

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**DISPONIBILIZAÇÃO DE NUTRIENTES DE COMPOSTO DE
PEIXE E MARAVALHA (MADEIRA) EM FUNÇÃO DO TEMPO
DE INCORPORAÇÃO NO SOLO**

**Laura Carvalho Santos
Engenheira Agrônoma**

2019

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**DISPONIBILIZAÇÃO DE NUTRIENTES DE COMPOSTO DE
PEIXE E MARAVALHA (MADEIRA) EM FUNÇÃO DO TEMPO
DE INCORPORAÇÃO NO SOLO**

Laura Carvalho Santos

Orientador: Prof. Dr. Jairo Osvaldo Cazetta

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo).

2019

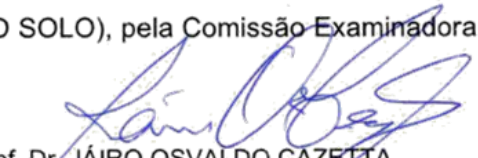
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: DISPONIBILIZAÇÃO DE NUTRIENTES DE COMPOSTO DE PEIXE E MARAVALHA (MADEIRA) EM FUNÇÃO DO TEMPO DE INCORPORAÇÃO NO SOLO

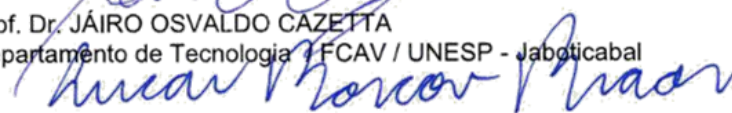
AUTORA: LAURA CARVALHO SANTOS

ORIENTADOR: JÁIRO OSVALDO CAZETTA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. JÁIRO OSVALDO CAZETTA
Departamento de Tecnologia / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Prof. Dr. LUCAS BOSCOV BRAOS
Instituição Federal de Sul de Minas-IFSULDEMINAS / Machado/MG



Profa. Dra. LUCIANA MARIA SARAN
Departamento de Tecnologia / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 17 de outubro de 2019

S237d

Santos, Laura Carvalho

Disponibilização de nutrientes de composto de peixe e maravalha (madeira) em função do tempo de incorporação no solo / Laura Carvalho Santos. -- Jaboticabal, 2019

52 p. : il., tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientador: Jairo Osvaldo Cazetta

1. Composto orgânico. 2. Fertilidade do solo. 3. Mineralização de nutrientes. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Laura Carvalho Santos nasceu em Tocantinópolis-TO, Brasil, em 01 de março do ano de 1991, filha de Silvânia Pereira de Carvalho e Lindon Johnson Vieira Santos. Graduada em Bacharel em Agronomia pelo Instituto Federal do Pará (IFPA) no Câmpus de Castanhal-PA (2015), especializou-se na área de Perícia e Auditoria Ambiental pelo Centro Universitário Internacional (UNINTER) no polo de Castanhal-PA (2016). Durante a graduação adquiriu experiências na área de Agronomia e Extensão Rural com ênfase em agricultura familiar atuando nos seguintes temas: diagnóstico de áreas, aplicação de minicursos e assistência técnica em cooperativas, adubação orgânica de hortaliças, publicando trabalhos científicos referentes a essas áreas. Foi membro de Grupos de pesquisa e Extensão como: Programa Incubadora Tecnológica de Desenvolvimento e Inovação de Cooperativas e Empreendimentos Solidários (INCUBITEC) e do Projeto Extensão Tecnológica para o desenvolvimento e inovação de Empreendimentos Agroalimentares da Cadeia Produtiva da Fruticultura no Estado do Pará/Amazônia do Instituto Federal do Pará (IFPA), atuando na Cidade de Marapanim-PA. Durante a graduação também teve a oportunidade de ser bolsista do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica Tecnológica e Inovação (PIBICTI) durante um ano e bolsista de Iniciação científica do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) durante dois anos. Foi monitora na disciplina de Química Orgânica. Participou de organização de eventos relacionados à pesquisa e extensão como Dia de campo, simpósio, feiras, palestras, cursos e minicursos. Foi discente do curso de mestrado do programa de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo) pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Jaboticabal sendo bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

“Confia em Deus de todo o seu coração, não te fies em tua própria inteligência; reconhece-o em todos teus caminhos, ele endireitará tuas veredas”.

(Provérbios 3:1-18)

Aos meus pais e irmã pelo apoio, dedicação,
e conselhos.

Dedico e Ofereço

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela vida, saúde e sabedoria.

Aos meus pais Lindon Johnson Vieira Santos, Silvânia Pereira de Carvalho e irmã Lhais Carvalho Santos pela paciência, amor e carinho dedicado a mim por todos esses anos.

Ao meu amor, Igor Mateus de Lima Martins, pelo suporte emocional de todos esses anos apoiando e dando força em todos os momentos que precisei.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP, Câmpus de Jaboticabal, pela oportunidade concedida para a realização do curso de mestrado acadêmico.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo), por ter dado a oportunidade para realizar o curso.

Agradeço ao Prof. Dr. Jairo Osvaldo Cazetta pela paciência auxílio e direcionamento na realização deste trabalho.

Ao Sr. José Carlos, Técnico de Laboratório do Departamento de Tecnologia da UNESP, pela gentileza e auxílio durante as atividades do experimento realizadas no laboratório.

Aos meus colegas desde o período do IFPA Castanhal que pude reencontrar na Unesp Jaboticabal (Luciano, Alexsandro, Carol) e aos novos feitos na Unesp Jaboticabal (Kamilla e Sabrina).

A Prof. Dr. Rose Meire Vidotti que proporcionou a utilização do composto orgânico de resíduos da aquicultura nesse trabalho.

Ao Ivã Guidini Lopes pelo apoio e auxílio na elaboração do artigo científico dessa dissertação.

Aos professores do curso de mestrado, Dra Mara Cristina, Dr. Renato de Mello, Dr. Wanderley, Dr. José Carlos Barbosa, Dr. Walter Maldonado, pelas disciplinas ministradas que serviram de base para a execução desse trabalho.

Aos colegas de Departamento (Bruno, Diego, Maria e Leonardo) pelo auxílio no experimento.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	iv
LISTA DE TABELAS	v
LISTA DE FIGURAS	vi
CAPÍTULO 1 – Considerações Gerais	1
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	2
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	7
Capítulo 2 – Disponibilização de nutrientes de composto de peixe e maravalha (madeira) em função do tempo de incorporação do solo	12
RESUMO	12
ABSTRACT	13
1. INTRODUÇÃO	14
2. MATERIAL E MÉTODOS	17
2.1 Materiais.....	17
2.2 Primeiro experimento	18
2.3 Segundo experimento	19
2.4 Análises estatísticas	21
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
3.1 Características do solo fertilizado com composto orgânico	22
3.2 Respiração basal e produção de CO ₂ do solo fertilizado com composto.....	28
3.3 Volatilização de amônia do solo fertilizado com composto.....	29
4. CONCLUSÕES	32
5. REFERÊNCIAS.....	33

DISPONIBILIZAÇÃO DE NUTRIENTES DE COMPOSTO DE PEIXE E MARAVALHA (MADEIRA) EM FUNÇÃO DO TEMPO DE INCORPORAÇÃO NO SOLO

RESUMO - Frente ao constante crescimento populacional mundial e o aumento da demanda por alimentos, atividades agrícolas e de produção animal encontram-se cada vez mais pressionadas a aumentar suas produtividades com o mínimo de impacto ambiental. Por isso o grande interesse em usar os resíduos gerados na produção animal para produzir fertilizantes para a agricultura, tendo em vista as altas concentrações de nutrientes minerais para as plantas e pelo pouco conhecimento sobre as alterações desses resíduos no solo em função do tempo após sua aplicação. O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de um composto orgânico produzido com resíduos animais da aquicultura associado à maravalha de madeira, sobre a fertilidade do solo, respiração basal e as perdas de N na forma de amônia, bem como a nutrição e o crescimento das plantas em função do tempo após a aplicação do composto orgânico no solo. Os experimentos foram realizados em casa de vegetação, no período entre maio a novembro de 2018. No primeiro experimento, foram estudados cinco períodos de incorporação do composto orgânico no solo (0, 30, 60, 90 e 120 dias) a uma dose de 20 t ha^{-1} , além de um tratamento sem adubação. No segundo experimento foi monitorado a respiração basal e a volatilização de amônia do citado solo, com (20 t ha^{-1}) e sem a aplicação do composto, por 17 semanas consecutivas. Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e as médias comparadas. Os resultados revelaram que a aplicação do composto orgânico aumentou os teores de matéria orgânica, de macronutrientes e de micronutrientes no solo, e nas plantas de milho, bem como maior crescimento das mesmas. As características químicas do solo, a absorção de nutrientes e o crescimento de plantas de milho não foram alterados pelo tempo (0-120 dias) que o composto ficou incubado no solo. A aplicação do composto orgânico estimulou a respiração basal do solo, mas a perda de nitrogênio por volatilização da amônia foi muito pequena ao longo do período estudado.

Palavras – chave: resíduos da aquicultura, respiração do solo, tempos de incubação.

AVAILABILITY OF NUTRIENTS OF FISH COMPOST AND MARAVALHA (WOOD) AS A FUNCTION OF SOIL INCORPORATION TIME

ABSTRACT - Faced with the constant growth of world population and the increased demand for food, agricultural activities and the animal production industry are increasingly pressure to increase their productivity with a minimum environmental impact. For this is big the interest in use the wastes deriving in animal productions for produce fertilizers for agriculture, given the high concentrations of mineral nutrients for plants and the little knowledge about the changes of these residues in the soil as a function of time after their application. The aim of this study was to evaluate the availability the effect of a fish waste-based organic compost associate with maravalha of wood, about soil fertility, soil basal respiration and N losses in ammonia form, as well as plant nutrition and growth as a function of time after application of organic compost to the soil. The experiments were performed in a greenhouse between May and November 2018. In the first experiment, five periods of incorporation of organic compost into the soil (0, 30, 60, 90, 120 days) at a dose of 20 t ha^{-1} , as well as a treatment without fertilization were studied. In the second experiment, the basal respiration and ammonia volatilization of the mentioned soil were monitored with (20 t ha^{-1}) and without the application of compost for 17 consecutive weeks. The results were submitted to a variance analysis by the F test and the means compared. The results revealed that the application of the organic compost increased the organic matter, macronutrient an micronutrient contents in the soil and in the corn plants, as well as their higher growth. The chemical characteristics of the soil, the nutrient absorption and the growth of corn plants were not altered by the time (0-120 days) that the compost was incubated in the soil. The application of organic compost stimulated the basal respiration of the soil, but the nitrogen loss by ammonia volatilization was very small during the studied period.

Keywords: waste of aquaculture, soil respiration, times of incubation.

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

Ca	Cálcio
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
K	Potássio
Mg	Magnésio
MO	Matéria Orgânica
°C	Grau Célsius
pH	Potencial Hidrogeniônico
Zn	Zinco
N	Nitrogênio
Mn	Manganês
P	Fósforo
S	Enxofre
DMS	Diferença Mínima Significativa
SB	Soma de Bases
CaCl₂	Cloreto de Cálcio
NaOH	Hidróxido de Sódio
H+Al	Acidez potencial
V %	Saturação Total de Bases
Zn	Zinco
Fe	Ferro
Cu	Cobre

LISTA DE TABELAS

Página

Tabela 1. Características químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro, fertilizado com um composto orgânico produzido com resíduos de atividades aquícolas. CT : solo sem composto; T0 : solo adubado com composto e avaliado após um dia; T30 : solo adubado com composto por 30 dias; T60 : solo adubado com composto por 60 dias; T90 : solo adubado com composto por 90 dias; T120 : solo adubado com composto por 120 dias	23
Tabela 2. Efeitos da aplicação de composto orgânico produzido com resíduos animais da aquicultura, sobre o crescimento de plantas de milho ao longo do tempo. CT : solo sem composto; T0 : solo adubado com composto e avaliado após um dia; T30 : solo adubado com composto por 30 dias; T60 : solo adubado com composto por 60 dias; T90 : solo adubado com composto por 90 dias; T120 : solo adubado com composto por 120 dias. AP : altura das plantas; AF : área foliar; MSPA : massa seca da parte aérea; NFV : número de folhas vivas.....	26
Tabela 3. Teores de macro e micronutrientes na parte aérea de plantas de milho cultivadas em solo adubado com composto orgânico produzido com resíduos da aquicultura. CT : solo sem composto; T0 : solo adubado com composto e avaliado após um dia; T30 : solo adubado com composto por 30 dias; T60 : solo adubado com composto por 60 dias; T90 : solo adubado com composto por 90 dias; T120 : solo adubado com composto por 120 dias.....	27

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Incubação dos frascos.....	20
Figura 2. Produção de CO ₂ em solo com e sem a incorporação de composto orgânico produzido com resíduos de atividades aquícolas, ao longo de 17 semanas. CT: tratamento controle; COMP: tratamento com aplicação de composto orgânico.	29
Figura 3. Produção de NH ₃ em solo com e sem a incorporação de composto orgânico produzido com resíduos de atividades aquícolas, ao longo de 17 semanas. CT: tratamento controle; COMP: tratamento com aplicação de composto orgânico.	30

CAPÍTULO 1 – Considerações Gerais

1. INTRODUÇÃO

A compostagem surge como alternativa para a produção de adubo orgânico para as plantas utilizando resíduos orgânicos que seriam altamente problemáticos se descartados inadequadamente no meio ambiente, como por exemplo, os gerados na produção aquícola. Os resíduos orgânicos da aquicultura advêm principalmente do descarte de animais que morrem ao longo do processo de produção aquícola e por restos do processamento dos peixes. Uma das medidas que comumente são adotadas por empreendimentos aquícolas é a destinação dos resíduos de pescado para aterros sanitários (Martins, 2011), o que gera apenas custos para as empresas. Neste sentido os métodos para reutilização de resíduos da produção animal, como a compostagem orgânica, surgem como alternativas para o e reaproveitamento de resíduos que evitam custos com descarte e geram renda pela produção e venda de composto orgânico de elevada qualidade (Mombirini, 2005; Ferreira et al., 2014).

A compostagem é um processo controlado de decomposição microbiológica do material orgânico, que visa acelerar a decomposição que ocorreria naturalmente no meio ambiente, transformando os resíduos em um produto mais estável, com baixo risco ambiental e sanitário e grande potencial fertilizante (Kubitza e Campos, 2006). Apesar de existirem trabalhos sobre o modo de fazer a compostagem de resíduos de piscicultura (Vidotti et al., 2009), pouco se sabe sobre os efeitos que a aplicação desse tipo de fertilizante teria nas propriedades químicas do solo, na nutrição e crescimento das plantas, especialmente no que se refere ao tempo após sua aplicação no solo. Desta forma, é importante que se conheça como ocorre a liberação de nutrientes minerais com o tempo decorrido após sua incorporação no solo, para que se possa fazer indicação adequada da adubação das culturas.

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo analisar a alteração da fertilidade de um latossolo vermelho escuro em função do tempo decorrido após a fertilização com composto orgânico produzido pela compostagem de resíduo de pescado e maravalha de madeira, bem como reflexos na nutrição e crescimento de plantas de milho.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A fertilidade do solo é um dos fatores primordiais para estudos referentes à otimização da eficiência nutricional na produtividade agrícola (Lopes e Guilherme, 2007; Resende et al., 2016; Withers et al., 2018). Neste sentido, o tipo de fertilizante utilizado em uma área agrícola contribui para uma rápida ou longa melhoria da qualidade de um solo, por depender diretamente do tipo de material utilizado durante as correções. Em experimentos conduzidos por Costa et al. (2001) durante um período de 142 dias, utilizando resíduos sólidos urbanos para produzir compostos orgânicos, obtiveram bons resultados quanto ao cultivo de alface, provavelmente pelo teor elevado de nutrientes no composto avaliado, melhorando as condições químicas do solo, porém com 222 dias em que utilizou o mesmo composto orgânico observou que ocorreu total mineralização do composto e decomposição de boa parte da matéria orgânica.

A utilização de compostos orgânicos incorporados ao solo surge como alternativa sustentável para a melhoria da matéria orgânica do solo, pH, volatilização de amônia e CO₂, e absorção de macronutrientes e micronutrientes (Silva et al., 2007). Inúmeras variedades de resíduos orgânicos podem ser utilizadas para produzir um composto orgânico (Abreu Junior et al., 2010). Em suma, para saber como o composto orgânico pode interagir com o solo, e liberam gradativamente os minerais pode ser verificado por Pinto et al. (2017), que ao utilizar diferentes tipos de compostos orgânicos verificaram que a melhor média foi para o composto orgânico proveniente de esterco suíno incorporado ao solo por 21 dias, que obteve variações de pH de 6,0 para 6,9, MO de 13 g dm⁻³ para 28 g dm⁻³, de 205 mg dm⁻³ para 373 mg dm⁻³ para P, soma de bases de 14 para 11, de 2,4 mmolc dm⁻³ para 6,7 mmolc dm⁻³ para K, de 43 mmolc dm⁻³ para 170 mmolc dm⁻³ para Ca, de 9 mmolc dm⁻³ para 51 mmolc dm⁻³ para Mg, soma de bases de 55 para 228 mmolc dm⁻³, CTC de 69 para 239 mmolc dm⁻³ e V% de 80% para 95%, de forma que o composto orgânico contribuiu para o aumento da fertilidade do solo.

Utilizar um solo previamente corrigido tem suas vantagens. Em decorrência da utilização de compostos orgânicos pode ocorrer uma elevação no valor do pH do solo, corrigindo a sua acidez. Castro (2015) utilizou composto orgânico de bagaço

de cana, cama de frango e gesso mineral e apresentou aumento na concentração de cálcio trocável e tendência de potencializar a ação de compostos orgânicos não estabilizados sobre a acidez trocável de um Latossolo Amarelo, aumentando o pH inicial de 3,9 para aproximadamente 5,0 após 30 dias de incorporação de tal composto orgânico. Sendo assim, utilizar compostos orgânicos condiciona a alteração no pH e proporciona melhoria na fertilidade do solo, o mesmo efeito de aumento de pH pela utilização de composto orgânico foi verificado por Lisboa et al. (2018). Em seus experimentos, verificou que a mineralização do nitrogênio de resíduos orgânicos submetidos a 209 dias de incubação apresentou variação de pH para 6,2 em relação a análise inicial do solo antes de incorporação do composto que era 6,3. As mesmas impressões de alterações de soma de bases inicial 5 cmolc kg^{-1} e variando para $7,4 \text{ cmolc kg}^{-1}$ após o uso de composto orgânico oriundo de esterco bovino bem como o teor de P disponível inicial de 11 mg kg^{-1} para 15 mg kg^{-1} . Boeira et al. (2009) em experimento utilizando 2 tipos de composto orgânico a base de lodo de esgoto em latossolo vermelho distroférrico de textura argilosa, analisando alteração de pH ao longo de diferentes dias observaram aumento nos valores de pH ao término do período de 105 dias para 6,91 provavelmente pelo aumento de 50 e de 80 mg kg^{-1} de N mineral.

Ao utilizar-se de composto orgânico incorporado ao solo em diferentes proporções e oriundos de diferentes resíduos orgânicos empregados na sua produção, podemos esperar ou não a mineralização de macronutrientes e micronutrientes. A particularidade de cada nutriente determina a sua mineralização no solo ao longo do tempo de incorporação. Damatto Junior (2006) incorporando ao solo composto orgânico oriundo de serragem e esterco bovino observou que o potássio presente no composto orgânico mineralizou cerca de 81% a partir de 22 dias de aplicação, e o remanescente foi lixiviado. Rodrigues et al. (1999) relataram que ao incorporar composto orgânico oriundo de cama aviária com 220 dias de incubação ocorreu mineralização de 35% de N e com composto orgânico a base de esterco de suínos 14% do N total adicionado ao solo foi mineralizado.

O aumento da concentração de macronutrientes e micronutrientes ao incorporar composto orgânico no solo reflete o posterior acúmulo dos mesmos nas plantas, o que condiciona um crescimento adequado das plantas, pois Morais et al.

(2012) relatam que utilizando composto orgânico para obter crescimento de plantas de atoveran (*Ocimum selloi* Benth.) ao longo de 60 dias incorporados ao solo obtiveram acúmulo de matéria seca de 181,87 g/planta seca em relação ao tratamento testemunha que acumulou apenas 114,58 g/planta. Oliveira et al. (2009) após 28 dias de incorporação de composto orgânico (lixo caseiro, restos de culturas, esterco biodigerido), obteve para matéria seca 4,69 g planta⁻¹ em relação a testemunha com 1,82 g planta⁻¹, com 7 dias o crescimento das plantas adubados com composto orgânico foi de 7,75 cm para 35,00 cm com 28 dias.

Em estudo com plantas de beterraba Magro et al. (2012) analisaram o acúmulo de macronutrientes pela parte aérea das plantas após a aplicação de 20 t ha⁻¹ de composto orgânico da empresa Provaso (genfertil), e obtiveram respectivamente acúmulo de 80,18 mg planta⁻¹ para 92,13 mg planta⁻¹ de N; 9,11 para 9,40 mg planta⁻¹ de P; 122,82 para 137,84 mg planta⁻¹ de K; 21,32 para 27,64 mg planta⁻¹ de Ca; 34,80 para 45,27 mg planta⁻¹ de Mg; 5,68 para 6,31 mg planta⁻¹ de S. Gonçalves et al. (2014) incorporando composto orgânico proveniente de resíduos industriais em alface após 32 dias obteve 2,24 cm para 8,14cm para altura, para couve obteve crescimento de 3,05 cm para 9,55 cm.

O composto orgânico utilizado no solo pode ou não condicionar a liberação de gases no ambiente, dependendo das condições experimentais, por isso diversos experimentos devem ser feitos. Em virtude disso Leite et al. (2003) utilizando de composto orgânico oriundo de palha de soja, feijão e esterco bovino após 29 meses de incorporação observaram que não houve mais perdas de C, devido boa parte do carbono orgânico total ser oriundo do material orgânico. Mantovani et al. (2006) utilizando composto de lixo urbano incorporado a um argilossolo por diferentes tempos puderam verificar que houve maior taxa de volatilização de C-CO₂ em torno de 67 mg kg⁻¹ dia⁻¹ nos 28 primeiros dias de incubação e a partir 56 dias ocorreu estabilização em torno de 6 mg kg⁻¹ dia⁻¹. Li et al. (2017) obtiveram aumentos de até 70% do teor de carbono orgânico do solo após 20 meses de aplicações dos compostos. No trabalho de Toniazzo et al. (2018) foi encontrado respiração basal do solo em torno de 550 mg/kg de C-CO₂ em 21 dias de incorporação de composto de água residuária e serragem.

Em trabalhos utilizando composto orgânico oriundo de lodo de esgoto e palha de aveia para ser feito o composto orgânico, Moretti et al. (2013) verificaram que entre 21 e 35 dias de incorporação houve aumento na volatilização de NH_3 , bem como incremento de 20% aos 21 dias e 60% aos 35 dias os teores de N mineral no solo. Por sua vez, ao incorporar composto orgânico ao solo Lorensini et al. (2014) após 141 dias de incubação observaram somente 10,2% de mineralização do N, podendo ser equivalente a $4,0 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, sendo possivelmente boa parte do remanescente volatilizado. Prochnow et al. (2001) obtiveram 41,8 mg de N- NH_3 de N- NH_3 em 42 dias após aplicação de composto orgânico oriundo de esterco bovino e esterco de frango. Richart et al. (2012) utilizando composto orgânico de cama de frango incorporado a um argissolo vermelho, estudaram a relação entre perdas por volatilização de amônia com a variação de pH, de modo que o N- NH_3 perdido variou de 7,32% em 7 dias de incubação com pH em 5,50, e diminuiu 0,18 % com pH em 6,50, indicando que pequenas variações de pH na faixa ácida não representa grandes variações na volatilização de amônia.

Santos et al. (2001) buscaram analisar por 2 meses as alterações na soma de bases, P, e CTC de um solo Podzólico Vermelho Amarelo em que foi incorporado composto orgânico feito a partir de capim-guatemala (*Tripsacum fasciculatum*) picado, bagaço de cana moído, palha de feijão, e cama de aviário e verificaram elevada disponibilização de P e de bases trocáveis, e aumento da CTC de 80 a 120 dias. Em um estudo utilizando 15 tipos de compostos orgânicos oriundos de diferentes resíduos, Oliveira (2012) verificaram que o composto orgânico oriundo de bagaço de coco foi o que mais aumentou a absorção de P pelas plantas, pois observaram que mediante 28 dias de incorporação do composto ao solo ocorreu variação de P de $5,85 \text{ mg kg}^{-1}$ para $34,95 \text{ mg kg}^{-1}$, para K o melhor desempenho foi para o composto (feito de grama, esterco, bagaço de dendê e rocha potássica com variação de $0,45 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ para $1,12 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, para Ca as médias dos tratamentos com composto orgânico não diferiram do tratamento controle, e para Mg a maior média foi para o composto orgânico feito com (grama e feito com lodo de esgoto) variando de $0,53 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ para $2,11 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Demelash et al. (2014), incrementos de até 17% na CTC foram observados em um vertissolo adubado com um composto orgânico, após três semanas de aplicação.

Silva et al. (2001) incorporando composto orgânico de lodo de esgoto a argilossolo vermelho-amarelo por diferentes dias verificaram que houve variação de $2,2 \text{ mg dm}^{-3}$ para $32,5 \text{ mg dm}^{-3}$ de P com 146 dias de incorporação ao solo. Estudando efeito dos compostos orgânicos incorporados ao solo por 40 dias na alteração da concentração de macronutrientes e micronutrientes Lima et al. (2011) verificaram que num Neossolo Regolítico arenoso incorporado com composto orgânico de lixo urbano, ocorreu o aumento no teor de Ca de $52,7 \text{ mmol c dm}^{-3}$ para $85,7 \text{ mmol c dm}^{-3}$, o K variou em resposta a aplicação do composto de $1,0 \text{ mmol c dm}^{-3}$ para $10,6 \text{ mmol c dm}^{-3}$, a soma de bases de $97,1 \text{ mmol c dm}^{-3}$ para $170,6 \text{ mmol c dm}^{-3}$, o teor de MO variou de $1,00 \text{ g kg}^{-1}$ para $0,05 \text{ g kg}^{-1}$. Santos et al. (2004) quanto ao aumento de MOS após a utilização de composto orgânico de serragem de cama de frango por 15 dias incorporado a um latossolo vermelho escuro, tendo aumento de $16,67 \text{ g dm}^{-3}$ para $21,33 \text{ g dm}^{-3}$, assim como para P observaram aumento de $9,33 \text{ g dm}^{-3}$ para $321,33 \text{ g dm}^{-3}$ para fósforo resina, quanto ao presente estudo podemos observar que o fósforo se manteve presente em todo o momento de incorporação, com altas concentrações e elevada disponibilidade, que também não variou com o tempo.

Santos et al. (2004) observaram aumento de $9,33 \text{ g dm}^{-3}$ para $321,33 \text{ g dm}^{-3}$ para P após 15 dias de incubação com composto orgânico de cama de frango. Sousa et al. (2016) avaliando por 65 dias diferentes tipos de compostos orgânicos puderam observar que o composto orgânico de resíduo de pescado obteve melhor desempenho em relação composto orgânico de esterco de galinha, principalmente em relação ao P que obteve $1,7 \text{ (g/kg)}$ e para esterco de galinha $0,95 \text{ (g/kg)}$, o mesmo observaram para potássio com $1,6 \text{ (g/kg)}$ e para esterco de galinha $1,34 \text{ (g/kg)}$. Ramos et al. (2019) utilizando composto orgânico a partir de caranguejo *UçÁ Ucides cordatus cordatus* para cultivo de coentro após 45 dias observaram aumento de 5,68 para 7,56 para o pH, $2,7 \text{ cmol/dm}^3$ para $7,45 \text{ cmol/dm}^3$ de Ca, $101,5 \text{ mg/dm}^3$ para $179,5 \text{ mg/dm}^3$ de P e diminuição de $1,9 \text{ cmol/dm}^3$ para $0,2 \text{ cmol/dm}^3$ de acidez potencial. Oliveira et al. (2014) após 35 dias utilizando composto orgânico de resíduo domestico, urbano e industrial observaram aumento de 5,50 para 167,8 da acidez potencial; 5,85 para 472,6 de P; 0,45 para 124,8 de K; 4,20 para 88,3 de CTC.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abreu Junior CH (2010) **O uso do composto de lixo urbano na agricultura: vantagens e limitações**. Piracicaba: Notesalq, ano XIX, (Boletim informativo n.4), p.4-8.

Boeira RC, Maximiliano VCB (2009) Mineralização de compostos nitrogenados de lodos de esgoto na quinta aplicação em latossolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 33:711-722.

Castro TR, Martins CH (2016) Avaliação da adição de cinzas do bagaço de cana-de-açúcar em argamassas mistas. **Ambiente Construído** 16:137-151.

Costa CA, Casali VWD, Ruiz HA, Jordão CP, Cecon PR (2001) Teor de metais pesados e produção de alface adubada com composto de lixo urbano. **Horticultura Brasileira** 19:10-16.

Damatto junior ER, Villas Bôas RL, Leonel S, Fernandes DM (2006) Alterações em propriedades de solo adubado com doses de composto orgânico sob cultivo de bananeira. **Revista Brasileira de Fruticultura** 28:546- 549.

Demelash, N., W. Bayu, S. Tesfaye, F. Ziadat, and R. Sommer (2014) Current and residual effects of compost and inorganic fertilizer on wheat and soil chemical properties. **Nutrient Cycling in Agroecosystems** 100:357-367.

Ferreira EM, Cruvinel KAS, Da Costa ES (2014). Disposição final dos resíduos sólidos urbanos: diagnóstico da gestão do município de Santo Antônio de Goiás. **Revista Monografias Ambientais** 14:3401-3411.

Gonçalves MS, FACCHI DP, Brandão MI, Bauer M, Paris Junior O (2014) Produção de mudas de alface e couve utilizando composto proveniente de resíduos agroindustriais. **Revista Brasileira de Agroecologia** 9: 216-224.

Kubitza F, Campos JL (2006). O aproveitamento dos subprodutos do processamento de pescado. **Panorama da Aquicultura** 16:23-29.

Leite LFC, Mendonça ES, Machado PLOA, Matos ES (2003) Total C and N storage and organic C pools of a Red-Yellow Podzolic under conventional and no tillage at the. **Australian Journal of Soil Research** 41:717-730.

Lisboa CC, Lima FRD, Reis RHCL, Silva CA, Marques JJ (2018) Taxa de mineralização do nitrogênio de resíduos orgânicos. **Cultura Agrônômica** 27:341-355.

Li H, Dong X, Silva EB, Oliveira LM, Chen Y, Ma LQ (2017) Mechanisms of metal sorption by biochars: biochar characteristics and modifications. **Chemosphere** 178:466-478.

Lorensini F, Ceretta CA, Brunetto G, Cerini JB, Lourenzi CR, Conti L, Tiecher TL, Schapanski DE (2014) Disponibilidade de nitrogênio de fontes minerais e orgânicas aplicadas em um Argissolo cultivado com videira. **Revista Ceres** 61:241-247.

Lima RLS, Severino LS, Sofiatti V, Gheyi HR, Arriel NHC (2011) Atributos químicos de substrato de composto de lixo orgânico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 15:185-192.

Lopes AS, Guilherme LRG (2007) Fertilidade do solo e produtividade agrícola. In: Novais et al. (Eds). **Fertilidade do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa-MG, p. 1-64.

Magro FO (2015) **Efeito do composto orgânico e adubação potássica em atributos do solo e da beterraba**. 109 f. tese (Doutorado em agronomia/horticultura) - Unesp, Botucatu.

Mantovani JR, Ferreira ME, da Cruz MCP, Barbosa JC, Freiria AC (2006) Mineralização de carbono e de nitrogênio provenientes de composto de lixo urbano em argissolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 30:677-684.

Martins GI (2012). **Potencial de extração de óleo de peixe para a produção de biodiesel**. 93 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Unioeste, Cascavel.

Mombrini MP (2005) **A conscientização para reciclagem de resíduos sólidos domésticos como contribuição ambiental e forma de geração de trabalho digno: diagnóstico e contribuições para a implantação da coleta seletiva em Vila Velha-ES**. 159 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Unimep, Santa Bárbara D'Oeste.

Morais LAS, Barbosa AG (2012) Influência da adubação verde e diferentes adubos orgânicos na produção de fitomassa aérea de atroveran (*Ocimum selloi* Benth.) **Revista Brasileira Plantas Medicinais** 14:246-249.

Moretti SML, Bertoncini EI, Junior CHA (2015) Decomposição de lodo de esgoto e composto de lodo de esgoto em nitossolo háplico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 39:1796-1805.

Oliveira LB, Accioly AMA, Santos CLR, Flores RA, Barbosa FS (2014) Características químicas do solo e produção de biomassa de alface adubada com compostos orgânicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 18:157-164.

De Oliveira SM (2012) **Atividade microbiana e propriedades bioquímicas do solo sob a adição de composto orgânico e palha de café**. 58 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - UFU, Uberlândia.

Pinto LP, Korber AHC, Neiverth A, Tamke R, Reckziegel JE, Fidler K (2017) Aplicação de diferentes doses de adubo orgânico do tipo bokashi em duas variedades de alface *Lactuca sativa* L. **Revista Desafios** 4:110-116.

Prochnow LI, Cunha CF, Kiehl JC, Alcarde JC (2001). Controle da volatilização de amônia em compostagem, mediante adição de gesso agrícola e superfosfatos com diferentes níveis de acidez residual. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 25:65-70.

Ramos MO, Ribeiro SDaCA (2019) Compostagem orgânica do resíduo de caranguejo-uçá no cultivo de coentro. **Revista Verde** 14:184-192.

Resende AV, Fontoura SMV, Borghi E, Santos FC, Kappes C, Moreira SG, Oliveira JRA, Borin ALDC (2016) **Solos de fertilidade construída: características, funcionalidades e manejo**. Potafós, Piracicaba p. 1-19.

Richart A, Gibbert RM, Müller EJ (2013) Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia da cama de frango em função do manejo de aplicação em argissolo vermelho. **III RPCS** 9:10 p.

Rodrigues ET, Casali VWD. Rendimento e concentração de nutrientes em alface, em função das adubações orgânica e mineral. **Horticultura Brasileira** 17:125-128.

Santo CC, Bellingieri PA, Freitas JC (2014) Effect of the application of chicken litter compost on chemical properties of a Typic Haplorthox soil cultivated with sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. **Científica** 32:134-140.

SILVA FC, Boaretto AE, Berton RS, Zotelli HB, Pexe CA, Bernardes EM (2001) Efeito de lodo de esgoto na fertilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 36:831-840.

Silva LN (2007) **Processo de compostagem com diferentes porcentagens de resíduos sólidos agroindustriais**. 59p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Unioeste, Cascavel.

Sousa WL, Teófilo EM, Freitas JBS, Oliveira ALT, Sousa PZ, Sales RO (2016) Aplicação do composto orgânico produzido a partir de resíduos de pescados e vegetais no cultivo do feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L) Walp.). **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal** 10:252-270.

Vidotti RM, Gonçalves MJSR, Martins, MIEG, Gonçalves GS (2009) Produção de composto orgânico com resíduos da filetagem de tilápia e três fontes de carbono. In: 46ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. **Anais...** Maringá: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2009. CD-ROM.

Santos RHS, Silva F, Casali VWD, Conde AR (2001) Efeito residual da adubação com composto orgânico sobre o crescimento e produção de alface. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 36:1395-1398.

Toniazzo F, Rodrigues AC, Rosa MM, Ros CO, Becegato VA, Lavnitcki L, Henkes JÁ, Cantoni F (2018) Avaliação da liberação de CO₂ em solo com adição de águas residuária suínolas e impactos ambientais e sociais da suinocultura. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental** 7:253-274.

Withers PJA et al. (2018) Transitions to sustainable management of phosphorus in Brazilian agriculture. **Scientific Reports** 8:1-13.

CAPÍTULO 2 – DISPONIBILIZAÇÃO DE NUTRIENTES DE COMPOSTO DE PEIXE E MARAVALHA (MADEIRA) EM FUNÇÃO DO TEMPO DE INCORPORAÇÃO NO SOLO

RESUMO – A compostagem termofílica com resíduos provenientes da produção aquícola tem sido pouco estudada, bem como os benefícios da aplicação do produto final no solo. Os objetivos deste estudo foram avaliar os benefícios da aplicação de um composto de resíduos de peixe no solo, avaliando mudanças em seus parâmetros de fertilidade, no crescimento do milho e sua influência nas perdas de nitrogênio e na respiração basal do solo ao longo do tempo. Foi realizado um estudo de laboratório com vasos e o composto permaneceu incorporado no solo por 0, 30, 60, 90 ou 120 dias. A matéria orgânica do solo aumentou em média 4 g dm^{-3} após 30-120 dias de incubação e a fertilidade do solo melhorou bastante em termos de acúmulo de nitrogênio, fósforo e micronutrientes. As plantas de milho cresceram 60% a mais com a aplicação do composto em comparação ao controle, apresentando também maiores concentrações de nutrientes. A liberação de amônia e CO_2 após a alteração do composto aumentou ligeiramente, revelando que o composto usado era muito estável após o processo de compostagem.

Palavras – chave: fish waste, fertilidade do solo, nitrogênio, organic input.

AVAILABILITY OF NUTRIENTS OF FISH COMPOST AND MARAVALHA (WOOD) AS A FUNCTION OF SOIL INCORPORATION TIME

ABSTRACT - Thermophilic composting with wastes deriving from the aquaculture production have been little studied, as well as the benefits of the application of the end product in the soil. The aims of this study were to evaluate the benefits of applying a fish wastebased compost to the soil, evaluating changes in its fertility parameters, in maize growth and its influence on nitrogen losses and soil basal respiration over time. A laboratory study was designed with pots and the compost remained incorporated in the soil for 0, 30, 60, 90 or 120 days. Soil organic matter was increased by an average of 4 g dm⁻³ after 30-120 days of incubation and the soil fertility was greatly improved in terms of nitrogen, phosphorus and micronutrients accumulation. Maize plants grew 60% more with the application of the compost in comparison to the control, also displaying higher nutrient concentrations. The release of ammonia and CO₂ after compost amendment was slightly increased, revealing that the used compost was very stable after the composting process.

Keywords: fish waste, soil fertility, nitrogen, organic input.

1. INTRODUÇÃO

Frente ao constante crescimento populacional mundial e o consequente aumento da demanda por alimentos, atividades agrícolas e de produção animal encontram-se cada vez mais pressionadas a aumentar suas produtividades com o mínimo de impacto ambiental. Considerando que toda atividade de produção vegetal ou animal gera resíduos orgânicos, é imprescindível que tais resíduos sejam tratados adequadamente de modo a se obter um produto útil e de elevada qualidade, evitando acúmulo de resíduos passivos e as contaminações ambientais (Arvanitoyannis e Kassaveti, 2008). A aplicação de resíduos orgânicos de elevada qualidade agronômica é uma prática comum em solos agrícolas, a qual pode trazer grandes benefícios, como a incorporação de matéria orgânica e consequente aumento da fertilidade de solos (Mantovani et al., 2005), além de gerar maiores produtividades em diversas culturas (Medina et al., 2015; Agegnehu et al., 2016).

De forma geral, os resíduos vegetais podem ser aplicados diretamente no solo visando a disponibilização de nutrientes para culturas agrícolas. No entanto, é desejável que esses resíduos possuam relações C/N menores do que 20, pH próximo a neutralidade e teores significativos de matéria orgânica (Brasil, 2009), de modo a não comprometer a disponibilidade de nutrientes para as plantas. Entretanto, nem sempre essas características são adequadas para a direta aplicação desses resíduos no solo, podendo ocasionar em eventos de imobilização de nutrientes. Por sua vez, resíduos animais devem ser manejados antes de sua aplicação, visando tanto a concentração de nutrientes em um produto para ser aplicado (Lopes et al., 2019), quanto a estabilização da matéria orgânica existente nos mesmos (Gavilanes-Terán et al., 2016).

A compostagem termofílica é um processo muito interessante, por meio do qual é possível reduzir significativamente volumes iniciais de resíduos orgânicos (Lopes et al., 2019), aumentando a concentração de nutrientes de plantas no produto obtido ao final do processo (López-Mosquera et al., 2011). Temperaturas acima de 50 °C são obtidas ao longo do processo, garantindo a sanitização dos materiais e mitigando possíveis contaminações por diferentes microrganismos, quando aplicados ao solo (Elving et al., 2010). A combinação entre resíduos

vegetais e animais para a compostagem é muito benéfica em relação à qualidade do produto final obtido (o composto orgânico), visto que resíduos animais possuem grandes quantidades de nitrogênio e fósforo, enquanto os resíduos vegetais possuem grandes quantidades de biomassa rica em C, mas possuem baixas concentrações de tais nutrientes, que são especialmente limitantes nos solos tropicais (Raij, 2011) e, portanto de aplicação necessária para melhorar a fertilidade do solo e aumentar o crescimento e a produtividade das plantas cultivadas (Lim et al., 2016).

Uma das grandes vantagens da compostagem com resíduos de animais aquáticos se refere às altas concentrações de N nesses resíduos. Ao realizar a compostagem em leiras, Lopes et al. (2019) obtiveram compostos com 22-33 g kg⁻¹ de N, estando uma parte significativa desse total prontamente disponível nas formas minerais (N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺) após a compostagem. Já no estudo de Radziemska et al. (2018), um composto orgânico produzido com resíduos de pescados apresentou níveis irrelevantes de fitotoxicidade e aumentaram significativamente a produção de plantas de alface (*Lactuca sativa*).

No ano de 2017, a produção brasileira de pescados foi superior a 700 mil toneladas, das quais em média 40% são descartados como resíduos orgânicos (FAO, 2018), compostos principalmente por carcaças de animais (Vidotti e Lopes, 2016). Dentre os diversos métodos para a gestão desses resíduos, a compostagem se destaca, especialmente em países subdesenvolvidos como o Brasil, por apresentar baixo custo de implantação e possibilidade de geração de renda (Lopes et al., 2019). Sendo pouco explorados os benefícios da aplicação de compostos orgânicos produzidos com esses resíduos animais caracteriza-se uma lacuna de conhecimento para o estabelecimento da compostagem nesse setor de produção animal.

Com base na hipótese de que compostos orgânicos podem ser aplicados em solos visando sua recuperação e aumento da fertilidade, o objetivo do presente estudo foi de avaliar a disponibilização de nutrientes para o solo e para plantas de milho, frente à aplicação de um composto orgânico produzido com resíduos animais da aquicultura, em função do tempo. Ademais, objetivou-se avaliar o efeito da

aplicação do composto orgânico sobre a respiração basal do solo e sobre as perdas de N na forma de amônia ao longo da incubação do mesmo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Materiais

O experimento foi conduzido na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da UNESP (FCAV/UNESP), localizada na cidade de Jaboticabal/SP, Brasil (21° 15' 22"S 48° 18' 58" WG) em altitude de 575 m, no período entre maio a novembro de 2018.

O solo utilizado neste ensaio foi caracterizado como Latossolo Vermelho-Escuro, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2018), coletado na camada de 0 a 20 cm. Previamente à montagem do experimento, o solo foi seco ao sol, destorroado, peneirado (2 mm) e armazenado em local arejado. Uma sub-amostra foi coletada para realização de análise química, conforme os métodos descritos por Raij (2011). Os resultados da análise do solo foram: pH_{CaCl2} 5,5; MO 18 g dm⁻³; P 38 mg dm⁻³; K⁺ 2 mmol_c dm⁻³; Ca²⁺ 25 mmol_c dm⁻³; Mg²⁺ 9 mmol_c dm⁻³; H+Al 17 mmol_c dm⁻³; SB 536 mmol_c dm⁻³; CTC 73 mmol_c dm⁻³; V 68%.

O composto orgânico utilizado no presente estudo foi produzido com resíduos oriundos do processamento de madeira (maravalha de *Pinus* sp.) e com resíduos animais da aquicultura - composto por carcaças de peixes, camarões e rãs, obtidos no Centro de Aquicultura da UNESP, em Jaboticabal/SP, Brasil. A proporção utilizada entre resíduos animais e vegetais foi de aproximadamente 0.5: 1.0, e o método utilizado para a produção do composto foi o de leiras com recargas de resíduos animais e revolvimentos periódicos, seguindo a metodologia descrita por Lopes et al. (2019).

A montagem da leira de compostagem se deu em camadas alternadas entre maravalha e resíduos da aquicultura, sendo a primeira (base) e a última camada (cobertura) composta exclusivamente por maravalha. As leiras foram acompanhadas e manejadas semanalmente (revolvimentos com auxílio de um garfo agrícola e manutenção da umidade dos resíduos), por aproximadamente 90 dias. Após a estabilização da temperatura, procedeu-se com a moagem do composto e armazenamento em local arejado até a montagem dos experimentos descritos abaixo. A caracterização química do composto orgânico foi realizada segundo métodos descritos por Alcarde (2009) e apresentou os seguintes resultados: 764.8 g dm⁻³ MO; pH 6.9; 21.9 g kg⁻¹ P; 8.6 g kg⁻¹ K; 45.6 g kg⁻¹ Ca; 2.6 g kg⁻¹ Mg; 8.8 g kg⁻¹

S; 71.8 g kg⁻¹ Fe; 18.6 g kg⁻¹ Mn; 2.3 g kg⁻¹ Cu; 6.8 g kg⁻¹ Zn; 2.8 g kg⁻¹ N; relação C/N 9.78.

2.2 Primeiro experimento

O primeiro experimento foi delineado para avaliar as mudanças das características de fertilidade do solo pela aplicação do composto orgânico ao longo do tempo, assim como para avaliar o crescimento de plantas de milho frente à esta fertilização. Em um delineamento inteiramente casualizado, seis tratamentos com quatro repetições foram definidos, correspondentes a 5 períodos de incorporação do composto orgânico no solo (0, 30, 60, 90 e 120 dias) a uma dose de 20 t ha⁻¹, além de um tratamento controle (CT, solo sem adição de composto). As 24 unidades experimentais utilizadas nesse estudo foram vasos plásticos com capacidade para 6 L, contendo cada vaso um total de 4.5 L de solo. Ao longo do experimento, o solo foi mantido úmido, a 70% da capacidade de retenção de água.

A montagem de cada um dos tratamentos delineados se deu em diferentes dias, de modo que no momento em que o experimento fosse finalizado, as amostragens fossem realizadas de uma só vez, em todos os tratamentos. Assim, o tratamento em que o composto foi mantido no solo por 120 dias (T120) foi o primeiro a ser iniciado, seguido de T90, T60, T30 e por fim T0 (todos iniciados com 30 dias de intervalo), sendo que neste último o composto foi aplicado após 120 dias do início do experimento. Ao final dos respectivos períodos de incorporação do composto orgânico no solo, amostras de solo foram coletadas de cada unidade experimental (0.3 dm³) para caracterização química, realizada segundo Raij (2011).

Após a coleta das amostras de solo, foi realizada a semeadura de milho em todas as unidades experimentais. Sete sementes foram adicionadas por unidade, as quais foram germinadas e cultivadas por 15 dias. Após esse período, três plantas por unidade experimental foram escolhidas, baseado na uniformidade visual que apresentavam - em relação ao crescimento e qualidade das folhas, sendo as demais plantas desbastadas.

As plantas eleitas foram cultivadas por 30 dias, e as seguintes análises foram realizadas: contagem do número de folhas vivas, número de folhas mortas, altura da planta, área foliar, altura e diâmetro do colmo. Considerou-se como folhas vivas as que possuíam abertura completa e com pigmentação verde, enquanto folhas mortas

foram consideradas como folhas sem pigmentação verde. A área foliar foi obtida por meio da metodologia sugerida por Hermann e Câmara (1999), conforme a equação: $AF = C \times L \times 0.75 \times (N + 2)$, onde AF = área foliar (cm^2), C = comprimento da folha (cm), L = largura da folha (cm), 0.75 é o fator de forma, N = número de folhas totalmente abertas e com pelo menos 20% da área verde, e 2 o fator de correção.

Ao final desta avaliação, as plantas foram amostradas, sendo cortadas rente ao solo e armazenadas em sacos individuais identificados. Em seguida, as amostras foram secas em estufa de circulação forçada (65°C) até atingirem peso constante. Após aferição da matéria seca das amostras, estas foram moídas e peneiradas (1 mm) e armazenadas em câmara seca para posterior análise. A caracterização de macro e micronutrientes das plantas amostradas foi realizada segundo metodologia descrita em Bataglia et al. (1978).

2.3 Segundo experimento

O segundo experimento foi delineado com objetivo de determinar possíveis efeitos na respiração basal do solo e na volatilização de amônia, frente à incorporação do composto orgânico, ao longo do tempo. Para este ensaio, oito unidades experimentais (vasos) foram preparadas também com 4.5 L de solo. Quatro vasos continham apenas solo, enquanto nas demais o composto orgânico foi incorporado no solo, a uma dose equivalente a 20 t ha^{-1} .

No momento da montagem deste experimento, dois frascos (50 mL) foram dispostos sobre a superfície do solo em cada unidade experimental. Em um dos frascos, foram adicionados 20 mL de uma solução de NaOH (1 mol L^{-1}), para fixação do CO_2 oriundo da respiração do solo, enquanto no outro frasco foram adicionados 10 mL de uma solução de H_3BO_3 (20 g L^{-1}), para fixação da amônia liberada pelo solo. Em seguida, os vasos foram individualmente cobertos com uma câmara (0.02545 m^2 de área), de modo a isolar cada unidade experimental do meio externo. Uma vez por semana ao longo de 17 semanas, a câmara era aberta e ambos os frascos eram retirados para análise, e substituídos por novos frascos coletores.

A determinação da respiração basal do solo foi realizada segundo as metodologias descritas por Jenkinson e Powlson (1976) e Vance et al. (1987), segundo a equação:

$$C - \text{CO}_2 = ((V_b - V_a) \times M \times 6) / (A \times h)$$

onde, C-CO₂ se refere ao CO₂ volatilizado; V_b e V_a representam os volumes de HCl utilizados na titulação das soluções de NaOH antes e depois da fixação do CO₂, respectivamente; M se refere à molaridade da solução de HCl (mol L⁻¹) utilizada na titulação; A representa a área (m²) do solo onde o CO₂ foi coletado (equivalente à área de solo coberta pelo recipiente utilizado como câmara); e h representa as horas de incubação.

Em relação à determinação da quantidade de amônia volatilizada (Fig. 1) e fixada na solução de H₃BO₃, o método descrito por Hernandez e Cazetta (2001) foi utilizado, segundo a equação:

$$N - \text{NH}_3 = (V \times M \times 28) / (A \times h)$$

onde, N-NH₃ se refere à amônia volatilizada (mg m⁻² h⁻¹); V representa o volume (mL) da solução de H₂SO₄ consumido na titulação da solução de H₃BO₃ utilizada para fixação de amônia; e M se refere à molaridade da solução de H₂SO₄ (mol L⁻¹).



Figura 1. Incubação dos frascos

2.4 Análises estatísticas

As premissas de normalidade dos erros foram verificadas para todos os dados, aplicando-se o teste de Cramér-von Mises, enquanto a homocedasticidade das variâncias foi verificada pelo teste de Levene. Em seguida, os dados referentes à caracterização química do solo foram submetidos à análise de variância pelo teste F, seguido pelo teste de comparações múltiplas de médias de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Os dados da respiração basal do solo e da volatilização de amônia foram analisados em esquema fatorial (2×17), sendo o primeiro fator dois tratamentos (com e sem incorporação de composto orgânico), e o segundo fator as 17 semanas de avaliação, como parcelas subdivididas no tempo. As análises foram realizadas com auxílio do software AgroEstat (versão 1.0) (Barbosa e Maldonado Jr., 2015).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A compostagem de resíduos oriundos da pesca e aquicultura foi avaliada poucas vezes na literatura, em comparação a outras fontes de resíduos, como resíduos sólidos urbanos. Os resultados obtidos no presente estudo demonstram os benefícios da compostagem termofílica com estes resíduos, e de sua aplicação como fertilizante orgânico, os quais possuem cargas de nutrientes e microbiológicas muito significativas e podem compor grandes riscos ambientais quando descartados no ambiente (Leroi and Joffraud, 2011).

3.1 Características do solo fertilizado com composto orgânico

A aplicação do composto orgânico gerou acréscimos significativos nos teores de matéria orgânica (MOS) apenas no tratamento T0, no qual o composto foi adicionado ao solo e avaliado prontamente. Após 30-120 dias de incubação, os teores de MOS se mantiveram com valores intermediários entre o controle e o tratamento T0 (Tabela 1). O incremento de matéria orgânica no solo é um dos benefícios mais buscados frente à aplicação de compostos orgânicos, porém é algo difícil de se atingir e que demanda longos períodos de incremento de resíduos no solo (Sikora e Yakovchenko, 1996; Rivero et al., 2004). Frente aos altos teores de matéria orgânica no composto de peixe utilizado neste estudo e sua estabilização, é possível que frequentes incorporações do mesmo ao longo do tempo traga benefícios significativos para a fertilidade de solos degradados.

O aumento do teor de MOS observado em T0 e os pequenos incrementos observados nos demais tratamentos podem ser muito benéficos para a fertilidade do solo. Albiach et al. (2001) avaliaram a aplicação de diferentes compostos orgânicos em um solo por cinco anos, observando aumentos significativos na concentração de MOS, substâncias húmicas e atividade microbiana. Em um experimento de aplicação de diferentes compostos orgânicos no solo, conduzido em vasos, Li et al. (2017) obtiveram aumentos de até 70% do teor de carbono orgânico do solo após 20 meses de aplicações dos compostos. Esse aumento foi favorecido por diversas aplicações ao longo do tempo, o que refletiu diretamente no aumento da fertilidade do solo em questão. Atrelado a esses fatores está a melhoria da estrutura do solo,

devido ao aumento do número de cargas negativas na fase sólida do solo (Zhang et al., 2005), o que também reflete no aumento da retenção de cátions no solo fertilizado, consequentemente elevando sua CTC (Brady e Weil, 2003), como observado no presente estudo.

Aumentos significativos foram observados na CTC potencial neste estudo, a qual foi de $70 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para $90 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, em média (Tabela 1). Resíduos da aquicultura possuem notoriamente grandes concentrações de Ca e Mg, além de N (Radziemska et al., 2018), e desta maneira compostos orgânicos produzidos com esses resíduos são também ricos nesses nutrientes, justificando os aumentos da CTC do solo após sua incorporação (Haynes e Swift, 1990). Mantovani et al. (2005) observaram grandes aumentos nas concentrações de Ca, Mg e K após a aplicação de composto produzido com lixo urbano em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico, o qual foi também refletido no aumento desses nutrientes em plantas de alface, resultados semelhantes aos encontrados no presente estudo.

Tabela 1. Características químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro, fertilizado com um composto orgânico produzido com resíduos de atividades aquícolas. **CT**: solo sem composto; **T0**: solo adubado com composto e avaliado após um dia; **T30**: solo adubado com composto por 30 dias; **T60**: solo adubado com composto por 60 dias; **T90**: solo adubado com composto por 90 dias; **T120**: solo adubado com composto por 120 dias

	P resina	MO	pH / CaCl ₂	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	SB	CTC	V
	mg/dm ³	g/dm ³	-	mmol _c /dm ³						%
CT	38 b	16 b	5,97 a	2,5 c	34 b	14 a	20 b	50 b	70 b	71 a
T0	190 a	25 a	5,95 ab	5,3 a	50 a	15 a	21 ab	70 a	91 a	77 a
T30	178 a	21 ab	5,7 c	4,7 ab	45 ab	15 a	23 a	64 ab	87 a	74 ab
T60	216 a	22 ab	5,8 c	4,5 b	53 a	15 a	22 ab	73 a	95 a	77 a
T90	173 a	20 ab	5,8 bc	4,2 b	50 a	13 a	22 ab	66 a	89 a	74 ab
T120	178 a	20 ab	5,7 c	4,7 ab	54 a	15 a	23 a	73 a	97 a	76 a
Teste F	6,09**	4,82**	13,25**	38,54**	6,72**	1,0NS	4,60**	5,98**	6,17**	7,8**
CV%	31,44	13,00	1,16	7,16	12,23	12,39	5,18	10,70	8,60	2,12

**Significativo a 5% de probabilidade ($p < 0,05$); NS = Não significativo, letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa entre tratamentos ao nível de 5% de probabilidade.

No estudo desenvolvido por Demelash et al. (2014), incrementos de até 17% na CTC foram observados em um vertissolo adubado com um composto orgânico, após três semanas de aplicação. Similarmente, Agegnehu et al. (2016) observaram aumentos significativos da CTC de solos frente a diferentes taxas de aplicação de um composto orgânico produzido com esterco de galinha. Os autores observaram que os aumentos observados da CTC se relacionaram positivamente com o aumento do teor de MOS e também de nutrientes como cálcio, magnésio, fósforo e potássio. Os resultados obtidos no presente estudo corroboram com os estudos previamente citados, pois com exceção do magnésio, houve aumentos das concentrações de macro e micronutrientes avaliados no solo adubado.

Os incrementos de nutrientes observados no presente estudo pouco variaram ao longo de 120 dias de incubação, demonstrando a estabilidade da fração orgânica do composto utilizado. Quando aplicados ao solo, nutrientes de compostos estáveis são armazenados na fração orgânica dos solos e liberados de maneira mais lenta, garantindo assim um efeito residual de mais longa duração (Sharma e Mittra, 1991). Ademais, compostos ricos em nutrientes podem possuir altas concentrações de nutrientes disponíveis para plantas imediatamente após o processo de compostagem (Lopes et al., 2019), como evidenciado pelos tratamentos T0 e T30, os quais apresentaram respostas semelhantes aos tratamentos T60-T120, nos quais os compostos permaneceram incubados por mais tempo.

A incorporação do composto orgânico refletiu em pequenas reduções do pH do solo (Tabela 1), as quais mesmo sendo estatisticamente significativas, pouco interferem na disponibilização de nutrientes para a solução do solo e para as plantas, visto que a maior redução foi de 0,3 unidades, permanecendo estes valores estáveis até os 210 dias de avaliação. Este resultado contradiz os resultados obtidos por Agegnehu et al. (2016), no qual os autores observaram elevação média de 0,3 unidades de pH em solo adubado com composto orgânico de pH 8,3 produzido com cama de frango e resíduos vegetais. No entanto, Illera-Vives et al. (2015) não observaram elevação do pH do solo após aplicação de um composto produzido com algas marinhas e resíduos de pescado com pH 6,8, mesmo após 12 meses, portanto este efeito é variável, dependendo das características de cada fertilizante aplicado no solo.

Acompanhando pequena redução do pH, foram observados também aumentos da acidez potencial no solo fertilizado com composto orgânico, em comparação ao controle. A introdução de íons como Ca, Mg e K podem favorecer a redução da acidez de solos, pois esses íons passam a ocupar as cargas negativas do solo que podem ser ocupadas por íons H^+ , principal responsável pela acidificação dos solos. Por possuírem grandes quantidades de Ca, resíduos da aquicultura são considerados excelentes substratos para a compostagem orgânica (Radziemska et al., 2018), pois refletem no aumento desse cátion no composto orgânico obtido. O composto utilizado neste estudo possuía 45 g kg^{-1} de cálcio, e grande parte deste íon foi disponibilizado para as plantas (Tabela 1).

Um dos principais nutrientes disponibilizado pelo composto orgânico neste estudo foi o fósforo (P), tanto em relação à fertilidade do solo quanto à absorção das plantas de milho (Tabelas 1 e 2). Aproximadamente cinco vezes mais fósforo foi encontrado nos solos fertilizados em relação ao CT, evidenciando a labilidade desse nutriente no composto utilizado. Santos et al. (2004) também observou aumento de $9,33\text{ g dm}^{-3}$ para $321,33\text{ g dm}^{-3}$ para fósforo resina ao aplicar um composto orgânico no solo. No presente estudo, foi possível observar que o fósforo se manteve presente em todo o período de incorporação, em altas concentrações e elevada disponibilidade, que também não variou com o tempo, indicando que não ocorreu adsorção significativa do P no solo, mesmo após um período de 120 dias de incubação. De acordo com Andrade et al. (2003), a baixa adsorção pode ser explicada pela presença de substâncias húmicas fornecidas pelos fertilizantes compostados, que reduz a adsorção de P pelo solo devido ao fato de competirem pelos sítios de absorção de fosfato à medida que grupos funcionais da matéria orgânica, tais como OH e COOH, competem efetivamente nos sítios de absorção.

A recuperação do P e de outros nutrientes foi evidente nas plantas de milho no presente estudo, resultado este estando de acordo com os dados do aumento da fertilidade do solo observados (Tabela 1). As plantas cresceram aproximadamente 30% mais quando o composto foi aplicado em comparação ao controle, apresentaram área foliar quatro vezes superior e também apresentaram maior matéria seca (Tabela 2).

Tabela 2. Efeitos da aplicação de composto orgânico produzido com resíduos animais da aquicultura, sobre o crescimento de plantas de milho ao longo do tempo. **CT**: solo sem composto; **T0**: solo adubado com composto e avaliado após um dia; **T30**: solo adubado com composto por 30 dias; **T60**: solo adubado com composto por 60 dias; **T90**: solo adubado com composto por 90 dias; **T120**: solo adubado com composto por 120 dias. **AP**: altura das plantas; **AF**: área foliar; **MSPA**: massa seca da parte aérea; **NFV**: número de folhas vivas.

	AP	AF	MSPA	NFV
	Cm	cm ² planta ⁻¹	g planta ⁻¹	Folhas planta ⁻¹
CT	69.75 ^b	589.1 ^b	2.31 ^b	4.75
T0	101.66 ^a	2135.1 ^a	10.92 ^a	5.75
T30	102.33 ^a	2159.6 ^a	11.70 ^a	6.25
T60	108.75 ^a	1811.5 ^a	10.79 ^a	5.00
T90	101.17 ^a	1889.7 ^a	10.71 ^a	5.50
T120	103.92 ^a	1840.6 ^a	10.02 ^a	5.50
Teste F	41.27**	37.05**	43.37	2.49NS
CV (%)	4.47	11.01	11.35	12.40

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa entre tratamentos ao nível de 5% de probabilidade.

Mesmo que o número de folhas vivas ao final do experimento não tenha sido diferente entre tratamentos, a altura das plantas cultivadas em solo fertilizado com o composto orgânico cresceram em média 48% em comparação ao controle. Ademais, estas apresentaram maior desenvolvimento foliar, além da matéria seca dessas plantas terem sido 3,5 vezes maior que as do tratamento controle (2.31 g planta⁻¹). Esse crescimento diferencial pode ter acontecido devido a um melhor desenvolvimento fisiológico dessas plantas, fato este possibilitado pela melhoria da estrutura do solo frente à aplicação do composto, como também observado por Oo et al. (2015).

Todos os nutrientes avaliados nas plantas de milho demonstraram concentrações aumentadas em relação ao tratamento controle (Tabela 3). As altas concentrações de nitrogênio (28.8 g kg⁻¹) e fósforo (21.9 g kg⁻¹) do composto utilizado neste estudo foram devidas à recarga de resíduos animais ao longo do processo de compostagem, o que segundo Lopes et al. (2019) é muito favorável para o aumento da qualidade do produto final obtido. É notável o fato de que a concentração de nitrogênio e fósforo das plantas cultivadas em solo adubado foram

aproximadamente cinco vezes maiores em relação ao controle (Tabela 3), comprovando a eficiência da incorporação deste composto no solo.

Tabela 3. Teores de macro e micronutrientes na parte aérea de plantas de milho cultivadas em solo adubado com composto orgânico produzido com resíduos da aquicultura. **CT:** solo sem composto; **T0:** solo adubado com composto e avaliado após um dia; **T30:** solo adubado com composto por 30 dias; **T60:** solo adubado com composto por 60 dias; **T90:** solo adubado com composto por 90 dias; **T120:** solo adubado com composto por 120 dias.

	Ca	K	Mg	P	S	N	Zn	Fe	Mn	Cu
	g planta ⁻¹									
CT	10.56 ^b	52.2 ^c	6.0 ^b	3.2 ^b	1.73 ^b	1.71 ^b	2.05 ^b	16.2 ^b	10.7 ^b	1.57 ^b
T0	35.10 ^a	151.3 ^a	25.8 ^a	17.9 ^a	9.90 ^a	8.30 ^a	8.50 ^a	82.9 ^a	42.6 ^a	7.69 ^a
T30	33.59 ^a	145.9 ^{ab}	22.4 ^a	17.4 ^a	9.14 ^a	6.97 ^a	6.54 ^a	68.6 ^a	45.5 ^a	7.54 ^a
T60	32.21 ^a	141.1 ^{ab}	21.9 ^a	16.6 ^a	8.75 ^a	7.47 ^a	7.24 ^a	63.3 ^a	38.9 ^a	6.99 ^a
T90	35.56 ^a	126.7 ^b	23.7 ^a	15.9 ^a	8.04 ^a	7.94 ^a	7.26 ^a	67.0 ^a	37.3 ^a	6.52 ^a
T120	39.51 ^a	140.7 ^{ab}	26.4 ^a	17.6 ^a	10.69 ^a	7.37 ^a	7.28 ^a	78.1 ^a	40.8 ^a	8.21 ^a
F	18.61 ^{**}	59.52 ^{**}	10.72 ^{**}	35.82 ^{**}	12.93 ^{**}	19.49 ^{**}	18.86 ^{**}	10.18 ^{**}	26.83 ^{**}	11.43 ^{**}
CV	15.44	7.64	22.01	12.91	22.32	16.77	16.05	23.93	13.64	22.55

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa entre tratamentos ao nível de 5% de probabilidade.

Nossos resultados sugerem que o tempo de incubação do composto no solo não alterou as concentrações dos nutrientes ao longo do período de 120 dias de incorporação no solo, pois as plantas cultivadas em vasos com diferentes tempos de incubação do composto cresceram de maneira similar. Este não era um resultado esperado, visto que de maneira geral, após a incorporação dos compostos no solo, ocorre a mineralização da matéria orgânica, fazendo com que a liberação de nutrientes ocorra ao longo do tempo (Yagi et al., 2009; Illera-Vives et al., 2015). Portanto, é possível afirmar que ao longo do processo de compostagem ocorreu forte estabilidade da matéria orgânica, sugerindo alta taxa de mineralização da mesma no processo, como também observado por Gavilanes-Terán et al. (2016).

A prática de fertilização ao longo do tempo geralmente resulta em aumentos exponenciais nas concentrações de nutrientes no solo e para as plantas as quais os absorvem (Rhoton, 2000; Beauregard et al., 2010), diferentemente do observado neste estudo, no qual o composto foi aplicado de uma só vez. Desta maneira, é

possível corroborar com Lopes et al. (2019) quanto à existência de grandes quantidades de nutrientes prontamente disponíveis no composto, os quais foram disponibilizados logo no momento da aplicação, as quais se mantiveram elevadas e sem alteração significativa ao longo de 120 dias.

3.2 Respiração basal e produção de CO₂ do solo fertilizado com composto

O incremento de MOS frente à aplicação de fertilizantes orgânicos tem como consequência o aumento das atividades microbianas no solo (Tejada et al., 2006), por elevar a disponibilidade de nutrientes, melhorar as condições físicas e o poder tampão da solução do solo (McCormik e Wolf, 1980). Nossos resultados demonstram maior respiração basal do solo, medida pela produção de gás carbônico (CO₂), ao longo de 17 semanas de avaliação (Figura 2), evidenciando aumento de atividade microbiana frente à incorporação do composto orgânico.

Em um estudo desenvolvido por Toniazzi et al. (2018), ao aplicar serragem e água residuária no solo, os autores registraram taxa de respiração na dimensão de 550 mg C-CO₂ kg⁻¹ após 21 dias de incorporação. Convertendo os resultados obtidos no presente estudo para as mesmas unidades, a respiração máxima registrada foi de 2,5 mg C-CO₂ kg⁻¹, podendo-se afirmar que a respiração basal do solo do presente estudo foi muito baixa. Toniazzi et al. (2018) afirmaram que a alta taxa de respiração observada em seu estudo pode ter ocorrido devido à baixa estabilização dos componentes orgânicos presentes na água residuária utilizada. Diferentemente, o composto utilizado no presente estudo passou por um processo de compostagem, no qual a estabilização da matéria orgânica e formação de substâncias húmicas ocorre ao longo do tempo (Gavilanes-Terán et al., 2016), justificando os resultados obtidos.

Segundo Marinari et al. (2000), o aumento da respiração basal do solo pode ocorrer devido a um efeito sinérgico entre o aumento da atividade microbiana e a melhoria de características referentes à estrutura do solo (e.g. porosidade e aumento de MOS), frente à incorporação de compostos orgânicos. Os resultados do presente estudo sugerem que, mesmo frente à adição de diversos nutrientes, a respiração basal do solo pode pouco variar, provavelmente devido a estabilidade do material incorporado ao solo. Desta maneira, é possível que frente a aplicações

periódicas deste produto no solo, é possível elevar o teor de C orgânico ao longo do tempo, visto que este não será perdido na forma de C-CO₂ em grandes proporções. Yu et al. (2012) sugerem que a adição de compostos estáveis ao longo do tempo pode melhorar a estrutura dos colóides orgânicos do solo, auxiliando no aumento do teor de MOS e no sequestro de C.

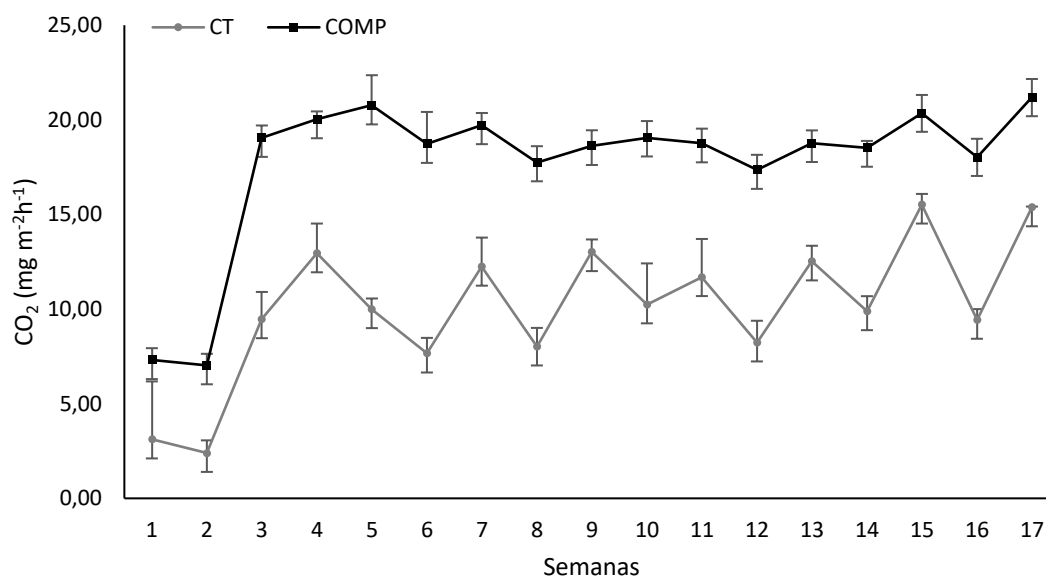


Figura 2. Produção de CO₂ em solo com e sem a incorporação de composto orgânico produzido com resíduos de atividades aquícolas, ao longo de 17 semanas. **CT**: tratamento controle; **COMP**: tratamento com aplicação de composto orgânico.

3.3 Volatilização de amônia do solo fertilizado com composto

Em relação à liberação de amônia, foi possível observar uma maior liberação nas duas primeiras semanas de incubação ($\sim 2.5 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$), seguido de redução e baixas liberações ao longo do tempo ($0 - 1 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) (Figura 3). Em estudo com aplicação de ureia, Souza et al. (2015) observou que a volatilização da amônia também ocorreu nos primeiros dias de incorporação no solo com posterior queda e estabilização. Este fato sugere que compostos orgânicos produzidos com resíduos da aquicultura deve possuir parte significativa do nitrogênio total já na forma amoniacal (N-NH_3 e N-NH_4^+), como observado por Lopes et al. (2019), o qual sofre volatilização logo nos primeiros dias após a incorporação no solo. Desta maneira, é esperado que parte deste nitrogênio volatilizasse mais logo após a aplicação do

composto no solo, mas passado esse período, a volatilização de amônia reduz devido à elevada estabilidade da matéria orgânica restante, que parece possuir baixa taxa de mineralização, fato este permitido pelo processo de compostagem (Gavilanes-Terán et al., 2016).

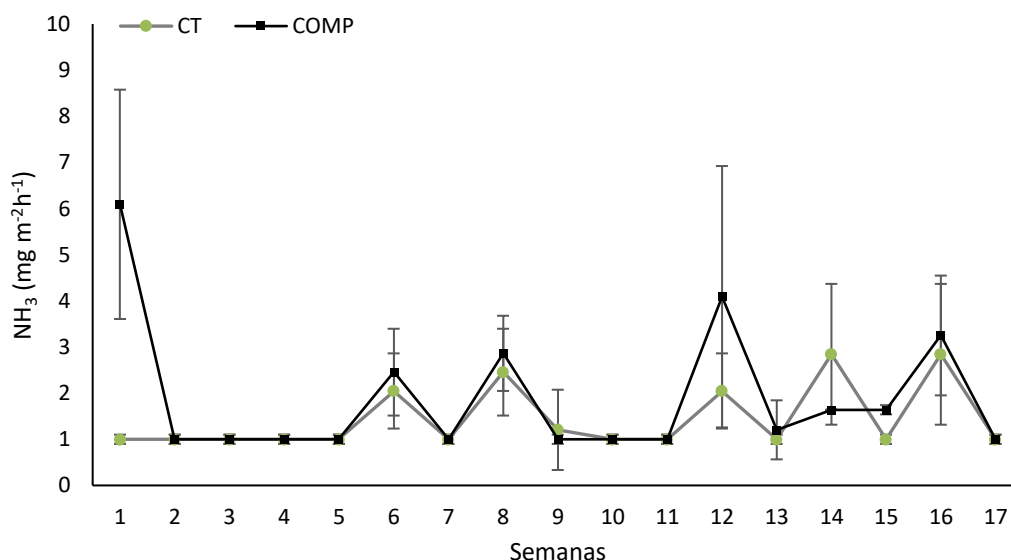


Figura 3. Produção de NH_3 em solo com e sem a incorporação de composto orgânico produzido com resíduos de atividades aquícolas, ao longo de 17 semanas. **CT**: tratamento controle; **COMP**: tratamento com aplicação de composto orgânico.

A volatilização de NH_3 após a incorporação de um composto orgânico no solo depende de vários fatores, como a composição físico-química do solo e a maneira de aplicação do produto, além da composição do fertilizante em si e da estabilidade que o mesmo apresenta (He et al., 2003). Frente aos valores baixos registrados em relação à volatilização de NH_3 no presente estudo, podemos afirmar que o composto utilizado estava estável e adequado para aplicação visto que, além de baixa volatilização, as plantas de milho absorveram grande parte do nitrogênio aplicado. Considerando que as plantas foram cultivadas por apenas 30 dias nos vasos, é evidente que grande parte do N existente no composto estava disponível já no momento da aplicação. Além disso, não se observou diferença entre os tempos de incubação no teor de N e crescimento das plantas (tabelas 2 e 3), e pouca variação do teor de matéria orgânica do solo dos 30 aos 120 dias de incubação (Tabela 1), revelando que deve ter ocorrido muita pouca mineralização de N depois de 30 dias

de aplicação do composto no solo, o que também concorda com os baixos valores de respiração basal e volatilização de amônia dos 30 aos 120 dias de ensaio.

4. CONCLUSÕES

A aplicação do composto orgânico produzido com resíduos da aquicultura levou a aumentos significativos dos teores de matéria orgânica, de macronutrientes e de micronutrientes de plantas no solo. Tal aplicação também resultou em maiores teores de macronutrientes e micronutrientes nas plantas de milho, bem como maior crescimento das mesmas. As características químicas do solo, a absorção de nutrientes e o crescimento de plantas de milho não foram alterados pelo tempo (0-120 dias) que o composto ficou incubado no solo. A aplicação do composto orgânico estimulou a respiração basal do solo, mas a perda de nitrogênio por volatilização da amônia foi muito pequena ao longo do período estudado.

5. REFERÊNCIAS

Agegnehu G., Nelson PN, Bird MI (2016) Crop yield, plant nutrient uptake and soil physicochemical properties under organic soil amendments and nitrogen fertilization on Nitisols. **Soil e Tillage Research** 160:1-13.

Albiach R, Canet R, Pomares F, Ingelmo F (2001) Organic matter componentes and aggregate stability after the application of different amendments to a horticultural soil. **Bioresource Technology** 76:125-129.

Alcarde JC (2009) **Manual de análise de fertilizante**. Piracicaba: FEALQ. 259 p.

Andrade FV, Mendonça ES, Alvarez VH, Novais RF (2003) Adição de ácidos orgânicos e húmicos em Latossolo e adsorção de fosfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 27:1003-1011.

Arvanitoyannis IS, Kassaveti A (2008) Fish industry waste: treatments, environmental impacts, current and potential uses. **International Journal of Food Science and Technology** 43:726-745.

Barbosa JC, Maldonado-Júnior W (2015) **Experimentação agrônômica e AgroEstat - sistema para análises estatísticas de ensaios agronômicos**. Jaboticabal: Funep, 396 p.

Bataglia OC, Teixeira JPF, Furlani AMC, Furlani PR, Gallo JR (1978) **Métodos de análise química de plantas**. 1ª ed. Campinas: IAC, 48 p.

Beauregard MS, Hamel C, Nayyar A, St-Arnaud, M (2010) Long-term phosphorus fertilization impacts soil fungal and bacterial diversity but not AM fungal community in alfalfa. **Microbial Ecology** 59:379-389.

Brady NC, Weil RR (2003) *The Nature and Properties of Soils* (15th Ed.). Columbus: Pearson Education, 1071 p.

Brasil, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - Secretaria de Defesa Agropecuária (2009) **Instrução Normativa SDA N° 25**, 18 p.

Demelash N, Bayu W, Tesfaye S, Ziadat F, Sommer R (2014) Current and residual effects of compost and inorganic fertilizer on wheat and soil chemical properties. **Nutrient Cycling in Agroecosystems** 100:357-367.

Elving J, Ottoson JR, Vinnerås B, Albiñ A (2010) Growth potential of faecal bacteria in simulated psychrophilic/mesophilic zones during composting of organic waste. **Journal of Applied Microbiology** 108:1974-1981.

FAO (2018) **The State of World Fisheries and Aquaculture 2018 - Meeting the sustainable development goals**. Roma. 227 p.

Gavilanes-Terán I, Jara-Samaniego J, Idrovo-Novillo J, Bustamante MA, Moral R, Paredes C (2016) Windrow composting as horticultural waste management strategy - a case study in Ecuador. **Waste Management** 48:127-134.

Haynes RJ, Swift RS (1990) Stability of soil aggregates in relation to organic constituents and soil water content. **Journal of Soil Science** 41:73-83.

He ZL, Calvert DV, Alva AK, Li YC, Stoffella PJ, Banks DJ (2003) Nitrogen transformation and ammonia volatilization from biosolids and compost applied to calcareous soil. **Compost Science e Utilization** 11:81-88.

Hermann ER, Câmara GMS (1999) Um método simples para estimar a área foliar da cana-de-açúcar. **STAB Açúcar - Álcool e Subprodutos** 17:32-34.

Hernandes R, Cazetta JO (2001) Método simples e acessível para determinar amônia liberada pela cama aviária. **Revista Brasileira de Zootecnia** 30:824-829.

Illera-Vives M, Labandeira SS, Brito LM, López-Fabal A, López-Mosquera ME (2015) Evaluation of compost from seaweed and fish waste as a fertilizer for horticultural use. **Scientia Horticulturae** 186:101-107.

Jenkinson DS, Powlson DS (1976) The effects of biocidal treatments on metabolism in soil V: a method for measuring soil biomass. **Soil Biology e Biochemistry** 8:209-213.

Leroi F, Joffraud JJ (2011) Microbial Degradation of Seafood. In: Montet D, Ray RC (Eds.) **Aquaculture Microbiology and Biotechnology** (2nd ed.). Science Publishers: Enfield, p. 47-72.

Li S, Li J, Li G, Li Y, Yuan J, Li D (2017) Effects of different organic fertilizers application on soil organic matter properties. **Compost Science e Utilization** 25: S31-S36.

Lim SL, Lee LH, Wu TY (2016) Sustainability of using composting and vermicomposting technologies for organic solid waste biotransformation: recent overview, greenhouse gases emissions and economic analysis. **Journal of Cleaner Production** 111:262-278.

Lopes IG, Souza LF, Cruz MCP, Vidotti, RM (2019) Composting as a strategy to recycle aquatic animal waste: Case study of a research centre in São Paulo State, Brazil. **Waste Management e Research** 37:590-600.

López-Mosquera ME, Fernández-Lema E, Villares R, Corral R, Alonso B, Blanco C (2011) Composting fish waste and seaweed to produce a fertilizer for use in organic agriculture. **Procedia Environmental Sciences** 9:113-117.

Mantovani JR, Ferreira ME, Cruz MCP, Barbosa JC (2005) Alterações nos atributos de fertilidade em solo adubado com composto de lixo urbano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 29:817-824.

Marinari S, Masciandaro G, Ceccanti B, Grego S (2000) Influence of organic and mineral fertilisers on soil biological and physical properties. **Bioresource Technology** 72:9-17.

McCormick RW, Wolf DC (1980) Effect of sodium chloride on CO₂ evolution, ammonification, and nitrification in a sassafras sandy loam. **Soil Biology & Biochemistry** 12:153-157.

Medina J, Monreal C, Barea JM, Arriagada C, Borie F, Cornejo P (2015) Crop residue stabilization and application to agricultural and degraded soils: a review. **Waste Management** 42:41-54.

Oo AN, Iwai CB, Saenjan P (2015) Soil properties and maize growth in saline and nonsaline soils using cassava-industrial waste compost and vermicomposto with or without earthworms. **Land Degradation e Development** 26:300-310.

Radziemska M, Vaverková MD, Adamcová D, Brtnický M, Mazur Z (2018) Valorization of fish waste compost as a fertilizer for agricultural use. **Waste and Biomass Valorization** 01:1-9.

Raij B (2011) Fertilidade do solo e manejo de nutrientes. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 420 p.

Raij B, Andrade JC, Cantarella H, Quaggio JA. (Eds.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 235 p.

Rhoton FE (2000) Influence of time on soil response to no-till practices. **Soil Science Society of America Journal** 64:700-709.

Rivero C, Chirenje T, Ma LQ, Martinez G (2004) Influence of compost on soil organic matter quality under tropical conditions. **Geoderma** 123:355-361.

Santos CC, Bellingieri PA, Freitas JC (2004) Efeito da aplicação de compostos orgânicos de cama de frango nas propriedades químicas de um Latossolo Vermelho Escuro cultivado com sorgo granífero [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. **Cientifica** 32:134-140.

Santos HG, Jacomine PKT, Anjos LHC, Oliveira VA, Lumberras JF, Coelho MR, Almeida JA, Araújo Filho JC, Oliveira JB, Cunha TJF (2018) **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5ª ed. Brasília: editora UFV, 355 p.

Sharma AR, Mittra BN (1991) Effect of different rates of application of organic and nitrogen fertilizers in a rice-based cropping system. **Journal of Agricultural Science** 117:313-318.

Sikora LJ, Yakovchenko V (1996) Soil organic matter mineralization after compost amendment. **Soil Science Society of America Journal** 60:1401-1404.

Souza TL (2015) **Eficiência agronômica de fertilizantes nitrogenados, emissão de CO₂ e volatilização de NH₃ na cultura do milho**. 99 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - UFLA, Lavras.

Tejada M, Garcia C, Gonzalez JL, Hernandez MT (2006) Use of organic amendment as a strategy for saline soil remediation: influence on the physical, chemical and biological properties of soil. **Soil Biology & Biochemistry** 38:1413-1421.

Toniazzo F, Rodrigues AC, Rosa MM, Ros CO, Becegato VA, Lavnitcki L, Henkes JA, Cantoni F (2018) Avaliação da liberação de CO₂ em solo com adição de águas residuária suínolas e impactos ambientais e sociais da suinocultura. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental** 7:253-274.

Vance ED, Brookes PC, Jenkinson DS (1987) An extraction method for measuring soil microbial biomass. **Soil Biology e Biochemistry** 19:703-707.

Vidotti RM, Lopes IG (2016) Resíduos orgânicos gerados na piscicultura. **Pesquisa e Tecnologia** 13:1-6.

Yagi R, Ferreira ME, Cruz MCP, Barbosa JC (2009) Mineralização potencial e líquida de nitrogênio em solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 33:385-394.

Yu H, Ding W, Luo J, Geng J, Cai Z (2012) Long-term application of organic manure and mineral fertilizers on aggregation and aggregate-associated carbon in a sandy loam soil. **Soil and Tillage Research** 124:170-177.

Zhang B., Horn R, Hallett PD (2005) Mechanical resilience of degraded soil amended with organic matter. **Soil Science Society of America Journal** 69:864-871.