stocks. **Global Ecology and Conservation**, v. 17, p. e00587, jan. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351989418304372>. Acesso em: 2 fev. 2023.

OLSSON, B. A., STAAF, H., LUNDKVIST, H., BENGTSSON, J., & KAJ, R. Carbon and nitrogen in coniferous forest soils after clear-felling and harvests of different intensity. **Forest ecology and management**, Netherlands, v. 82, n. 1-3, p. 19-32, abr. 1996. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0378112795036970>. Acesso em: 1 de junho de 2020.

PÁDUA, T. R. P. D., SILVA, C. A., & MELO, L. C. A. Calagem em latossolo sob influência de coberturas vegetais: neutralização da acidez. **Revista Brasileira de**

Ciência do Solo, Viçosa, v. 30, n. 5, p. 869-878, out. 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/NGyXLzXFmfCjYHB4jKjH5fH/abstract/?lang=pt>.

Acesso em: 09 de janeiro de 2022.

PANDOLFO, C.; BRAGA, H. J.; SILVA J. R. V. P. da; MASSIGNAM, A. M., PEREIRA, E. S.; THOMÉ, V. M. R.; VALCI, F.V. **Atlas climatológico digital do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2002. CD-Rom

PARECIDO, R. J., SORATTO, R. P., PERDONÁ, M. J., GITARI, H. I., DOGNANI, V., SANTOS, A. R., & SILVEIRA, L. Liming method and rate effects on soil acidity and *Arabica coffee* nutrition, growth, and yield. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, Chile, v. 21, n. 4, p. 2613-2625, jul. 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42729-021-00550-9>. Acesso em: 2 de setembro de 2022.

PARK H., YOO J. H., LEE C. H., BYUN J. K., KIM Y. K. Effects of liming and fertilization on forest soil chemical properties, bacterial population and soil enzyme activities. **FRI J For Sci**, v. 58, p. 178-183, 1998.

PEREIRA, P., ÚBEDA, X., MARTIN, D., MATAIX-SOLERA, J., & GUERRERO, C. Effects of a low severity prescribed fire on water-soluble elements in ash from a cork oak (*Quercus suber*) forest located in the northeast of the Iberian Peninsula. **Environmental Research**, United States, v. 111, n. 2, p. 237-247, fev. 2011. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013935110001441>.

Acesso em: 02 de fevereiro de 2022.

PICCOLO, A. Humus and soil conservation. In: PICCOLO, A. (Ed.) **HUMIC SUBSTANCES IN TERRESTRIAL ECOSYSTEMS**. Amsterdam: Elsevier Science B. V., 1996. p. 225-264.

PIIRAINEN, S., FINÉR, L., MANNERKOSKI, H., & STARR, M. Effects of forest clear-cutting on the carbon and nitrogen fluxes through podzolic soil horizons. **Plant and Soil**, Netherlands, v. 239, n. 2, p. 301-311, fev. 2002. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1015031718162>. Acesso em: 1 de junho de 2020.

PIIRAINEN, S., FINÉR, L., MANNERKOSKI, H., & STARR, M. Effects of forest clear-cutting on the sulphur, phosphorus and base cations fluxes through podzolic soil horizons. **Biogeochemistry**, Netherlands, v. 69, n. 3, p. 405-424, jul. 2004. Disponível em:

<https://link.springer.com/article/10.1023/B:BIOG.0000031061.80421.1b>. Acesso em: 1 de junho de 2020.

PRESSLER, Y., MOORE, J. C., & COTRUFO, M. F. Belowground community responses to fire: meta-analysis reveals contrasting responses of soil microorganisms and mesofauna. **Oikos**, Switzerland, v. 128, n. 3, p. 309-327, set. 2019. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/oik.05738>. Acesso em: 5 de outubro de 2022.

RAIJ, B.V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1991. 343 p.

RANGEL, O. J. P., & SILVA, C. A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 1609-1623, dez. 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/5yDMRDk5mBCzvvWV9jH37rt/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 15 de fevereiro de 2022.

REDIN, M., SANTOS, G. D. F. D., MIGUEL, P., DENEGA, G. L., LUPATINI, M., DONEDA, A., & SOUZA, E. L. D. Impactos da queima sobre atributos químicos, físicos e biológicos do solo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, p. 381-392, abr./jun. 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cflo/a/jkprVJMw5mKbKjd9G4xyQ4p/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 21 de fevereiro de 2021.

REISSMANN, C. B., & WISNIEWSKI, C. Aspectos nutricionais de plantios de Pinus. In: GONÇALVES, J. L. D. M., & BENEDETTI, V. **Nutrição e Fertilização Florestal**. PIRACICABA: IPEF, 2000. p. 135-165.

RESENDE, M.; CURI, N. & SANTANA, D.P. **Pedologia e fertilidade do solo: Interações e aplicações**. 1. ed. Brasília: MEC/ESAL/POTAFOS, 1988.

REISSMANN, C. B.; ZÖTTL, H. W. Problemas nutricionais em povoamentos de *Pinus taeda* em áreas do arenito da formação Rio Bonito-Grupo Guatá. **Revista Ciência Agrária**, v. 9, n. 1, p. 75-80, 1987.

RHEINHEIMER, D. D. S., SANTOS, J. C. P., FERNANDES, V. B. B., MAFRA, Á. L., & ALMEIDA, J. A. Modificações nos atributos químicos de solo sob campo nativo submetido à queima. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, p. 49-55, fev. 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/NtcWLfnJxsrwVssRnFX6LHQ/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 17 de novembro de 2021.

RIBEIRO, F. Nitrogênio mineral em solos sob florestas plantadas e vegetação nativa do Cerrado. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 35., 2015, Natal, RN. Anais [...] Natal, RN: SBCS, 2015.

RICHARDSON, D.M.; BOND, W.J. Determinants of plant distribution: evidence from pine invasions. **The American Naturalist**, Chicago, v. 137, n. 5, p. 639-668, maio 1991. Disponível em: <https://www.journals.uchicago.edu/doi/abs/10.1086/285186>. Acesso em: 14 de março de 2022.

ROTTERS, D. F. **Carbono e Nitrogênio no cultivo de pinus em Cambissolo Húmico no Planalto Catarinense**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2016.

SALAMI, G., SILVA D. E., MIQUELLUTI, D., & CAMPOS, M. L. Soil Attributes Related to Natural Succession in a Permanent Preservation Area—A Study for Brazilian Atlantic Forests. **Journal of Experimental Agriculture International**, United Kingdom, v. 24., n. 2., p. 1-16., jun. 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/326062721_Soil_Attributes_Related_to_Natural_Succession_in_a_Permanent_Preservation_Area-_A_Study_for_Brazilian_Atlantic_Forests. Acesso em: 23 de agosto de 2022.

SANTOS, A. C., SILVA, I. F., LIMA, J. R. S., ANDRADE, A. P., & CAVALCANTE, V. R. Gramíneas e leguminosas na recuperação de áreas degradadas: efeito nas características químicas de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 1063-1071, dez. 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/XYhVQx7zWknKTy9RfJ6VjbF/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 29 de setembro de 2022.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: EMBRAPA, 2013. 20p.

SEIXAS, F. Potencial de danos dos sistemas de colheita de madeira no solo e nas cepas. **Série Técnica do IPEF**, Piracicaba, n. 30, p. 63-78, maio 1997. Disponível em: <https://www.ipef.br/biblioteca/busca.asp>. Acesso em: 13 de maio de 2020.

SHAKESBY, R. A., & DOERR, S. H. Wildfire as a hydrological and geomorphological agent. **Earth-Science Reviews**, Netherlands, v. 74, n. 3-4, p. 269-307, fev. 2006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0012825205001467>. Acesso em: 26 de setembro de 2021.

SHIMIZU., J. Y. & SEBBENN., A. M. Espécies de Pinus na silvicultura brasileira. *In*: SHIMIZU., J. Y., (ed.). **Pinus nasilviculturabrasileira**. Colombo: EmbrapaFlorestas, 2008. p. 49-74.

SCHOENHOLTZ, S. H., VAN MIEGROET, H., & BURGER, J. A. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. **Forest ecology and management**, Netherlands, v. 138, n. 1-3, p. 335-356, nov.2000. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112700004230>. Acesso: 04 de outubro de 2020.

SCHONINGER, E. L., LANGE, A., SILVA, A. F., LEMKE, A. F., MONTEIRO, S., & SILVA, J. A. N. Atributos químicos do solo e produtividade da cultura de soja em área de semeadura direta após calagem superficial. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 1, p. 1253-1262, set. 2010. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/4457/445744099015.pdf>. Acesso em: 19 de outubro de 2022.

SIKSTRÖM, U. Effects of liming and fertilization (N, P, K) on stem growth, crown transparency, and needle element concentrations of *Picea abies* stands in south western Sweden. **Canadian Journal of Forest Research**, Canada, v. 32, n. 10, p. 1717-1727, out. 2002. Disponível em: <https://cdnsiencepub.com/doi/abs/10.1139/x02-094>. Acesso em: 6 de outubro de 2022.

SILVA, I.R.; SMYTH, T.J.; BARROS, N.F. & NOVAIS, R.F. Physiological aspect of aluminum toxicity and tolerance in plants. *In*: ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W. & COSTA, L.M. (eds.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. p.277-335.

SILVA, L. G. D., MENDES, I. D. C., REIS JUNIOR, F. B., FERNANDES, M. F., MELO, J. T. D., & KATO, E. Atributo físicos, químicos e biológicos de um Latossolo de Cerrado sob plantio de espécies florestais. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 44, p. 613-620, jun. 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/sQwZvSrJyLPKKsrr7mmqbRp/?format=html>. Acesso em: 09 de setembro de 2021.

SILVA, C. A., & MACHADO, P. D. A. Sequestro e emissão de carbono em ecossistemas agrícolas: estratégias para o aumento dos estoques de matéria

- orgânica em solos tropicais. **Embrapa Solos**, Rio de Janeiro, Documentos, nov. 2000. Disponível em: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=BR20001336828>. Acesso em: 15 de dezembro de 2020.
- SIMON, C. A. et al. Efeitos da queima de resíduos do solo sob atributos químicos de um latossolo vermelho distrófico do cerrado. **Nativa**, Cuiabá, v. 4, n. 4, p. 217-221, ago. 2016. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/3266>. Acesso em: 29 de setembro de 2022.
- SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004.
- SOUSA, L. A. S., GALVÃO, J. R., PACHECO, M. J. B., DA SILVA VASCONCELOS, G., & DE SOUSA, A. C. Chemical attributes of soil in agroforestry systems is conditioned by the management system adopted. **Research, Society and Development**, Itajubá, v. 9, n. 10, p. e7849108814-e7849108814, nov. 2020. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/8814>. Acesso em: 4 de outubro de 2022.
- STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. 2. ed. United States: John Wiley & Sons, 1994.
- MELLO, W.V.; COSTA, L.M. (eds.). **Tópicos em ciência do solo**. 2. ed. Viçosa: SBCS, 2002.
- SOARES, R. V. Novas tendências no controle de incêndios florestais. **Floresta**, Curitiba, v. 30, n. 1/2, 2000. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/2363/1975>. Acesso em: 17 de novembro de 2020.
- SOJKA, R. E. Stomatal closure in oxygen-stressed plants. **Soil Science**, United States, v. 154, p. 269-280, jun. 1992. Disponível em: <https://eprints.nwisrl.ars.usda.gov/id/eprint/588/1/787.pdf>. Acesso em: 19 de outubro de 2020.
- SOUZA MOREIRA, F. M., & SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2006.
- STEPNIEWSKI, W. et al. Effects of compaction on soil aeration properties. *In*: SOANE, B. D.; OUWERKERK, C. (eds). **Soil Compaction in Crop Production**. Amsterdam: Elsevier, 1994. p.167-189.

STOIN, R; BIN, K. B; THOMPSON, L. F. Changes in forest soils following clearcutting of pine forests in the Ouachita Mountains of Arkansas. **Journal of the Arkansas Academy of Science**, United States, v. 39, n. 1, p. 116-119, 1985. Disponível em:

<https://scholarworks.uark.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2460&context=jaas>.

Acesso em: 12 de maio de 2020.

SZYMCZAK, D. A., BRUN, E. J., REINERT, D. J., FRIGOTTO, T., MAZZALIRA, C. C., DAL'COL LUCIO, A., & MARAFIGA, J. Compactação do solo causada por tratores florestais na colheita de *Pinus taeda* L. na região sudoeste do Paraná. **Revista Árvore**, Viçosa, vol.38, n.4, p.641-648, ago. 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/hgPZwD59b9fdgB86b4ycNHk/abstract/?lang=pt>.

Acesso em: 26 de outubro de 2020.

TEDESCO, M. J. et al. **Análises de solos, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 170 p.

TEDESCO, M. J. et al (eds). COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO, CQFS-RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10ª ed. Porto Alegre: SBCS, 2004.

TEIXEIRA, P. C. et al., (eds). **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília: EMBRAPA, 2017. 574 p.

TIRITAN, C. S., BÜLL, L. T., CRUSCIOL, C. A., CARMEIS, A. C. F., FERNANDES, D. M., & NASCENTE, A. S. Tillage system and lime application in a tropical region: Soil chemical fertility and corn yield in succession to degraded pastures. **Soil and Tillage Research**, Netherlands, v. 155, p. 437-447, jan. 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198715001294>. Acesso em: 12 de setembro de 2022.

TISSI, J. A; CAIRES, E. F; PAULETTI, V. Efeitos da calagem em semeadura direta de milho. **Bragantia**, Campinas, v. 63, p. 405-413, dez. 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/R5DM4ZK4FDmCvhzXspRpTqm/abstract/?lang=pt>.

Acesso em: 21 de agosto de 2021.

TOMASI, C. A., INDA, A. V., DICK, D. P., BISSANI, C. A., & FINK, J. R. Atributos químicos e área superficial específica em Latossolo subtropical de altitude sob usos e manejos distintos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, p. 2172-2179, dez. 2012. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/cr/a/PxnP8WnY73Hc3RwmnM5gQqh/abstract/?lang=pt>.

Acesso em: 22 de julho de 2022.

ÚBEDA, X; MATAIX-SOLERA, J. Fire effects on soil properties: A key issue in forest ecosystems. **Catena**, Netherlands, v. 3, n. 74, p. 175-176, ago. 2008. Disponível em: <https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.elsevier-06194155-6c9f-3316-a7df-3188b51b0ef2>. Acesso em: 15 de agosto de 2021.

ULERY, A. L.; GRAHAM, R. C.; AMRHEIN, C. Wood ash composition and soil pH following intense burning. **Soil science**, United States, v. 156, n. 5, p. 358-364, nov. 1993. Disponível em:

https://journals.lww.com/soilsci/Abstract/1993/11000/WOOD_ASH_COMPOSITION_AND_SOIL_PH_FOLLOWING_INTENSE.8.aspx. Acesso em: 14 de junho de 2021.

VEZZANI, F. M. & MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista brasileira de ciência do solo**, Viçosa, ago. v. 33, p. 743-755, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/rSb9bsbsgjBqw4t9b9jrDBC/?format=html&stop=previous&lang=pt>. Acesso em: 17 de dezembro de 2020.

ULERY A. L., GRAHAM R. C., CHADWICK O. A., WOOD H. B. Decade-scale changes of soil carbon, nitrogen and exchangeable cations under chaparral and pine. **Geoderma**, Netherlands, v. 65, n. 1-2, p. 121-134, fev. 1995. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0016706194000348>. Acesso em: 17 de dezembro de 2020.

UTSET, A.; CID, G. Soil penetrometer resistance spatial variability in a Ferralsol at several soil moisture conditions. **Soil Tillage Research**, Netherlands, Oxford, v. 61, n. 3-4, p. 193-202, set. 2001. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198701002045>. Acesso em: 30 de setembro de 2021.

VIEIRA, A. C. **Efeito da queimada sobre Atributos Físico, Químicos e Microbiológicos do solo em Área de Pastagem, no sul de Minas Gerais**. 2016. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2016.

WANG, X., TANG, C., BALDOCK, J. A., BUTTERLY, C. R., & GAZEY, C. Long-term effect of lime application on the chemical composition of soil organic carbon in acid soils varying in texture and liming history. **Biology and Fertility of Soils**, Germany, v. 52, n. 3, p. 295-306, nov. 2016. Disponível em:

<https://link.springer.com/article/10.1007/s00374-015-1076-2>. Acesso em: 29 de setembro de 2021.

WEI, X., WATERHOUSE, M. J., QI, G., & WU, J. Long-term logging residue loading affects tree growth but not soil nutrients in *Pinus contorta* Dougl. ex Loud. forests. **Annals of Forest Science**, French, v. 77, n. 2, p. 1-10, jun. 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13595-020-00968-8>. Acesso: 20 de outubro de 2022.

YOO J. H., BYUN J. K., KIM C., LEE C. H., KIM Y. K., LEE W. K. Effects of lime, magnesium sulfate, and compound fertilizers on soil chemical properties of acidified forest soils. **Journal of Korean Society of Forest Science**, Korea, v. 87, n. 3, p. 341-346, 1998. Disponível em: <https://koreascience.kr/article/JAKO199816247607113.page>. Acesso em: 4 de janeiro de 2022.

ZALBA, S. M., CUEVAS, Y. A., & BOÓ, R. M. Invasion of *Pinus halepensis* Mill. following a wildfire in an Argentine grassland nature reserve. **Journal of Environmental Management**, United States, v. 88, n. 3, p. 539-546, ago. 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479707001193>. Acesso em: 22 de julho de 2021.

ZANATTA, J. A. et al. Estoques de carbono e nitrogênio em solos florestais e agrícolas na região de Caçador, SC. **Embrapa Florestas-Documentos (INFOTECA-E)**, Colombo, out. 2013. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/974710/1/Doc.256.pdf>. Acesso em: 13 de janeiro de 2021.

ZINN, Y. L., LAL, R., & RESCK, D. V. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. **Soil and Tillage Research**, Netherlands, v. 84, n. 1, p. 28-40, nov. 2005. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198704001862>. Acesso em: 27 de outubro de 2020.