

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CAMPUS DE CURITIBANOS  
DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA, BIODIVERSIDADE E FLORESTAS  
CURSO DE AGRONOMIA

Marcos Alex Magagnin

**Mineralização e imobilização de nitrogênio em Neossolo e Cambissolo após adição de cinzas e resíduos culturais de soja e milho**

Curitibanos, SC

2023

Marcos Alex Magagnin

**Mineralização e imobilização do nitrogênio em Neossolo e Cambissolo após adição de cinzas e resíduos culturais de soja e milho**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Agronomia do Centro de Ciências Rurais, Campus Curitibanos da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito para obtenção do Título de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Douglas Adams Weiler

Curitibanos, SC

2023

Magagnin, Marcos Alex

Mineralização e imobilização de nitrogênio em Neossolo e Cambissolo após adição de cinzas e resíduos culturais de soja e milho / Marcos Alex Magagnin ; orientador, Douglas Adams Weiler, 2023.

40 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Curitibanos, Graduação em Agronomia, Curitibanos, 2023.

Inclui referências.

1. Agronomia. 2. Cinzas; mineralização; imobilização; carbono/nitrogênio; soja; milho . I. Weiler, Douglas Adams . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Agronomia. III. Título.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
**Coordenação do Curso de Graduação em Agronomia**  
Rodovia Ulysses Gaboardi Km3  
CP: 101 CEP: 89520-000 - Curitibanos - SC  
TELEFONE (048) 3721-4174 E-mail: agronomia.cbs@contato.ufsc.br.

---

MARCOS ALEX MAGAGNIN

**Mineralização e imobilização de nitrogênio em Neossolo e Cambissolo após a adição de cinzas e resíduos culturais de soja e milho**

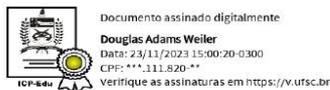
Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheiro Agrônomo, e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Agronomia.

Curitibanos, 08 de novembro de 2023.

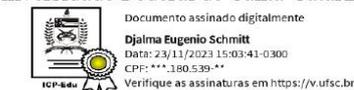
---

Prof. Dr. Douglas Adams Weiler  
Coordenador do Curso

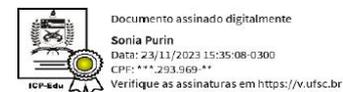
Banca Examinadora:



Prof. Dr. Douglas Adams Weiler  
Orientador  
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Dr. Djalma Eugênio Schmitt  
Membro da banca examinadora  
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Dra. Sonia Purin da Cruz  
Membro da banca examinadora  
Universidade Federal de Santa Catarina

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer à Deus, por me guiar em toda minha vida;

Agradeço aos meus tios, Ivo e Erony, e a minha prima Rosângela pelo enorme suporte;

Ao meu pai, Elidio e sua esposa Fátima, pelos conselhos e amor;

Ao meu orientador e amigo professor Douglas Adams Weiller, por sempre me estender a mão em momentos de necessidade e me orientar sempre pelo melhor caminho;

Agradeço aos meus colegas Victoria Cozer e Hellycson Dias Barros pela amizade e ajuda nas análises;

Aos técnicos do laboratório Cláudio da Cunha Torres Júnior, Natan Glauber Filippi e a assistente de laboratório Ketlin Schneider;

Gostaria de agradecer à Scheila Terezinha da Silva Paes por sempre me acompanhar e me auxiliar na produção desse trabalho, e por estar ao meu lado nos momentos mais difíceis da minha vida.

Gostaria de agradecer especialmente a minha mãe Maria Salete De Campo Magagnin, por me ensinar a amar, e por todo sacrifício para me proporcionar esse momento, espero que você esteja orgulhosa ai do céu.

A todos vocês, meu muito obrigado!

## RESUMO

A cinza é um subproduto proveniente da queima de biomassa vegetal, esse subproduto pode conter potencial de uso como complemento a calagem e fertilizante. Conciliado a esse fator, seu uso pode representar uma alternativa viável de destinação impedindo que o seu acúmulo torne-o um passivo florestal problemático. Atualmente existe carência de estudos relacionados a mineralização e imobilização do nitrogênio no solo após a adição do subproduto. Diante disso, o presente trabalho buscou avaliar a mineralização e imobilização do nitrogênio após a adição de cinzas e resíduos culturais de soja e milho em dois tipos de solos, sendo eles, um Cambissolo Háplico proveniente da cidade de Curitiba SC e um Neossolo Quartzarênico proveniente da cidade de Florianópolis SC. Os solos receberam adição de resíduos culturais de soja e milho em equivalência a 5 Mg ha<sup>-1</sup> (0,245 g por pote), e quantidades de cinzas equivalentes a 10 Mg cinzas ha<sup>-1</sup> (0,49 g por pote), durante 60 dias de incubação. Os tratamentos foram divididos em T1 Cambissolo; T2 Cambissolo + soja; T3 Cambissolo + soja + cinzas; T4 Cambissolo + milho; T5 Cambissolo + milho + cinzas; T6 Neossolo; T7 Neossolo + soja; T8 Neossolo + soja + cinzas; T9 Neossolo + milho; T10 Neossolo + milho + cinzas. Posteriormente as amostras receberam 50 ml de KCl (2 mol L<sup>-1</sup>), e foram agitadas para extração do sobrenadante e determinação de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. O delineamento experimental utilizado foi DIC e as médias dos resultados foram comparadas utilizando contrastes ortogonais. O resultado demonstrou que resíduos com relação C/N baixa aumentam o conteúdo de N mineralizado e a adição de resíduos com relação C/N alta favorecem a imobilização de N, em especial para NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. A adição de cinzas apresenta diferença a um nível significativo para maior conteúdo de N mineralizado em algumas datas, todavia não apresenta diferença a um nível significativo para imobilização de N em nenhuma data avaliada.

**Palavras-chave:** Cinzas; mineralização; imobilização; carbono/nitrogênio; soja; milho

## ABSTRACT

Ash is a by-product from the burning of plant biomass, this by-product may have potential for use as a complement to liming and fertilizer. Combined with this factor, its use can represent a viable alternative for disposal, preventing its accumulation from turning it into a problematic forestry liability. Currently, there is a lack of studies related to the mineralization and immobilization of nitrogen in the soil after the addition of the byproduct. Therefore, the present work sought to evaluate the mineralization and immobilization of nitrogen after the addition of ash and crop residues from soybeans and corn in two types of soils, namely, a Haplic Cambisol from the city of Curitiba SC and a Quartzarenic Neossolo from the city of Florianópolis SC. The soils received the addition of soybean and corn crop residues equivalent to 5 Mg ha<sup>-1</sup> (0.245 g per pot), and amounts of ash equivalent to 10 Mg ash ha<sup>-1</sup> (0.49 g per pot), for 60 days of incubation. The treatments were divided into T1 Cambisol; T2 Cambisol + soybeans; T3 Cambisol + soybean + ash; T4 Cambisol + corn; T5 Cambisol + corn + ash; T6 Neossolo; T7 Neosol + soybeans; T8 Neosol + soy + ash; T9 Neosol + corn; T10 Neosol + corn + ash. Subsequently, the samples received 50 ml of KCl (2 mol L<sup>-1</sup>), and were shaken to extract the supernatant and determine NH<sub>4</sub><sup>+</sup> and NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. The experimental design used was DIC and the mean results were compared using orthogonal contrasts. The result demonstrated that waste with a low C/N ratio increases the mineralized N content and the addition of waste with a high C/N ratio favors N immobilization, especially for NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. The addition of ash presents a significant difference for higher mineralized N content on some dates, however it does not present a significant difference for N immobilization on any evaluated date.

**Keywords:** Ash; mineralization; immobilization; carbon/nitrogen, soybean; corn

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Conteúdos de $\text{NH}_4^+$ , $\text{NO}_3^-$ mineralizados e a soma de $\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$ no Cambissolo durante 60 dias de incubação.....	28
Figura 2 - Conteúdos de $\text{NH}_4^+$ , $\text{NO}_3^-$ mineralizados e a soma de $\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$ no Neossolo durante 60 dias de incubação.....	31
Figura 3 – Imobilização de $\text{NH}_4^+$ , $\text{NO}_3^-$ e N total no Cambissolo demonstrada pelos saldos negativos feita pela diferença dos tratamentos com resíduos menos o tratamento sem resíduos .....	33
Figura 4 - Imobilização de $\text{NH}_4^+$ , $\text{NO}_3^-$ e N total no Neossolo demonstrada pelos saldos negativos feita pela diferença dos tratamentos com resíduos menos o tratamento sem resíduos .....	35

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização físico-química dos solos utilizados na incubação.....	21
Tabela 2 - Composição química da cinza de indústria madeireira utilizada na incubação. ....	23
Tabela 3 - Resultado da análise de variância (ANOVA) demonstrando os efeitos de solo, resíduos e da interação solo x resíduo para o conteúdo de N inorgânico no solo. ....	26
Tabela 4 – Análise de interações entre os contrastes para os tratamentos combinando resíduos vegetais e cinzas em Cambissolo.....	27
Tabela 5 - Análise de interações entre os contrastes para os tratamentos combinando resíduos vegetais e cinzas em Neossolo .....	29
Tabela 6 - Análise de contrastes para os tratamentos combinando resíduos vegetais e cinzas em Cambissolo e Neossolo.....	32

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

N Nitrogênio

C Carbono

K<sup>+</sup> Potássio

Mg<sup>+2</sup> Magnésio trocável

Ca<sup>+2</sup> Cálcio trocável

NH<sub>4</sub><sup>+</sup> Amônio

NO<sub>3</sub><sup>-</sup> Nitrato

N<sub>2</sub>O Óxido nitroso

CO<sub>2</sub> Dióxido de carbono

O<sub>2</sub> Oxigênio

MO Matéria Orgânica

MNO<sub>r</sub> Mineralização de nitrogênio no solo

C/N Carbono/Nitrogênio

pH Potencial de hidrogênio

H<sup>+</sup>/Al Acidez potencial

Al<sup>+3</sup> Alumínio trocável

g Grama

SPD Sistema de plantio direto

ha<sup>-1</sup> Hectare

mm Milímetro

cm Centímetro

cm<sup>3</sup> Centímetros cúbicos

μm Micra (micrometro)

mol L<sup>-1</sup> Mol por litro

MgO Óxido de magnésio

KCl Cloreto de potássio

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1	OBJETIVOS .....	14
1.1.1	Objetivo geral.....	14
1.1.2	Objetivos específicos.....	14
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>15</b>
2.1.	MINERALIZAÇÃO DO NITROGÊNIO NO SOLO .....	15
2.2.	IMOBILIZAÇÃO DE NITROGÊNIO NO SOLO.....	16
2.3.	EFEITO DA APLICAÇÃO DE CINZAS NO SOLO SOBRE A DISPONIBILIDADE DE NITROGÊNIO .....	18
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>21</b>
3.1.	COLETA E CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS .....	21
3.2.	INCUBAÇÃO .....	22
3.3.	COLETA E CARACTERIZAÇÃO DAS CINZAS .....	22
3.4.	CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS CULTURAIS .....	23
3.5.	DETERMINAÇÃO DE $\text{NH}_4^+$ E $\text{NO}_3^-$ .....	23
3.6.	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	24
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>26</b>
4.1.	EFEITO DA ADIÇÃO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS NA DISPONIBILIDADE DE N INORGÂNICO NO SOLO .....	26
4.2.	CONTEÚDO DE $\text{NH}_4^+$ E $\text{NO}_3^-$ NOS SOLOS .....	26
4.3.	IMOBILIZAÇÃO DE N NO SOLO .....	32
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>36</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>37</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente existe esforços em estudar a viabilidade do uso das cinzas como insumo agrícola e florestal tendo em vista seu potencial de utilização como complemento a calagem e como fertilizante, dessa forma, seu uso pode representar economia para os produtores. Conciliado a esse fator, outro ponto benéfico é a destinação correta para o subproduto, que por muitas vezes pode se tornar um passivo florestal problemático devido as industriais gerar toneladas desse subproduto por mês, criando grande volume acumulado, podendo trazer potencial de contaminação do solo e da água quando não é administrado de forma criteriosa (Piva *et al.*, 2014).

As cinzas são provenientes da queima por incineração de biomassa vegetal, como: cavacos, casca, galhos, feno, serragem, troncos de árvores, briquetes, entre outros (Coelho; Costa, 2007), todavia, mesmo após a incineração o subproduto pode conter quantidades de nutrientes que são demandados pelas plantas, como: fósforo, cálcio, potássio, magnésio, cobre, enxofre, além da capacidade de eliminar elementos tóxicos para o desenvolvimento das culturas (H+Al) (Bonfim-Silva, 2013). Diante desses fatores, a cinza tem grande potencial de uso como complemento a calagem e fertilizante, podendo representar facilitações na gestão sustentável do resíduo (Vestergard *et al.*, 2018).

Nesse contexto, um dos fatores de total impacto nas características físicas e químicas das cinzas é a sua forma de produção. A temperatura de queima da biomassa para produção do resíduo pode chegar acima de 800°C. Dessa forma, todo ou quase todo nitrogênio (N) volatiliza durante o processo de queima, podendo conferir às cinzas alta relação C/N (Tan; Lagerkvist, 2011). Segundo Monteiro *et al.*, (2002), materiais orgânicos com relação C/N alta, tem um grande potencial de mudança nas taxas de mineralização e imobilização líquida de N no solo, podendo causar deficiência do nutriente para as culturas por um determinado tempo. Assim, a disposição de cinzas oriundas da queima de biomassa vegetal pode causar imobilização temporária de N no solo, restringindo a absorção de N e, conseqüentemente, o desenvolvimento das plantas.

Pelo fato das cinzas serem originárias de matérias primas distintas, sua composição é amplamente variada, podendo mudar os efeitos no solo e nas plantas. Todavia, existe carência de estudos sobre os variados efeitos na dinâmica dos nutrientes no solo, especialmente para os conteúdos de mineralização e imobilização de N (Vestergard *et al.*, 2018). O N é um macro nutriente essencial para o desenvolvimento das culturas e a sua deficiência pode representar

fator limitante de crescimento. A sua forma predominante no solo é orgânica, mas também está presente na forma mineral, como amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) dissolvidos na solução do solo.

Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo estudar os conteúdos de mineralização e imobilização de nitrogênio em um Cambissolo Húmico e um Neossolo Quartzarênico, após adição de cinzas e resíduos de biomassa de soja que contem relação C/N baixa, e milho que contem relação C/N alta, e dessa forma entender a capacidade de mudança nas taxas de imobilização e mineralização do nutriente no solo após a adição dos resíduos.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Entender a mineralização e imobilização do nitrogênio após a adição de cinzas e resíduos vegetais em dois tipos de solo

### 1.1.2 Objetivos específicos

Determinar a disponibilidade de  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$  no solo com a adição de resíduos orgânicos.

Determinar a imobilização de N inorgânico no solo com a adição de resíduos orgânicos.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. MINERALIZAÇÃO DO NITROGÊNIO NO SOLO

O N em sua forma orgânica pode representar 97 a 98 % do N total do solo, dessa forma, é necessário a transformação do N orgânico em formas inorgânicas ( $\text{NH}_4^+$  ou  $\text{NO}_3^-$ ) para suprimento das necessidades das culturas. O processo de mineralização do N tradicionalmente conhecido como amonificação, é o processo dependente da microbiota do solo, ao qual as comunidades microbianas decompõem resíduos orgânicos para a formação de seus tecidos. O nutriente mais demandado pela microbiota para tal processo é o N devido ao envolvimento do nutriente para formação de proteínas, ácidos nucleicos e componentes celulares. Quando o meio de decomposição é rico em N, a demanda dos microrganismos por tal nutriente é facilmente atendida fazendo com que exista um excedente de N advindo da degradação do composto orgânico, esse excedente é liberado em forma mineral ( $\text{NH}_4^+$  ou  $\text{NO}_3^-$ ) ao qual as plantas podem prontamente utilizar para o seu desenvolvimento (Moreira; Siqueira, 2006).

A mineralização do N no solo (MNO<sub>r</sub>) é um dos processos mais importantes em termos de nutrição de plantas tendo em vista que dependendo das condições climáticas e do solo, pode fornecer até 50 % do N necessário para o crescimento e desenvolvimento das culturas (Van Kessel; Reeves, 2002). Dessa forma, é de suma importância entender os métodos que possibilitem prever a taxa de N que será mineralizado no solo servindo como uma ferramenta para ter previsibilidade e planejamento das adubações nitrogenadas. Nesse contexto, um dos fatores primordiais para MNO<sub>r</sub> é a atividade microbiana, tendo em vista que os microrganismos são os primeiros agentes envolvidos na captação e decomposição dos compostos orgânicos (Moreira; Siqueira, 2006).

Além da comunidade microbiana do solo, a mineralização do N é influenciada por outros fatores, tais como: oxigênio, temperatura, pH do solo (pH), umidade, entre outros. Nesse contexto é importante ressaltar que em condições de campo essas atenuantes condicionam uma maior ou menor taxa de mineralização, sendo que essa taxa pode oscilar juntamente com a temperatura (Cantarella, 2007). Outra condicionante referente a mineralização de N no solo é o pH, segundo Genenger *et al.*, (2003), o pH pode afetar diretamente a estrutura e a proporção da microbiota pois algumas comunidades de microrganismos responsáveis pela decomposição de biomassa são muito beneficiadas em faixas de pH alcalinas, expressando assim, maior multiplicação e maior atividade. Outro fator de total importância são as características dos

resíduos vegetais em decomposição (relação carbono/nitrogênio), tais características resultam na predominância de mineralização ou imobilização do nutriente.

Na literatura vários trabalhos convergem na importância da relação entre microrganismos e a relação carbono/nitrogênio para quantificar a mineralização ou imobilização do N no solo. Como supracitado, a ocorrência desses processos é totalmente dependente de microrganismos, sendo eles, microrganismos heterotróficos, aeróbios e anaeróbios, que utilizam os resíduos vegetais como fontes de C, N e energia. (Moreira; Siqueira, 2006). Para Lopes (1985) materiais com relação C/N baixa favorecem a mineralização do N, nesse caso, o requerimento de N pelos microrganismos para decomposição dos compostos orgânicos do solo é menor que o fornecido, deixando assim, um saldo positivo de N mineral no solo. Os efeitos da baixa relação C/N de resíduos vegetais sobre a dinâmica do N no solo pode ser observado em diversos trabalhos. A utilização de restos culturais de leguminosas, devido a sua baixa relação C/N, é uma estratégia para aumentar a disponibilidade de N no solo Diekow *et al.*, (2005); Lovato *et al.*, (2004); Sisti *et al.*, (2004). Neste caso, em condições de campo, a cultura que irá se desenvolver depois da uma leguminosa pode ser beneficiada por esta maior disponibilidade de N. Outro estudo que corrobora com o efeito da adição de resíduos de leguminosas para uma maior taxa de N no solo, é o estudo feito por Troeh e Thompson (2007), onde eles dizem que pelo fato de leguminosas ter relação C/N baixa é possível observar uma taxa de mineralização de N muito elevada e dessa forma, pode aumentar consideravelmente a quantidade de N do meio em pouco espaço de tempo, e com esse processo a cultura sucessora pode facilmente se beneficiar pelo fato de ter N em forma inorgânica prontamente disponível. Todavia, Mitchell *et al.*, (2000), dizem que se as taxas de mineralização de N forem elevadas formando ( $\text{NH}_4^+$  ou  $\text{NO}_3^-$ ) não sendo utilizadas por culturas sucessoras, tais formas de N podem sofrer lixiviação e volatilização tendo potencial de contaminação de solos, água e ar.

## 2.2. IMOBILIZAÇÃO DE NITROGÊNIO NO SOLO

A imobilização (redução assimilatória do nitrato) pode ser entendida como o processo inverso da mineralização e pode ser definida como a transformação do N inorgânico ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ) em N orgânico (Moreira; Siqueira, 2006). Como a mineralização e a imobilização são processos que ocorrem simultaneamente no sistema, a quantidade de N do material que está em decomposição é o fator determinante para ocorrer a liberação do N no solo, ou a imobilização do nutriente, ficando retido em forma orgânica na biomassa microbiana.

Atualmente temos muitos trabalhos como o de Zimmer e Euclides Filho (1997); Borkert *et al.*, (2003); Giacomini *et al.*, (2004) que trazem de forma clara a importância da relação C/N alta para imobilização de N na microbiota.

Em conjunto à imobilização, podemos citar a velocidade de decomposição do resíduo orgânico que é muito mais lenta quando comparada a um resíduo orgânico que compreende a uma relação C/N baixa. Nesse sentido, temos uma dinâmica de liberação de nutrientes no sistema totalmente ambígua entre mineralização e imobilização (Kliemann; Braz; Silveira, 2006). Todavia, ainda como citado por Kliemann *et al.*, (2006), pelo fato da palhada do milho ser persistente, tem fator imprescindível para o sucesso de sistema de plantio direto (SPD), e conservação da água e do solo devido manter biomassa o suficiente para manter o solo coberto durante todo o ano.

Nesse sentido, vários autores relatam a importância das gramíneas para o sucesso de sistemas conservacionistas de produção, pois diferente das leguminosas que contam com uma rápida mineralização de N devido a decomposição de biomassa ser acelerada fazendo com que o solo fique descoberto e desprotegido contra agentes erosivos, as gramíneas contribuem com quantidades grandes e persistentes de fitomassa no solo e essa persistência é pelo fato de normalmente apresentarem relação C/N alta (maior que 30:1) (Borkert *et al.*, 2003). Entretanto essa resistência em decomposição indica forte imobilização de N na microbiota e a consequência pode resultar em problemas de disponibilização de N para as culturas subsequentes (Andreola *et al.*, 2000; Perin *et al.*, 2004).

Diante das diferenças entre mineralização e imobilização, para Giacomini *et al.*, (2004), quando o objetivo é o fornecimento do N para as culturas e a proteção do solo, o indicado é manter resíduos culturais intermediários em busca da relação C/N de equilíbrio (C/N-eq, amplitude entre 20:1 e 30:1 onde os processos se igualam), ou buscar resíduos vegetais que proporcionem C/N-eq à longo prazo, pois nesse ponto temos um equilíbrio entre a manutenção da cobertura vegetal e a disponibilidade de N para as culturas sucessoras. Calonego *et al.*, (2012), constatou em seu estudo que a palhada do milho é a mais indicada para manter a cobertura do solo pela alta proteção de agentes erosivos, além do fato da proteção permanecer ativa por mais tempo nos sistemas de produção.

Diante disso como citado por Zimmer e Euclides Filho (1997) o consórcio entre gramíneas e leguminosas é indicado pois uma cultura complementa a outra, nesse sentido, enquanto as gramíneas propiciam proteção de longo prazo devido ter uma relação C/N alta,

também ajudando na construção de maior quantidade de MO para os solos, as leguminosas por sua vez, aumentam a disponibilidade de N para as lavouras comerciais, melhorando assim, a produção vegetal. Para vários autores, uma das melhores formas de manter fertilizantes nitrogenados para o sistema solo-planta é a imobilização do nutriente por determinado tempo através da adição de biomassa cultural que contem relação C/N alta, e dessa forma aguardar a liberação do nutriente ocasionada pela morte dos microrganismos em fases de demanda das culturas pelo processo conhecido como remineralização (Vasconcellos *et al.*, 1999).

### 2.3. EFEITO DA APLICAÇÃO DE CINZAS NO SOLO SOBRE A DISPONIBILIDADE DE NITROGÊNIO

O uso das cinzas na agricultura é uma alternativa a longo tempo usada como uma forma de se obter mudanças físicas, químicas e biológicas benéficas aos sistemas de produção de forma barata (Bonfim-Silva *et al.*, 2013). Como citado por Coelho e Costa (2007), a cinza é um produto de cor acinzentada ou escura que é resultado da queima completa de biomassa orgânica. Além disso, a cinza pode ser dividida em cinza volante (*fly ashe*) e a cinza de fundo (*bottom ashe*). A cinza volante tem partícula fina ( $< 0,075$  mm), sendo assim, tem sorção mais rápida que a *bottom ashe*. A cinza de fundo tem partículas mais espessas ( $>0,075$  mm) tendo menor sorção e também é quimicamente mais pobre (Bonfim-Silva *et al.*, 2013).

Segundo Karmakar *et al.*, (2010), a cinza vegetal tem grande potencial de mudança nas propriedades químicas físicas e biológicas do solo, e isso pode representar benefícios em termos nutricionais para as plantas. Uma das mudanças mais significativas é a capacidade de a cinza diminuir a densidade e aumentar a porosidade total do solo, a consequência disso é uma melhor aeração melhorando a atividade microbiana podendo interferir diretamente nas taxas de imobilização, mineralização e remineralização do N (Vestergard *et al.*, 2018). Como citado por o (Jacobson; Gustafsson, 2001; Gömöryová *et al.*, 2016; Peltoniemi *et al.*, 2016), a adição de cinzas pode auxiliar na atividade microbiana do solo, assim como na multiplicação da mesofauna, dessa forma, todos os processos que envolvem o ciclo do N são afetados, aumentando ou diminuindo as taxas de mineralização e imobilização.

Outro estudo que comprova as mudanças ocasionadas pelas cinzas foi o teste feito por Bellote *et al.*, (1998), onde constataram um grande incremento na atividade biológica do solo e aumento da velocidade de decomposição de serapilheira, sendo que esses fatores podem ter

impacto direto na ciclagem de nutrientes especialmente nas taxas de mineralização, imobilização e remineralização do N. Nesse mesmo estudo Bellote *et al.*, (1998) constataram elevação de pH, aumento na troca de cátions, incremento dos nutrientes, melhor granulometria e maior capacidade de reter água.

Para Bonfim-Silva (2013), as grandes mudanças ocasionadas pela adição das cinzas no solo se dão na neutralização do alumínio tóxico ( $Al^{+3}$ ) e ( $H^+$ ), o que aumenta a quantidade de nutrientes disponíveis para as plantas, sendo que o N é o mais beneficiado com essa mudança. Além disso, outro fator de total importância para o N e suas as taxas de mineralização e imobilização é o aumento da atividade microbiana após o aumento de pH, tendo acréscimo nas quantidades de matéria orgânica dos solos (Trevisan *et al.*, 2002). Nesse contexto, como citado por Demeyer *et al.*, (2001), embora as quantidades de N das cinzas serem baixas ou inexistentes, a aplicação do resíduo tem forte influência na dinâmica do N e do C nos solos. Segundo Zimmermann e Frey (2002), a adição de cinzas em solos que tem maior taxa de MO, pode aumentar substancialmente a taxa de mineralização de  $NH_4^+$  e  $NO_3^-$ , todavia em solos nativamente pobres em taxas de MO, a alteração ocasionada pela adição de cinzas pode ter pouca ou nenhuma influência sobre a mineralização.

Outro estudo que corrobora com os dados referentes ao efeito da adição das cinzas sobre a mineralização e imobilização de N no solo, foi o trabalho feito por Ludwig *et al.*, (2002) onde constatou maior mineralização do N, especialmente em formas de nitratos ( $NO_3^-$ ) devido ao forte estímulo das cinzas na melhoria das condições nas atividades das comunidades microbianas nitrificantes, diminuindo a acidez do meio e fornecendo nutrientes para a microbiota. Em convergência a esse estudo, Vestergard *et al.*, (2018) deduziram que a aplicação de cinzas aumenta a abundância de bactérias e protozoários principalmente nas camadas superiores do perfil do solo, dessa forma existe um aumento considerável de N inorgânico principalmente na forma de  $NO_3^-$ , todavia para mineralização do N em forma de  $NH_4^+$  em algumas situações pode-se obter aumento e em contrapartida pode-se obter a diminuição na taxa de mineralização. Diante disso, o mesmo estudo sugere maiores estudos referentes a interferência da adição de cinzas para as comunidades microbiológicas do solo devido à escassez de trabalhos dentro do tema.

Como podemos observar existe uma grande relação entre o aumento da atividade microbiana do solo e a adição de cinzas, estudos como o de Vestergard *et al.*, (2018); Ludwig *et al.*, (2002) indicam que esse aumento da atividade da microbiota é pelo fato das cinzas

fornecer nutrientes para os microrganismos, assim como, a sua capacidade de interferir na mudança brusca de pH, auxiliando para uma melhor atividade microbiana nos solos. Dessa forma, a atividade microbiana não serve apenas como um indicativo de qualidade de solo, também pode servir como um medidor de taxas de liberação de CO<sub>2</sub>, mineralização, imobilização e remineralização de N do sistema. Nesse sentido, podemos ainda perceber que existe uma grande relação entre o potencial de neutralização e a relação C/N das cinzas.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo consistiu em uma incubação de dois tipos de solos distintos onde tais solos receberam adição de cinzas e resíduos culturais de soja e milho. Em ambos os solos foi avaliada a mineralização e a imobilização de  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$  aos 15, 30 e 60 dias após o início da incubação. Para determinação do N foi utilizado 50 ml de KCl ( $2 \text{ mol L}^{-1}$ ), em mistura com as amostras, dessa forma, foram agitadas para posterior extração e determinação de  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$ . Para análise dos dados foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC). As médias dos tratamentos foram comparadas utilizando contrastes ortogonais. Os tratamentos ficaram divididos em: T1 Cambissolo; T2 Cambissolo + soja; T3 Cambissolo + soja + cinzas; T4 Cambissolo + milho; T5 Cambissolo + milho + cinzas; T6 Neossolo; T7 Neossolo + soja; T8 Neossolo + soja + cinzas; T9 Neossolo + milho; T10 Neossolo + milho + cinzas, totalizando um total de 60 amostras.

#### 3.1. COLETA E CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS

Os solos utilizados nesse trabalho são provenientes da cidade de Curitiba SC e Florianópolis SC. O solo de Florianópolis é classificado como um Neossolo Quartzarênico enquanto o solo de Curitiba é classificado como um Cambissolo Húmico. Os solos foram coletados na camada de 0-10 cm. Após a coleta, ambos os solos foram peneirados em peneiras com malha de 3,8 mm e armazenados em ambiente escuro livre de umidade e calor dentro de sacos plásticos escuros e posteriormente os solos foram enviados para análise. O resultado da caracterização físico-química está apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Caracterização físico-química dos solos utilizados na incubação

Solo	pH H <sub>2</sub> O	Argila	MO	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup>	CTC pH 7,0
		%		cmol dm <sup>-3</sup>				
Cambissolo	6,0	51	3,2	1,59	1,77	0,17	7,7	28
Neossolo	6,4	15	4,3	0,5	0,5	0,10	1,4	17,8

MO = Matéria orgânica

### 3.2. INCUBAÇÃO

A incubação dos solos (Cambissolo e Neossolo) foi realizada em potes de 5,7 cm de altura por 5 cm de diâmetro e capacidade de 110 cm<sup>3</sup>. As amostras do experimento foram mantidas em câmara de incubação com ausência de luminosidade à 25°C durante 60 dias. A umidade de ambos os solos foi ajustada para 65% da capacidade de campo.

Cada recipiente recebeu 100g de solo a 18% de umidade e manualmente os recipientes receberam a dosagem de cinza em quantidades equivalentes a 10 Mg cinzas ha<sup>-1</sup> (0,49 g pote), representando uma equivalência de 5 toneladas ha<sup>-1</sup>, e a quantidade de resíduos culturais de milho e soja equivalente a 5 Mg ha<sup>-1</sup> (0,245 g por pote) representando uma equivalência de 3 toneladas ha<sup>-1</sup>. As misturas solo + cinza e solo + cinzas + resíduos, foram incorporadas, acondicionadas e levemente compactadas nos potes estéreis até atingir densidade 1,0 g cm.

### 3.3. COLETA E CARACTERIZAÇÃO DAS CINZAS

As cinzas utilizadas para a produção desse trabalho foram coletadas na empresa MADESONDA Indústria e Comércio de Madeiras LTDA de Curitiba. As cinzas coletadas são o subproduto da queima de serragem de 95 % de *Pinus Taeda* e 5% *Pinus Elliotti*, com uma faixa de idade entre 10 e 30 anos. A queima se deu em caldeira operando aproximadamente a 460°C. Antes da queima da biomassa, a serragem apresentava 0,12 % de N e 46 % de C. Foram coletados aproximadamente 2 quilos de cinzas que foram armazenados em plásticos escuros livres de calor e umidade.

As cinzas foram coletadas na saída da caldeira após o processo de resfriamento feito por água. As cinzas foram analisadas por um laboratório de análises de resíduos para caracterização de sua composição. A concentração de nutrientes foi determinada por meio de espectrofotometria ou absorção atômica. Para determinação de C e N, uma porção foi seca a 105°C e submetida a análise via combustão seca, em autoanalisador elementar CHNS, no laboratório LabCeN da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) onde apresentou após a queima relação C/N de 149,5 (Tabela 2).

Tabela 2 - Composição química da cinza de indústria madeireira utilizada na incubação.

Determinação		Metodologia aplicada
Nitrogênio (N) - g kg <sup>-1</sup>	1,41	Analizador Elementar CHNS
Fósforo (P) - g kg <sup>-1</sup>	0,88	Digestão úmida sulfúrica/espectrofotometria de luz
Potássio (K) - g kg <sup>-1</sup>	3,5	Digestão úmida sulfúrica/espectrofotometria de luz
Cálcio (Ca) - g kg <sup>-1</sup>	11,8	Digestão úmida sulfúrica/espectrofotometria de luz
Magnésio (Mg) - g kg <sup>-1</sup>	3,38	Digestão úmida sulfúrica/espectrofotometria de luz
Cobre (Cu) - mg kg <sup>-1</sup>	104,4	Digestão úmida sulfúrica/espectrofotometria de luz
Zinco (Zn) – mg kg <sup>-1</sup>	92,0	Digestão úmida sulfúrica/espectrofotometria de luz
Manganês (Mn) – g kg <sup>-1</sup>	1,41	Digestão úmida sulfúrica/espectrofotometria de luz
Ferro (Fe) - g kg <sup>-1</sup>	49,0	Digestão úmida sulfúrica/espectrofotometria de luz
Enxofre (S) - g kg <sup>-1</sup>	1,30	Digestão úmida sulfúrica/espectrofotometria de luz
Potencial de neutralização	3%	Singh <i>et al.</i> (2017)
Relação C/N	149,5	Cálculo
Carbono – g kg <sup>-1</sup>	210,8	Analizador Elementar CHNS

### 3.4. CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS CULTURAIS

Para a confecção deste trabalho foram utilizados resíduos culturais de soja e milho. Os resíduos culturais foram coletados na Fazenda Experimental da Universidade Federal De Santa Catarina *campus* Curitibanos. Para as duas culturas, as coletas foram feitas em fase reprodutiva. Após as coletas as amostras foram armazenadas e secas em estufas a 40°C. Posteriormente as amostras foram cortadas com o auxílio de tesoura em pedaços pequenos de 1 a 2 cm de comprimento. Para a determinação do N dos resíduos foi aplicado a metodologia de Tedesco *et al.*, (1995). A metodologia consistiu em digestão em bloco digestor, destilação Kjeldhal e titulação com o ácido sulfúrico. A relação C/N para as culturais foram de 13,3 para a soja e 45,2 para o milho.

### 3.5. DETERMINAÇÃO DE NH<sub>4</sub><sup>+</sup> E NO<sub>3</sub><sup>-</sup>

Inicialmente para determinação do N inorgânico, foram utilizadas 10g de amostras do Neossolo e do Cambissolo em mistura de 50 ml de KCl (2 mol L<sup>-1</sup>), onde tais amostras foram agitadas para posterior extração e determinação de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. O tempo de agitação utilizado foi de 30 minutos, regulado para 200 rotações min<sup>-1</sup>. O tempo de espera para extração do sobrenadante também foi de 30 minutos. O sobrenadante retirado das amostras foi congelado

nos mesmos recipientes utilizados para incubação para posterior análises e determinações de  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$ .

Para determinação de  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$  foi utilizado o método Keeney e Nelson (1982). O método consiste na destilação por arraste de vapores das soluções contendo tais formas de N mineral, MgO e Liga de Devarda. Quando em meio alcalino forte, criada pela adição de MgO, o  $\text{NH}_4^+$  é convertido em amônia ( $\text{NH}_3$ ) que é arrastada por vapores, condensada e depositada em solução avermelhada de ácido bórico. O uso da liga de Devarda tem por finalidade reduzir o nitrato à amônio que é convertido a  $\text{NH}_3$ .

A quantificação de nitrato e amônio foi feita usando titulador automático com solução de ácido sulfúrico ( $0,0025 \text{ mol L}^{-1}$ ) via restituição do ácido bórico utilizado na formação de borato de amônio, composto que confere a cor verde-azulada à solução condensada. Para realização dos cálculos foi utilizada a seguinte equação:

$$N - \text{NH}_4 \text{ ou } N - \text{NO}_3 = \left[ \frac{(\text{Vac} - \text{Vbr}) * 14,007 * \text{Nac} * \text{Fc}}{\text{Val}} \right] * \left[ \frac{(\text{Vt} + \text{Vaa})}{\text{Ps} * 10^{-3}} \right]$$

Em que:

N- $\text{NH}_4^+$  = concentração de  $\text{NH}_4^+$  no solo ( $\text{mg kg}^{-1}$ );

N- $\text{NO}_3^-$  = concentração de  $\text{NO}_3^-$  no solo ( $\text{mg kg}^{-1}$ );

Vac = volume de ácido sulfúrico gasto na titulação da amostra (mL);

Vbr = volume do ácido sulfúrico gasto na titulação do branco de análise (mL);

Nac = normalidade do ácido sulfúrico utilizado (Molaridade x 2);

fc = fator de correção da concentração do ácido sulfúrico;

Val = volume da alíquota usada na destilação (mL);

Vt = volume total de extrato utilizado no processo de extração (mL);

Vaa = volume de água pré-existente na amostra de solo (mL);

Ps = massa de solo seco (g)

### 3.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Durante 15, 30 e 60 dias os tratamentos foram submetidos a análise por destilação e posterior titulação para verificação dos conteúdos de  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$  das soluções. Para quantificação da imobilização foi feita a diferença de tratamentos com resíduos menos o tratamento sem resíduos (valor líquido de N). Os resultados foram tabulados e submetidos a

análise de variância (ANOVA). O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), juntamente com a análise por contrastes ortogonais para verificação e estipulação das médias dos tratamentos. A análise foi realizada utilizando o software Sisvar.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. EFEITO DA ADIÇÃO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS NA DISPONIBILIDADE DE N INORGÂNICO NO SOLO

Os dados de N inorgânico foram submetidos a análise da variância (Tabela 3). O tipo de solo foi significativo para o conteúdo de  $\text{NO}_3^-$  no solo em todas as datas avaliadas, mas somente aos 60 dias para o conteúdo de  $\text{NH}_4^+$ .

Tabela 3 - Resultado da análise de variância (ANOVA) demonstrando os efeitos de solo, resíduos e da interação solo x resíduo para o conteúdo de N inorgânico no solo.

	15 dias		30 dias		60 dias	
	$\text{NH}_4^+$	$\text{NO}_3^-$	$\text{NH}_4^+$	$\text{NO}_3^-$	$\text{NH}_4^+$	$\text{NO}_3^-$
Solo	0,566	<0,001	0,919	<0,001	0,002	<0,001
Resíduos	0,022	<0,001	0,072	<0,001	<0,001	<0,001
Solo x resíduos	0,992	0,231	0,023	0,094	<0,001	0,013

O conteúdo de  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$  no solo foi afetado pela adição de resíduos (resíduos de plantas ou cinzas) em todas as datas avaliadas, exceto para  $\text{NH}_4^+$  aos 30 dias. A interação solo x resíduos foi observada em algumas datas e não significativa para outras. Por isso, optou-se por apresentar os dados de forma separada para cada tipo de solo.

### 4.2. CONTEÚDO DE $\text{NH}_4^+$ E $\text{NO}_3^-$ NOS SOLOS

O conteúdo de  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$  foi superior nos tratamentos que receberam adição de resíduos (culturais e cinza) em relação aos tratamentos sem adição de resíduos somente aos 60 dias, (Tabela 4). Para o contraste Milho e milho + cinzas vs soja e soja + cinzas observou-se diferença a um nível de significância para os teores de  $\text{NO}_3^-$  aos 30 e 60 dias, enquanto para  $\text{NH}_4^+$  somente aos 60 dias. Para o tratamento Milho vs milho + cinzas observou-se diferença a um nível de significância apenas para os teores de  $\text{NH}_4^+$  aos 60 dias. Para o tratamento Soja vs soja + cinzas observou-se diferença a um nível de significância apenas para os teores de  $\text{NO}_3^-$  aos 30 dias.

Tabela 4 – Análise de interações entre os contrastes para os tratamentos combinando resíduos vegetais e cinzas em Cambissolo

Contraste	15 dias		30 dias		60 dias	
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Solo <i>vs</i> resíduos	0,114	0,960	0,344	0,333	0,003	0,016
Milho e milho + cinzas <i>vs</i> soja e soja + cinzas	0,096	0,023	0,405	<0,001	<0,001	<0,001
Milho <i>vs</i> milho + cinzas	0,486	0,591	0,274	0,801	<0,001	0,411
Soja <i>vs</i> soja + cinzas	0,324	0,598	0,094	0,001	0,218	0,071

Não se observa grandes mudanças ocasionadas pela adição de resíduos (resíduos culturais ou cinzas) ao Cambissolo, esse fato pode ser explicado devido ao Cambissolo apresentar quantidade de MO nativamente alta, fazendo assim, que nas datas iniciais de decomposição dos resíduos orgânicos não se perceba grandes diferenças nos conteúdos de N mineralizado. Observa-se diferença significativa apenas aos 60 dias referente aos conteúdos de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e NO<sub>3</sub><sup>-</sup> no contraste solo *vs* resíduos, mostrando assim que a adição de resíduos ao Cambissolo demonstra pouca influência nos teores de mineralização para as datas iniciais de incubação.

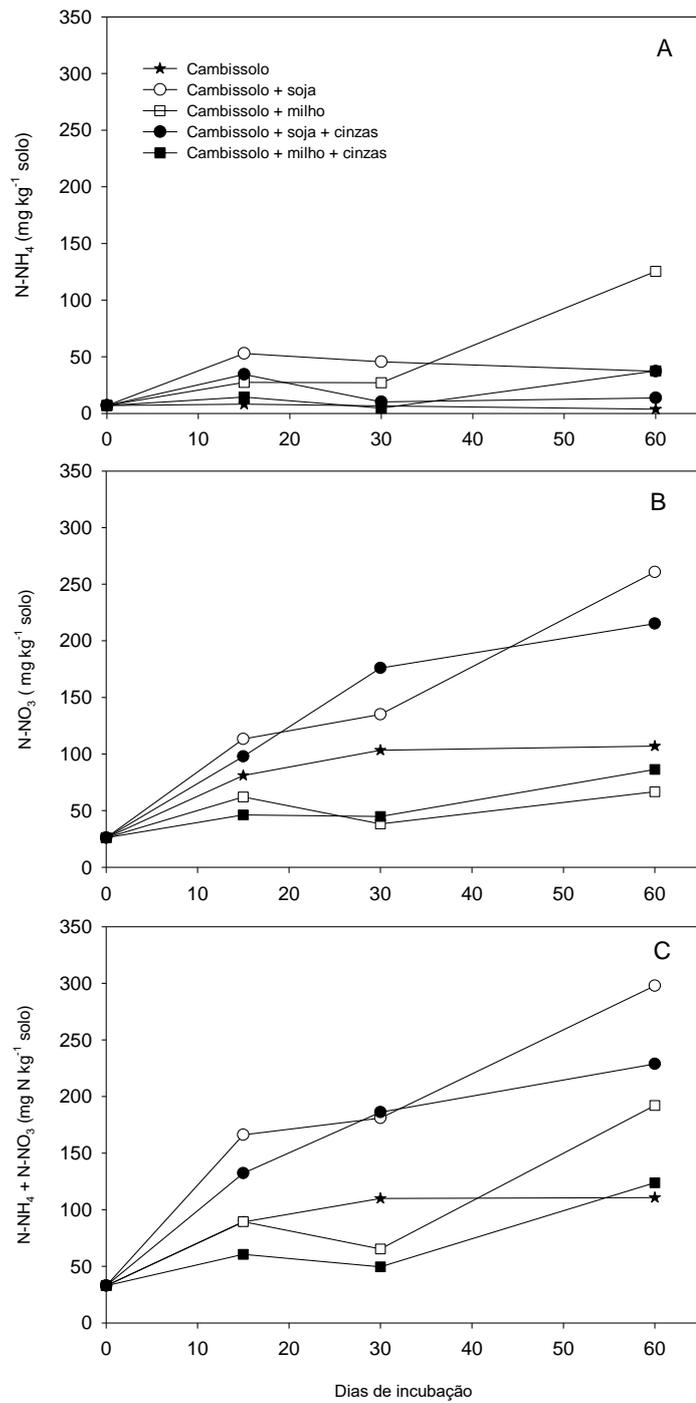
Para o contraste Milho e milho + cinzas *vs* soja e soja + cinzas observa-se que resíduos orgânicos com relação C/N baixa resultam em maior conteúdo de N mineralizado, especialmente para NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, o que pode ser confirmado pelo item B da figura 1.

Quando contrastados os tratamentos Milho *vs* milho + cinzas observou-se diferença a um nível de significância apenas para o conteúdo de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> aos 60 dias, entendendo-se assim, que o conteúdo de N mineralizado para o tratamento que contem milho + cinzas sofreu menor taxa de mineralização pela ação da adição das cinzas. A hipótese é que a relação C/N alta das cinzas ocasionou menor mineralização, pode-se confirmar tal hipótese analisando a tendência do item A no gráfico (Figura 1).

Para o contraste dos tratamentos Soja *vs* soja + cinzas observa-se diferença a um nível significativo para o conteúdo de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> aos 30 dias, mostrando assim, que a adição das cinzas ocasionou maior taxa de conteúdo de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> mineralizado em tal data. Pelo fato das cinzas serem altamente recalcitrantes, com difícil decomposição, a adição de cinzas para esse tratamento não

resultou em menor conteúdo de N mineralizado, e inverso a essa teoria, se obteve aumento na taxa de conteúdo de mineralização.

Figura 1 - Conteúdos de  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  mineralizados e a soma de  $\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$  no Cambissolo durante 60 dias de incubação



A= conteúdo de  $\text{N-NH}_4^+$  mineralizado; B = conteúdo de  $\text{N-NO}_3^-$  mineralizado; C = Nitrogênio total

Para o Neossolo o contraste solo *vs* resíduos foi significativo para  $\text{NH}_4^+$  aos 30 e 60 dias. (Tabela 5). Para o contraste Milho e milho + cinzas *vs* soja e soja + cinzas, observou-se diferença a um nível significativo para  $\text{NO}_3^-$  em todas as datas avaliadas, exceto para  $\text{NH}_4^+$  aos 60 dias. Para o contraste Soja *vs* soja + cinzas observou-se diferença a um nível significativo para  $\text{NH}_4^+$  aos 30 e 60 dias e para  $\text{NO}_3^-$  aos 60 dias.

Tabela 5 - Análise de interações entre os contrastes para os tratamentos combinando resíduos vegetais e cinzas em Neossolo

Contraste	15 dias		30 dias		60 dias	
	$\text{NH}_4^+$	$\text{NO}_3^-$	$\text{NH}_4^+$	$\text{NO}_3^-$	$\text{NH}_4^+$	$\text{NO}_3^-$
Solo <i>vs</i> resíduos	0,089	0,924	0,017	0,841	<0,001	0,822
Milho e milho + cinzas <i>vs</i> soja e soja + cinzas	0,202	<0,001	0,002	0,002	0,402	<0,001
Milho <i>vs</i> milho + cinzas	0,878	0,254	0,697	0,354	0,940	0,208
Soja <i>vs</i> soja + cinzas	0,311	0,887	<0,001	0,502	0,012	0,035

Para o contraste Solo *vs* resíduos observa-se diferença a um nível significativo para  $\text{NH}_4^+$  aos 30 e 60 dias. Quando analisado o item A no gráfico da figura 2 percebe-se que resíduos culturais com relação C/N baixa resultam em maior conteúdo de N mineralizado, mesmo com a adição de cinza que compreende a uma relação C/N alta. Esse fato pode ser explicado devido a cinza ter difícil decomposição, sendo altamente recalcitrante, dessa forma sua relação C/N mesmo sendo alta, não demonstra potencial de diminuir os conteúdos de mineralização de  $\text{NH}_4^+$  quando acrescidos a restos culturais com relação C/N baixa.

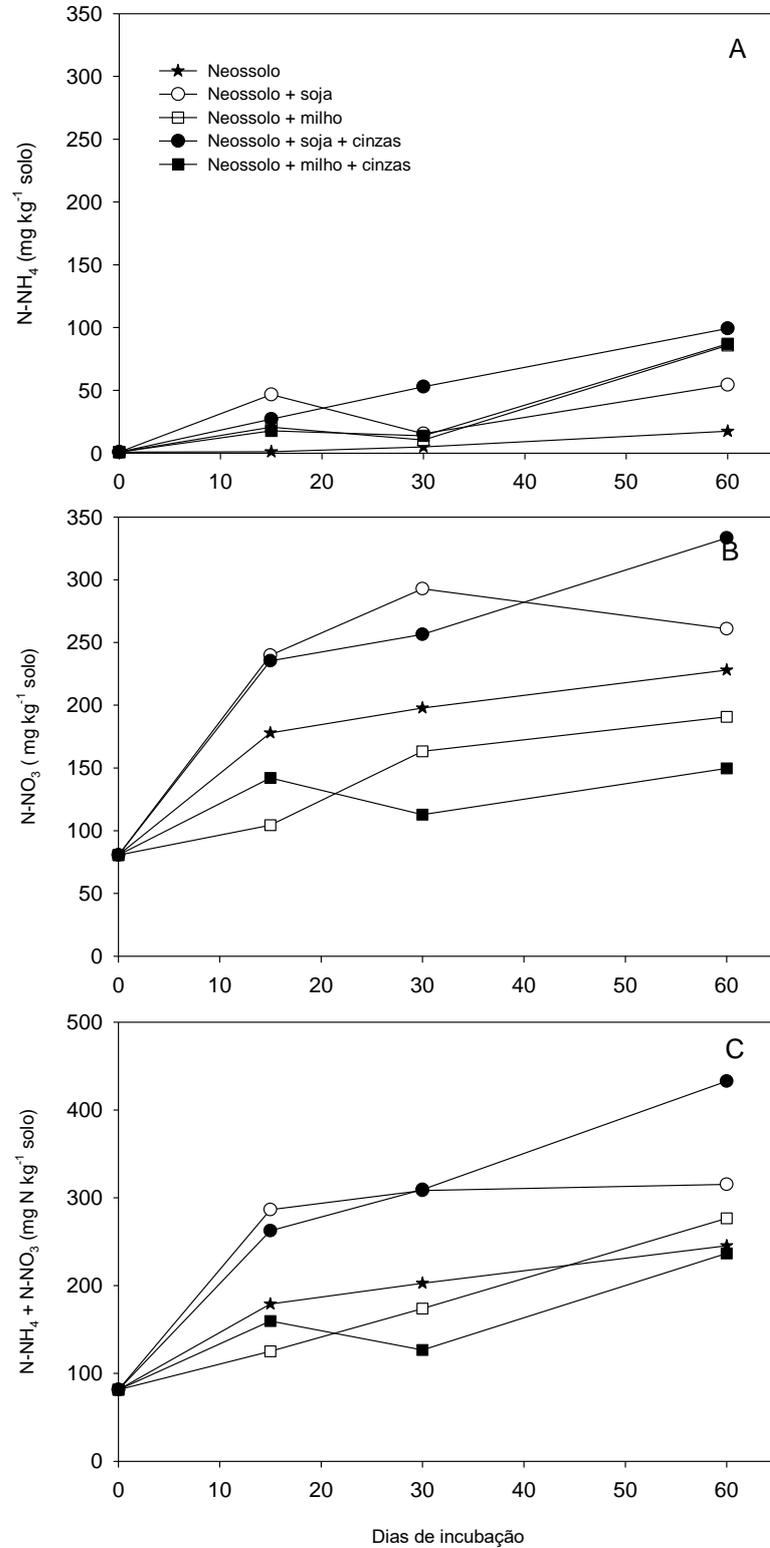
Aos demais tratamentos nesse trabalho observou-se pouca influência das cinzas sobre as taxas de mineralização de  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$ . Esse fato pode ser explicado devido as cinzas que foram utilizadas nesse trabalho ter um PN (poder de neutralização) baixo (3%) demonstrando que o benefício citado por Ludwig *et al.*, (2002); Vestergard *et al.*, (2018); Bellote *et al.*, (1998), causado pela mudança de pH para faixas alcalinas que resulta em maior taxa de mineralização não é observado para esse tipo de cinzas acrescentados tanto para aos solos utilizados nesse trabalho. A hipótese levantada é que se as cinzas utilizadas nesse trabalho tivessem um PN superior, possivelmente o impacto nas taxas de mineralização de  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$  seria mais elevado, principalmente nos tratamentos acrescidos de soja devido conter relação C/N baixa.

Quando contrastados os tratamentos Milho e milho + cinzas vs soja e soja + cinzas percebemos a grande influência que o resíduo cultural pode trazer na taxa de mineralização de N. Nesse caso, como citado por Giacomini *et al.*, (2004), quanto maior a relação C/N do material em decomposição menor será sua mineralização. Ainda para esse tratamento, ao analisar a figura 2, percebe-se que alguns tratamentos que obtiveram acréscimo de cinzas, a mineralização foi menor nas datas iniciais (15 e 30 dias), mostrando que o acréscimo do subproduto que contem relação C/N alta são contrarias a hipótese de a cinza conferir maior taxa de mineralização de N principalmente nos tratamentos acrescidos de resíduos culturais de milho.

Para o contraste Milho vs milho + cinzas não observou-se nenhuma diferença a nível significativo para maior mineralização de  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$ , mostrando assim, que a adição das cinzas para o tratamento não demonstra efeito.

Para o tratamento Soja vs soja + cinzas observou-se diferença a um nível significativo para  $\text{NH}_4^+$  aos 30 e 60 dias e para  $\text{NO}_3^-$  aos 60 dias, nesse caso, quando analisados os itens A e B da figura 2, observa-se que o efeito da adição de cinzas diminui a taxa de mineralização nas datas iniciais, todavia, os tratamentos acrescidos do subproduto tendem a maior mineralização aos 60 dias de N em  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$ .

Figura 2 - Conteúdos de  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  mineralizados e a soma de  $\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$  no Neossolo durante 60 dias de incubação



A= conteúdo de  $\text{N-NH}_4^+$  mineralizado; B = conteúdo de  $\text{N-NO}_3^-$  mineralizado; C = Nitrogênio total

### 4.3. IMOBILIZAÇÃO DE N NO SOLO

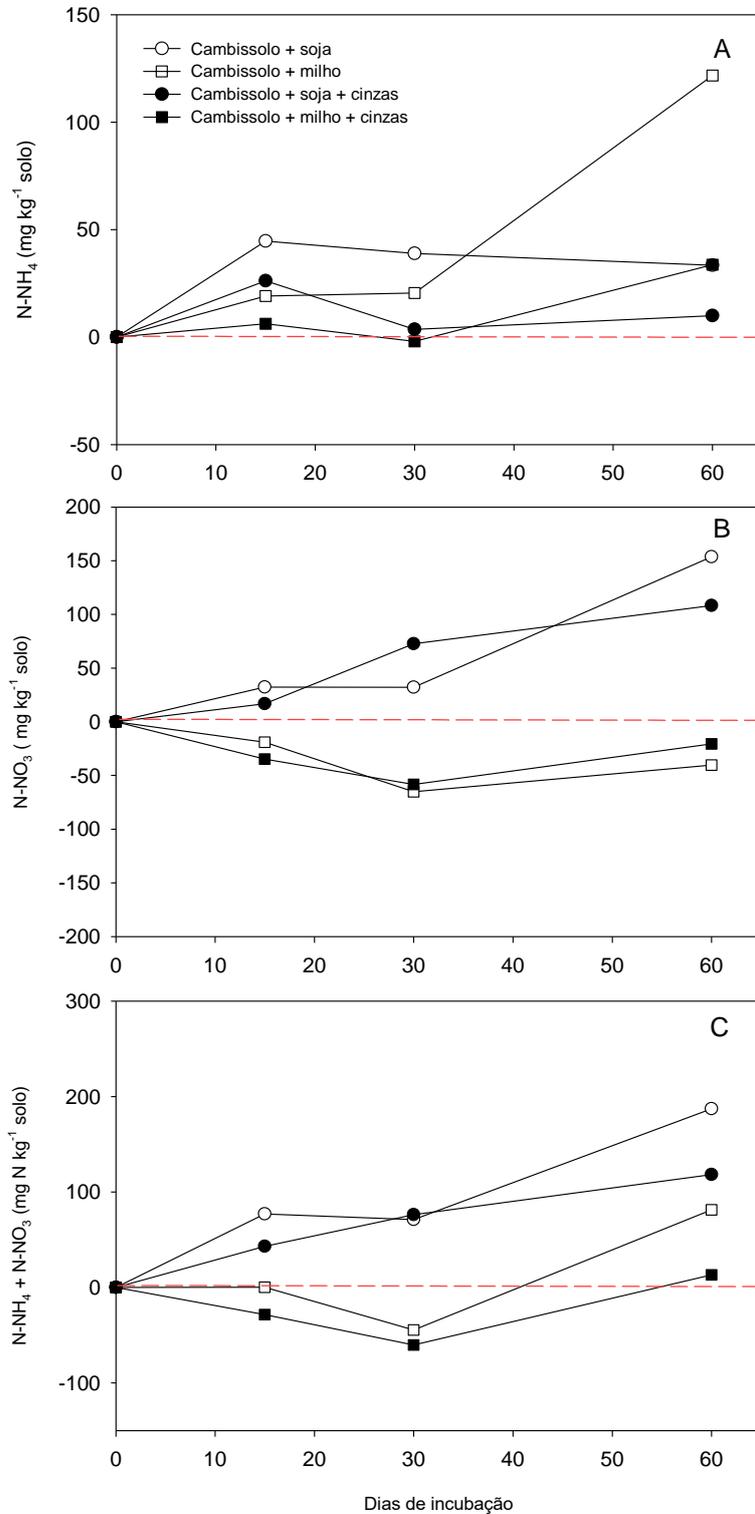
A decomposição de resíduos orgânicos libera nutrientes, todavia o N pode ficar retido temporariamente (imobilizado) na biomassa microbiana. Isso pode ocorrer porque os microrganismos que fazem decomposição utilizam o N para formar suas proteínas. Nesse caso, se o material em decomposição possuir uma relação C/N alta, os microrganismos utilizarão o N do solo, deixando o N imobilizado na massa microbiana, e para esse N retornar para o solo, depende da morte da microbiota para sua liberação em forma inorgânica para o meio, esse processo é conhecido como remineralização.

Ao analisar os itens B e C das figuras 3 e 4, percebe-se a imobilização líquida de N para  $\text{NO}_3^-$  e N total, além disso, que a relação C/N tem forte influência na imobilização de N na microbiota do solo, o que se confirma ao comparar os tratamentos acrescidos de resíduos culturais de milho em comparação aos acrescidos de resíduos culturais de soja (Tabela 6).

Tabela 6 - Análise de contrastes para os tratamentos combinando resíduos vegetais e cinzas em Cambissolo e Neossolo.

Contraste	15 dias		30 dias		60 dias	
	$\text{NH}_4^+$	$\text{NO}_3^-$	$\text{NH}_4^+$	$\text{NO}_3^-$	$\text{NH}_4^+$	$\text{NO}_3^-$
<i>Cambissolo</i>						
Milho e milho + cinzas vs soja e soja + cinzas	0,11	<0,05	0,44	<0,01	<0,01	<0,01
Milho vs milho + cinzas	0,49	0,63	0,31	0,84	<0,01	0,48
Soja vs soja + cinzas	0,33	0,63	0,12	<0,01	0,23	0,12
<i>Neossolo</i>						
Milho e milho + cinzas vs soja e soja + cinzas	0,22	<0,01	<0,01	<0,01	0,40	<0,01
Milho vs milho + cinzas	0,88	0,28	0,72	0,39	0,94	0,29
Soja vs soja + cinzas	0,33	0,89	<0,01	0,53	<0,05	0,08

Figura 3 – Imobilização de  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  e N total no Cambissolo demonstrada pelos saldos negativos feita pela diferença dos tratamentos com resíduos menos o tratamento sem resíduos



A = Mineralização e imobilização de  $\text{NH}_4^+$ ; B = mineralização e imobilização de  $\text{NO}_3^-$ ; C = mineralização e imobilização de N total; Linha vermelha pontilhada divide saldos positivos e negativos de N nos tratamentos durante os 60 dias de incubação do Cambissolo

Os tratamentos referentes a Cambissolo + soja e Neossolo + soja não demonstram imobilização de N devido a sua relação C/N ser baixa. Quando analisado o tratamento Cambissolo + soja + cinzas aos 30 dias, percebe-se menor conteúdo mineralizado de  $\text{NO}_3^-$  com nível de significância, dessa forma, mesmo não havendo imobilização líquida de N, observa-se menor conteúdo de N inorgânico mineralizado de  $\text{NO}_3^-$  em tal data. Uma possível explicação, é o acréscimo das cinzas que apresentam relação C/N alta, dessa forma, cria-se uma tendência a menor taxa de conteúdo mineralizado devido as cinzas demandaram parte de N para a sua decomposição.

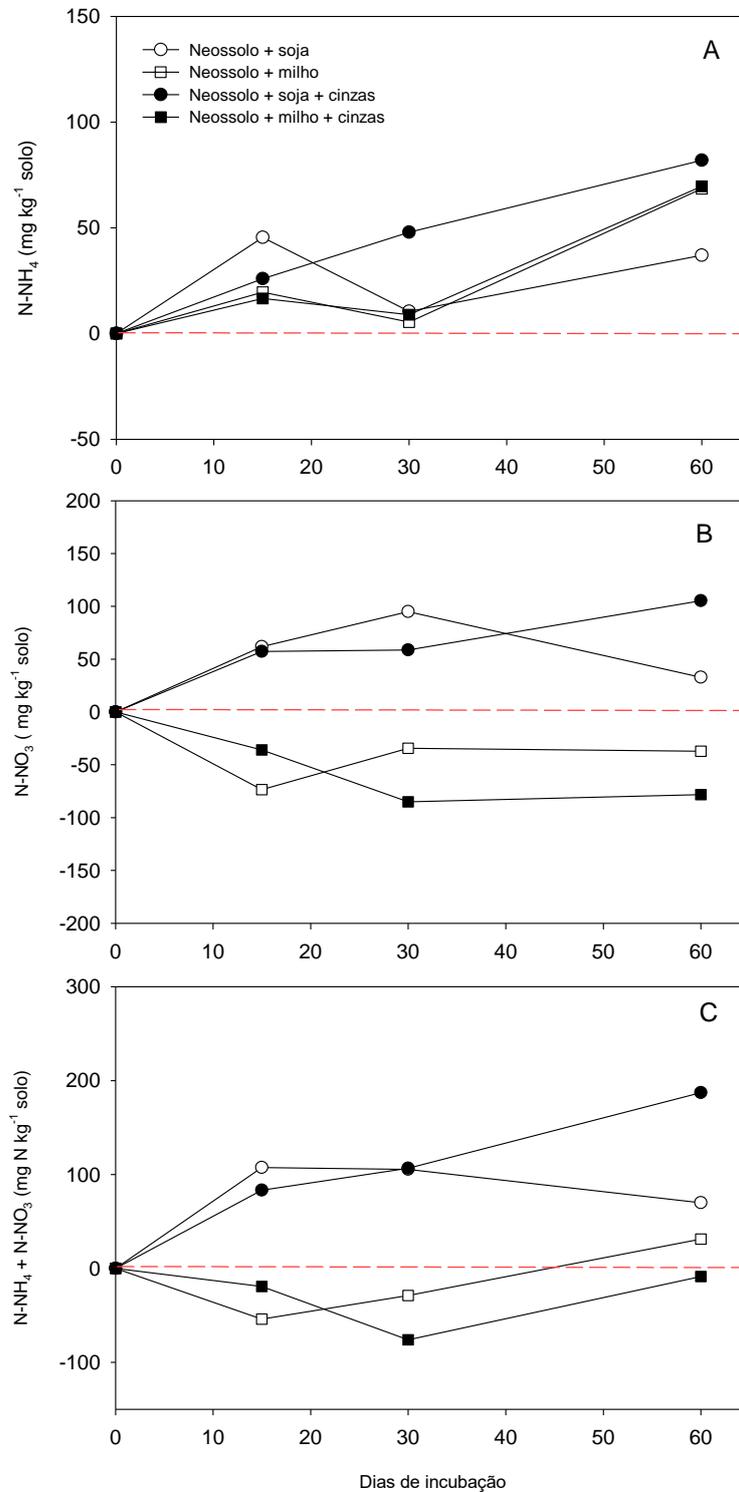
Nesse contexto, quando analisado os tratamentos referentes a solo + milho e solo + milho + cinzas (Cambissolo e Neossolo), percebe-se imobilização de N demonstrada pelos saldos negativos de N total devido a relação C/N alta do milho somada a relação C/N alta das cinzas reduzirem o N disponível do solo com a finalidade de decomposição do resíduo cultural e das cinzas.

Para o contraste Milho e milho + cinzas vs soja e soja + cinzas em ambos os solos se percebe a grande influência da relação C/N dos resíduos culturais para imobilização de N nos tratamentos acrescidos de Milho e Milho + cinzas (Figura 3 e 4, itens B e C). Nesse caso, a imobilização aconteceu para  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$ , todavia em ambos os solos o acréscimo das cinzas não acarretou em uma diferença a nível significativo para maior conteúdo de N imobilizado.

Nesse contexto vale ressaltar que mesmo as cinzas não demonstrando diferenças a um nível significativo para imobilização de N, em algumas datas é perceptível a tendência dos gráficos, mostrando que é possível que o conteúdo de N mineralizado seja menor para tratamentos que tem acréscimo de cinzas quando comparados a tratamentos sem o acréscimo do subproduto (itens A, B, C das figura 3 e 4).

Outro ponto relevante quando analisado o item C das figuras 3 e 4, é a remineralização de N, nesse caso, observa-se a morte da microbiota aos 30 dias de incubação para ambos os solos, e o retorno do nitrogênio em forma mineral (inorgânica) para o solo acontecendo aos 60 dias de incubação.

Figura 4 - Imobilização de  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  e N total no Neossolo demonstrada pelos saldos negativos feita pela diferença dos tratamentos com resíduos menos o tratamento sem resíduos



A = Mineralização e imobilização de  $\text{NH}_4^+$ ; B = mineralização e imobilização de  $\text{NO}_3^-$ ; C = mineralização e imobilização de N total; Linha vermelha pontilhada divide saldos positivos e negativos de N nos tratamentos durante os 60 dias de incubação do Neossolo

## 5 CONCLUSÕES

A adição de resíduos culturais com relação C/N baixa aumenta o conteúdo de N mineralizado e a adição de resíduos culturais com relação C/N alta favorece a imobilização de N, em especial para a forma de N em  $\text{NO}_3^-$ .

A adição de cinza pode representar diferença a um nível significativo para mudança da mineralização de N, todavia não representa diferença a um nível significativo para imobilização de N.

A forma de N mais afetada pela adição de resíduos orgânicos é  $\text{NO}_3^-$ .

## REFERÊNCIAS

- AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; HÜBNER, A. P.; CHIAPINOTTO, I. C.; FRIES, M. R. Consorciação de plantas de cobertura antecedendo o milho em plantio direto. I – Dinâmica do nitrogênio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 739-749, 2004.
- AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de coberturas do solo, sob sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 2, p. 241–248, 2002.
- ANDREOLA, F.; COSTA, L. M.; OLSZEWSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma terra roxa estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 4, p. 857-865, 2000.
- BELLOTE, A. F. J.; SILVA, H. D.; FERREIRA, C. A.; ANDRADE, G. C. Resíduos da indústria de celulose em plantios florestais. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 37, p. 99-106, 1998.
- BONFIM-SILVA, E.M.; CARVALHO, J.C.S.; PEREIRA, J.T.M; SILVA, T.J.A. Cinza vegetal na adubação de plantas de algodoeiro em latossolo vermelho do cerrado. **Enciclopédia da Biosfera**, v. 11, n. 21, p. 523-533, 2013.
- BORKERT, C. M.; GAUDÊNCIO, C. A.; PEREIRA, J. E.; PEREIRA, L. R.; JÚNIOR, A. O. **Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea de culturas de cobertura do solo**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 38, n. 1, p. 143–153, 2003
- CALONEGO, J. C.; GIL, F.C.; ROCCO, V. F.; SANTOS, E. A. **Persistência e liberação de nutrientes da palha de milho, braquiária e labe-labe**. Bioscience Journal 28: 770-781. 2012.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 1017. 2007
- COELHO, P.; COSTA, M. **Combustão**. Edições Orion, Amadora, 2007.714p.
- DAVIDSON, E.A.; JANSSENS, I.A. **Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change**. Nature, 440:165-173, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nature04514>
- DEMEYER, A.; VOUNDI NKANA, J.C.; VERLOO, M.G. Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: an overview. **Bioresource Technology**, v. 77. p. 287-295, 2001.
- DIEKOW, J.; MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D.P.; KÖGEL-KNABNER, I. **Carbon and nitrogen stocks in physical fractions of a subtropical Acrisol**

**as influenced by long-term no-till cropping systems and N fertilization. Plant Soil**, v.268. p.319-328, 2005

GOMORYOVÁ, E.; PICHLER, V.; TÓTHOVÁ, S.; GOMORY, D. **Change of chemical and biological properties of distinct forest floor layers after wood ash application in a Norway Spruce Stand. Florest**, v.7, n.108, p.1-16, 2016.

HOFFMANN, L. Biologia molecular da fixação biológica do nitrogênio. In: SILVEIRA, A. P. D.; FREITAS, S. S. (Ed.). **Microbiota do solo e qualidade ambiental**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, p. 153-164. 2007

JACOBSON, S; GUSTAFSON, L. **Effects on ground vegetation of the application of Wood ash to a swedish scots pine stand**. Basic and Applied Ecology, v. 2, p. 233-241, 2001

KARMAKAR, S., MITTRA, B. N., GHOSH, B. C. **Enriched Coal Ash Utilization for Augmenting Production of Rice under Acid Lateritic Soil**. Coal Combustion and Gasification Products, v. 2, p. 45-50, 2010.

KEENEY D. R.; NELSON D. W. **Nitrogen-inorganic forms**. In: Page AL, Miller RH, Keeney D R (Eds.). **Methods of Soil Analysis. Part 2: Chemical and Microbiological Properties**, 2nd ed Agronomy. Monograph 9. Soil Science Society of America, American Society of Agronomy, p. 643–698.1982

KLIEMANN, H. J.; BRAZ, A. J. B. P.; SILVEIRA, P. M. da. **Taxas de decomposição de resíduos de espécies de cobertura em latossolo vermelho distroférico**. Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 36, n. 1, p. 21–28, 2006.

LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F.M. **Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo**. R. Bras. Ci. Solo, v. 28. p. 175-187. 2004.

LUDWIG, B.; RUMPF, S.; MINDRUP, M.; MEIWES, K. J.; KHANNA, P. K. **Effects of lime and wood ash on soil solution chemistry, soil chemistry and nutritional status of a pine stand in Northern Germany**. Scandinavian Journal of Forest Research. v. 17. p. 225-237. 2002

MAEDA, S.; SILVA, H. D.; CARDOSO, C. **Resposta de Pinus taeda à aplicação de cinza de biomassa vegetal em Cambissolo Húmico, em vaso**. Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo, n. 56, p. 43-52, 2008.

MITCHELL, D. S.; EDWARDS, A. C.; FERRIER, R. C. **Changes in flux of n and p in water draining a stand of Scots pine treated with sewage sludge**. Forest Ecology and Management, v.139, n.1/3, p. 203-213, 2000

MONTEIRO, H. C. F.; CANTARUTTI R. B.; NASCIMENTO JUNIOR, D.; REGAZZI, A. J.; FONSECA, D. M. Dinâmica de Decomposição e Mineralização de Nitrogênio em Função

da Qualidade de Resíduos de Gramíneas e Leguminosas Forrageiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 31, n. 3, p.1092-1102, 2002.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2006. 729 p.

PIVA, R.; BOTELHO, V. R.; MULLER, L. M. M.; AYUB, A. R.; ROMBOLA, D. A.; Adubação de manutenção em videiras cv. Bordô utilizando-se cinzas vegetais e esterco bovino em sistema orgânico. Agrária - **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.9, n.2, p.219-224, 2014

PELTONIEMI, K.; PYRHÖNEN, M.; LAIHO, R.; MOILANEN, M.; FRITZE, H. **Microbial communities after wood ash fertilization in a boreal drained peatland Forest**. *European Journal of Soil Biology*, n. 76 p. 95-102, 2016

PERIN, A.; SANTOS, R. H. S.; URQUIAGA, S.; GUERRA, J. G. M.; CECON, P. R. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 1, p. 35-40, 2004

SILVA, E. C.; TAKASHI.M.; BUZETTI, S.; TRIVELIN, P. C. O. Manejo de nitrogênio no milho sob plantio direto com diferentes plantas de cobertura, em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 3, p. 477-486, 2006

SISTI, C.P.J.; SANTOS, H.P.; KOHHANN, R.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. **Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil**. *Soil Till. Res.*, v. 76, p. 39-58, 2004

TAN, Z.; LAGERKVIST, A. Phosphorus recovery from the biomass ash: **A review**. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15. p.3588-3602. 2011

TREVISAN, R.; MATTOS, M. L. T.; HERTER, F. G. Atividade microbiana em argissolo vermelho-amarelo distrófico típico coberto com aveia preta (*Avena sp.*) no outono, em um pomar de pessegueiro. **Revista Científica Rural**, v.7, p.83-89. 2002

TROEH, F. R.; THOMPSON, L. M. **Solos e fertilidade do solo**. (Tradução de Durval Dourado Neto e Manuela N. Dourado. São Paulo: Andrei Editora, 2007

VAN KESSEL, J. S.; REEVES, J. B. Nitrogen mineralization potential of dairy manures and its relationship to composition. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 36, p. 118-123, 2002

VASCONCELLOS, C.A.; CAMPOLINA, D.C.A.; SANTOS, F.G.; PITTA, G.V.E.; MARRIEL, I.E. Resposta da soja e da biomassa de carbono do solo aos resíduos de cinco genótipos de sorgo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p. 69-77, 1999.

VESTERGARD, M.; BANG-ANDREASEN, T.; BUSS, S.M.; CRUZ-PAREDES, C.; BENTZON-TILIA, S.; EKELUND, F.; KJOLLER, R.; MORTENSEN, L.H.; RONN, R.; The relative importance of the bacterial pathway and soil inorganic nitrogen increase across an extreme wood-ash application gradient. **GCB Bioenergy**. v.10, p. 320-334, 2018

VIERO, F.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; MORAES, R. P. de. Ammonia volatilization from nitrogen fertilizers in no-till wheat and maize in southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 5, p. 1515-1525, 2014

ZIMMERMANN, S.; FREY, B. Soil respiration and microbial properties in an acid forest soil: effects of wood ash. **Soil Biology and Biochemistry**. v.34, p. 1725- 1737, 2002

ZIMMER, A. H.; EUCLIDES FILHO, K. **Brazilian pasture and beef production**. SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUÇÃO ANIMAL EM PASTEJO. Viçosa- MG. Anais. Viçosa- MG: UFV. p. 349-379, 1997