

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

Pâmela Oruoski

**MINERALIZAÇÃO DO CARBONO E DO NITROGÊNIO DE
RESÍDUOS DA INDÚSTRIA FUMAGEIRA NO SOLO E
FORNECIMENTO DE NITROGÊNIO AO CAPIM SUDÃO**

Santa Maria, RS
2019

Pâmela Oruoski

**MINERALIZAÇÃO DO CARBONO E DO NITROGÊNIO DE RESÍDUOS DA
INDÚSTRIA FUMAGEIRA NO SOLO E FORNECIMENTO DE NITROGÊNIO
AO CAPIM SUDÃO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração Biodinâmica e Manejo do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciência do Solo**.

Orientador: Prof. Dr. Celso Aita

Santa Maria, RS
2019

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001

Oruoski, Pâmela Mineralização do carbono e do nitrogênio de resíduos da indústria fumageira no solo e fornecimento de nitrogênio ao capim sudão / Pâmela Oruoski.- 2019. 75 p.; 30 cm

Orientador: Celso Aita
Coorientadora: Janquieli Schirmann
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, RS, 2019

1. Adubação orgânica 2. Decomposição 3. Dinâmica do nitrogênio 4. Produtividade de plantas 5. Eficiência de uso do Nitrogênio I. Aita, Celso II. Schirmann, Janquieli III. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728

Declaro, PÂMELA ORUOSKI, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

Pâmela Oruoski

**MINERALIZAÇÃO DO CARBONO E DO NITROGÊNIO DE RESÍDUOS DA
INDÚSTRIA FUMAGEIRA NO SOLO E FORNECIMENTO DE NITROGÊNIO
AO CAPIM SUDÃO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração Biodinâmica e Manejo do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciência do Solo**.

Aprovado em 05 de agosto de 2019:

**Celso Aita, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)**

Leandro Souza da Silva, Dr. (UFSM)

Frederico Costa Beber Vieira, Dr. (Unipampa)

Santa Maria, RS
2019

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela vida, por guiar meus passos e proporcionar-me saúde e persistência na busca constante dos meus sonhos.

A minha família que mesmo distante é meu apoio, em especial a minha mãe Maria Salete, que sempre me ouve e diante dos percalços me encoraja a seguir em frente. Aos meus queridos nonos Engracia e Stanislau (in memoriam) que me ensinaram os valores que levo para a vida.

Ao meu namorado Maicon, pelo carinho e apoio em todas as circunstâncias, e por compreender meus momentos difíceis, tornando-os mais fáceis através da compreensão e otimismo.

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pelo ensino público de qualidade.

Ao meu orientador, Prof. Celso Aita, pelo auxílio diário, tanto nas atividades práticas quanto teóricas, pelas palavras de incentivo, ensinamentos compartilhados e pela confiança em mim depositada.

À CAPES, pela concessão da bolsa de mestrado, que possibilitou a execução deste trabalho.

À empresa JTI Processadora de Tabaco do Brasil e à Fundação para Proteção Ambiental de Santa Cruz do Sul, que nos apoiaram na execução deste trabalho.

Aos atuais e ex-colegas da pós-graduação do LABCEN, Adriane, Ana Paula, Bruno, Caren, Douglas, Heitor, Getúlio, Guilherme, Janquieli, José Flávio, Patrick, Raquel, Rosemar e Stefen, pelo acolhimento, amizade e prestatividade.

Em especial, a Rosemar e ao Heitor, pela imprescindível ajuda em todos os momentos. Também ao Stefen, por todo auxílio desde o início do mestrado.

Aos atuais e ex-bolsistas de iniciação científica, do LABCEN, Ana Luiza, Cristian, Gabriel, Kathleen, Matheus, Paula, Pedro, Poliana, Renata, Samanta e Wanuse, obrigada por toda a ajuda, sem vocês tudo seria mais difícil.

Aos funcionários do Departamento de Solos, pela colaboração com as atividades de campo.

À banca examinadora, pela disponibilidade e pelas importantes contribuições.

Por fim, a todos os meus amigos, de perto e de longe, que fazem parte da minha vida, um agradecimento especial a cada um de vocês!

"Quanto mais eu estudo a natureza mais fico impressionado com a obra do Criador.
Na menor de suas criaturas Ele colocou propriedades extraordinárias.
Um pouco de ciência nos afasta de Deus, muito nos aproxima"

(Louis Pasteur)

RESUMO

MINERALIZAÇÃO DO CARBONO E DO NITROGÊNIO DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA FUMAGEIRA NO SOLO E FORNECIMENTO DE NITROGÊNIO AO CAPIM SUDÃO

AUTORA: Pâmela Oruoski

ORIENTADOR: Celso Aita

O aproveitamento de resíduos agropecuários e industriais como fertilizante agrícola, além de reduzir passivos ambientais, permite a produção de culturas com menor demanda por fertilizantes minerais. O processamento de tabaco nas indústrias fumageiras gera grandes quantidades de resíduos, denominado de pó de tabaco. Esse pó possui potencial para uso agrícola, no entanto devido a restrições na legislação quanto a sua incorporação direta no solo e por problemas de aplicação como geração excessiva de poeira e maus odores, ele é transformado em um composto para uso agrícola via fermentação em estado sólido. Por se tratar de um processo recente, são necessários estudos sobre o potencial que esse composto tem de fornecer nutrientes às culturas. Nessa perspectiva, o objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito do tipo de solo e do modo de aplicação de pó de tabaco e do composto no solo sobre a mineralização do C e do N em condições controladas e também o potencial fertilizante do composto ao capim sudão em condições de campo. Foi realizada uma incubação em laboratório durante 100 dias, em dois solos com características químicas e físicas contrastantes (Argissolo e Neossolo Flúvico), para avaliar o efeito da localização no solo (incorporação e aplicação superficial) sobre a mineralização do C e do N do pó e do composto. A mineralização do C e do N foi maior no pó de tabaco do que no composto, independentemente do tipo de solo e da localização dos resíduos orgânicos no solo. Em média, 44 % do C e 20 % do N do pó de tabaco foram mineralizados em 100 dias e 36 % do C e 12 % do N do composto. O tipo de solo afetou a mineralização do C e do N dos resíduos orgânicos apenas na fase inicial de decomposição, sendo maior no solo arenoso. A mineralização do N dos resíduos orgânicos não foi afetada pelo modo de aplicação no solo com menor teor de argila (Neossolo Flúvico), enquanto no solo com maior teor de argila (Argissolo) ela foi maior quando os resíduos foram adicionados na superfície do solo. No campo foram aplicadas no solo diferentes doses do composto de pó de tabaco para avaliar seu efeito na produção de matéria seca (MS), no acúmulo de nitrogênio (N) pelas plantas e nos índices de eficiência do N no capim sudão. Foram testadas diferentes doses de composto: 0, 11, 22 e 44 Mg ha⁻¹, além de um tratamento com adubação mineral, NPK, de modo incorporado e na superfície do solo. A aplicação do composto em superfície refletiu em maior produtividade e eficiência agrônômica quando comparada a sua incorporação no solo. Quanto maior a dose do composto de tabaco aplicada, maior foi a produção de MS e o acúmulo de N, no entanto menor a eficiência agrônômica e a recuperação aparente do N. No tratamento com NPK a produção de MS e acúmulo de N foi semelhante ao tratamento onde foram aplicadas 11 Mg ha⁻¹ do composto.

Palavras chave: Decomposição. Dinâmica do N. Adubação orgânica. Modo de aplicação. Eficiência agrônômica.

ABSTRACT

CARBON AND NITROGEN MINERALIZATION OF TOBACCO INDUSTRIES RESIDUES IN SOIL AND NITROGEN SUPPLY TO SUDAN GRASS

AUTHOR: Pâmela Oruoski

ADVISOR: Celso Aita

The use of agricultural and industrial residues as agricultural fertilizer besides to reduce environmental problems, allows the crop production with lower demand for mineral fertilizers. The tobacco processing in industries produces large amount of residues, called tobacco powder. This powder has potential to use in agriculture, however due the brazilian legislation that restrict its incorporation directly in soils and excessive dust generation and bad odors it is transformed in compost for agricultural use through solid state fermentation (SSF). The SSF to treat tobacco residues is a recent process therefore are necessary studies about for nutrients supply to crops. The objective of this study was to evaluate the effect of soil type and application mode of tobacco powder and compost on carbon (C) and nitrogen (N) mineralization under laboratory conditions and under field conditions the fertilizer potential of the compost for sudan grass. Was performed a incubation during 100 days, in two contrasting soils to evaluate the effect of the location (incorporated or surface applied) about the C and N mineralization of the powder and compost. The C and N mineralization was greater in the powder than in the compost regardless of the soil type and residue location. In average, 44% C and 20% N of the tobacco powder were mineralized in 100 days and 36% C and 12% N of the compost. The soil type affected of the C and N mineralization only in the initial stage of decomposition and was higher in sandy soil. The mineralization of N from organic residues was not affected by residue location in sandy soil, but in clay soil the N mineralization was higher when the residues were placement on surface. In the field, different doses of compost were applied in soil to evaluate the effect on dry matter (DM) production, on N accumulation by plants and nitrogen use efficiency by plants of sudan grass. Were tested the doses: 0, 11, 22 and 44 Mg ha⁻¹ of compost besides a treatment with mineral adubation, incorporated or applied on soil surface. The application on surface resulted in higher productivity and N accumulated when comparated the incorporated of composto on soil. Higher doses resulted in higher DM and N acumulated, however lower efficiency of the use of N. In treatment whit mineral fertilizer the DM production and N acumulatted were similar to the treatment with 11 Mg ha⁻¹ of compost.

Keywords: Decomposition. N Dynamics. Organic fertilization. Application mode. Agronomic efficiency.

LISTA DE TABELAS

ARTIGO I

Tabela 1 - Caracterização dos solos utilizados no experimento de incubação 41

Tabela 2 - Principais características dos materiais orgânicos e quantidades adicionadas aos solos, em base seca..... 41

Tabela 3 - Carbono mineralizado em percentual do carbono total adicionado dos resíduos pó de tabaco e composto orgânico em dois solos contrastantes, em dois modos de aplicação (incorporado e superfície) durante a incubação..... 42

Tabela 4 - N mineralizado em percentual do nitrogênio orgânico adicionado dos resíduos pó de tabaco e composto orgânico em dois solos contrastantes, em dois modos de aplicação (incorporado e superfície) durante a incubação..... 43

ARTIGO II

Tabela 1 - Caracterização do composto orgânico de resíduo de tabaco e quantidades aplicadas no solo nas três doses avaliadas. Santa Maria, RS, Brasil.....65

Tabela 2 - Produção de matéria seca, acúmulo de nitrogênio (N), eficiência agronômica do N (EAN) e recuperação aparente do N (RAN), pelo capim sudão, após a aplicação de três doses do composto de resíduos de tabaco e da adubação mineral (NPK). 65

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO I

Figura 1 - Fluxos de CO₂ (A, B), fluxos de CO₂ em percentual de C adicionado ao dia (C, D) e percentual de C mineralizado em relação ao C total adicionado (E, F) do pó de tabaco e do composto orgânico, durante a incubação, nos solos I (A, C, E) e II (B, D, F), respectivamente. As barras indicam o erro padrão da média (n=4). 44

Figura 2 - N mineral (A, B), N mineralizado (C, D) e percentual de N mineralizado em relação ao N orgânico adicionado (E, F) do pó de tabaco e do composto orgânico, durante a incubação, nos solos I (A, C, E) e II (B, D, F), respectivamente. As barras verticais indicam o erro padrão das médias (n=3). 45

ARTIGO II

Figura 1 - Temperaturas máxima, média e mínima diárias do ar e precipitação pluviométrica durante o cultivo de capim sudão. S = semeadura da cultura; 1°, 2° e 3° cortes = indicam os momentos em que foi realizado cada corte, simulando pastejos.... 66

Figura 2 - Matéria seca produzida pela parte aérea das plantas de capim sudão, na média dos dois modos de aplicação, no primeiro, segundo e terceiro cortes após adubação com composto de tabaco e com fertilizante mineral. 66

Figura 3 - Matéria seca total da parte aérea do capim sudão em função das doses do composto de tabaco e da adubação mineral (NPK, linha tracejada) aplicadas no solo...67

Figura 4 - Nitrogênio acumulado na parte aérea das plantas de capim sudão, na média dos dois modos de aplicação, no primeiro, segundo e terceiro cortes após adubação com composto de tabaco e com fertilizante mineral. 67

Figura 5 - Acúmulo de nitrogênio na parte aérea do capim sudão em função das doses de composto de tabaco e da adubação mineral (NPK, linha tracejada) aplicada ao solo.....68

Figura 6 - Eficiência agrônômica do nitrogênio (EAN, em “A”) e recuperação aparente do N (RAN, em “B”) nas plantas68

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	11
2 HIPÓTESES E OBJETIVOS	13
2.1 HIPÓTESES	13
2.2 OBJETIVOS	13
2.2.1 Objetivos gerais	13
2.2.2 Objetivos específicos	13
3 ARTIGO 1: MINERALIZAÇÃO DO CARBONO E DO NITROGÊNIO DE RESÍDUOS DE TABACO EM DOIS SOLOS CONTRASTANTES	14
3.1 RESUMO	14
3.2 INTRODUÇÃO	16
3.3 MATERIAIS E MÉTODOS	17
3.3.1 Coleta e principais características dos solos	18
3.3.2 Materiais orgânicos	18
3.3.3 Experimentos de incubação	19
3.3.4 Análise estatística	22
3.4 RESULTADOS	22
3.4.1 Mineralização do carbono dos resíduos orgânicos	22
3.4.2 Mineralização do nitrogênio do solo e dos resíduos orgânicos	23
3.5 DISCUSSÃO	25
3.5.1 Mineralização do C	25
3.5.2 Mineralização do N	30
3.6 CONCLUSÕES	36
3.7 REFERÊNCIAS	37
4 ARTIGO 2: PRODUTIVIDADE E ACÚMULO DE NITROGÊNIO NO CAPIM SUDÃO APÓS APLICAÇÃO DE COMPOSTO ORGÂNICO DE RESÍDUO DE TABACO	46
4.1 RESUMO	46
4.2 INTRODUÇÃO	48
4.3 MATERIAIS E MÉTODOS	49
4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
4.4.1 Efeito modo de aplicação do composto orgânico e fertilizante mineral	53
4.4.2 Efeito doses de composto orgânico e fertilizante mineral aplicados	54
4.4.3 Potencial fertilizante do composto de pó de tabaco	60
4.5 CONCLUSÕES	61
4.6 REFERÊNCIAS	62
5 DISCUSSÃO GERAL	69
6 CONCLUSÕES GERAIS	72
REFERÊNCIAS	73

1 INTRODUÇÃO GERAL

A produção de tabaco é uma importante atividade econômica e social em diversas regiões do Brasil, com destaque para a região sul, que é responsável por 97% da produção nacional (AFUBRA, 2019). O processamento das folhas de tabaco pelas indústrias fumageiras gera grande quantidade de resíduos, os quais são genericamente denominados de “pó de tabaco” e representam cerca de 2% do total processado. Em função do seu potencial como fertilizante agrícola (SHAKEEL, 2014), o destino usualmente dado a esse subproduto era a incorporação ao solo (LAUSCHNER et al., 2005). No entanto, restrições na legislação brasileira e inconvenientes na sua aplicação, principalmente pela geração excessiva de poeira e a emissão de maus odores, tornaram necessário o tratamento prévio desses resíduos, antes da sua aplicação no solo. Além disso, a nicotina presente no tabaco é tóxica e pode oferecer riscos à saúde humana e animal (ROHERS, 2012), além de exercer efeito inibitório sobre a população microbiana do solo (ADEDIRAN et al., 2003).

A transformação de pó de tabaco em um composto orgânico por meio do processo biológico de fermentação em estado sólido (FES) tem sido adotada pela Fundação para Proteção Ambiental de Santa Cruz do Sul – RS (FUPASC) como uma alternativa para mitigar o potencial poluidor desse resíduo e facilitar seu uso agrícola, atendendo a exigência da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS 12.305/2010). No entanto, por se tratar de um processo de tratamento recente, pouco se conhece sobre aspectos como: a) características do produto final, denominado de composto; b) dinâmica do carbono (C) e do nitrogênio (N) após sua aplicação no solo e c) sobre o potencial do composto em fornecer nutrientes às culturas. A compostagem do pó de tabaco associado a outros resíduos como, por exemplo, dejetos de animais, tem sido relatada em alguns estudos (ADEDIRAN et al., 2004; OKUR et al., 2008), porém não foram encontrados resultados de pesquisa com foco no tratamento exclusivamente do pó de tabaco.

A inclusão de um composto orgânico originado do tratamento do pó de tabaco via FES em programas de fertilização de culturas depende do conhecimento sobre a cinética de mineralização dos nutrientes no solo, principalmente do N adicionado, fundamental ao estabelecimento de doses a aplicar nas diferentes culturas. Se por um lado, o uso de subdosagens pode comprometer o fornecimento de N e limitar o desenvolvimento vegetal, o uso de doses excessivas pode resultar em contaminação ambiental, principalmente por lixiviação de nitrato (NO_3^-) e emissão de óxido nitroso (N_2O) durante

os processos microbianos de nitrificação e a desnitrificação (THANGARAJAN et al., 2013).

O conhecimento sobre a mineralização do C do material orgânico também é relevante para poder estabelecer o impacto do seu uso agrícola sobre a emissão do gás de efeito estufa dióxido de carbono (CO₂) para a atmosfera e sobre o acúmulo de matéria orgânica no solo. O efeito positivo da adubação orgânica sobre a produtividade das culturas pode ser indireto, pelo incremento de carbono orgânico e melhorias nos atributos químicos e físicos do solo e também direto, através do fornecimento de nutrientes às plantas, o que pode tornar a adubação orgânica uma interessante alternativa aos fertilizantes minerais (CELESTINA et al., 2019).

A disponibilidade dos nutrientes ligados à fração orgânica dos resíduos vegetais, como o pó de tabaco, está condicionada à sua decomposição pelos microrganismos do solo (MASUNGA et al., 2016), os quais dependem das características do próprio resíduo e de atributos do solo (COTRUFO et al., 2013), além de fatores ligados ao clima (CANTARELA et al., 2008). Práticas de manejo adotadas em diferentes sistemas de cultivo também podem alterar a dinâmica de decomposição dos resíduos. Por essa razão, os diferentes sistemas adotados para o preparo do solo tais como cultivo reduzido, cultivo convencional ou plantio direto, podem influenciar na degradação desses materiais orgânicos pela população heterotrófica do solo, com consequências na liberação de nutrientes.

A decomposição de resíduos de tabaco no solo foi avaliada por Hadas et al. (2004), mas não foram encontrados resultados de pesquisa tratando especificamente da avaliação da decomposição do composto de pó de tabaco no solo e nem sobre o potencial deste material orgânico em fornecer N às plantas. Essas informações são necessárias para poder recomendar a ciclagem da agricultura dos nutrientes contidos nos resíduos gerados pela indústria fumageira, sobretudo no sul do Brasil, onde a produção de tabaco é expressiva. Além contribuir à sustentabilidade do sistema de produção de tabaco, a ciclagem agrícola eficiente dos nutrientes dos resíduos produzidos pela indústria fumageira, com destaque para o N, também deverá agregar valor a essa atividade de grande relevância econômica e social para o meio rural.

2 HIPÓTESES E OBJETIVOS

2.1 HIPÓTESES

- a) A adição ao solo do composto produzido através do processo de FES do pó de tabaco resulta em redução na taxa de mineralização de C e na imobilização líquida de N, em relação à adição do pó de tabaco *in natura*.
- b) A taxa de mineralização do C e do N do composto e do pó de tabaco está diretamente relacionada aos teores de argila e de matéria orgânica do solo.
- c) A incorporação ao solo do composto e do pó de tabaco aumenta a decomposição dos materiais orgânicos, em relação à aplicação na superfície do solo.
- d) O uso do composto produzido a partir da FES do pó de tabaco como fonte exclusiva de fertilizante consegue suprir a demanda de nutricional do capim sudão.

2.2 OBJETIVOS

2.2.1 Objetivos gerais

Avaliar o efeito do tipo de solo e do modo de aplicação de pó de tabaco e do composto no solo sobre a mineralização do C e do N dos materiais orgânicos em condições controladas e também o potencial fertilizante do composto ao capim sudão em condições de campo.

2.2.2 Objetivos específicos

- a) Comparar a mineralização do C e do N do pó de tabaco e do composto em dois solos contrastantes, variando o modo de aplicação dos materiais orgânicos no solo (incorporação x aplicação superficial).
- b) Avaliar o potencial fertilizante do composto de pó de tabaco ao capim sudão em função da dose utilizada e do modo de aplicação no solo (incorporação x aplicação superficial).

3 ARTIGO 1: MINERALIZAÇÃO DO CARBONO E DO NITROGÊNIO DE RESÍDUOS DE TABACO EM DOIS SOLOS CONTRASTANTES¹

3.1 RESUMO

Resíduos da indústria fumageira são produzidos em grande quantidade no Sul do Brasil e o destino principal desses resíduos é o solo, porém pouco se sabe sobre a dinâmica de mineralização do carbono (C) e do nitrogênio (N) após a aplicação desses resíduos orgânicos no solo. Para avaliar o efeito do tipo de solo e do modo de aplicação (incorporação e aplicação superficial) sobre a mineralização do C e do N de dois resíduos da indústria fumageira, sendo um o pó de tabaco *in natura* e o outro um composto produzido via fermentação em estado sólido do pó, foi conduzido uma incubação em laboratório durante 100 dias. A mineralização do C e do N foi maior no pó de tabaco do que no composto, independentemente do tipo de solo e da localização dos resíduos orgânicos no solo. Em média, 44% do C e 20% do N do pó de tabaco foram mineralizados em 100 dias, contra 36% do C e 12% do N do composto. O tipo de solo afetou a mineralização do C e do N dos resíduos orgânicos apenas na fase inicial da incubação, com os maiores valores no solo com menor teor de argila. A mineralização do N dos resíduos orgânicos não foi afetada pelo modo de aplicação no solo com menor teor de argila, enquanto no solo com maior teor de argila ela foi maior quando os resíduos foram adicionados na superfície do solo.

Palavras chave: Matéria orgânica do solo. Decomposição. Dinâmica do nitrogênio. Adubação orgânica

¹Artigo elaborado de acordo com as normas da Scientia Agricola

CARBON AND NITROGEN MINERALIZATION OF TOBACCO RESIDUES IN TWO CONTRASTING SOILS

ABSTRACT

Tobacco industries residues are produced in large quantities in southern Brazil and the main destination of these residues is the soil, but little is known about the carbon (C) and nitrogen (N) dynamics after the application of these organic residues in the soil. To evaluate the effect of soil type and application method (incorporation and surface application) on the C and N mineralization of two tobacco residues, the fresh tobacco powder and a compost produced via solid state fermentation (SSF) of the powder, an incubation in the laboratory was conducted for 100 days. The C and N mineralization was greater in the powder than in the compost regardless of the soil type and residue location. In average, 44% C and 20% N of the tobacco powder were mineralized in 100 days and 36% C and 12% N of the compost. The soil type affected of the C and N mineralization only in the initial stage of decomposition and was higher in sandy soil. The mineralization of N from organic residues was not affected by residue location in sandy soil, but in clay soil the N mineralization was higher when the residues were placement on surface.

Keywords: Soil organic matter. Decomposition. Nitrogen dynamics. Organic adubation.

3.2 INTRODUÇÃO

O “pó de tabaco” é um subproduto gerado nas indústrias tabagistas durante o beneficiamento das folhas de tabaco e representa aproximadamente 2% do total processado. Na região do Vale do Rio Pardo, no Rio Grande do Sul, onde está instalado o maior complexo fumageiro mundial, são geradas grandes quantidades desses resíduos. Devido ao seu potencial como fertilizante agrícola, esse subproduto era usualmente incorporado ao solo como fonte de carbono e nutrientes às culturas (Shakeel, 2014). Entretanto, inconvenientes na sua aplicação, como a geração excessiva de poeira e a emissão de maus odores, tornam necessário o tratamento desses resíduos antes da aplicação no solo.

O uso recente do processo biológico de fermentação em estado sólido (FES) para o tratamento do pó de tabaco, convertendo-o em composto, tem se mostrado promissor com vistas à reciclagem deste resíduo na agricultura, principalmente na adubação para a produção de grãos e forragem. A expectativa da usina de compostagem operada pela Fundação para Proteção Ambiental de Santa Cruz do Sul (FUPASC) é de produzir 11,6 mil toneladas do composto orgânico em 2019.

A utilização de resíduos agrícolas e industriais para a produção de fertilizantes orgânicos é considerada como uma estratégia de gerenciamento de resíduos ambientalmente correta, pois permite a ciclagem de nutrientes no local (Viaene et al., 2017). Além disso, a adubação orgânica é usada em sistemas de produção agrícola como alternativa aos fertilizantes minerais. A resposta positiva das culturas ao uso da adubação orgânica está associada não apenas à liberação de nutrientes, mas também ao aumento no estoque de matéria orgânica do solo (Celestina et al., 2019), que proporciona melhorias na atividade biológica, na estrutura do solo e na retenção de água, entre outros benefícios (Lal, 2005).

Além da composição química dos resíduos orgânicos, estudos indicam que as características do solo (Cotrufo et al., 2013) e o modo de aplicação dos mesmos no solo (Aita et al., 2012; Li et al., 2013) controlam a sua decomposição e ciclagem dos nutrientes neles contidos. Dentre as características do solo, a relação da textura com a decomposição de resíduos tem sido amplamente estudada, porém não há consenso na literatura sobre os efeitos desse atributo do solo na taxa de decomposição e liberação de nutrientes dos resíduos culturais. Se, por um lado, a maior quantidade de partículas de tamanho argila pode favorecer o aumento da decomposição do material orgânico devido ao aumento da

capacidade de retenção de água e troca de nutrientes, por outro lado, o aumento do teor de argila também pode reduzir os níveis de oxigênio do solo (Umar, 2010) e aumentar a proteção da matéria orgânica (Zinn et al., 2007) reduzindo a acessibilidade dos microrganismos heterotróficos ao substrato, o que reduziria a decomposição.

Assim como para a textura do solo, o efeito do modo de aplicação dos resíduos culturais no solo sobre a sua velocidade de decomposição é, as vezes, contraditório. De acordo com Aita et al. (2012), o aumento do contato do solo com os resíduos acelera a decomposição, pois facilita o acesso dos microrganismos decompositores à fonte de C e energia. Entretanto, Abiven e Recous (2007) não encontraram diferença significativa sobre a taxa de mineralização do C de resíduos de culturas quando os mesmos foram incorporados ou mantidos na superfície do solo. Já no estudo de Li et al. (2013), a taxa de decomposição dos resíduos de soja e milho colocados na superfície do solo foi maior do que quando os resíduos foram incorporados. As diferenças entre os tipos de resíduos e nas condições de solo e clima de cada estudo podem explicar tais discrepâncias (Giacomini et al., 2007) e evidenciam a dificuldade em extrapolar resultados de um local para outro.

O conhecimento da decomposição e liberação de nutrientes, em especial do N, é fundamental não apenas para poder avaliar o impacto do uso agrícola dos resíduos de tabaco na retenção de C no solo e na emissão de CO₂ para a atmosfera, mas também para estabelecer a dose a utilizar nas culturas. Diante da carência de informações de pesquisa sobre resíduos de tabaco, especialmente após a fermentação em estado sólido e às divergências existentes sobre como os atributos de solo e o modo de aplicação de resíduos interferem na decomposição e mineralização de nutrientes, o objetivo deste estudo foi avaliar, em condições controladas, a mineralização do C e do N de pó de tabaco e composto aplicados em superfície e incorporados em solos com características contrastantes.

3.3 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo constou da incubação de dois tipos de resíduos provenientes de indústria fumageira em dois tipos de solo com características contrastantes, principalmente no que se refere à classe textural e ao teor de matéria orgânica. A incubação foi conduzida durante 100 dias em condições controladas de temperatura e umidade, no Laboratório de

Biotransformações do C e do N (LABCEN), do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

3.3.1 Coleta e principais características dos solos

Os solos foram coletados sobre camalhões de 40 cm de altura, recém construídos de duas áreas cultivadas há vários anos com tabaco. Foi descartado o solo dos primeiros 10 cm da superfície do camalhão e coletado o solo dos 20 cm seguintes. O solo I, classificado como Argissolo, de textura franca, com maior teor de argila e matéria orgânica, foi coletado na área experimental da empresa JTI (Japan Tobacco International), localizada no município de Santa Cruz do Sul/RS enquanto o solo II, classificado como Neossolo Flúvico de textura areia franca, com menor teor de argila e MO, foi coletado na área de um produtor de tabaco no município de Candelária/RS.

Após a coleta, os solos foram peneirados (4 mm), submetidos à retirada manual de pedras e resíduos culturais e homogeneizados. Em seguida, os solos foram subamostrados e armazenados em temperatura ambiente durante 20 dias, até o início da incubação. Nas subamostras, foram realizadas análises químicas e físicas dos solos, cujos resultados estão apresentados na tabela 1. As análises químicas seguiram a metodologia de Tedesco et al. (1995) e a análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta (Embrapa, 2011)

3.3.2 Materiais orgânicos

Os materiais orgânicos utilizados no experimento foram o pó de tabaco *in natura*, constituído principalmente de aparas de tabaco, originadas no processamento do tabaco nas indústrias, e o material proveniente do tratamento deste pó de tabaco por meio de fermentação em estado sólido, que será denominado no presente trabalho de “composto”. Ambos foram obtidos junto à unidade de compostagem de resíduos de tabaco operada pela FUPASC. Subamostras do pó de tabaco e do composto foram submetidas à secagem em estufa a 65°C até atingir peso constante para determinação da matéria seca. Após a secagem, o material foi pesado e moído finamente em almofariz para determinação dos teores de C e N total por combustão seca em autoanalisador elementar (Flash EA 1112, Thermo Finnigan, Milan, Italy).

A determinação de N mineral foi feita conforme a metodologia descrita em Tedesco et al. (1995), pesando-se 2 g de cada material orgânico, acondicionados em

frascos de 150 mL, aos quais foram adicionados 60 mL de solução KCl 1 M sendo posteriormente agitados em agitador horizontal durante 30 minutos. Após a extração, o sobrenadante foi filtrado e os teores de NH_4^+ e NO_3^- foram analisados por colorimetria em analisador de fluxo contínuo (CFA, San Plus, Skalar, Breda, Holanda).

A fração solúvel em água foi determinada conforme a metodologia descrita em Aita et al. (1997), pesando-se 1 g de cada resíduo e adicionando 80 mL de água deionizada, com a solução sendo agitada por 30 minutos. Após a extração, o sobrenadante permaneceu 20 minutos decantando e foi filtrado (1 a 2 μm) com auxílio de bomba de vácuo. As concentrações de C e N solúvel foram analisadas utilizando um analisador de carbono orgânico total (TOC) equipado com um kit para análise de N (Shimadzu TOC-LCPH, Shimadzu, Kyoto, Japão). As principais características do pó de tabaco e do composto são apresentadas na tabela 2.

3.3.3 Experimentos de incubação

Duas incubações foram conduzidas simultaneamente, sendo uma para analisar a dinâmica de mineralização do C e outra para monitorar a mineralização do N após a aplicação dos materiais orgânicos nos dois solos. Os tratamentos consistiram da combinação de dois tipos de solo (Argissolo e Neossolo Flúvico), dois tipos de materiais orgânicos (pó de tabaco e composto) e dois modos de aplicação dos mesmos no solo (aplicação superficial e incorporado), resultando em 10 tratamentos: T1 - Testemunha, sem adição de material orgânico; T2 - Composto incorporado; T3 - Composto na superfície; T4 - Pó de tabaco incorporado e T5 - Pó de tabaco na superfície, para o solo I e os mesmos tratamentos (T6 a T10) para o solo II. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com quatro e três repetições para a avaliação da mineralização do C e do N, respectivamente.

As unidades experimentais foram montadas em recipientes de acrílico com 5 cm de diâmetro e 110 mL de capacidade e acondicionadas em incubadora na ausência de luz e temperatura de 25°C. Cada unidade experimental recebeu uma amostra de 88,38 g de solo seco, com capacidade de campo ajustada para 80%, e densidade 1 g cm^3 . As quantidades de pó de tabaco e de composto aplicadas em cada recipiente foram de 1,28 g e 2,39 g, equivalentes a 6,5 e 12 Mg ha^{-1} em base úmida e a 6,0 e 7,6 Mg ha^{-1} em base seca, o que corresponde à aplicação de aproximadamente 200 kg ha^{-1} de N total.

3.3.3.1 Mineralização do carbono

As emissões de dióxido de carbono (CO₂) foram determinadas através da captura do CO₂ em solução alcalina. Para isso, cada unidade experimental (frascos em acrílico) contendo os tratamentos foi colocada individualmente no interior de um frasco de vidro com capacidade de 1000 mL, o qual foi mantido hermeticamente fechado nos períodos entre as avaliações. No interior e na parte inferior de cada frasco de 1000 mL foi colocado um frasco de vidro com capacidade de 10 mL contendo água destilada, com a finalidade de manter úmida a atmosfera interna do sistema. Na parte superior do frasco de 1000 mL também havia uma armação de arame na qual era preso um frasco de vidro contendo 10 mL de NaOH 1 mol L⁻¹, para capturar o CO₂ liberado do solo. Em cada coleta, o excesso de NaOH foi titulado com HCl 1 M, após a adição de BaCl₂ 2 M e fenolftaleína (Stotzky, 1965). Além dos tratamentos, avaliou-se também a concentração de CO₂ da atmosfera interna dos frascos de 1000 mL, colocando-se no seu interior apenas o frasco com NaOH (prova em branco).

A titulação do excesso de NaOH foi realizada após 1, 2, 4, 7, 11, 16, 23 e 30 dias no primeiro mês do experimento e, posteriormente, em intervalos de 15 dias, até os 100 dias da incubação. Em cada avaliação, os frascos de 1000 mL contendo as unidades experimentais permaneciam abertos por 30 minutos para permitir a aeração do sistema. Passado esse tempo, foram colocados novos frascos com NaOH e os frascos de vidro foram novamente fechados hermeticamente. O conteúdo de água no solo foi verificado através da pesagem periódicas das unidades experimentais e, quando necessário, foi adicionada água destilada.

A mineralização aparente do C adicionado foi calculada pela diferença entre a quantidade de C-CO₂ acumulada nos tratamentos com pó de tabaco e composto e a quantidade de C-CO₂ acumulada nas suas respectivas testemunhas (solo sem adição de material orgânico). A percentagem de C mineralizado em cada período de tempo de amostragem foi calculada conforme a equação:

$$\% \text{ C min} = \frac{\text{C} - \text{CO}_2 (\text{trat.}) - \text{C} - \text{CO}_2 (\text{test.})}{\text{C total aplicado}} \times 100$$

3.3.3.2 Mineralização do nitrogênio

Para a avaliação da mineralização do N, as três repetições de cada tratamento foram colocadas em um único frasco de vidro com capacidade de 2.000 mL. Foram montados seis conjuntos com 10 tratamentos e três repetições, totalizando 180 unidades experimentais. No interior dos recipientes de vidro, contendo as unidades experimentais, foi colocado um frasco de 10 mL, contendo água destilada, com a finalidade de manter a úmida atmosfera interna do recipiente durante a incubação. Para evitar a deficiência de O₂, os recipientes foram aerados periodicamente. A umidade do solo foi verificada periodicamente através da pesagem das unidades experimentais e, quando necessário, foi adicionado água destilada.

As avaliações de N mineral do solo (NH₄⁺ + NO₃⁻) foram realizadas no momento da instalação do experimento (tempo zero) e posteriormente, aos 7, 14, 28, 63 e 100 dias de incubação. Em cada uma das seis amostragens realizadas um conjunto era analisado e descartado. Em cada amostragem, o N mineral do solo foi extraído por agitação com KCl 1 mol L⁻¹ durante 30 minutos, seguido da decantação, filtração e destilação dos extratos em destilador de arraste de vapores do tipo semi-micro Kjeldahl na presença de óxido de magnésio e liga de Devarda, titulando-se o destilado com H₂SO₄ (Tedesco et al., 1995). Em cada amostragem também foi determinada a umidade gravimétrica do solo, secando-se as amostras em estufa a 105 °C durante 24 horas.

O percentual de N mineralizado em relação ao N orgânico que foi adicionado em cada solo com o pó de tabaco e o composto foi calculado diminuindo-se da variação ocorrida nos teores de N mineral a cada duas amostragens sucessivas nesses tratamentos a variação no N mineral ocorrida no solo das respectivas testemunhas. O resultado desse cálculo foi dividido pela quantidade de N orgânico adicionado ao solo com os respectivos resíduos, conforme a equação:

$$\% \text{ N min} = \frac{\Delta \text{N min. (trat.)} - \Delta \text{N min. (test.)}}{\text{N org. aplicado}} \times 100$$

3.3.4 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise da variância (ANOVA). Utilizou-se contrastes ortogonais para comparar a mineralização do C e do N entre: a) aplicação ou não dos resíduos orgânicos; b) tipos de resíduo (pó de tabaco x composto orgânico); c) modo de aplicação dos resíduos (incorporado x superfície); d) tipos de solo (Argissolo e x Neossolo Flúvico). Os dados foram analisados pelo software estatístico SISVAR® (versão 5.6).

3.4 RESULTADOS

3.4.1 Mineralização do carbono dos resíduos orgânicos

A atividade microbiana do solo, avaliada por meio da liberação de CO₂, aumentou com a adição do pó de tabaco e do composto, em relação ao tratamento testemunha, independentemente do tipo de solo e do modo de aplicação dos resíduos orgânicos no solo. Em ambos os solos e nos dois tipos de resíduos orgânicos, a liberação de CO₂ ocorreu em duas fases distintas. A primeira, com fluxos de CO₂ mais elevados, ocorreu nos primeiros 30 dias enquanto a segunda, a partir do 30º dia e até o final do experimento, os fluxos de CO₂ foram baixos e próximos ao tratamento testemunha (Figuras 1A e 1B).

A cinética de liberação de CO₂ foi similar entre os dois solos, porém diferiu conforme o tipo de resíduo orgânico e a sua localização no solo. O maior fluxo de CO₂ de todo o período experimental ocorreu no tratamento com pó de tabaco incorporado e apenas um dia após o início da incubação, sendo de 17,2 mg C kg⁻¹ SS h⁻¹ no solo I (Figura 1A) e de 18,9 mg C kg⁻¹ SS h⁻¹ no solo solo II (Figura 1B). Nesse mesmo tratamento, os fluxos de CO₂ se mantiveram elevados na avaliação feita no segundo dia da incubação e diminuiram rapidamente a seguir, atingindo valores próximos a 4 mg C kg⁻¹ SS h⁻¹ em ambos os solos na avaliação feita aos sete dias de incubação. Nos outros três tratamentos com resíduos orgânicos, os fluxos de CO₂ nos dois solos aumentaram do primeiro para o segundo dia, onde foi observado o maior pico na emissão desse gás. O tratamento cujos fluxos de CO₂ flutuaram menos durante a primeira semana de incubação foi aquele com a aplicação do composto na superfície de ambos solos, variando na faixa de 4,1 a 5,8 mg C kg⁻¹ SS h⁻¹ no solo I e de 4,0 a 6,2mg C kg⁻¹ SS h⁻¹ no solo II.

Como a quantidade de C adicionada ao solo não foi a mesma com os dois tipos de resíduo orgânico, sendo 11% maior com o composto (Tabela 2), os fluxos de CO₂ (Figuras 1A e 1B) dos tratamentos com adição de resíduos foram expressos como uma proporção do C adicionado (Figuras 1C e 1D), a partir da qual foi calculada a percentagem do C adicionado que foi convertida em CO₂ durante os 100 dias de incubação (Figuras 1E e 1F). Da quantidade total de C que foi mineralizada em 100 dias nos dois solos e na média dos quatro tratamentos, cerca de 34% ocorreu nos primeiros 23 dias.

Os resultados dos contrastes ortogonais (Tabela 3) indicaram que a quantidade de C adicionada nos dois solos e que foi mineralizada ao final da incubação, aos 100 dias, não foi afetada pelo tipo de solo (contraste A, B, C, D x E, F, G, H) e nem pelo modo de aplicação dos resíduos orgânicos no solo (contrastes A x B, C x D, E x F e G x H). Apenas o tipo de resíduo orgânico afetou significativamente a mineralização do C, com uma mineralização média de 44% do C adicionado pelo pó de tabaco, contra 36% de mineralização do C adicionado pelo composto (contrastes A, B x C, D e E, F x G, H). Embora apenas o tipo de resíduo orgânico tenha afetado a mineralização do C no final da incubação, a mineralização do C variou também em função do tipo de solo e da localização dos resíduos no solo na fase inicial de decomposição dos resíduos orgânicos (Tabela 3). Nas amostragens realizadas até os 16 dias, a mineralização do C adicionado pelos dois resíduos foi maior no solo II do que no solo I (contraste A, B, C, D x E, F, G, H).

O efeito da localização do composto em ambos os solos sobre a mineralização do C foi observado somente até o 23º dia de incubação (contrastes A x B e E x F). A incorporação resultou na maior mineralização de C inicialmente; porém, a partir dessa data, não houve mais diferença entre incorporar ou aplicar os resíduos na superfície do solo. Em relação ao pó de tabaco, o efeito positivo da incorporação sobre a mineralização de C foi observado até os 11 dias no -solo I e 16 dias de incubação no solo II (contrastes C x D e G x H).

3.4.2 Mineralização do nitrogênio do solo e dos resíduos orgânicos

A mineralização do N da matéria orgânica (MOS) dos dois solos avaliados (testemunhas) ocorreu de forma lenta e gradual, com o teor de N mineral tendo aumentado em 100 dias de incubação de 16,6mg kg⁻¹ SS para 56,5 mg kg⁻¹ SS no solo I e de 28,5 mg

kg^{-1} SS para $65,7 \text{ mg kg}^{-1}$ SS no solo II. Portanto, a variação líquida no teor de N mineral ocorrida nos dois solos foi de $39,9 \text{ mg kg}^{-1}$ SS no solo I e $37,2 \text{ mg kg}^{-1}$ SS no solo II.

Contrariamente ao observado no tratamento testemunha, a quantidade de N mineral do solo diminuiu nos tratamentos com resíduos orgânicos durante os primeiros sete dias de incubação (Figura 2A e 2B). Esse efeito ocorreu nos dois solos avaliados e nos dois modos de aplicação dos resíduos no solo. Na média dos tratamentos com incorporação e aplicação superficial do pó de tabaco, o N mineral diminuiu de $100,7 \text{ mg kg}^{-1}$ SS no tempo zero para $92,3 \text{ mg kg}^{-1}$ SS no 7º dia de incubação no solo I (Figura 2A) e de $115,4$ para $106,7 \text{ mg kg}^{-1}$ SS no solo II (Figura 2B). No tratamento com composto, essa diminuição foi de 77 para $35,7 \text{ mg kg}^{-1}$ SS no solo I e de $82,5$ para $53,1 \text{ mg kg}^{-1}$ SS no solo II. Após esse período inicial, o N mineral aumentou no solo dos tratamentos com aplicação dos dois resíduos orgânicos, atingindo aos 100 dias $215,6 \text{ mg kg}^{-1}$ SS na média dos dois tratamentos com pó de tabaco no solo I e $225,1 \text{ mg kg}^{-1}$ SS no solo II. Na média dos dois tratamentos com composto, a quantidade de N mineral acumulada no solo aos 100 dias foi de $176,2 \text{ mg kg}^{-1}$ SS no solo I e de $154,7 \text{ mg kg}^{-1}$ SS no solo II.

A variação ocorrida a cada duas amostragens sucessivas nas quantidades de N mineral em cada solo nos tratamentos com pó de tabaco e composto foi diminuída dessa mesma variação ocorrida no solo do tratamento testemunha (Figura 2 A, B), com o resultado desse cálculo sendo dividido pela quantidade de N orgânico adicionado ao solo com os respectivos resíduos (Tabela 2). Com isso, foi possível eliminar o efeito sobre o acúmulo de N mineral da adição de 16% a mais de N orgânico com o composto do que com o pó de tabaco (Tabela 2), convertendo-se o N mineral acumulado (Figura 2 A, B) em N mineralizado (Figura 2 C, D) e este expresso como uma porcentagem do N orgânico adicionado (Figura 2 E, F). Valores negativos para esse cálculo indicam a ocorrência de imobilização líquida de N, enquanto valores positivos indicam mineralização líquida.

Todos os tratamentos com adição de resíduos orgânicos, independente do solo e do modo de aplicação no solo, provocaram imobilização líquida de N na fase inicial de decomposição (primeiros sete dias) (Figura 2 E, F; Tabela 4). Aos 14 dias, nos dois tratamentos com pó de tabaco e nos dois solos, o processo de mineralização bruta superou o de imobilização bruta, resultando em mineralização líquida de N (Figura 2 E, F). Nessa mesma data, os dois tratamentos com composto ainda provocaram imobilização líquida de N no solo I (Figura 2 E) e um equilíbrio entre os processos brutos de mineralização e imobilização de N no solo II (Figura 2 F). Aos 28 dias, apenas o tratamento com incorporação do composto no solo I ainda estava em regime de imobilização líquida de

N (Figura 2 E). Após 28 dias, ocorreu mineralização líquida de N em todos os tratamentos avaliados.

O efeito dos tratamentos sobre a proporção do N orgânico que foi mineralizado variou ao longo da incubação (Tabela 4). Ao final da incubação, apenas o tipo de resíduo afetou significativamente a mineralização do N em ambos os solos, com o pó de tabaco tendo mineralizado mais N do que o composto (Tabela 4, contrastes A, B x C, D e E, F x G, H). O tipo de solo só teve efeito na mineralização do N dos materiais orgânicos até a amostragem feita aos 28 dias (contraste A, B, C, D x E, F, G, H). Nesse período, o solo II imobilizou menos N e mineralizou mais N. Entre 63 e 100 dias praticamente não ocorreu mineralização do N dos materiais orgânicos, uma vez que já haviam sido mineralizados 16,0% do N adicionado no solo I e 15,0% no solo II aos 63 dias. Na média dos dois solos e dos dois modos de aplicação dos resíduos no solo, a mineralização do N do pó de tabaco foi de 20,4% e a do composto de 12,0%.

No solo 2, com teor de argila 7,6 vezes menor do que o solo I (Tabela 1), a localização dos resíduos no solo (aplicação superficial ou incorporação) não afetou a mineralização do N de ambos os resíduos em nenhuma das amostragens realizadas (Tabela 4, contrastes E, F x G, H). Já no solo I, o efeito da localização no solo foi significativo para o pó de tabaco em todas as amostragens realizadas, com a aplicação superficial imobilizando mais N do que a incorporação nos primeiros sete dias e mineralizando mais N nas amostragens seguintes (contraste C x D). Para o composto, a sua incorporação no solo imobilizou mais N do que a aplicação superficial até 28 dias, sem diferenças nas amostragens realizadas aos 63 e 100 dias (contraste A x B).

3.5 DISCUSSÃO

3.5.1 Mineralização do C

3.5.1.1 Efeito do tipo de resíduo orgânico

A adição de carbono, nutrientes e energia com o pó de tabaco e o composto aumentou a atividade microbiana heterotrófica nos dois solos, resultando no aumento na liberação de CO₂, em relação ao tratamento testemunha. Esse estímulo à população microbiana tem sido observado em diferentes tipos de solo, com adição de resíduos orgânicos de origem diversa como, por exemplo, palha de aveia (Giacomini et al., 2008),

esterco de aves (Khalil et al., 2005) e composto, produzido a partir de dejetos de suínos (Rangel, 2016).

A cinética de mineralização do C dos dois materiais orgânicos avaliados seguiu o padrão normalmente observado para diferentes materiais orgânicos (Angers e Recous, 1997; Coppens et al., 2006), com fluxos de CO₂ mais elevados nos primeiros dias de incubação, seguida de uma fase com liberação de CO₂ a taxas cada vez menores, até a sua estabilização em valores próximos aos observados para a mineralização da MOS no tratamento testemunha. Essa dinâmica observada na mineralização do C dos materiais orgânicos está relacionada à presença nos mesmos, de constituintes com diferentes graus de resistência à decomposição (Wu e Ma, 2002). Inicialmente, os microrganismos atacam os compostos mais lábeis, presentes na fração solúvel em água (Cotrufo et al., 2013). Após a exaustão dessa fração, compostos orgânicos progressivamente mais recalcitrantes como celulose, hemicelulose e lignina são metabolizados por populações microbianas específicas e especializadas, o que resulta na redução das taxas de liberação de CO₂ (Angers e Recous, 1997; Aita e Giacomini, 2003; Giacomini et al., 2008).

A cinética de mineralização do C de materiais orgânicos no solo é variável em função da sua natureza e do tratamento a que os mesmos foram submetidos (Sarma et al., 2017). Por isso, a maior mineralização do C do pó de tabaco em relação ao composto pode ser atribuída ao tratamento a que pó de tabaco foi submetido antes da sua adição ao solo. O carbono mais lábil presente no pó de tabaco deve ter sido consumido pela população microbiana heterotrófica durante a etapa inicial, de dois ou três dias, em que o pó foi impregnado com uma solução de microrganismos nas leiras e durante a etapa seguinte, em que o material foi submetido ao processo de fermentação em estado sólido pelo período de aproximadamente 90 dias em pilhas estáticas. Embora não tenham sido encontrados estudos comparando o efeito da fermentação em estado sólido de resíduos orgânicos sobre a sua decomposição posterior no solo, a comparação entre a mineralização do C de materiais orgânicos *in natura*, digeridos anaerobicamente e compostados, indicam a menor decomposição do material compostado e digerido anaerobicamente no solo, em função do aumento no grau de recalcitrância do C através desses processos de tratamento (Grave et al., 2015; Viaene et al., 2017). O C orgânico que foi adicionado ao solo com resíduos orgânicos e que não foi mineralizado até o final da incubação representa uma contribuição para a matéria orgânica estável do solo (Bustamante et al., 2010), embora uma fração possa permanecer reciclando na biomassa microbiana. Isso indica que, com a adição de quantidades equivalentes de C ao solo

através dos dois materiais orgânicos avaliados no presente estudo, o composto deve contribuir mais ao acúmulo de matéria orgânica no solo do que o pó de tabaco. Para cada tonelada de C adicionada ao solo, a quantidade que permaneceria no solo aos 100 dias de incubação em condições ótimas de temperatura e umidade seria, em média, de 640 kg ha⁻¹ no composto e de 560 kg ha⁻¹ no pó de tabaco.

3.5.1.2 Efeito do tipo de solo

Apesar de significativa, a diferença entre os dois solos quanto à mineralização do C dos resíduos orgânicos foi pequena e existiu somente na fase mais ativa de decomposição, durante os primeiros 16 dias de incubação. A maior mineralização do C observada nesse período no solo II, de textura mais arenosa, está de acordo com outros estudos como, por exemplo, o de Abdelhafez et al. (2018), Frøset e Bleken (2015) e Mtambanengwe et al. (2004). A maior decomposição de resíduos orgânicos em solos mais arenosos, como no solo II do presente estudo, tem sido atribuída, principalmente à sua porosidade e à baixa interação entre partículas orgânicas e minerais. No trabalho de Mtambanengwe et al. (2004), os autores afirmaram que a decomposição da matéria orgânica fresca é governada pela acessibilidade física dos microrganismos, que é influenciada pela textura e distribuição do tamanho de poros. A maior proporção de poros com diâmetros inferiores a 0,75 µm, nos solos com maior teor de argila testados, foram responsáveis pela proteção dos ácidos orgânicos da decomposição microbiana, resultando em menores emissões de CO₂ e decomposição dos substratos adicionados, em relação a solos menos argilosos.

A difusão também pode ser um mecanismo associado ao tipo de solo e que afeta a decomposição de resíduos vegetais no solo. Para a degradação do substrato orgânico, bactérias devem produzir inicialmente enzimas extracelulares, as quais devem atingir o substrato, com o produto dessa ação tendo que retornar por difusão até a bactéria. Em solos com maior teor de argila, essa difusão é dificultada devido a maior tortuosidade e a elevada área superficial específica (Frøset e Blecken, 2015), podendo reduzir a taxa de decomposição. Enquanto solos com maior conteúdo de argila podem ter menor disponibilidade de oxigênio (O₂) (Umar, 2010), solos mais arenosos têm maior macroporosidade, o que facilita a aeração (Reinert e Reichert, 2006). Assim, o uso do O₂ como receptor final de elétrons durante a respiração de microrganismos heterotróficos

apresenta elevada eficiência energética, o que favorece o crescimento microbiano e aumenta a taxa de decomposição dos materiais orgânicos no solo (Paul, 2007).

Solos de textura mais fina, com maior conteúdo de argila e silte, tendem a estabilizar o carbono orgânico através de mecanismos de interação organo-mineral (Ye et al., 2017), limitando a decomposição. Em geral, a estabilização da matéria orgânica aumenta com o teor de argila, devido a maior área superficial específica das partículas, que proporcionam uma estabilização química (Chivenge et al., 2011) do C orgânico. Esses mecanismos de interação entre os componentes orgânicos e minerais envolvem, além da sorção do C orgânico na forma solúvel e coloidal na superfície das argilas, a retenção do C orgânico na forma particulada intra e inter agregados (Zinn et al., 2007). Além disso, solos com predomínio de argila e silte possuem mais pontes catiônicas resultando em maior ligação entre as moléculas orgânicas e as partículas minerais. Essas pontes ocorrem devido a presença de Ca^{2+} nos solos neutros ou alcalinos, Al^{3+} em solos ácidos e adsorção de materiais em superfícies dos óxidos de ferro (Oades, 1988).

Outros fatores que podem ter contribuído para a maior mineralização do C do composto e do pó de tabaco na fase inicial da decomposição no solo mais arenoso foram os teores mais elevados de fósforo (P) ($252,8 \times 5,4 \text{ mg dm}^{-3}$) e de N mineral ($28,5 \times 16,6 \text{ mg kg}^{-1} \text{ SS}$) nesse solo (Tabela 1). No estudo realizado por Vinhal-Freitas et al. (2012), a adição de P em solos do cerrado brasileiro aumentou a taxa de respiração do solo. Da mesma forma, Bittar et al. (2013) atribuíram à quantidade de fósforo disponível no solo o aumento verificado na taxa respiratória da microbiota após a adição de resíduos em um solo de textura arenosa. A relação entre a disponibilidade de N no solo e o aumento da decomposição de materiais orgânicos, sobretudo daqueles com relação C/N elevada, tem sido demonstrada em alguns estudos (Recous et al., 1995). A baixa relação C/N do pó de tabaco e do composto (Tabela 1) não é indicativo de que os mesmos estavam humificados, mas sim se deve ao fato dos materiais orgânicos conterem partículas de solo (as folhas inferiores de tabaco na planta têm contato com o solo no campo), o que reduz a concentração em C, diminuindo a C/N. Portanto, mesmo com C/N próxima de 10/1 (Tabela 1), a decomposição dos resíduos no solo arenoso pode ter sido favorecida pela maior disponibilidade em N mineral. Essa maior disponibilidade de N mineral no solo mais arenoso (solo II) não era esperada e se deve, provavelmente, ao fato da área onde foi coletado o solo ter sido cultivada com a leguminosa *Crotalaria juncea* nos meses que antecederam a coleta. A planta foi incorporada ao solo como adubo verde e no momento

da coleta do solo para a incubação a presença de resíduos culturais da leguminosa ainda era perceptível.

3.5.1.3 Efeito da localização dos resíduos orgânicos no solo

Em geral, a manutenção dos resíduos orgânicos na superfície do solo dificulta a sua colonização pela população microbiana (Coppens et al., 2006), enquanto a sua incorporação ao solo facilita o acesso dos microrganismos à fonte de C e energia, além de favorecer a difusão da água e de nutrientes, como o nitrato até o local de decomposição ativa (Aita et al., 2012; Garnier et al., 2008). Por isso, a incorporação do pó de tabaco e do composto aumentou a mineralização do C de ambos os resíduos, com um comportamento semelhante nos dois solos avaliados. Entretanto, esse efeito foi restrito aos primeiros dias de incubação, mais especificamente até 16 dias para o pó de tabaco e 23 dias para o composto, corroborando resultados observados por Abiven e Recous (2007). Após esse período, é provável que a população microbiana tenha conseguido acessar a fonte de C, energia e nutrientes presentes nos resíduos colocados na superfície, realizando a sua decomposição. Isso porque, fungos, através das suas hifas conseguem colonizar os resíduos, mesmo quando o contato com o solo é reduzido (Frey et al., 2000).

Os resultados observados nesse estudo estão de acordo com estudos anteriores, que encontraram maiores taxas de mineralização do carbono quando vários tipos de resíduos foram incorporados ao solo em comparação com a aplicação em superfície (Ali e Nabi, 2016; Giacomini et al., 2007). Entretanto, divergem de outros estudos, onde as taxas de decomposição para os resíduos de soja e milho colocados na superfície foram maiores que as dos mesmos resíduos incorporados no solo. Nesse caso, os autores sugeriram que a incorporação dos resíduos pode ter diminuído a difusividade de oxigênio no solo, limitando a atividade dos microrganismos decompositores (Li et al., 2013). Em outro estudo realizado por Giacomini et al. (2008), a incorporação dos dejetos líquidos de suínos, da cama sobreposta de suínos e da palha de aveia não aumentou a mineralização do C dos materiais orgânicos, quando comparada à sua manutenção na superfície do solo. Diferenças na composição dos materiais orgânicos avaliados nos diferentes estudos, bem como condições distintas dos solos utilizados, podem ser a causa dessas discrepâncias observadas.

A influência da redução do contato do solo com os resíduos orgânicos parece ser menos importante para materiais facilmente degradáveis (Breland, 1994). Por outro lado,

quanto menor o teor de N nos resíduos, maior será a influência da localização sobre a decomposição, pois o contato dos resíduos com o solo regula a disponibilidade de N aos microrganismos que atuam nesse processo (Giacomini et al., 2008). É provável que o N presente em materiais orgânicos de baixa relação C/N seja suficiente para suprir a demanda dos microrganismos decompositores, diminuindo o efeito da localização dos resíduos sobre a sua taxa de decomposição. Esse parece ser o caso do presente estudo, em que os materiais orgânicos utilizados apresentaram relação C/N baixa e muito próxima entre eles.

3.5.2 Mineralização do N

3.5.2.1 Efeito do tipo de resíduo orgânico

A imobilização de N observada logo após a adição do pó de tabaco e do composto nos dois solos avaliados corrobora com resultados de outros estudos, como, por exemplo, o de Hadas et al. (2004), sendo justificada pelo estímulo à população microbiana pela adição de substratos ricos em C e energia, o que aumenta a demanda microbiana pelos nutrientes disponíveis (Masunga et al., 2016). Geralmente, a adição ao solo de resíduos orgânicos com baixa relação C/N resulta em mineralização líquida de N (Flavel e Murphy, 2006), uma vez que o fornecimento de N pelos resíduos excede a demanda metabólica de N pelos microrganismos decompositores, com o excesso de N sendo liberado para o solo (Chen et al., 2014). Todavia, isso não foi observado na fase inicial de decomposição nos dois solos avaliados em nosso estudo onde, apesar da baixa relação C/N dos dois materiais orgânicos, ocorreu imobilização líquida de N. Isso reforça a afirmação de Mohanty et al. (2011) de que resíduos de relação C/N semelhantes podem mineralizar quantidades diferentes de N, já que a C/N não reflete as eventuais diferenças na composição bioquímica dos materiais orgânicos. Por isso, Hadas et al. (2004) concluíram que, ao invés de avaliar os teores totais de C e N em resíduos de plantas e relacioná-los com a dinâmica de imobilização do N, é necessário avaliar a degradabilidade destes dois elementos.

Apesar do pó e do composto possuírem relação C/N muito próximas, os dois resíduos diferiram quanto à dinâmica do N no solo durante a incubação, com o composto tendo provocado mais intensa e duradoura imobilização líquida de N do que o pó de tabaco. Já a mineralização líquida de N na fase final do experimento foi maior no pó de

tabaco do que no composto. Embora ela não tenha sido avaliada neste estudo, é provável que a composição bioquímica seja distinta entre dois resíduos orgânicos e isso justifique as diferenças observadas na dinâmica do N mineral após a adição de ambos no solo. As proporções entre celulose, hemicelulose, lignina e polifenóis podem afetar a estrutura e a atividade da população microbiana atuante na decomposição dos resíduos orgânicos, com reflexos nos processos de mineralização/imobilização de N (Hadas et al., 2004). A presença de lignina ou C recalcitrante pode reduzir a taxa de mineralização de N (Vigil e Kissel, 1991), uma vez que restringe o crescimento microbiano. Por isso, em estudos futuros é importante determinar a composição bioquímica do pó de tabaco e do composto e relacioná-la com a decomposição e liberação de N no solo.

A expectativa era de que a adição do pó estimulasse inicialmente mais o crescimento microbiano devido a maior proporção de componentes lábeis comparado ao composto, refletindo em maior imobilização de N. Sabe-se que a compostagem de resíduos tende a estabilizar os compostos orgânicos e diminuir as proporções de formas solúveis de C e N (Flavel e Murphy, 2006). Outras possíveis causas podem ser enumeradas na tentativa de explicar a maior imobilização de N provocada pelo composto. Apesar do composto possuir menor C total que o pó (Tabela 2) a adição de C ao solo com o composto foi 596 mg kg⁻¹ SS (12 %) maior do que com o pó de tabaco, o que pode ter estimulado o consumo de N pela biomassa microbiana, tornando o processo de imobilização mais intenso do que o de mineralização de N (Azeez e Averbek, 2010). A inoculação do pó de tabaco com microrganismos na etapa inicial de impregnação do mesmo pode ter contribuído para aumentar a população microbiana no composto e a interação dessa população microbiana com aquela já presente no solo pode ter influenciado na dinâmica do ciclo dos nutrientes, e favorecido a imobilização de N, conforme observado por Viaene et al. (2017).

O tratamento a que foi submetido o pó de tabaco até a produção do composto pode ter alterado a estrutura da população microbiana no solo após a adição dos dois resíduos orgânicos. Já é sabido, por exemplo, que a predominância de bactérias em relação à população de fungos, aumenta a demanda em N mineral, podendo impactar no aumento da imobilização de N (Sylvia et al., 1998). A caracterização bioquímica do pó de tabaco e do composto e a análise do efeito de ambos sobre a estrutura da população microbiana do solo, através de métodos moleculares, são ferramentas que podem proporcionar uma melhor compreensão da dinâmica do N no solo após a adição destes materiais orgânicos em estudos futuros.

A imobilização microbiana de N, que ocorreu na fase inicial de decomposição dos resíduos, é um processo transitório no solo. A medida que os compostos mais lábeis vão sendo degradados, começa a escassear a disponibilidade de C e energia, ocorrendo a morte de parte da população microbiana, que passa a ser decomposta pela população remanescente (Chen et al., 2014). Nesse processo de reciclagem microbiana, parte do N que foi originalmente imobilizado passa a ser remineralizado reaparecendo no solo como N amoniacal, que rapidamente é nitrificado (Azeez e Averbek, 2010). Esse processo de remineralização ocorreu após sete e 14 dias para o pó de tabaco e o composto no solo II e após sete e 28 dias no solo I, respectivamente.

Essa imobilização inicial de N com a rápida remineralização ocorrida nos dois resíduos orgânicos pode ser um aspecto positivo no sentido de melhorar a eficiência de ambos no fornecimento de N às culturas. Se a semeadura for efetuada logo após a aplicação dos resíduos, a demanda inicial de N pelas mesmas é muito pequena e a imobilização do nutriente, mantendo-o na forma orgânica, evita que o mesmo seja perdido por volatilização, desnitrificação e lixiviação. Quando o N retorna à solução do solo via remineralização, o sistema radicular das culturas já estará em desenvolvimento e poderá assimilar o nutriente liberado.

A decomposição e liberação de N de resíduos da indústria de produção de tabaco da Turquia também foi avaliada por Hadas et al. (2004) em uma incubação conduzida sob condições controladas de temperatura e umidade. Em função do teor de matéria seca e da relação C/N, praticamente idênticos aos do presente estudo, presume-se que o resíduo avaliado por esses autores seja equivalente ao pó de tabaco aqui avaliado. Apesar dessa semelhança entre os dois resíduos, a quantidade de N mineralizada durante as 12 semanas de incubação no estudo de Hadas et al. (2004) foi de 45%, o que é 2,25 vezes maior do que a mineralização do N do pó de tabaco encontrada neste estudo (20%). Tais diferenças na mineralização do N podem ser atribuídas a três fatores principais. Eventuais diferenças no processamento das folhas pelas indústrias da Turquia e pelas indústrias brasileiras que geraram o pó de tabaco podem afetar a sua composição bioquímica, afetando a decomposição e liberação de nutrientes no solo. Diferenças nas características dos solos utilizados em cada incubação podem afetar a estrutura e a atividade da população microbiana decompositora. Outro aspecto importante, com reflexos sobre a taxa de decomposição de materiais orgânicos no solo, é a temperatura. O fato de Hadas et al. (2004) terem conduzido a sua incubação a 30°C, contra 25°C no presente estudo, deve ser uma causa importante da maior mineralização de N encontrada no trabalho da Turquia.

Apesar da mineralização do N orgânico do pó de tabaco no solo em 100 dias de incubação a 25°C ter sido 1,7 vezes maior do que no composto (20 e 12%, respectivamente), as restrições e limitações ao uso do pó como fertilizante determinam que o material a ser reciclado seja o composto. Por isso, a importância em avaliar o potencial do composto em fornecer, principalmente N, às culturas diretamente no campo. Como a maior parte do N do composto encontra-se na forma orgânica, é importante avaliar não apenas o seu efeito imediato, mas também o efeito de aplicações sucessivas do fertilizante orgânico na mesma área. Para evitar a aplicação de doses elevadas do produto, em razão do baixo índice de mineralização do N orgânico nele contido, a sua aplicação associada à fertilização nitrogenada mineral ou sintética também é um aspecto que merece ser investigado em estudos futuros.

3.5.2.2 Efeito do tipo de solo

A hipótese inicial deste estudo era de que o solo com maior teor de argila e, sobretudo de matéria orgânica (solo I), contivesse uma população microbiana maior e mais ativa do que o solo mais arenoso (Finn et al., 2015), (solo II) e isso conduzisse a uma maior decomposição do pó de tabaco e do composto no solo I. Todavia, contrariando nossa hipótese, as maiores taxas de decomposição e liberação de N dos resíduos da indústria fumageira foram encontradas no solo mais arenoso.

Em outros estudos, a decomposição de diferentes tipos de resíduos também foi maior em solos com menor teor de argila. No estudo de Khalil et al. (2005), os autores encontraram uma relação inversa entre o teor de argila do solo e mineralização do N de resíduos vegetais e de esterco de frango. Em uma incubação conduzida durante 180 dias por Rangel (2016), a mineralização do N do produto final da compostagem de dejetos líquidos de suínos diminuiu de 19,4% em um Argissolo com 11% de argila para 10,8% em um Latossolo com 51% de argila. Em geral, teores elevados de argila e silte no solo tendem a limitar temporariamente a atividade da população microbiana, devido à sorção dos produtos da decomposição dos resíduos nas partículas minerais do solo e a incorporação destes em agregados do solo (Zinn et al., 2007). Resultado contraditório foi observado por Schmatz et al. (2017) ao não encontrarem diferença na dinâmica do N durante a decomposição de resíduos de trigo, ervilha e ervilhaca durante 360 dias de incubação em dois solos com teores de argila contrastantes (11 e 55%). Para os autores,

os efeitos exercidos pela diferença na qualidade dos resíduos vegetais sobre a dinâmica do N se sobressaíram ao efeito do tipo de solo.

Essa aparente contradição entres os resultados de diferentes estudos quanto aos efeitos da textura sobre a decomposição e liberação de nutrientes dos resíduos culturais se deve, principalmente, às complexas interações entre os mecanismos de proteção dos resíduos orgânicos à decomposição e possíveis diferenças na estrutura da população microbiana em função do tipo de solo. Portanto, são necessários estudos mais específicos para melhor interpretar os resultados relativos ao efeito exercido pelo tipo de solo sobre a dinâmica do N mineral durante a decomposição do pó de tabaco e do composto.

Contrariamente ao que foi observado para a respiração microbiana, que foi maior no solo arenoso, corroborando com resultados de Duong et al. (2012), a imobilização do N na fase inicial da decomposição do pó de tabaco e do composto foi mais intensa no solo com maior teor de argila e silte (solo I). A expectativa era de que nesse solo, com maior capacidade de proteção dos resíduos orgânicos à decomposição microbiana (Ye et al., 2017), a demanda microbiana de N fosse menor, reduzindo a imobilização desse nutriente. Possíveis diferenças na composição da população microbiana nos dois solos podem ter contribuído para esse resultado. Enquanto o rendimento de assimilação do C durante a decomposição é maior para os fungos do que as bactérias, estas assimilam maiores quantidades de N do que os fungos, considerando-se quantidade equivalentes de C utilizadas (Sylvia et al., 1998). Caso tenha havido predomínio de bactérias sobre fungos no solo mais argiloso durante a fase mais ativa de decomposição, isso resultaria no aumento na imobilização de N. Todavia, isso deveria resultar na menor liberação de CO₂ nesse solo, contrariamente ao que foi observado.

3.5.2.3 *Efeito da localização dos resíduos orgânicos no solo*

O pó de tabaco sempre mineralizou mais N do que o composto, independente da sua localização em ambos os solos. Características do próprio resíduo podem ter contribuído para esse resultado, como já foi discutido anteriormente. A expectativa era de que a incorporação dos materiais orgânicos ao solo aumentasse o contato dos microrganismos com a fonte de C, energia e nutrientes e isso estimulasse a mineralização do N no solo, uma vez que a incorporação resultou em maior decomposição dos resíduos. Porém, contrariamente ao esperado, a localização do pó de tabaco e do composto no solo mais arenoso (solo II) não teve impacto algum na imobilização inicial do N e nem na

mineralização do N. Provavelmente as características físicas e químicas do solo arenoso não limitaram o acesso dos microrganismos à fonte de C (Zinn et al., 2007).

No solo com maior teor de argila, sempre que houveram diferenças, elas indicaram maior mineralização do N quando o pó de tabaco e o composto foram colocados na superfície do solo. Resultados nessa mesma direção foram encontrados por Li et al. (2013), os quais constataram que a mineralização do C e do N de resíduos de soja e milho foi maior quando os mesmos foram aplicados na superfície do solo do que quando foram incorporados. Da mesma forma, Abiven e Recous (2007) constataram que resíduos de soja e braquiária induziram menor imobilização e maior mineralização líquida de N quando foram aplicados na superfície do solo. Os autores atribuíram essa dinâmica do N à baixa relação C/N desses resíduos (em torno de 20), o que diminuiu a necessidade da população microbiana em imobilizar N do solo para a sua decomposição. Essa hipótese foi confirmada pelos autores ao incorporarem os resíduos no solo e constatarem a ocorrência de imobilização de N durante todo o período de incubação.

A imobilização que ocorreu inicialmente neste estudo tende a ser menor com a colocação dos resíduos em superfície do que incorporado, porque a incorporação de material orgânico estimula a atividade microbiana aumentando a imobilização de N (Coppens et al., 2006). Isso pode ser comprovado nesse estudo observando a taxa de decomposição, que foi menor inicialmente, quando o composto foi colocado na superfície do solo I.

Conforme já mencionado anteriormente, os processos de imobilização e mineralização são dependentes de vários fatores, como qualidade do resíduo, tipo de solo, localização no solo, dentre outros. Entretanto, é difícil quantificar cada efeito isoladamente, pois o solo é um ambiente complexo e com muitas interações, envolvendo fatores bióticos e abióticos, com reflexos diretos e indiretos na atividade microbiana.

3.6 CONCLUSÕES

A mineralização do C e do N do pó de tabaco foi maior do que no composto.

O tipo de solo influenciou a dinâmica de mineralização do C e do N do pó de tabaco e do composto apenas no primeiro mês de incubação, com a imobilização e a mineralização do N dos resíduos sendo diretamente e inversamente relacionadas ao teor de argila do solo, respectivamente.

A incorporação dos materiais orgânicos nos dois solos avaliados aumentou a taxa de mineralização do C apenas nos primeiros 16 dias de incubação.

A mineralização do N do pó de tabaco e do composto não foi afetada pelo modo de aplicação dos resíduos no solo com menor teor de argila, enquanto no solo mais argiloso a mineralização do N foi maior quando os resíduos foram colocados na superfície do solo.

O pó de tabaco mineralizou, em média, 44% do C e 20% do N orgânico e o composto, em média, 36% do C e 12% do N.

3.7 REFERÊNCIAS

- Abdelhafez, A.A. et al. 2018. Mineralization of organic carbon and nitrogen in semi-arid soils under organic and inorganic fertilization. *Environmental Technology & Innovation* 9, 243-253.
- Abiven, S.; Recous, S. 2007. Mineralisation of crop residues on the soil surface or incorporated in the soil under controlled conditions. *Biology and Fertility of Soils* 43, 849-852.
- Adediran, J.A. et al., 2003. Organic waste materials for soil fertility improvement in the border region of the Eastern Cape, South Africa. *Biological Agriculture and Horticulture* 20, 283-300.
- Aita, C. et al. 2012. Impact on C and N dynamics of simultaneous application of pig slurry and wheat straw, as affected by their initial locations in soil. *Biology and Fertility of Soils* 48, 633–642.
- Aita, C.; Giacomini, S.J. 2003. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solos solteiras e consorciadas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 27, 601-612.
- Aita, C. et al. 1997. Short-term kinetics of residual wheat straw C and N under field conditions: Characterization by $^{13}\text{C}^{15}\text{N}$ tracing and soil particle size fractionation. *European Journal of Soil Science* 48, 283-294.
- Angers, D.A.; Recous, S. 1997. Decomposition of wheat straw and rye residues as affected by particle size. *Plant and Soil* 189, 197-203.
- Azeez, J.O.; Averbeke, V. W. 2010. Nitrogen mineralization potential of three animal manures applied on a sandy clay loam soil. *Bioresource Technology* 101, 5645-5651.
- Bittar, I.M.B. et al. 2013. Influência da textura do solo na atividade microbiana, decomposição e mineralização do carbono de serapilheira de sítios do bioma cerrado sob condições de incubação. *Bioscience Journal* 29, 1952-1960.
- Breland, T. A. 1994. Enhanced mineralization and denitrification as a result of heterogeneous distribution of clover residues in soil. *Plant and Soil* 166, 1–12.
- Bustamante, M.A. et al. 2010. Influences of winery–distillery waste compost stability and soil type on soil carbon dynamics in amended soils. *Waste Management* 30, 1966-1975.
- Celestina, C. et al. 2019. Attribution of crop yield responses to application of organic amendments: A critical review. *Soil & Tillage Research* 186, 135-154.
- Chen, B. et al. 2014. Soil nitrogen dynamics and crop residues. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 34, 429-442.

- Chivenge, P. et al. 2011. Comparison of organic versus mineral resource effects on short-term aggregate carbon and nitrogen dynamics in a sandy soil versus a fine textured soil. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 140, 361-371.
- Coppens, F. et al. 2006. Impacto of crop residue location on carbono and nitrogen distribution in soil and in water-stable aggregates. *European Journal of Soil Science* 57, 570-582.
- Cotrufo, M.F. et al. 2013. The Microbial Efficiency-Matrix Stabilization (MEMS) framework integrates plant litter decomposition with soil organic matter stabilization: do labile plant inputs form stable soil organic matter? *Global Change Biology* 19, 988-995.
- Duong, T. T. T. et al. 2012. Differential effects of composts on properties of soils with different textures. *Biol Fertil Soils* 48, 699-707.
- Finn, D. et al. 2015. Effect of added nitrogen on plant litter decomposition depends on initial soil carbon and nitrogen stoichiometry. *Soil Biology and Biochemistry* 91, 160-168.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Manual de métodos de análise de solo / Centro Nacional de Pesquisa de Solos. – 2. ed. rev. atual. – Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- Flavel, T.C.; Murphy, D.V. 2006. Carbon and nitrogen mineralization rates after application of organic amendments to soil. *Journal of Environmental Quality* 35, 183-193.
- Frey, S.D. et al. 2000. Fungal translocation as a mechanism for soil nitrogen inputs to surface residue decomposition in a no-tillage agroecosystem. *Soil Biology and Biochemistry* 32, 689-698.
- Frøseth, R.B.; Bleken, M.A. 2015. Effect of low temperature and soil type on the decomposition rate of soil organic carbon and clover leaves, and related priming effect. *Soil Biology and Biochemistry* 80, 156-166
- Garnier, P. et al. 2008. Modeling the influence of soil-plant residue contact on carbon mineralization: Comparison of a compartmental approach and a 3D spatial approach. *Soil Biology and Biochemistry* 40, 2754-2761.
- Giacomini, S.J. et al. 2008. Mineralização do carbono da palha de aveia e dejetos de suínos aplicados na superfície ou incorporados ao solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 32, 2661-2668.
- Giacomini, S.J. et al. 2007. Simulating the effects of N availability, straw particle size and location in soil on C and N mineralization. *Plant and Soil* 301, 289-301.
- Grave, R.A. et al. 2015. Short-term carbon dioxide emission under contrasting soil disturbance levels and organic amendments. *Soil & Tillage Research* 146, 184-192.

Hadas, A. et al. 2004. Rates of decomposition of plant residues and available nitrogen in soil, related to residue composition through simulation of carbon and nitrogen turnover. *Soil Biology and Biochemistry* 36, 255-266.

Khalil, M.A. et al. 2005. Carbon and nitrogen mineralization in different soils of the subtropics treated with organic materials. *Soil Biology and Biochemistry* 37, 1507-1518.

Lal, R. 2005. Enhancing crop yields in the developing countries through restoration of the soil organic carbon pool agricultural Lands. *Lands Degradation & Development* 209, 197-209.

Li, L-J. et al. 2013. Carbon and nitrogen mineralization patterns of two contrasting crop residues in a Mollisol: Effects of residue type and placement in soils. *European Journal of Soil Biology* 54, 1-6.

Masunga, R.H. et al. 2016. Nitrogen mineralization dynamics of different valuable organic amendments commonly used in agriculture. *Applied Soil Ecology* 101, 185-193.

Mohanty, M. et al. 2011. Modelling N mineralization from green manure and farmyard manure from a laboratory incubation study. *Ecological Modelling* 222, 719-726.

Mtambanengwe, F. et al. 2004. Decomposition of Organic Matter in Soil as Influenced by Texture and Pore Size Distribution. *Managing nutrient cycles to sustain soil fertility in sub-Saharan Africa*: 261.

Mumba, P.P.; Phiri, R. 2008. Environmental impact assessment of tobacco waste disposal. *International Journal of Environmental Research* 2, 225-230.

Oades, J.M. 1988. The retention of organic matter in soils. *Biogeochemistry*. 5, 35–70.

Paul, E.A. 2007. *Soil microbiology, ecology and biochemistry*, Third edition. Burlington, USA: Academic Press 532p.

Rangel, L.C. 2016. Mineralização do carbono e do nitrogênio no solo e efeito na rúcula (*Eruca sativa*) de compostos obtidos por compostagem automatizada de dejetos de suínos. Dissertação, Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Universidade Federal de Santa Maria. 74p.

Recous, S. et al. 1995. Soil inorganic n availability: effect on maize residue decomposition. *Soil Biology e Biochemistry* 27, 1529-1538.

Reinert, D.J.; Reichert, J.M. 2006. *Propriedades físicas do solo*. Santa Maria, UFSM, 18.

Sarma, B. et al. 2017. Organic amendments: Effect on carbon mineralization and crop productivity in acidic soil. *Journal of Cleaner Production* 152, 157-166.

Schmatz, R. et al. 2017. Crop residue quality and soil type influence the priming effect but not the fate of crop residue C. *Plant and Soil* 414, 229-245.

Shakeel, S. 2014. Consideration of tobacco dust as organic amendment for soil: A soil & waste management strategy. *Earth Sciences* 3, 117-121.

Stotzky, G. 1965. Microbial respiration. In: Black, C.A.; Evans, D.D. e White, J.L., eds. *Methods of soil analysis. Part 2*. Madison, American Society of Agronomy 1550-1572.

Sylvia, D.M. et al. 1998. *Principles and applications of soil microbiology*. Prentice Hall, New Jersey.

Tedesco, M.J. et al. 1995. *Análises de solo, plantas e outros materiais*. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 174p.

Thangaranjan, R. et al. 2013. Role of organic amendmet application on greenhouse gas emission from soil *Science of the Total Environment*, 465, 72-96.

Umar, S. 2010. *Effect of clay on plant residue decompositon*. School of Earth and Environmental Sciences the University of Adelaide. 124p. (Dissertação de Mestrado).

Viaene, J. et al. 2017. Co-ensiling, co-composting and anaerobic co-digestion of vegetable crop residues: Product stability and effect on soil carbon and nitrogen dynamics. *Scientia Horticulturae* 220, 214-225.

Vigil, M.; Kissel, D. 1991. Equations for estimating the amount of nitrogen mineralized from crop residues. *Soil Science Society of America* 55, 757-761.

Vinhal-Freitas, I.C. et al. 2012. Influence of phosphorus and carbon on soil microbial activity in a savannah agroecosystem of Brazil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 43, 1291-1302.

Wu, L.; Ma, Q.C. 2002. Relationship between compost stability and extractable organic carbono. *Journal of Environmental Quality* 31, 1323-1328.

Ye, C. et al. 2017. Physical access for residue-mineral interactions controls organic carbon retention in an Oxisol soil. *Scientific Reports* 7:6317.

Zinn, Y.L. et al. 2007. Edaphic controls on soil organic carbon retention in the Brazilian cerrado: texture and mineralogy. *Soil Science Society of America Journal Abstract* 71, 1204-1214.

Tabela 1 - Caracterização dos solos utilizados no experimento de incubação

Solos	Textura	Argila	Silte	Areia	C	N	N _{mineral}	pH	P
	g kg ⁻¹					mg kg ⁻¹ _{SS}		mg dm ³
I	Franca	251	436	312	18,8	1,7	16,6	5,4	5,4
II	Areia franca	33	108	857	5,6	0,7	28,5	6,1	252,8

SS: solo seco; C: carbono total; N: nitrogênio total; pH em água; P: fósforo (Mehlich⁻¹)

Tabela 2 - Principais características dos materiais orgânicos e quantidades adicionadas aos solos, em base seca (SS).

Parâmetro	Unidade	Pó de tabaco	Composto
Concentração			
MS	%	93	63
C total	g kg ⁻¹	354,0	315,9
C solúvel	g kg ⁻¹	107,6	73,2
N total	g kg ⁻¹	32,1	28,0
N - NH ₄ ⁺	g kg ⁻¹	1,5	1,4
N - NO ₃ ⁻	g kg ⁻¹	4,7	2,0
N solúvel	g kg ⁻¹	15,5	11,1
N orgânico	g kg ⁻¹	25,9	24,6
C:N		11,0	11,3
pH		6,5	6,0
Quantidade adicionada			
MS	g kg ⁻¹ SS	13,5	17
C total	mg kg ⁻¹ SS	4765,7	5361,5
C solúvel	mg kg ⁻¹ SS	1450,1	1239,4
N total	mg kg ⁻¹ SS	432,2	475,2
N - NH ₄ ⁺	mg kg ⁻¹ SS	20,2	23,8
N - NO ₃ ⁻	mg kg ⁻¹ SS	63,3	33,9
N solúvel	mg kg ⁻¹ SS	209,4	187,6
N orgânico	mg kg ⁻¹ SS	348,7	417,6

MS: matéria seca; C: carbono; N: nitrogênio; NH₄⁺: amônio; NO₃⁻: nitrato; SS: solo seco.

Tabela 3 - Carbono mineralizado em percentual do carbono total adicionado dos resíduos pó de tabaco e composto orgânico em dois solos contrastantes, em dois modos de aplicação (incorporado e superfície) durante a incubação.

Tratamentos	Solo	C mineralizado								
		1 ¹	2	4	7	11	16	23	30	100
	% C adicionado.....								
Composto (I) - A	II ²	2,3	7,3	15,1	21,5	25,6	27,8	30,4	31,6	36,1
Composto (S) - B	I	1,7	3,9	8,0	13,2	18,6	24,0	28,9	30,3	35,5
Pó tabaco (I) - C	I	7,7	15,0	23,2	28,9	33,3	35,2	37,8	39,6	44,8
Pó tabaco (S) - D	I	2,2	8,2	15,1	22,8	29,5	34,7	38,5	40,1	44,6
Composto (I) - E	II ³	4,4	10,0	17,6	23,6	27,3	29,7	30,8	31,6	36,7
Composto (S) - F	II	2,0	4,4	8,7	14,0	19,6	25,2	29,2	31,2	36,0
Pó tabaco (I) - G	II	8,7	16,3	24,7	30,4	33,7	36,4	37,9	39,1	43,5
Pó tabaco (S) - H	II	1,7	6,8	13,8	21,0	28,3	33,9	37,6	39,4	44,6
Contrastes										
A, B, C, D x E, F, G, H		*	*	*	*	*	*	ns	ns	ns
A, B x C, D		*	*	*	*	*	*	*	*	*
A x B		*	*	*	*	*	*	*	ns	ns
C x D		*	*	*	*	*	ns	ns	ns	ns
E, F x G, H		*	*	*	*	*	*	*	*	*
E x F		*	*	*	*	*	*	*	ns	ns
G x H		*	*	*	*	*	*	ns	ns	ns
CV (%)		4,19	3,47	2,37	1,74	2,2	4,8	2,2	2,6	2,1

1: dias após a incubação; 2: Argissolo; 3: Neossolo Flúvico; I: incorporado; S: superfície; ns: não significativo (5% de probabilidade); * significativo ($p < 0,05$); CV: coeficiente de variação.

Tabela 4 - N mineralizado em percentual do nitrogênio orgânico adicionado dos resíduos pó de tabaco e composto orgânico em dois solos contrastantes, em dois modos de aplicação (incorporado e superfície) durante a incubação.

Tratamentos	Solo	N mineralizado				
		7 ¹	14	28	63	100
	% N orgânico adicionado.....				
Composto (I) - A	I ²	-17,2	-11,1	-6,0	9,6	11,6
Composto (S) - B	I	-11,7	-5,6	1,8	13,8	16,5
Pó tabaco (I) - C	I	-5,8	0,9	10,3	16,6	16,7
Pó tabaco (S) - D	I	-9,7	10,4	18,8	24,3	23,2
Composto (I) - E	II ³	-8,1	0,2	6,1	10,8	11,7
Composto (S) - F	II	-6,7	-1,5	2,0	8,6	8,4
Pó tabaco (I) - G	II	-2,9	9,9	13,5	19,2	20,4
Pó tabaco (S) - H	II	-2,6	13,5	14,3	21,1	21,5
Contrastes						
A, B, C, D x E, F, G, H		*	*	*	ns	ns
A, B x C, D		*	*	*	*	*
A x B		*	*	*	ns	ns
C x D		*	*	*	*	*
E, F x G, H		*	*	*	*	*
E x F		ns	ns	ns	ns	ns
G x H		ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)		24,8	114,0	42,0	20,1	18,9

¹: dias após a incubação; ²: Argissolo; ³: Neossolo Flúvico ;I: incorporado; S: superfície; ns: não significativo (5% de probabilidade) ; * significativo (p<0,05); CV: coeficiente de variação.

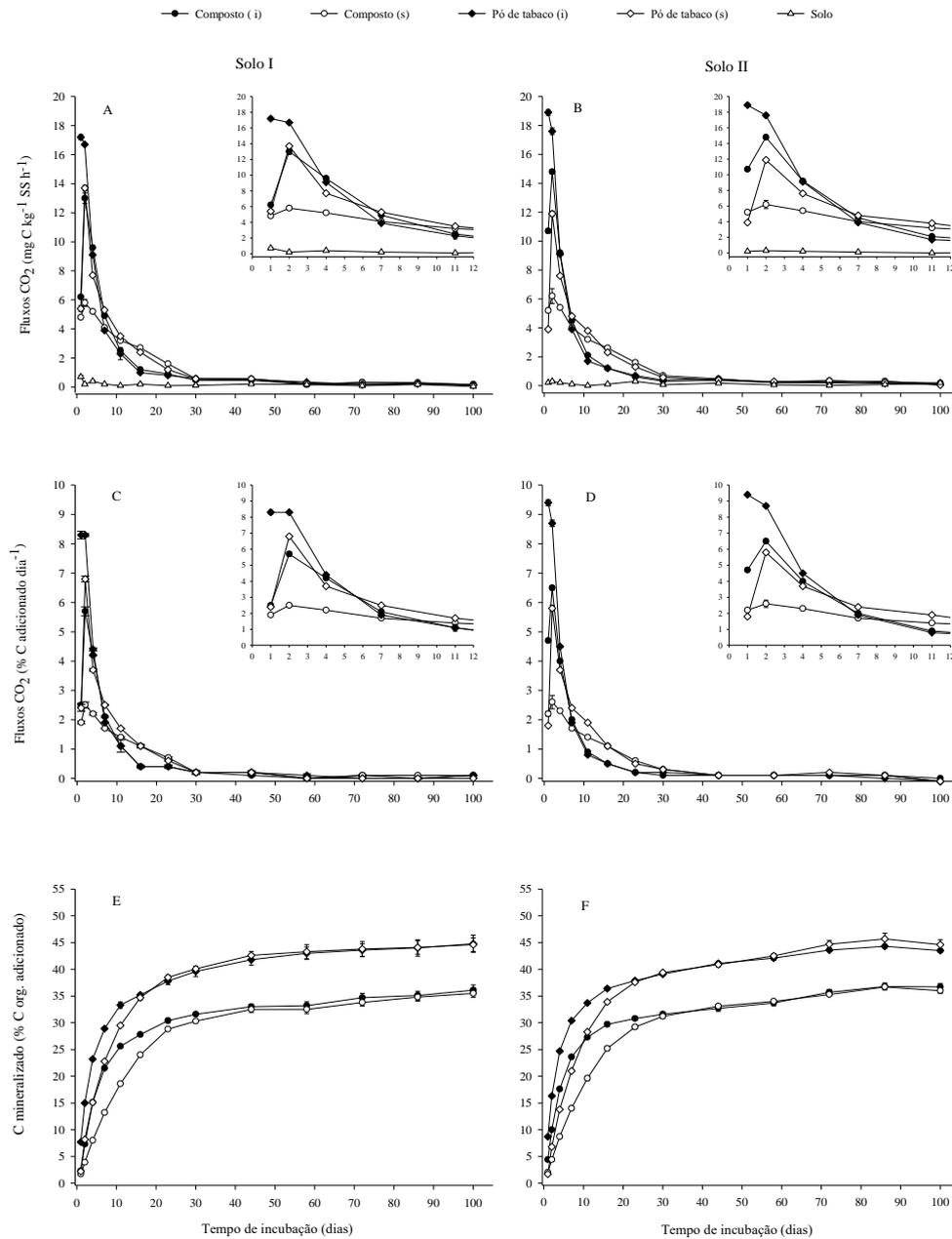


Figura 1 - Fluxos de CO₂ (A, B), fluxos de CO₂ em percentual de C adicionado ao dia (C, D) e percentual de C mineralizado em relação ao C total adicionado (E, F) do pó de tabaco e do composto orgânico, durante a incubação, nos solos I (A, C, E) e II (B, D, F), respectivamente. As barras indicam o erro padrão da média (n=4).

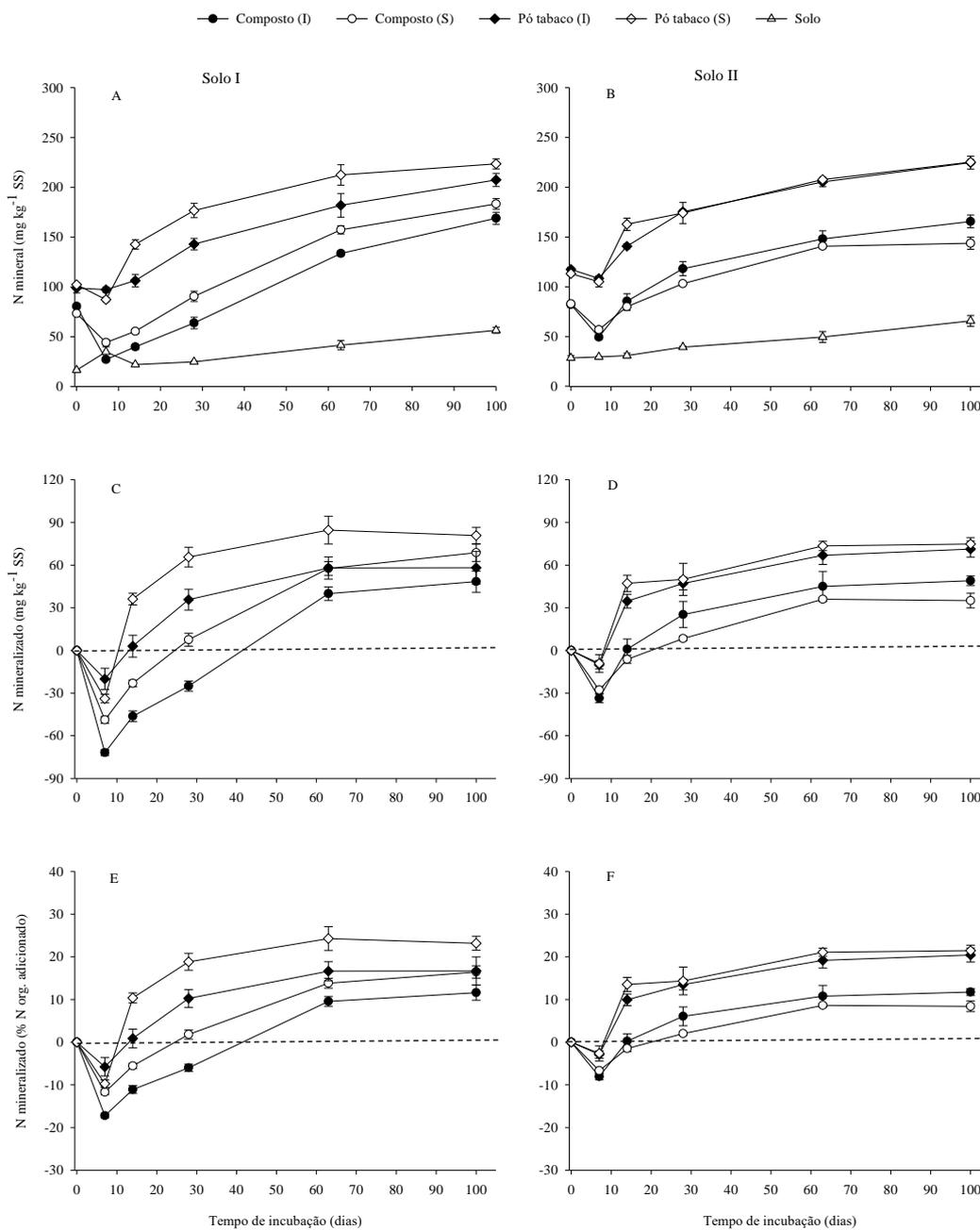


Figura 2 - N mineral (A, B), N mineralizado (C, D) e percentual de N mineralizado em relação ao N orgânico adicionado (E, F) do pó de tabaco e do composto orgânico, durante a incubação, nos solos I (A, C, E) e II (B, D, F), respectivamente. As barras verticais indicam o erro padrão das médias (n=3).

4 ARTIGO 2: PRODUTIVIDADE E ACÚMULO DE NITROGÊNIO NO CAPIM SUDÃO APÓS APLICAÇÃO DE COMPOSTO ORGÂNICO DE RESÍDUO DE TABACO²

4.1 RESUMO

O aproveitamento de resíduos agropecuários e industriais como fertilizante agrícola além de reduzir passivos ambientais permite a produção de culturas com menor demanda por fertilizantes minerais. Um composto orgânico constituído por resíduos de tabaco foi aplicado no solo com o objetivo de fornecer nutrientes para o capim sudão. Foram avaliados a produção de matéria seca (MS), o acúmulo de nitrogênio (N) pelas plantas, a eficiência agrônômica do N (EAN) e a recuperação aparente do N (RAN) após aplicação de diferentes doses desse composto. O estudo foi conduzido na área experimental da UFSM na safra 2018/19, no delineamento blocos ao acaso em parcelas subdivididas. Nas parcelas principais foi comparado o modo de aplicação dos tratamentos, na superfície ou incorporado no solo, enquanto nas subparcelas foi avaliada a aplicação de quatro diferentes doses do composto de tabaco, 0, 11, 22 e 44 Mg ha⁻¹, além de um tratamento com adubação mineral, NPK. A aplicação do composto em superfície refletiu em maior produtividade e acúmulo de N quando comparada à sua incorporação no solo. Quanto maior a dose do composto de tabaco aplicada maior foi a produção de MS e o acúmulo de N, quando comparados à testemunha. O tratamento NPK produziu 33% a mais de MS do que a testemunha, rendimento próximo ao encontrado na dose de 11 Mg ha⁻¹ do composto. A menor dose do composto resultou em maiores EAN e RAN do que as demais doses do composto de tabaco. Esses resultados indicam que o composto de tabaco pode ser utilizado como fonte de nutrientes, sobretudo de N, para adubação do capim sudão, contudo outros estudos envolvendo fatores ambientais devem ser realizados para confirmar a dose ideal de composto a ser aplicado no solo.

Palavras chave: Adubação orgânica. Adubação mineral. Eficiência agrônômica. Modo de aplicação.

²Artigo elaborado de acordo com as normas da Scientia Agricola

PRODUCTIVITY AND NITROGEN ACCUMULATION IN SUDAN GRASS AFTER APPLICATION OF ORGANIC TOBACCO COMPOST

ABSTRACT

The use of agricultural and industrial residues as agricultural fertilizer in addition to reduce environmental problems, allows the crop production with lower demand for mineral fertilizers. A organic compost from tobacco residues was applied in soil with objective of to supply nutrientes to sudan grass. Were evaluated production dry matter (MS), nitrogen acumulated for plants, nitrogen agronomic efficiency (NAE) and nitrogen apparent recovery (NAR) after application doses of the compost. This study was performed in experimental area of Universidade Federal de Santa Maria. The experimental design was in randomized blocks with split Plot. Were tested the doses: 0, 11, 22 and 44 Mg ha⁻¹ of compost besides a treatment with mineral adubation, incorporated or applied on soil surface. The application on surface resulted in higher productivity and N accumulated when comparated the incorporated of composto on soil. Higher doses resulted in higher DM and N acumulated, however lower efficiency of the use of N. In treatment whit mineral fertilizer the DM production and N acumulated were similar to the treatment with 11 Mg ha⁻¹ of compost. These results indicate that the tobacco compost can be used as a source of nutrients, especially N, for fertilizing sudan grass, however other studies involving environmental factors must be performed to confirm the ideal dose of compost to be applied to the soil.

Keywords: Organic adubation. Mineral adubation. Agronomic efficiency. Application mode.

4.2 INTRODUÇÃO

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de tabaco, sendo que 97% da produção nacional provém da região Sul (Afubra, 2019). O processamento do tabaco nas indústrias gera grande quantidade de resíduos. Os resíduos do corte e processamento do tabaco são formados por folhas e nervuras das plantas de tabaco (*Nicotiana tabacum*) e possuem nutrientes em sua composição, principalmente N, P e K (Shakeel et al., 2014). Porém, além de nutrientes, esses resíduos do processamento do tabaco também possuem substâncias tóxicas como a nicotina (Okur et al., 2008), o que torna imprópria a aplicação do resíduo *in natura* para o uso como fertilizante, sendo necessário realizar algum tipo de tratamento para reduzir a sua toxicidade. Adediran et al. (2003) mostraram que resíduos de tabaco reduziram a biomassa microbiana quando adicionados diretamente no solo, sem tratamento. Por outro lado, Kayikcioglu e Okur (2011) comprovaram que a compostagem de resíduos de tabaco, misturados a bagaço de uva e oliva, é uma forma eficaz de diminuir os níveis de nicotina do material a teores insignificantes. Além disso, por ser um resíduo pulverulento, a aplicação é dificultada pela geração excessiva de poeira.

Diante da necessidade de tratamento do resíduo de tabaco gerado nas indústrias fumageiras instaladas no Sul do Brasil, foi desenvolvido um processo para realizar o tratamento térmico desses resíduos, via fermentação em estado sólido (FES), após a inoculação de microrganismos selecionados e o revolvimento do leito de compostagem. Esse processo gera um composto orgânico ao final de um período mínimo de 90 dias de tratamento, dando origem a um material livre de substâncias nocivas, contaminantes, sementes de invasoras, pragas agrícolas e microrganismos patogênicos (Fupasc, informação pessoal).

O composto orgânico proveniente de resíduos de tabaco possui nutrientes, como o N, em concentração considerável e, portanto, potencial para uso agrícola tanto em culturas produtoras de grãos quanto em forrageiras. Entretanto, até o momento não foram encontrados na literatura estudos que avaliaram o uso agrícola do composto de tabaco produzido via FES.

Aubos orgânicos são frequentemente usados como alternativa aos fertilizantes minerais, para restaurar solos degradados (Celestina et al., 2019) e aumentar o rendimento das culturas (Luo et al., 2018). Contudo, o uso sem critérios técnicos pode resultar em passivos ambientais, como contaminação do ar pela emissão de gases do efeito estufa, como dióxido de carbono (CO₂) e óxido nitroso (N₂O), e da água, pela lixiviação de

nitrito (NO_2^-) (Thangaranjan et al. 2013). Tais perdas diminuem a eficiência de uso do nitrogênio pelas plantas e o potencial fertilizante do adubo orgânico, como do composto de tabaco.

A eficiência de uso do N orgânico depende da taxa de mineralização do composto, a qual é influenciada pelas características do material e pelas condições do solo, como temperatura e umidade (Webb et al., 2013). Dessa forma, o método de aplicação do composto orgânico influencia o padrão de mineralização e, conseqüentemente, o potencial de fornecimento de nutrientes às culturas. Assim, é importante testar a aplicação do composto de tabaco no solo, seja de forma incorporada, como ocorre no sistema de cultivo convencional na cultura do tabaco, ou na superfície do solo, como no cultivo em plantio direto.

O capim sudão é uma gramínea, forrageira, de clima tropical, com elevado potencial de produção de biomassa e bem adaptada ao Rio Grande do Sul (Silveira et al., 2015), mas para que ela consiga expressar esse potencial de produção de matéria seca ela necessita de quantidade consideráveis de nutrientes, sobretudo do nitrogênio, seja de fonte mineral ou orgânica. Essa espécie tem importância no RS por ser utilizada em propriedades rurais que cultivam o tabaco, no período de entressafra, já que a época de plantio é bastante ampla (outubro até fevereiro).

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a resposta da cultura do capim sudão submetido a diferentes doses de composto de tabaco aplicado na superfície e incorporado ao solo e testar se é possível substituir a adubação mineral recomendada ao capim sudão pela adubação orgânica.

4.3 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido a partir da realização de um experimento conduzido no período de novembro de 2018 a março de 2019, na área experimental do Departamento de Solos, da Universidade Federal de Santa Maria (29° 43' 36'' S 53° 43' 28'' W), Rio Grande do Sul, Brasil. O clima do local é subtropical úmido do tipo Cfa2, segundo Köppen (Moreno, 1961), enquanto o solo do local é um Argissolo Vermelho Alumínico úmbrico (Santos, 2006).

As características químicas do solo da área experimental foram determinadas no início do experimento na camada 0-10 e 10-20 cm. Dentre essas características, as principais são: $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})} = 5,3$; $\text{Ca}_{\text{extraível-KCl}} = 4,9 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{Mg} = 2,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{Al} =$

0,3 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; saturação de bases= 53,4 %; capacidade de troca de cátions= 13,8 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; P (Mehlich-I)= 10,9 mg dm^{-3} ; K= 58,8 mg dm^{-3} ; e, matéria orgânica (MO)= 3,1%. Esses valores correspondem à média obtidas nas profundidades 0-10 e 10-20 cm.

Antes da instalação do experimento, a área estava sendo utilizada com culturas de cobertura do solo, sendo elas o azevém (*Lolium multiflorum*) e a aveia preta (*Avena strigosa*). A dessecação dessa cobertura vegetal foi realizada 45 dias antes da instalação do experimento. Ainda, uma semana antes do início do experimento o solo passou por duas gradagens, para descompactação.

O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso, em parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas principais mediam 4,0 m de largura por 20,0 m de comprimento, perfazendo uma área de 80 m^2 , sendo essas parcelas subdivididas cinco vezes no tamanho de 4,0 x 4,0 m, ou seja, a área de cada subparcela foi de 16 m^2 . Nas parcelas principais foram avaliados dois modos de aplicação dos fertilizantes: composto e NPK (com aplicação do composto na superfície do solo e incorporação do composto no solo) e nas subparcelas compararam-se diferentes doses do composto de tabaco (0, 50, 100 e 200% da recomendação de N) e um tratamento com adubação mineral (NPK)

Dessa forma, os tratamentos avaliados nas subparcelas foram os seguintes: T1: testemunha (sem fertilização); T2: aplicação de 11 Mg ha^{-1} (em base seca) de composto orgânico de resíduo de tabaco (50% da dose recomendada); T3: aplicação de 22 Mg ha^{-1} de composto de tabaco (100% da dose recomendada, equivalente a 150 kg N ha^{-1}); T4: aplicação de 44 Mg ha^{-1} de composto de tabaco (200% da dose recomendada); e, T5: adubação mineral recomendada (100% da dose, com NPK). As doses de N, foram definidas a partir da análise do solo e da expectativa de rendimento para produção de forragem do capim sudão (9,0 Mg ha^{-1} de matéria seca) (CQFS, 2016). As quantidades de composto foram definidas para que fornecessem 75 (50% dose), 150 (100% dose) e 300 kg ha^{-1} (200% dose) de N disponível.

A análise do composto de tabaco (Tabela 1) indicou que cada tonelada seca do material possuía 26,6 kg de N total, 21,9 kg de N orgânico e 4,7 kg de N mineral. A partir disso, foi utilizado um índice de mineralização do composto de tabaco no valor de 10% do N orgânico, conforme resultado obtido em experimento de incubação em laboratório. Na incubação o valor médio de mineralização do N orgânico do composto foi de 12% (Artigo 1), mas para o estudo de campo foi considerado um índice de 10%, pois em condições reais de campo, esperava-se que a mineralização do N orgânico do composto

fosse menor que a encontrada no laboratório, onde as condições de temperatura e umidade são ideais para a atividade microbiana e favorecem a maior mineralização. Dessa forma o conteúdo de N disponível no composto de tabaco considerou o N orgânico mineralizado (10%) + o N mineral, resultando na disponibilidade de 6,9 kg N Mg⁻¹ de composto de tabaco.

A cultura utilizada para produzir forragem foi o capim sudão (*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf), cultivar ANSF320. Esse capim é uma espécie anual, que possui boa tolerância ao déficit hídrico. A semeadura do capim sudão foi mecanizada e realizada em 12/12/2018 na profundidade de 0,02 m no solo e com espaçamento de 0,34 m, com uma densidade de 25 kg ha⁻¹ de sementes viáveis. A aplicação do composto foi realizada no mesmo dia que a semeadura do capim sudão, de forma manual sobre a superfície do solo, enquanto a incorporação no solo foi feita com o auxílio de uma grade aradora de discos, na profundidade de 20 cm.

A adubação mineral do tratamento 5 foi realizada com a aplicação de ureia, superfosfato triplo e cloreto de potássio, como fontes de N, P e K correspondendo a 150, 130 e 140 kg ha⁻¹, de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente. Todo o fósforo e o potássio e uma parte da quantidade de nitrogênio (25 kg N ha⁻¹) foram aplicados na semeadura, a lanço, enquanto o restante do N (125 kg ha⁻¹) foi aplicado em cobertura (em duas doses de 62,5 kg N ha⁻¹), logo após os dois primeiros cortes realizados, conforme recomendação do Manual de Calagem e Adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS, 2016).

O C e o N total do composto foram determinados por combustão seca em analisador elementar de CHNS (Flash EA 1112, Thermo Finnigan, Milan, Italy), enquanto o N mineral (NH₄⁺ e NO₃⁻) foi determinado por colorimetria em analisador de fluxo contínuo (CFA, San Plus, Skalar, Breda, Holanda), após a extração com KCl e filtração, enquanto o N orgânico foi estimado pela diferença entre o N total e o N mineral. A determinação da matéria seca do composto de tabaco foi realizada por gravimetria, após secagem em estufa a 65 °C.

As doses do composto de tabaco definidas em 50, 100 e 200% da recomendação de N para a produção de capim sudão correspondem a 11, 22 e 44 Mg ha⁻¹ do composto seco, ou seja, às quantidades de 75,9, 151,8 e 303,6 kg ha⁻¹ de N disponível (Tabela 1) e às doses aproximadas de 13,4; 26,8; e 53,6 Mg ha⁻¹ de composto úmido.

Foram realizados três cortes das plantas de capim sudão, a aproximadamente 0,2 m da superfície do solo, simulando pastejos em um sistema forrageiro (SILVEIRA et al.,

2015) para avaliar a produção de matéria seca e o acúmulo de N na parte aérea das plantas. Os cortes foram realizados aos 40, 71 e 106 dias após a semeadura do capim sudão. Os valores médios diários de temperaturas máximas, médias e mínimas, bem como a precipitação ocorrida no período experimental, encontram-se na figura 1.

A área útil de coleta das plantas em cada subparcela foi 4,0 m², sendo que após a realização de cada coleta o material vegetal fresco foi pesado, subamostrado e submetido à secagem em estufa a 65°C, até atingir a massa constante, para determinação do conteúdo de matéria seca. Depois disso, foram realizadas moagens do tecido vegetal seco, em moinho forrageiro, moinho de facas tipo Willey e moinho de bolas (< 100 mesh), para permitir pesagem de uma fração homogênea da amostra e a análise dos teores de N total, por combustão seca em analisador elementar.

A eficiência agronômica do N e a recuperação aparente do N pelas plantas foram estimadas a partir dos valores de N acumulado no tecido vegetal da parte aérea das plantas no final do período experimental. A eficiência agronômica do N (EAN) foi calculada através da equação 1 e a recuperação aparente do N (RAN) no material vegetal foi calculada pela equação 2 (Craswell e Godwin, 1984). Essa equação considera que a mineralização do N da matéria orgânica do solo não é influenciada pelo N aplicado com o composto ou com a ureia (efeito “*priming*”), e, por isso, é denominada recuperação aparente.

$$EAN = \frac{MS\ Trat. - MS\ Test.}{N\ ap.} \quad (1)$$

Onde: EAN, significa a eficiência agronômica do N (kg MS kg⁻¹ N aplicado); *MS_{Trat.}*, é a matéria seca do capim sudão no tratamento considerado; *MS_{Test.}*, é a matéria seca na testemunha; e, *N_{ap.}*, é a quantidade de N total aplicado pelo tratamento.

$$RAN = \frac{N\ ac.Trat. - N\ ac.Test.}{N\ ap.} \times 100 \quad (2)$$

Onde: RAN, significa a recuperação aparente de N (%) na parte aérea do capim sudão; *N_{ac.Trat.}*, é o teor de N na parte aérea do capim sudão no tratamento considerado;

Nac.Test., é o teor de N na testemunha; e, *N ap.*, é a quantidade de N total aplicado pelo tratamento.

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, como não houve interação significativa entre doses de fertilizante e modo de aplicação, foi avaliado o efeito dos fatores principais, utilizando regressão para comparar as diferentes doses do composto de tabaco e o efeito na matéria seca, no N acumulado na parte aérea do capim sudão, na eficiência agrônômica e na recuperação aparente do N. Além disso, foi realizado teste de comparação de médias (Tukey) para avaliar o efeito do modo de aplicação dos fertilizantes sobre as variáveis estudadas. Os dados foram analisados pelo software estatístico SISVAR[®] (versão 5.6).

4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve interação significativa entre as doses e o modo de aplicação do composto e da adubação inorgânica sobre a produção de matéria seca, acúmulo do N, eficiência agrônômica do N (EAN) e recuperação aparente do N (RAN) pela parte aérea das plantas de capim sudão. Por outro lado, houve apenas efeito isolado dos modos de aplicação e das doses de composto sobre as variáveis avaliadas.

4.4.1 Efeito modo de aplicação do composto orgânico e fertilizante mineral

Houve efeito significativo do modo de aplicação na produção de matéria seca, no N acumulado e na EAN. A adubação em superfície resultou em um aumento de 535 kg ha⁻¹ de MS em relação a adubação incorporada (7.822 x 7.287 kg MS ha⁻¹, respectivamente). Da mesma forma, a adubação em superfície também proporcionou maior acúmulo de N (184,8 kg ha⁻¹) do que a incorporação do composto de tabaco (165,4 kg N ha⁻¹) no solo, resultando numa diferença de aproximadamente 19 kg N ha⁻¹. Já para a variável RAN só houve efeito significativo das diferentes doses de adubação utilizadas.

É possível que o revolvimento do solo poucos dias antes do início do experimento, por duas gradagens, tenha estimulado a atividade microbiana e provocado maior mineralização prévia do C do solo e conseqüente imobilização temporária do N aplicado com o composto de tabaco no momento de sua incorporação no solo (Coppens et al., 2006), da mesma forma que ocorreu durante a incubação desse composto (Artigo 1). Essa

limitação temporária pode ter proporcionado efeito negativo no desenvolvimento das plantas de capim sudão quando o composto foi incorporado.

Assim, a aplicação dos tratamentos em superfície pode ter mantido o N do composto orgânico preservado para ser mineralizado lentamente, condizendo com a necessidade de N da cultura forrageira e, por isso, a produção de matéria seca foi 7,3% maior nesse tratamento em relação à incorporação do composto orgânico no solo. Resultado similar foi obtido para o acúmulo de N na parte aérea do capim sudão, sendo a aplicação do composto de tabaco realizada na superfície do solo 12% superior à sua incorporação.

4.4.2 Efeito doses de composto orgânico e fertilizante mineral aplicados

Houve efeito significativo para as doses avaliadas de composto orgânico sobre todas as variáveis estudadas. A partir disso foi realizada regressão com as doses de composto em função de cada variável analisada (matéria seca, acúmulo de N pela parte aérea, eficiência agronomica e recuperação de N pelas plantas).

4.4.2.1 Produção de matéria seca do capim sudão

A aplicação de adubo orgânico (composto de tabaco) e mineral (NPK) aumentou a produção de matéria seca de capim sudão quando comparada ao tratamento testemunha, sem aplicação de fertilizante (Figura 2). Houve incremento na MS de 1.478, 2.508 e 3.610 kg ha⁻¹ com a aplicação de 11, 22 e 44 Mg ha⁻¹ do composto de tabaco, respectivamente, e de 1.893 kg ha⁻¹ de MS com a aplicação do fertilizante mineral NPK.

Embora no primeiro corte das plantas de capim sudão, em 21/01/2019, 40 dias após a semeadura, não tenha havido resposta expressiva à aplicação de composto em relação a produção de matéria seca percebida na testemunha, nos dois corte seguintes, aos 71 dias e aos 106 dias após a semeadura do capim, a produção de matéria seca foi crescente conforme o aumento da dose de composto.

No primeiro corte e na média das três doses de composto utilizadas, o aumento da produção de matéria seca foi de 7% em relação a testemunha. Já no segundo corte o aumento foi de 77%, enquanto no terceiro corte houve aumento de 75%. O tratamento com adubação mineral apresentou resultado superior (20%) no primeiro corte, inferior

(68%) no segundo e produção de MS similar no terceiro corte (diferença de 10%), em relação à média das doses do composto de tabaco aplicado.

No primeiro corte do capim sudão a matéria seca média foi similar entre os tratamentos com adubação (2.518 kg ha^{-1}) e a testemunha (2.352 kg ha^{-1}) provavelmente devido ao déficit hídrico ocorrido no período inicial de cultivo do capim sudão (Figura 1). Nos primeiros 10 dias após a semeadura, a precipitação pluviométrica média não ultrapassou 25 mm e, embora tenha ocorrido uma chuva de 120 mm, este foi um evento único, passando vários dias sem novas precipitações. Além disso, por ser uma fonte orgânica, a liberação de nutrientes do composto está condicionada à degradação pelos microrganismos do solo, diferente dos fertilizantes minerais, de liberação imediata. A aplicação do composto alguns dias antes da semeadura poderia ter refletido em uma melhor sincronia entre liberação de nutrientes e demanda das plantas resultando em maiores diferenças de produtividade entre os tratamentos com adubação orgânica em relação à testemunha.

O desenvolvimento lento dessa cultura forrageira e a falta de água, especialmente no primeiro mês, podem ter prejudicado o crescimento inicial das plantas e a produção de matéria seca. Além disso, percebe-se que na maior dose de composto aplicado no solo (44 Mg ha^{-1}) a produção de matéria seca foi inferior ao tratamento testemunha em 365 kg ha^{-1} . Isto também pode ter sido efeito da dose elevada de composto aplicado, principalmente na superfície do solo. A camada espessa de composto e as altas temperaturas no período inicial podem ter criado um microambiente desfavorável, prejudicando a germinação e a emergência das plantas por, possivelmente, aumentar a demanda por água em um período de escassez.

O efeito negativo da aplicação de altas doses do composto não foi observado no segundo corte, pelo contrário, ocorreu uma relação positiva entre dose e produção de MS. A capacidade de perfilhamento do capim sudão pode ter tido efeito compensatório nesse período, minimizando o efeito negativo que ocorreu no estabelecimento inicial da cultura. Já no terceiro corte, a taxa de produção da MS diminuiu novamente. Um fator que pode ter contribuído para o aumento inexpressivo na produção de matéria seca no terceiro corte do capim sudão pode ser os diversos picos de temperatura mínima, próximos a $10 \text{ }^\circ\text{C}$, observados entre o 2º e o 3º cortes dessa forrageira (Figura 1). Conforme Muller et al. (2002), a temperatura mínima do ar e a disponibilidade de água são as principais variáveis climáticas responsáveis pela produção de biomassa em culturas forrageiras.

Resultados similares ao deste estudo no rendimento de matéria seca foram encontrados por Castro et al. (2016) ao realizarem três cortes no capim Marandu, após aplicação de esterco de bovino como adubo orgânico. Os autores também encontraram um ajuste quadrático na taxa de produção de MS. Entretanto, a resposta no rendimento para o capim Mombaça, sob as mesmas condições, foi diferente com linhas de tendências lineares crescentes. Esses autores justificaram a diferença de resposta entre os dois capins devido a particularidades de cada cultivar.

A produção total de MS do capim sudão pode ser melhor comparada por meio da regressão entre as doses do composto de tabaco aplicado no solo (Figura 3). A análise dessa regressão gerou uma curva quadrática ($Y = -1,4888X^2 + 147,24X + 5.667,5$) de resposta à aplicação do composto ($R^2 = 0,99$). Resposta quadrática da produção de MS à aplicação de diferentes fontes de N são relatadas em vários estudos com capim sudão (Broyles e Fribourg, 1959), milheto (Mesquita e Pinto, 2000), e também em outros capins, como o capim Marandu (Castro et al., 2016) e o capim Mombaça (Muller et al., 2002). Esse tipo de curva é esperado, pois o aumento nas doses de N tende a elevar a produção da cultura acima dos valores obtidos no tratamento testemunha, porém a partir de uma determinada dose de N não há mais resposta das plantas quanto ao aumento na produção.

A produção de matéria seca aumentou com o aumento das doses de composto de 0 a 22 Mg ha⁻¹, com tendência de redução após as 22 Mg ha⁻¹ aplicadas no solo (Figura 3). Resultados similares foram encontrados por Mesquita & Pinto (2000) ao observarem que as maiores taxas na produção de MS do milheto foram na menor dose (60 kg ha⁻¹) e na dose intermediária (120 kg ha⁻¹) de N aplicada, utilizando o fertilizante mineral sulfato de amônio como fonte de N. Esses autores identificaram que a dose menor de N foi capaz de produzir elevadas quantidades de MS devido a fertilidade natural do solo avaliado, o qual apresentava elevado teor de MO. O solo utilizado no nosso estudo também pode ser considerado com bom nível de fertilidade natural, com teor de MO de 3,1%, fator que pode ter contribuído para que no tratamento testemunha a produção de MS tenha sido considerável.

Com a equação obtida na regressão (Figura 3), é possível calcular a dose de composto que corresponde a produção de MS no capim sudão semelhante à obtida com o NPK e também o ponto de máxima eficiência técnica (PME). A dose de 15 Mg ha⁻¹ do composto de tabaco corresponderia a mesma produção obtida com o fertilizante NPK. O ponto de máxima eficiência técnica (PME) é estimado com a aplicação de 49,5 Mg ha⁻¹

de composto (em base seca). Contudo, para afirmar com segurança essas informações, outro experimento deveria ser conduzido com maiores doses do composto.

4.4.2.2 Acúmulo de nitrogênio no capim sudão

O acúmulo de nitrogênio na parte aérea das plantas de capim sudão seguiu a mesma tendência da produtividade de MS. O aumento da dose proporcionou maior acúmulo de N pelas plantas (Figura 4). Houve incremento de $14,9 \text{ kg ha}^{-1}$ (36%) de N acumulado na média das três doses do composto de tabaco já no primeiro corte das plantas, em relação ao tratamento testemunha. No segundo e terceiro corte esse aumento ($35,2$ e $41,0 \text{ kg ha}^{-1}$) foi mais pronunciado, indicando resposta melhor das doses do composto adicionado à absorção de nutriente pelas plantas de capim sudão. O N acumulado na maior dose do composto de tabaco (44 Mg ha^{-1}) foi 122 e 50% maior do que a testemunha e a menor dose do composto (11 Mg ha^{-1}), respectivamente.

Quanto ao fertilizante mineral, a aplicação de 150 kg ha^{-1} de N (na forma de ureia) representou um acúmulo de N na parte aérea das plantas de capim sudão muito similar ao encontrado na menor dose do composto de tabaco (11 Mg ha^{-1}), especialmente no primeiro corte. Embora na menor dose de composto tenham sido aplicados $75,9 \text{ kg ha}^{-1}$ de N disponível, ou seja, a metade da dose de N aplicada com o fertilizante mineral, cabe salientar que o N orgânico aplicado na menor dose do composto foi $240,9 \text{ kg ha}^{-1}$ e, talvez, a taxa de mineralização estimada em 10% do N orgânico (Estudo I) possa ter sido maior, disponibilizando maior quantidade de N para absorção pelas plantas. Um fator que pode ter contribuído para esse efeito foi a temperatura do ar durante o período experimental. A temperatura média do ar oscilou desde 21 até 30 °C na maior parte do período, tendo vários picos de temperatura máxima acima dos 35 °C após o primeiro corte das plantas (Figura 1). Essas maiores temperaturas que ocorreram quando o composto foi aplicado no campo podem ter favorecido a atividade microbiana resultando na maior mineralização do N do composto quando comparada à incubação de laboratório, onde a temperatura foi controlada e permaneceu em torno de 25 °C.

O acúmulo de N em função das doses de composto se ajustou a uma equação quadrática ($R^2 = 1,00$), com o ponto de máxima estimado em 51 Mg ha^{-1} de composto (em base seca). Essa dose equivale a $349,3 \text{ kg ha}^{-1}$ de N disponível, que corresponderia a um acúmulo de $241,7 \text{ kg N ha}^{-1}$ (Figura 5). Para confirmar esses valores novos experimentos deveriam ser realizados, avaliando doses mais elevadas do composto.

Observando a inclinação da curva do N acumulado em função das doses do composto de tabaco aplicadas no capim sudão se percebe que há uma tendência de crescimento linear nas duas primeiras doses, com a maior taxa de acúmulo de N na dose de 11 Mg ha⁻¹ do composto (52 kg de N acumulado). Após a segunda maior dose de composto (22 Mg ha⁻¹) o efeito no acúmulo de N é percebido com uma inclinação mais tênue, indicando uma curva de resposta com menor efeito sobre o potencial de acumular N na parte aérea das plantas.

A equação de regressão indicou que a quantidade de N acumulado na parte aérea do capim sudão com o tratamento NPK seria semelhante ao acumulado por uma dose 15 Mg ha⁻¹ do composto de tabaco aplicado (Figura 5), e não com a dose de 22 Mg ha⁻¹, estimada inicialmente. Possivelmente, o fato de o solo ser naturalmente fértil, com considerável teor de MO (3,1%), da presença de outros nutrientes no composto de tabaco e da mineralização real do composto, que pode ter sido maior do que a taxa de mineralização do composto estimada em 10% (Estudo I), contribuam para que doses baixas de composto de tabaco utilizadas tenham atingido níveis de N acumulado tão próximos do fertilizante NPK.

4.4.2.3. *Matéria seca total e acúmulo do N com adubação orgânica x adubação mineral*

Ao comparar o efeito da adubação orgânica em relação à adubação inorgânica (NPK) na produção de MS, verificou-se que a adubação inorgânica (NPK) resultou em maior produção quando comparada a testemunha, mas estatisticamente não diferiu da aplicação de 11 e 22 Mg ha⁻¹ (50 e 100% da dose, respectivamente) de composto e teve resposta inferior à aplicação de 44 Mg ha⁻¹ (200% da dose) de composto (Tabela 2). Ao avaliar o rendimento de grãos do capim sudão com a aplicação de 72 kg N ha⁻¹, como sulfato de amônio, e em duas taxas de potássio Awad et al. (2013) observaram maior rendimento (2.202 kg ha⁻¹) quando foi aplicado 120 kg K₂O ha⁻¹, condições e quantidades de N e K similares às utilizadas neste estudo, especialmente com a primeira dose do composto de tabaco e com o fertilizante NPK.

Cabe ressaltar que o solo da área onde foi realizado este estudo era naturalmente fértil (MO = 3,1%), o que potencializou elevada produção de matéria seca no tratamento testemunha, mesmo sem este receber nenhum fertilizante. Além disso, o manejo do solo realizado poucos dias antes do início do experimento também pode ter favorecido a decomposição de resíduos vegetais incorporados e a mineralização de nutrientes. Estes

aspectos podem ter contribuído para obter diferença de apenas 3,6 Mg ha⁻¹ na produção de matéria seca entre a menor e a maior dose (0 e 44 Mg ha⁻¹) de composto aplicado (Tabela 2). Dessa forma, a repetição do experimento em outro solo, com menor teor de MO e sem revolvimento recente do solo, poderia potencializar as diferenças entre as doses de composto utilizadas neste estudo.

Comparando os efeitos da adubação orgânica e mineral no acúmulo de N pelas plantas de capim sudão (Tabela 2) percebe-se uma tendência semelhante da produção de MS. A maior dose de composto foi superior à testemunha, as demais doses e à adubação mineral (NPK), entretanto, a adubação mineral foi estatisticamente igual à aplicação de 11 Mg ha⁻¹ de composto.

4.4.2.4. Eficiência agrônômica (EAN) e recuperação aparente do N (RAN) no capim sudão

A maior produtividade de MS e a maior quantidade de N acumulado na parte aérea do capim sudão foram obtidos no tratamento com aplicação da maior dose do composto de tabaco (44 Mg ha⁻¹), porém os índices que avaliam a eficiência de uso do N pelas culturas, EAN e RAN, foram maiores com adubação inorgânica (mineral) em relação a orgânica (composto de tabaco) e com as menores doses de composto aplicadas. A EAN do tratamento com NPK foi de 12,6. Assim, cada 1,0 kg de N aplicado com a adubação mineral (NPK) resultou em uma produção de 12,6 kg de MS na parte aérea das plantas. No mesmo sentido a RAN foi superior (2,85 vezes) no tratamento NPK, em relação a média das três doses do composto de tabaco.

A relação entre as diferentes doses do composto de tabaco e os índices da EAN e da RAN foi inversa. Dessa forma, quanto maior a quantidade de composto adicionado ao solo menor a EAN e a RAN. O efeito das doses de composto sobre a EAN e a RAN nas plantas de capim sudão está representado pelas regressões lineares decrescentes desses índices em função das doses do composto de tabaco (Figura 6).

A maior eficiência do fertilizante inorgânico em relação ao orgânico é esperada, uma vez que todo o N total aplicado está na forma mineral, prontamente disponível para ser absorvido pelas plantas, enquanto o fertilizante orgânico precisa ser mineralizado para fornecer o N para as plantas. A eficiência de uso do N orgânico depende da taxa de mineralização, a qual é dependente da natureza do adubo e das condições de solo e clima (Webb et al., 2013). Estudos de Chambers et al. (1999) demonstraram que a RAN é

variável conforme a natureza dos adubos. Os autores observaram que a variação na RAN foi de 60% com dejetos líquidos de suíno, a 10% para esterco curtido de gado.

Uma resposta à essa baixa eficiência agrônômica do N aplicado com as doses do composto de tabaco se deve ao fato do cálculo da EAN (Equação 1) considerar o N total aplicado em cada dose de composto. Neste caso, com as doses de 11, 22 e 44 Mg ha⁻¹ de composto de tabaco foram aplicados 293, 585 e 1.170 kg ha⁻¹ de N total (Tabela 1). Devido a baixa taxa de mineralização desse material (aproximadamente 10%) o N disponível foi em torno de 3,9 vezes menor do que o N total aplicado e, portanto, a maior parte do N total considerado no cálculo (próximo a 90%) não foi realmente disponibilizado para a cultura.

No mesmo sentido, percebe-se que a maior parte do N aplicado com o composto não foi disponibilizada para absorção pelas plantas de capim sudão, resultando em baixa recuperação aparente do N. A regressão das doses do composto de tabaco aplicadas sobre a RAN (Figura 6 B) também foi uma linear decrescente ($R^2 = 0,99$).

O fato da aplicação de doses elevadas do composto não resultar em uma boa eficiência agrônômica de uso do nitrogênio pelas plantas pode ser indicativo de perdas de N, à medida que é disponibilizado mais N do que a cultura necessita. Uma vez que perdas de N podem representar custos econômicos e ambientais, se torna interessante considerar esses aspectos no momento de definir as doses para cada tipo de cultura. Outro aspecto a ser considerado é que a aplicação de doses elevadas do composto também pode contribuir para o abastecimento e manutenção da reserva de nutrientes e da matéria orgânica do solo.

4.4.3 Potencial fertilizante do composto de pó de tabaco

O composto de pó de tabaco possui bom potencial como fertilizante orgânico para o capim sudão, nas condições em que esse estudo foi realizado, com possibilidade de substituição pela adubação mineral recomendada. A menor dose (11 mg ha⁻¹) e a dose intermediária (22 Mg ha⁻¹) resultaram em produção de MS satisfatórias, semelhantes a que seria obtida com a fertilização mineral recomendada para a cultura e a maior dose (44 Mg ha⁻¹) ultrapassou a produção de MS obtida com a fertilização mineral. A máxima eficiência técnica para produção de MS e acúmulo de N seria obtida com a aplicação de 49,5 e 51 Mg ha⁻¹ de composto, respectivamente, doses maiores que a maior dose testada nesse estudo. Para confirmar essa informação é necessário conduzir novos estudos com doses mais elevadas de composto.

O critério de decisão quanto à quantidade de composto a ser aplicada no solo para o cultivo do capim sudão deve considerar, além da expectativa de produção desejada, uma análise econômica de custo benefício da adubação orgânica para o produtor. A utilização em regiões distantes de Santa Cruz do Sul, onde o composto é produzido, torna a operação mais onerosa, devido ao custo de transporte do produto. Entretanto, em regiões próximas à usina de processamento, o uso do composto de tabaco pode ser extremamente vantajoso, tanto para o produtor, quanto para o meio ambiente. Agronomicamente, o composto é uma boa fonte de nutriente ao capim sudão e a produção de forragem é responsiva ao aumento da dose. Ambientalmente, favorece a qualidade do solo, por ser uma fonte orgânica e também proporciona um destino correto para o pó de tabaco gerado nas indústrias.

4.5 CONCLUSÕES

O composto de pó de tabaco possui potencial para ser utilizado como única fonte de fertilizante no capim sudão e pode substituir a adubação mineral recomendada para a cultura.

A aplicação superficial de composto no solo aumenta a produção de matéria seca e o acúmulo de N pelo capim sudão em comparação à incorporação no solo.

O aumento das doses de composto incrementa significativamente a produção de matéria seca e no acúmulo de N pelas plantas de capim sudão.

De acordo com a análise de regressão a quantidade de composto que resulta em produção de matéria seca e acúmulo de N pela parte aérea das plantas equivalente ao obtido com a fertilização mineral é 15 Mg ha^{-1} do composto.

4.6 REFERÊNCIAS

Adediran, J.A. et al. 2003. Organic waste materials for soil fertility improvement in the border region of the Eastern Cape, South Africa. *Biological Agriculture and Horticulture* 20:283-300.

Aratani, R. G. et al. 2009. Qualidade física de um latossolo vermelho acriférrico sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 33:677-687.

ASSOCIAÇÃO DOS FUMICULTORES DO BRASIL. Fumicultura no Brasil. Disponível em: < <https://afubra.com.br/fumicultura-brasil.html>>. Acesso em: 5 jun. 2019.

Awad, A. et al. 2013. Grain yield production of Sudan grass (*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf) as influenced by cutting numbers, potassium rates, and intrarow spacing in a semiarid environment. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 37:657-664.

Azeez, J.O.; Van Averbeke, W. 2010. Nitrogen mineralization potential of three animal manures applied on a sandy clay loam soil. *Bioresource Technology* 101:5645-5651.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. *Diário Oficial da União, Brasília – DF*, 2 ago. 2010. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm> Acesso em: 10 mai. 2019.

Broyles, K.R.; Fribourg, H.A. 1959. Nitrogen fertilization and cutting management of sudangrass and millets. *Agronomy Journal* 51:277-279.

Castro, C.S.; Lobo, U.G.M. et al. 2016. Eficiência de utilização de adubação orgânica em forrageiras tropicais. *Revista de Agricultura Neotropical* 3:48-54.

Celestina, C. et al. 2019. Attribution of crop yield responses to application of organic amendments: A critical review. *Soil & Tillage Research* 186:135-154.

Chambers, B.J. et al. 1999. Predicting nitrogen availability and losses following arable land application of manures: MANNER. *Soil Use Manage.* 15:137-143.

Coppens, F. et al. 2006. Impacto of crop residue location on carbono and nitrogen distribution in soil and in water-stable aggregates. *European Journal of Soil Science* 57:570-582.

CQFS-RS/SC – 2016. Comissão de Química E Fertilidade Do Solo – RS/SC. Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 11ª ed. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo regional Sul. 376p.

Craswell, E.T.; Godwin, D.G. 1984. The efficiency of nitrogen fertilizers applied to cereals grown in different climates. In: Tinker PB, Lauchil A (eds) *Advences in Plant Nutrition* 1:1-56.

Hall, D.J.M. & Bell, R.W. 2015. Biochar and Compost Increase Crop Yields but the Effect is Short Term on Sandplain Soils of Western Australia. *Pedosphere* 25:720-728.

Instituto Nacional de Meteorologia. Ministério de Agricultura Pecuária e Abastecimento. Disponível em: < <http://www.inmet.gov.br/portal/>>. Acesso em: 15 jul. 2019.

Kayikçioğlu, H.H.; Okur, N. 2011. Evolution of enzyme activities during composting of tobacco waste. *Waste Management & Research* 29:1124-1131.

Lahori, A.H. et al. 2019. Residual effects of tobacco biochar along with 3 different fixing agents on stabilization of trace 4 elements in multi-metal contaminated soils. *Journal of Environmental Sciences*. Article *in press*.

Luo, G. et al. 2018. Organic amendments increase crop yields by improving microbe-mediated soil functioning of agroecosystems: A meta-analysis. *Soil Biology and Biochemistry* 124:105-115.

Masunga, R.H. et al. 2016. Nitrogen mineralization dynamics of different valuable organic amendments commonly used in agriculture. *Applied Soil Ecology* 101: 185-193.

Mesquita, E.E.; Pinto, J.C. 2000. Nitrogênio e métodos de semeadura no rendimento da forragem de pós-colheita de sementes de milheto [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.]. *Revista Brasileira de Zootecnia* 29: 971-977.

Moreno, J.A. Clima do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Secretaria da Agricultura, Diretoria de Terras e Colonização, Seção de Geografia, 1961, 46p.

Muller, M.S. et al. 2002. Produtividade do *Panicum maximum* cv. Mombaça irrigado, sob pastejo rotacionado. *Scientia Agricola* 59:427-433.

Nyiraneza, J. et al. 2010. Long-Term Manure Application and Forages Reduce Nitrogen Fertilizer Requirements of Silage Corn–Cereal Cropping Systems. *Agronomy Journal* 102:1244-1251.

Okur, N. et al. 2008. Organic Amendment Based on Tobacco Waste Compost and Farmyard Manure: Influence on soil biological properties and butter-head lettuce yield, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 32:91-99.

Roehrs, D.D. 2012. Tratamento de resíduos de tabaco por compostagem e vermicompostagem. 2012. 69 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS.

Shakeel, S. 2014. Consideration of tobacco dust as organic amendment for soil: A soil & waste management strategy, *Earth Sciences* 3: 117-121.

Silveira, M.C.T. et al. 2015. Aspectos relativos à implantação e manejo de capim-sudão BRS Estribo. Embrapa. Comunicado Técnico 189.

Webb, et al. 2013. An assessment of the variation of manure nitrogen efficiency throughout Europe and an appraisal of means to increase manure-N efficiency. *Advances in Agronomy* 119:371-442.

Zhang, Q. et al. 2018. Indices of forage nutritional yield and water use efficiency amongst spring-sown annual forage crops in north-west China. *European Journal of Agronomy* 93:1-10.

Tabela 1 - Caracterização do composto orgânico de resíduo de tabaco e quantidades aplicadas no solo nas três doses avaliadas. Santa Maria, RS, Brasil.

Caracterização	MS*	C total	Nitrogênio				C/N	pH	
			Total	Mineral		Orgânico			Disponível
				NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻				
Concentração	-- % --	-----	kg Mg ⁻¹ -----						
Composto	82	314,6	26,6	0,9	3,8	21,9	6,9	11,8	6,1
Quantidades aplicadas**		-----	kg ha ⁻¹ -----						
Dose 11	11.000	3.461	293	9,9	41,8	240,9	75,9		
Dose 22	22.000	6.921	585	19,8	83,6	481,8	151,8		
Dose 44	44.000	13.842	1.170	39,6	167,2	963,6	303,6		

*MS = matéria seca; C = carbono; NH₄⁺ = N amoniacal (NH₃ + NH₄⁺); NO₃⁻ = N nítrico (NO₂⁻ + NO₃⁻); N disponível = estimado por cálculo, considerando o N mineral somado a uma mineralização de 10% do N orgânico; C/N = relação carbono/nitrogênio;

**Quantidade de composto aplicado (Mg ha⁻¹).

Tabela 2 - Produção de matéria seca, acúmulo de nitrogênio (N), eficiência agronômica do N (EAN) e recuperação aparente do N (RAN), pelo capim sudão, após a aplicação de três doses do composto de resíduos de tabaco e da adubação mineral (NPK).

Tratamentos	Matéria seca	Acúmulo N	EAN	RAN
	-- kg ha ⁻¹ --	-- kg ha ⁻¹ --	-- kg kg ⁻¹ --	--- % ---
Testemunha	5.657,0 d	107,9 d	-	-
Composto 11*	7.135,0 c	159,5 c	5,0 b	17,6 b
Composto 22	8.165,3 b	198,3 b	4,3 b	15,4 b
Composto 44	9.267,2 a	239,1 a	3,1 b	11,2 b
NPK	7.549,8 bc	170,8 c	12,6 a	41,9 a
CV** (%)	9,4	13,3	37,5	36,4

* Composto aplicado no campo (Mg ha⁻¹); ** CV: coeficiente de variação. As médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si, de acordo com o teste de LSD (p<0,05).

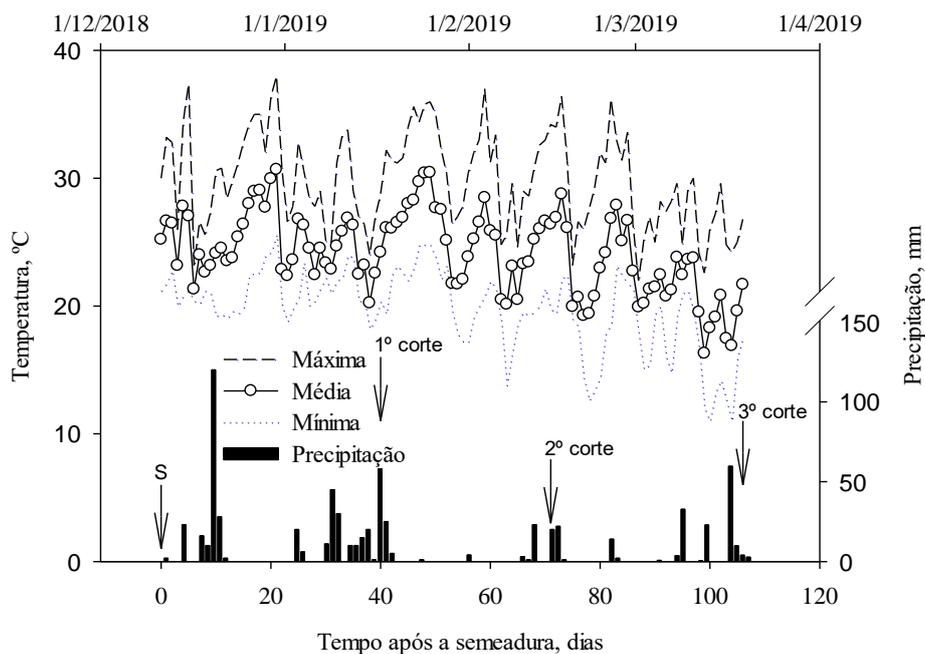


Figura 1 - Temperaturas máxima, média e mínima diárias do ar e precipitação pluviométrica durante o cultivo de capim sudão. S = semeadura da cultura; 1º, 2º e 3º cortes = indicam os momentos em que foi realizado cada corte, simulando pastejos.

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2019).

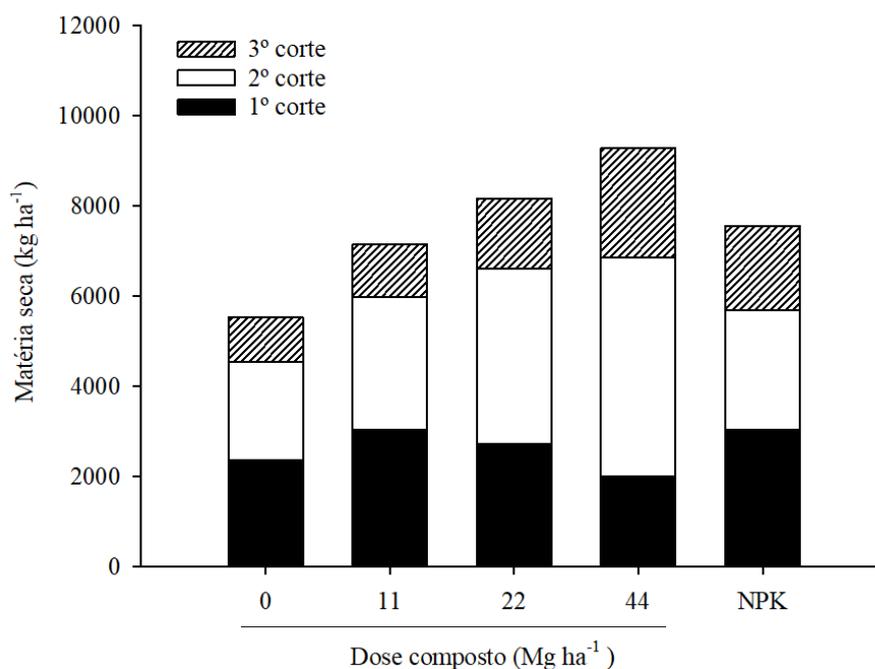


Figura 2 - Matéria seca produzida pela parte aérea das plantas de capim sudão, na média dos dois modos de aplicação, no primeiro, segundo e terceiro cortes após adubação com composto de tabaco e com fertilizante mineral.

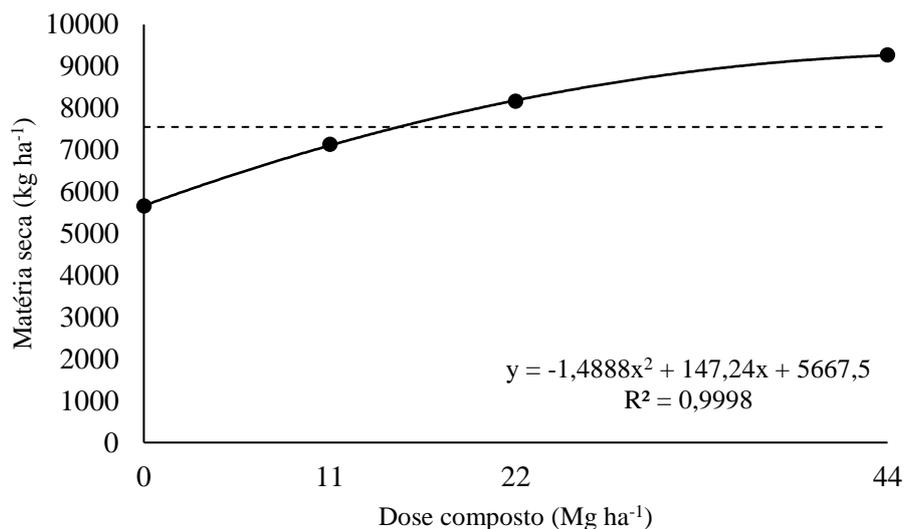


Figura 3 - Matéria seca total da parte aérea do capim sudão (somatório de 3 cortes) em função das doses do composto de tabaco e da adubação mineral (NPK, linha tracejada) aplicadas no solo.

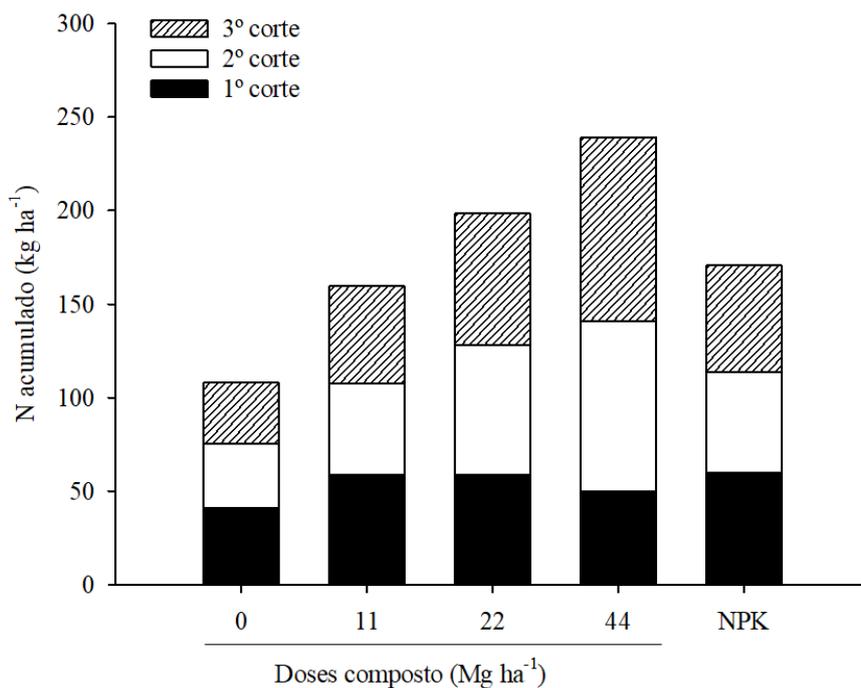


Figura 4 - Nitrogênio acumulado na parte aérea das plantas de capim sudão, na média dos dois modos de aplicação, no primeiro, segundo e terceiro cortes após adubação com composto de tabaco e com fertilizante mineral.

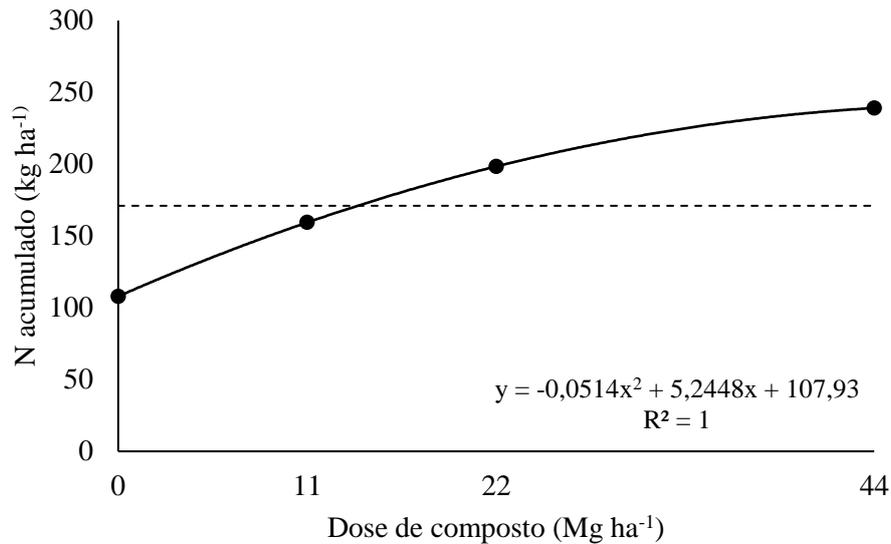


Figura 5 - Acúmulo de nitrogênio na parte aérea do capim sudão em função das doses de composto de tabaco e da adubação mineral (NPK, linha tracejada) aplicada ao solo

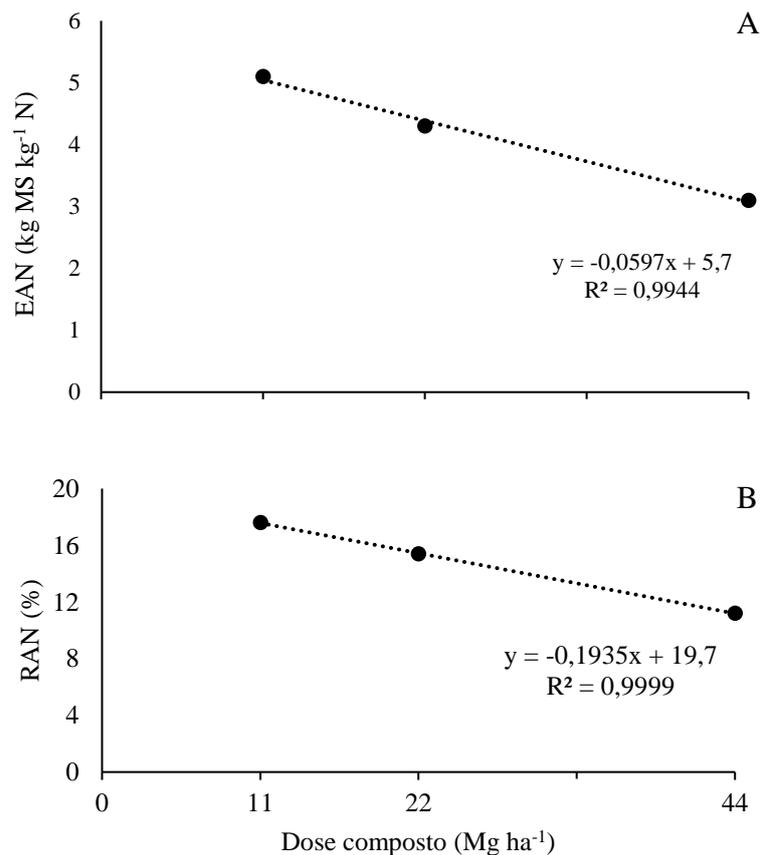


Figura 6 - Eficiência agrônoma do nitrogênio (EAN, em “A”) e recuperação aparente do N (RAN, em “B”) nas plantas de capim sudão em função das doses do composto de tabaco aplicado no solo.

5 DISCUSSÃO GERAL

A adubação orgânica é frequentemente utilizada como uma estratégia para melhorar ou manter a qualidade do solo e também como uma fonte alternativa aos fertilizantes minerais. Restos culturais, esterco de animais, resíduos industriais e composto produzido a partir desses materiais são as principais fontes orgânicas utilizadas (CELESTINA et al., 2019). Os resultados obtidos nesses dois estudos evidenciam que tanto o pó de tabaco quanto o composto produzido pelo processo de fermentação em estado sólido (FES) deste pó são materiais orgânicos com potencial para aplicação no solo, seja como fertilizante agrícola ou com a finalidade de incrementar a matéria orgânica do solo.

Apesar da cinética de mineralização do C e do N terem sido próximas entre o pó de tabaco e o composto, a proporção do C e do N que foi mineralizada diferiu entre os resíduos orgânicos, evidenciando que o processo de FES alterou as características originais do pó de tabaco. Em condições controladas de laboratório e na média dos dois solos avaliados (Argissolo e Neossolo Flúvico) e das duas modalidades de uso dos resíduos orgânicos (incorporação no solo e aplicação superficial), a mineralização do C e do N para o pó de tabaco foi de 44 e 20%, respectivamente, enquanto para o composto foi de 36 e 12%. Apesar de ter ocorrido mineralização líquida de N ao final da incubação nos dois solos e para ambos os resíduos orgânicos, ocorreu imobilização líquida de N na fase inicial de decomposição dos dois resíduos, sendo mais intensa e duradoura para o composto. A compreensão da dinâmica da imobilização e mineralização do N é importante para prever a disponibilidade do N no solo (AZEEZ e AVERBEKE, 2010), tanto para as plantas, quanto para manutenção da atividade microbiana.

As hipóteses iniciais desse estudo, de que o tipo de solo e a localização dos resíduos no solo influenciam na atividade microbiana e, conseqüentemente, na decomposição dos resíduos foi confirmada. Em laboratório, no período inicial, a decomposição foi maior no solo mais arenoso e com menor teor de MO e quando os resíduos foram colocados incorporados ao solo. Diferentemente da mineralização do C, a maior mineralização do N foi observada com a colocação dos materiais orgânicos na superfície do solo. A composição química dos materiais e as eventuais diferenças na estrutura da população microbiana dos solos podem explicar tais resultados (SYLVIA et al., 1998).

Em resumo, foi possível perceber que quanto mais intensa a atividade microbiana, observada pelo fluxo de CO₂, maior o efeito do tipo de solo e da localização dos resíduos sobre a mineralização. A partir do primeiro mês de incubação, a mineralização do C dos resíduos orgânicos diminuiu e atingiu valores praticamente constantes e próximos aos observados no solo sem resíduos. Na fase inicial da decomposição são mineralizados os compostos mais lábeis, da fração solúvel em água. Após a exaustão dessa fração, ocorre a mineralização gradativa e a taxas mais constantes dos compostos recalcitrantes e resistentes ao ataque microbiano (GIACOMINI et al., 2008). Após a fase mais ativa da decomposição, os efeitos do tipo de solo e da localização foram ficando insignificantes. Esses resultados indicam que, provavelmente, nos primeiros 30 dias a maior parte dos nutrientes foi liberada para o solo.

Em regiões onde é possível utilizar o pó de tabaco diretamente no solo, este possui potencial como fonte de nutrientes às culturas. Nesse estudo não foram avaliados os teores de micronutrientes e macronutrientes como fósforo (P) e potássio (K); porém, outros estudos identificaram que o resíduo proveniente de indústria fumageira possui, em média, 2,5% de K, 0,2% de P, além de outros macronutrientes como o Ca, Mg e S (ADEDIRAN et al., 2003; PRIMO et al., 2010; SHAKEEL et al., 2014). No Brasil, devido às restrições para a incorporação do pó de tabaco em solos agrícolas, o uso do composto orgânico é uma estratégia para o gerenciamento dos resíduos da indústria fumageira. Os resultados de nosso estudo comprovam que ele possui potencial para fertilização de culturas, além de constituir uma fonte de matéria orgânica para o solo mais eficiente do que o pó de tabaco. A fertilização do capim sudão com o uso do composto se mostrou promissora, tanto para aplicação na superfície do solo, como ocorre no sistema de plantio direto, quanto para a incorporação no solo, como é feito no sistema convencional.

A partir do índice mínimo de mineralização do N do composto de 10%, obtido na incubação de laboratório, estimou-se que uma dose de 22 Mg ha⁻¹ de composto supriria a quantidade de N necessária ao capim sudão e equivalente a aplicação de ureia recomendada para a cultura (150 kg N ha⁻¹). Todavia, uma dose menor de composto, de 15 Mg ha⁻¹, foi suficiente para alcançar uma produção de matéria seca equivalente ao tratamento com ureia. É provável que as condições de mineralização do N do composto foram mais favoráveis no campo do que no laboratório. A provável interação entre os demais nutrientes presentes no composto com o N liberado também pode ter contribuído para melhorar a resposta do fertilizante orgânico no campo. O rendimento de matéria seca do capim sudão obtido com a aplicação de NPK na dose recomendada foi estatisticamente

igual a aplicação de 11 e 22 Mg ha⁻¹ de composto. Esses resultados confirmam nossa hipótese inicial, de que o composto pode substituir a adubação mineral recomendada para o capim sudão. Através das equações da regressão da produção de MS e acúmulo de N pelas plantas em função da dose de composto, calcula-se que a dose de 15 Mg ha⁻¹ de composto equivale a adubação mineral recomendada (NPK) na produção de MS e N acumulado.

A adubação orgânica e mineral possibilitou a realização de três cortes no capim sudão. Em um sistema forrageiro, esse resultado é importante, pois resultaria em boa oferta de MS durante, no mínimo, três meses, dependendo da carga de animais, da intensidade e intervalo dos pastejos. A aplicação de 11, 22 e 44 Mg ha⁻¹ de composto incrementou em 1.478, 2.508 e 3.610 kg ha⁻¹ de MS, respectivamente, em relação à testemunha, que não recebeu nenhuma aplicação de fertilizante. As características químicas do solo e o revolvimento anterior à semeadura da cultura, que causou a desagregação do solo e expos a matéria orgânica à oxidação microbiana (ARATANI et al., 2009) podem ter contribuído para aumentar o rendimento observado na testemunha, diminuindo o potencial de resposta do capim ao uso do composto.

Embora a produção de fitomassa pelo capim sudão tenha aumentado com o aumento das doses de composto, isso reduziu o índice de eficiência de uso no N pela cultura. Apesar da adubação mineral representar a maior recuperação aparente de N, a aplicação do composto pode reabastecer a reserva de N do solo, pois provavelmente o N não utilizado foi imobilizado no solo e será liberado aos poucos (NYIRANEZA et al., 2010). Essa lenta liberação pode impactar no fornecimento de nutrientes para os cultivos subsequentes. Dessa forma é importante considerar um possível efeito residual de adubos orgânicos a médio e longo prazo, para eliminar o risco de aplicações excessivas de diversos elementos contidos nos mesmos (WEBB et al., 2013). Esse é um campo que tem possibilidade de ser explorado em trabalhos futuros com o uso do composto de pó de tabaco em diferentes culturas.

6 CONCLUSÕES GERAIS

A partir dos resultados obtidos nos dois experimentos que compõe este trabalho conclui-se que:

Estudos de campo são importantes para confirmar ou confrontar os resultados de estudos desenvolvidos em laboratório.

O pó de tabaco e o composto possuem potencial para uso como fonte de matéria orgânica para o solo e fonte de nutrientes a cultivos agrícolas. O composto produzido a partir do pó é uma alternativa aos fertilizantes minerais para o capim sudão.

O tipo de solo pode ser um critério de decisão quanto à dose de composto a aplicar, pois o tipo de solo pode exercer efeito, mesmo que em pequenas dimensões, sobre a mineralização dos nutrientes nele contido. Solos arenosos tendem a favorecer esse processo.

O modo de aplicação influencia a decomposição e a mineralização do N dos dois materiais orgânicos. Em condições de campo, a aplicação do composto na superfície do solo resulta em maior produção de MS e acúmulo de N pelas plantas de capim sudão comparado à incorporação no solo.

Desenvolver novos experimentos em condições de campo, para recomendação de uso do composto de pó de tabaco em outras culturas é uma forma de incentivar a expansão de uso do composto e incentivar o tratamento do pó de tabaco, mitigando o passivo ambiental gerado pela indústria fumageira.

REFERÊNCIAS

- AITA, C. et al. Impact on C and N dynamics of simultaneous application of pig slurry and wheat straw, as affected by their initial locations in soil. **Biology and Fertility of Soils**, v. 48, p. 633–642, 2012.
- ADEDIRAN, J.A. et al. Organic waste materials for soil fertility improvement in the border region of the Eastern Cape, South Africa. **Biological Agriculture and Horticulture**, v. 20, p. 283-300, 2003.
- ADEDIRAN, J.A. et al. Changes in chemical properties and temperature during the composting of tobacco waste with other organic materials, and effects of resulting composts on lettuce (*Lactuca sativa* L.) and spinach (*Spinacea oleracea* L.). **Biological Agriculture & Horticulture**, v. 22, p. 101-119, 2004.
- ARATANI, R. G. et al. Qualidade física de um latossolo vermelho acriférrico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 677-687, 2009.
- ASSOCIAÇÃO DOS FUMICULTORES DO BRASIL. **Fumicultura no Brasil**. Disponível em: <<https://afubra.com.br/fumicultura-brasil.html>>. Acesso em: 5 jun. 2019.
- AZEEZ, J.O.; VAN AVERBEKE, W. Nitrogen mineralization potential of three animal manures applied on a sandy clay loam soil. **Bioresource Technology**, v. 101, p. 5645-5651, 2010.
- BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília – DF, 2 ago. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm> Acesso em: 10 mai. 2019.
- CELESTINA, C. et al. Attribution of crop yield responses to application of organic amendments: A critical review. **Soil & Tillage Research**, v. 186, p. 135-154, 2019.
- COTRUFO, M.F. et al. The Microbial Efficiency-Matrix Stabilization (MEMS) framework integrates plant litter decomposition with soil organic matter stabilization: do labile plant inputs form stable soil organic matter? **Global Change Biology**, v. 19, p. 988-995, 2013.
- HADAS, A. et al. Rates of decomposition of plant residues and available nitrogen in soil, related to residue composition through simulation of carbon and nitrogen turnover. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 36, p. 255-266, 2004.
- JAT, R.L. et al. Carbon and nitrogen mineralization in Vertisol as mediated by type and placement method of residue. **Environ Monit Assess.**, v. 190, p. 439-446, 2018.
- LAUSCHNER, M.M. et al. Decomposição de resíduos de agroindústria fumageira no solo. **Ciência e Natura**, v. 35, p. 001-008, 2005.

MASUNGA, R.H. et al. Nitrogen mineralization dynamics of different valuable organic amendments commonly used in agriculture. **Applied Soil Ecology**, v. 101, p. 185-193, 2016.

NYIRANEZA, J. et al. Long-Term Manure Application and Forages Reduce Nitrogen Fertilizer Requirements of Silage Corn–Cereal Cropping Systems. **Agronomy Journal**, v. 102, p. 1244-1251, 2010.

OKUR, N. et al. Organic Amendment Based on Tobacco Waste Compost and Farmyard Manure: Influence on soil biological properties and butter-head lettuce yield, **Turk J Agric For.**, v. 32, p. 91-99, 2008.

PRIMO, D.C. Avaliação da qualidade nutricional de composto orgânico produzido com resíduos de fumo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p.742-746, 2010.

ROEHRS, D.D. **Tratamento de resíduos de tabaco por compostagem e vermicompostagem**. 2012. 69 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, 2012.

SCHMATZ, R. et al. Crop residue quality and soil type influence the priming effect but not the fate of crop residue C. **Plant Soil**, v. 414, p. 229-245, 2017.

SHAKEEL, S. Consideration of tobacco dust as organic amendment for soil: A soil & waste management strategy, **Earth Sciences**. v. 3, p.117-121, 2014.

SYLVIA, D.M. et al. 1998. **Principles and applications of soil microbiology**. Prentice Hall, New Jersey, 1998, 550 p.

THANGARANJAN, R. et al. Role of organic amendmet application on greenhouse gas emission from soil. **Science of the Total Environment**, v. 465, p. 72-96, 2013.

WEBB, et al. An assessment of the variation of manure nitrogen efficiency throughout europe and an appraisal of means to increase manure-N efficiency. **Advances in Agronomy**, v. 119, p. 371-442, 2013.

ZHANG, Q.; BELL, L.W.; SHEN, Y.; WHISH, J.P.M. 2018. Indices of forage nutritional yield and water use efficiency amongst spring-sown annual forage crops in north-west China. **European Journal of Agronomy**. 93: 1-10.