Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

Composto bokashi com inóculo nativo e comercial, farinha de penas e a
disponibilidade de nitrogênio e fósforo

Diego Fontebasso Pelizari Pinto

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Solos e
Nutrição de Plantas

Piracicaba
2018

Diego Fontebasso Pelizari Pinto
Engenheiro Agrônomo

Composto bokashi com inóculo nativo e comercial, farinha de penas e a disponibilidade
de nitrogênio e fósforo

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **TAKASHI MURAOKA**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Solos e
Nutrição de Plantas

Piracicaba
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Pinto, Diego Fontebasso Pelizari

Composto bokashi com inóculo nativo e comercial, farinha de penas e a disponibilidade de nitrogênio e fósforo / Diego Fontebasso Pelizari Pinto. -
- versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - -
Piracicaba, 2018.

60 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Mineralização 2. Nitrificação 3. Microrganismo 4. Agricultura orgânica
I. Título

A todos que perseguem seus sonhos ativamente e diariamente

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus pela maravilhosa experiência que é a vida e por permitir mais essa em minha jornada.

Aos meus pais Pedro e Márcia que sempre me apoiaram, me deram excelentes exemplos de vida, educação e motivação para correr atrás de todos os meus objetivos, assim como me deram liberdade de expressar minhas ideias.

À minha irmã Carla que sempre foi um exemplo de determinação e conquistas, além das riquíssimas conversas sobre agronomia e o mundo.

À minha companheira Ingrid que me deu todo amor, força e motivação para finalização desse trabalho.

Ao meu orientador Prof. Takashi Muraoka pela amizade, lições de vida, riquíssimas conversas e toda atenção dada para a conclusão desse trabalho, mesmo em momentos de muita dificuldade.

Ao Prof. Paulo Sérgio Pavinato da ESALQ-USP pelos ensinamentos, pela acessibilidade e pela contribuição em discussões riquíssimas que trouxeram boas ideias para a execução do trabalho.

Ao Prof. Carlos Eduardo Pellegrino Cerri da ESALQ-USP por toda sua disposição em ajudar e tirar as dúvidas, mesmo em meio a diversos compromissos e viagens, e também por ensinar, pelo exemplo, como deve ser um grande educador.

Ao Prof. José Carlos Casagrande pelos ensinamentos e boas conversas que direcionaram meus estudos, e a todos do seu laboratório, no CCA-UFSCAR, que sempre foram muito solícitos em contribuir com suas experiências e a solucionar problemas.

Ao Dr. Luiz Carlos Demattê Filho, coordenador geral do Centro de Pesquisa Mokiti Okada (CPMO), por acreditar que com meu estudo eu possa contribuir com os trabalhos realizados no CPMO.

Ao Dr. Sérgio Kenji Homma, coordenador do Setor Pesquisa em Manejo de Solo e Planta do CPMO, pelos ensinamentos, conversas, discussões científicas, e principalmente pela confiança depositada em meu trabalho.

Aos meus queridos colegas e amigos, grandes pesquisadores do CPMO, Me. Rodrigo Longaresi, Me. Wesley Fialho, Ma. Juliana Scotton e Dr. Ademir Durrer, por toda ajuda em diversas etapas do trabalho, e pela boa amizade que fazem o dia-a-dia mais leve, mesmo com tantas responsabilidades.

Ao Me. Valdinei Giassi, pesquisador do CPMO, pelo fornecimento do inóculo comercial e pelos ensinamentos sobre os benefícios e aplicabilidades do produto, e sobre microbiologia aplicada.

Ao Rafael, engenheiro ambiental da Korin Agropecuária Ltda, pelo fornecimento e informações sobre a farinha de penas.

Às colaboradoras do laboratório CPMO Isabel, Aleçandra e Amália pela determinação, flexibilidade e proatividade na participação essencial para realização das análises laboratoriais.

Ao Fernandinho do laboratório do Solos da ESALQ por toda atenção e explicação quanto às metodologias aplicadas no trabalho.

Aos ajudantes do dia-a-dia, os estagiários, com quem mais aprendi que ensinei, Giovana Prado, Cecília Leão, Carol Sisti e todos os outros que ajudaram em etapas do trabalho.

A todos os colegas do CPMO e ESALQ que me apoiaram e contribuíram de alguma forma na realização desse trabalho.

“A felicidade não se resume na ausência de problemas, mas sim na sua capacidade de lidar com eles”

Albert Einstein

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT	8
LISTA DE FIGURAS.....	9
LISTA DE TABELAS	10
1. INTRODUÇÃO.....	11
1.1. OBJETIVO.....	12
2. REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1. BOKASHI.....	13
2.2. FARINHA DE PENAS	15
2.3. MINERALIZAÇÃO DO NITROGÊNIO ORGÂNICO DO SOLO E NITRIFICAÇÃO.....	17
2.4. FÓSFORO ORGÂNICO DO SOLO.....	19
3. MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1. CARACTERIZAÇÃO DO EXPERIMENTO: PRODUÇÃO DOS BOKASHIS E PROCESSO INDUSTRIAL DA FARINHA DE PENAS	21
3.2. CARACTERIZAÇÃO DO EXPERIMENTO: INCUBAÇÃO E TRATAMENTOS.....	23
3.3. DETERMINAÇÃO DE N-AMÔNIO E N-NITRATO NO SOLO E NOS COMPOSTOS.....	25
3.4. DETERMINAÇÃO DE RESPIRAÇÃO BASAL, CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA E QCO_2	26
3.5. DETERMINAÇÃO DE FÓSFORO DISPONÍVEL NO SOLO E FÓSFORO DISPONÍVEL NOS COMPOSTOS	28
3.6. DETERMINAÇÃO DE pH, CARBONO E NITROGÊNIO TOTAL NO SOLO	30
3.7. ANÁLISES ESTATÍSTICAS	31
4. RESULTADOS	33
4.1. MINERALIZAÇÃO DO NITROGÊNIO ORGÂNICO	33
4.2. NITRIFICAÇÃO.....	38
4.3. RESPIRAÇÃO BASAL, CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA E QCO_2	42
4.4. FÓSFORO DISPONÍVEL NOS COMPOSTOS E NO SOLO	44
4.5. ACIDEZ DO SOLO.....	45
4.6. NITROGÊNIO E CARBONO TOTAL DO SOLO.....	47
4.7. RESUMO DOS PRINCIPAIS RESULTADOS	48
5. DISCUSSÃO	49
5.1. BOKASHI.....	49
5.2. INÓCULOS COMERCIAL E NATIVO	50
5.3. FARINHA DE PENAS	52
6. CONCLUSÃO.....	53
REFERÊNCIAS.....	55

RESUMO

Composto fermentado bokashi com inóculo nativo e comercial, farinha de penas e a disponibilidade de nitrogênio e fósforo

Poucos estudos existem sobre o efeito de diferentes inóculos microbianos na produção de composto fermentado bokashi e seu efeito no solo em relação à disponibilidade de nitrogênio e fósforo. A farinha de penas é outro potencial adubo orgânico que é pouco explorado no Brasil. O presente estudo teve por objetivo avaliar o efeito dos inóculos microbianos comercial e nativo, assim como da farinha de penas, na disponibilização de nitrogênio e fósforo, e sua interferência na nitrificação no solo. Os compostos bokashi foram feitos um com inóculo coletado em solo de área de preservação permanente misturado a solo de área de cultivo e outro com inóculo comercial. Os tratamentos: bokashi com inóculo comercial (BC), bokashi com inóculo nativo (BN), mistura de farelos com inóculo comercial (FC), mistura de farelos com inóculo nativo (FN), somente mistura de farelos (F), somente aplicação do inóculo comercial no solo (TC), farinha de penas (FP) e somente solo (T) foram misturados ao solo e incubados por 84 dias. Avaliações periódicas foram feitas dentro do período de incubação, as quais mensuraram a mineralização de nitrogênio, a nitrificação, a disponibilização de fósforo, a respiração basal, o carbono da biomassa microbiana, o coeficiente metabólico, o pH e o carbono e o nitrogênio total. O nitrogênio e o fósforo disponível foram avaliados nos compostos. O bokashi foi eficiente na disponibilização de fósforo no solo, assim como nitrogênio e fósforo no composto. A mineralização de nitrogênio foi reduzida quando os farelos passaram pelo processo de bokashi. A aplicação do bokashi não interferiu na nitrificação. O BC foi mais eficiente em disponibilizar fósforo e nitrogênio no composto e no solo que o BN. O FC apresentou uma atividade biológica de decomposição mais intensa, assim como maior mineralização de nitrogênio dos compostos quando comparado ao FN. O FN aumentou o nitrogênio orgânico no solo. Ambos inóculos demonstraram pouco efeito na nitrificação e na acidez do solo. A aplicação do FP no solo apresentou grande potencial para o suprimento de nitrogênio.

Palavras-chave: Mineralização; Nitrificação; Microrganismo; Agricultura orgânica

ABSTRACT

Bokashi fermented compost with native and commercial inoculum, poultry feather manure and the nitrogen and phosphorus availability

There is a reduced amount of studies on the different microbial inoculum effects in bokashi fermented compost and its effects related to soil nitrogen and phosphorus availability. The poultry feather manure is another potential fertilizer with little exploration in Brazil. The present study aim to evaluate the microbial inoculum effects, commercial and native, and the poultry feather manure, in soil nitrogen and phosphorus availability and nitrification interference. The bokashi composts were made one with collected inoculum in permanent preservation area mixed with crop soil and another with commercial inoculum. The treatments: commercial inoculum bokashi (BC), native inoculum bokashi (BN), commercial inoculum bran mixture (FC), native inoculum bran mixture (FN), bran mixture (F), just commercial inoculum in soil (TC), poultry feather manure (FP) and just soil (T) were mixed with a soil and incubated for 84 days. Periodic evaluations were made in incubation period, that one has assessed the nitrogen mineralization, the nitrification, the phosphorus availability, the basal respiration, the microbial biomass carbon, the metabolic coefficient, the pH and the total carbon and nitrogen. The nitrogen and phosphorus availability was evaluated in composts. The bokashi was efficient in soil phosphorus availability, like nitrogen and phosphorus in compost. The nitrogen mineralization was reduced with bokashi application. The bokashi application did not interfered in nitrification. The BC was more efficient in phosphorus and nitrogen availability in compost and in soil then the native inoculum bokashi. The FC show more biological decomposition activity, therefore with more nitrogen mineralization in relationship with FN. The FN increased the soil organic nitrogen. Both inoculum revealed little effect in nitrification and soil acidity. The FP application in soil demonstrated great potential in nitrogen supply.

Keywords: Mineralization; Nitrification; Microorganisms; Organic agriculture

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fungos filamentosos crescendo no canto interno da bombona do BN (fonte: autor).....	22
Figura 2. Diferença dos grumos dos bokashis BN à esquerda e BC à direita (fonte: autor).	22
Figura 3. Nitrogênio solúvel total (amônio mais nitrato) nos materiais orgânicos. BN=bokashi com inóculo nativo; BC=bokashi com inóculo comercial; F=farelos somente; FN=farelos com inóculo nativo; FP=farinha de penas. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de significância.	33
Figura 4. Porcentagem de nitrogênio solúvel em relação ao aporte de nitrogênio total no solo a partir da adição dos materiais orgânicos. BN=bokashi com inóculo nativo; BC=bokashi com inóculo comercial; F=farelos somente; FN=farelos com inóculo nativo; FC=farelos com inóculo comercial; FP=farinha de penas. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de significância.	36
Figura 5. Proporções de N-amônio e N-nitrato dentro do N-solúvel total no solo com relação ao aporte dos materiais orgânicos no FC (farelo com adição de inóculo comercial). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de significância.....	39
Figura 6. Proporções de N-amônio e N-nitrato dentro do N-solúvel total no solo com relação ao aporte dos materiais orgânicos no F (farelo de trigo, arroz e mamona). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de significância.....	39
Figura 7. Proporções de N-amônio e N-nitrato dentro do N-solúvel total no solo com relação ao aporte dos materiais orgânicos na FP (farinha de penas). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de significância.....	40
Figura 8. Proporções de N-amônio e N-nitrato dentro do N-solúvel total no solo com relação ao aporte dos materiais orgânicos no T (solo sem adição de material orgânico). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de significância.....	40
Figura 9. Proporções de N-amônio e N-nitrato dentro do N-solúvel total no solo com relação ao aporte dos materiais orgânicos no BC (bokashi com inóculo comercial). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de significância.....	40
Figura 10. Proporções de N-amônio e N-nitrato dentro do N-solúvel total no solo com relação ao aporte dos materiais orgânicos no BN (bokashi com inóculo nativo). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de significância.....	41
Figura 11. Proporções de N-amônio e N-nitrato dentro do N-solúvel total no solo com relação ao aporte dos materiais orgânicos no FN (farelo com inóculo nativo). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de significância.....	41
Figura 12. Porcentagem de P_2O_5 solúvel em ácido cítrico a 2% nos materiais orgânicos. BN=bokashi com inóculo nativo; BC=bokashi com inóculo comercial; F=farelos somente; FN=farelos com inóculo nativo. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de significância.	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Dados de fertilidade do solo experimental.....	23
Tabela 2. Teores de pH, carbono (C), nitrogênio (N), fósforo (P_2O_5), lignina, celulose e suas relações nos materiais orgânicos. BN=bokashi com inóculo nativo; BC=bokashi com inóculo comercial; F=farelos somente; FN=farelos com inóculo nativo; FP=farinha de penas.....	24
Tabela 3. Nitrogênio solúvel total (amônio mais nitrato) no solo a partir do aporte dos materiais orgânicos expressos em $mg\ kg^{-1}$ descontando-se a testemunha e testemunha relativa para o FC. BN=bokashi com inóculo nativo; BC=bokashi com inóculo comercial; F=farelos somente; FN=farelos com inóculo nativo; FC=farelos com inóculo comercial; FP=farinha de penas.	34
Tabela 4. Taxa de mineralização de nitrogênio no solo em relação ao aporte dos materiais orgânicos em porcentagem por dia descontando-se a testemunha e testemunha relativa para o FC. BN=bokashi com inóculo nativo; BC=bokashi com inóculo comercial; F=farelos somente; FN=farelos com inóculo nativo; FC=farelos com inóculo comercial; FP=farinha de penas; IN=imobilização de nitrogênio.	35
Tabela 5. Nitrogênio na forma de nitrato no solo a partir da adição dos materiais orgânicos. BN=bokashi com inóculo nativo; BC=bokashi com inóculo comercial; F=farelos somente; FN=farelos com inóculo nativo; FC=farelos com inóculo comercial; FP=farinha de penas; T=somente o solo.	38
Tabela 6. Respiração basal no solo expresso em $mg\ de\ C-CO_2\ kg^{-1}\ solo\ dia^{-1}$ a partir da adição dos materiais orgânicos. BN=bokashi com inóculo nativo; BC=bokashi com inóculo comercial; F=farelos somente; FN=farelos com inóculo nativo; FC=farelos com inóculo comercial; FP=farinha de penas; T=somente o solo; TC= somente o solo com aplicação do inóculo comercial.	42
Tabela 7. Carbono da biomassa microbiana no solo expresso em $mg\ de\ C\ kg^{-1}\ solo$ a partir da adição dos materiais orgânicos. BN=bokashi com inóculo nativo; BC=bokashi com inóculo comercial; F=farelos somente; FN=farelos com inóculo nativo; FC=farelos com inóculo comercial; FP=farinha de penas; T=somente o solo; TC= somente o solo com aplicação do inóculo comercial.	43
Tabela 8. Quociene metabólico (qCO_2) no solo expresso em $mg\ de\ mg\ de\ C-CO_2\ g^{-1}\ CBMS\ (carbono\ da\ biomassa\ microbiana)\ h^{-1}$ a partir da adição dos materiais orgânicos. BN=bokashi com inóculo nativo; BC=bokashi com inóculo comercial; F=farelos somente; FN=farelos com inóculo nativo; FC=farelos com inóculo comercial; FP=farinha de penas; T=somente o solo; TC= somente o solo com aplicação do inóculo comercial.	43
Tabela 9. Porcentagem de aumento de fósforo disponível (Mehlich-1) em relação à testemunha no solo equivalente a quantidade de P_2O_5 aplicado ($kg\ ha^{-1}$) expresso em $\% P\ (kg\ P_2O_5\ aplicado)^{-1}$ a partir da adição dos materiais orgânicos. BN=bokashi com inóculo nativo; BC=bokashi com inóculo comercial; F=farelos somente; FN=farelos com inóculo nativo; FC=farelos com inóculo comercial; FP=farinha de penas; T=somente o solo; TC= somente o solo com aplicação do inóculo comercial.	45
Tabela 10. Potencial hidrogeniônico do solo (pH em $CaCl_2$) a partir da adição dos materiais orgânicos. BN=bokashi com inóculo nativo; BC=bokashi com inóculo comercial; F=farelos somente; FN=farelos com inóculo nativo; FC=farelos com inóculo comercial; FP=farinha de penas; T=somente o solo; TC= somente o solo com aplicação do inóculo comercial.	46
Tabela 11. Porcentagem de carbono (C) e nitrogênio (N) totais e relação carbono:nitrogênio (C:N) no solo após 84 dias de incubação após a adição dos materiais orgânicos. BN=bokashi com inóculo nativo; BC=bokashi com inóculo comercial; F=farelos somente; FN=farelos com inóculo nativo; FC=farelos com inóculo comercial; FP=farinha de penas; T=somente o solo; TC=somente o solo com aplicação do inóculo comercial.	47

1. INTRODUÇÃO

A sustentabilidade econômica, ambiental e social dos sistemas de produção agrícola tem sido assunto de destaque no mundo todo. A busca pelo sistema de produção ideal, no qual os insumos são reduzidos e os resíduos são aproveitados, tem sido foco de pesquisas, tanto na produção agrícola familiar, como em grande escala. Cerca de 75% dos fertilizantes minerais usados em solo brasileiro são importados, e esse cenário, longe da sustentabilidade ideal, está piorando devido ao aumento do consumo desses insumos, influenciando os preços agrícolas pelas flutuações do dólar. Com isso, a busca pela autonomia do agricultor, assim como a menor dependência de insumos externos é de grande relevância para o mesmo, pois isso irá se refletir diretamente também na lucratividade com o produto final.

A agricultura orgânica é um sistema de produção agrícola que vem ganhando espaço no mundo todo pelo aumento na demanda por alimentos livres de contaminantes e que respeita o meio ambiente. Para a produção dentro desse sistema, existem regras que precisam ser seguidas a risca, e estas são auditoradas por fiscais especializados para que exista a garantia de que os produtos estão de acordo com as normas. Para isso foi desenvolvida a instrução normativa nº46 referente à lei 10.831 dos orgânicos do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Os alimentos produzidos nesse sistema, segundo a instrução normativa, não podem receber aplicação de agrotóxicos ou de fertilizantes minerais sintéticos. Nesse caso, o uso de fertilizantes orgânicos, compostos e resíduos passa a ser alternativa para a lavoura orgânica.

No caso do adubo orgânico, se o agricultor também for pecuarista, pode aproveitar os dejetos e resíduos animais, como esterco, restos e animais mortos, como fertilizante para sua lavoura, o que diminui os custos de produção, além de ser uma boa alternativa para destinação de resíduos. No entanto, existem diversos estudos que apontam que o uso excessivo, ou ao longo de muitos anos, de fertilizantes (minerais ou orgânicos), levam a quadros de poluição. O nitrogênio (N) em excesso no sistema pode se perder na forma de nitrato, contaminando o lençol freático ou cursos de água, quando o solo tem boa drenagem. O fósforo (P) também pode ser perdido, principalmente na forma orgânica, quando em excesso, via erosão, e assim causar a eutrofização de lagos e rios, o que acaba com o ecossistema aquático, além de ter potencial de causar a morte de animais de criação que bebem dessa água. No Brasil ainda são raras essas situações, mas futuramente elas podem acontecer, principalmente em áreas de produção de olerícolas, onde ocorre adubação orgânica com frequência. Além disso, este nutriente quando em excesso no solo, inibe atividade de microrganismos de importante função ecológica nos serviços ecossistêmicos, como é o caso dos fungos micorrízicos arbusculares, além de desequilibrar o solo ionicamente, prejudicando na absorção de outros nutrientes pela planta. Diferentemente dos adubos minerais, os orgânicos não podem ser formulados a partir da necessidade de cada solo. Os adubos minerais podem conter, por exemplo, a fórmula NPK adequada para determinada situação de manejo. Mesmo o agricultor tendo que pagar mais por uma situação desse tipo, este ainda usualmente tem como leque de opções várias formulações comerciais que podem ser usadas para necessidade de cada planta. Estas tem garantias e são padronizadas. Os adubos orgânicos no Brasil, na maioria das situações, não tem uma padronização dos lotes, necessitando que o agricultor ou o fornecedor (no caso de compra de insumo externo) tenha que fazer análises regularmente para aferir as quantidades de nutrientes dos mesmos, o que deixa o processo mais oneroso e com menor confiabilidade. Mesmo as fórmulas padronizadas nacionais, costumam ter como fonte a cama de frango, variando de quantidade de NPK de 3-3-3 ou 3-4-3 em média. Assim sendo, como para a maioria das culturas a exigência em kg de N por hectare costuma ser maior que a de P, na tentativa de suprir mais nitrogênio, acaba acontecendo uma dosagem de fósforo no sistema muitas vezes maior que a necessidade das plantas, o que pode ocasionar no futuro desequilíbrios no ecossistema como os já mencionados. Como alternativa a esses insumos, existe um adubo orgânico ainda pouco explorado no Brasil, porém já

comercializado por várias empresas nos Estados Unidos na agricultura orgânica, que é a farinha de penas. A farinha de penas pode servir de fonte de nitrogênio em situações de baixa demanda de fósforo, sendo uma potencial alternativa então para os produtores orgânicos.

As culturas agrícolas têm entre si características diferentes quanto à necessidade de nutrientes. Todas precisam dos nutrientes para completar seu ciclo de vida, porém em quantidades e estádios fenológicos distintos. Os adubos orgânicos tem em sua composição grande diversidade de nutrientes, podendo ser caracterizado como uma fonte de nutrientes mais completa para as plantas, quando comparado com formulações sintéticas NPK comerciais, as quais não tem tanta diversidade, porém maior concentração dos macronutrientes principais. Porém, para fornecimento de N e P orgânico às plantas, é preciso que ocorra o processo de mineralização.

Entre os fatores que afetam a mineralização está a ação de microrganismos, que atuam diretamente na decomposição. O composto fermentado bokashi é um adubo orgânico que leva em consideração a compostagem com fermentação controlada e inóculo microbiológico a fim de selecionar microrganismos considerados benéficos para a lavoura. Esta é uma técnica japonesa trazida para o Brasil na década de 80 pela Fundação Mokiti Okada, mas também se difundiu pelos agricultores, tendo hoje em dia grande diversidade de variações de materiais orgânicos e inóculos utilizados. Muitos agricultores coletam seu próprio inóculo microbiológico em áreas de florestas nativas, porém outros podem comprar o mesmo de algumas empresas que o comercializam, tendo alguns produtos no mercado, sendo derivados do EM (microrganismos eficazes). O EM trata-se de um conjunto de microrganismos selecionados e multiplicados em laboratório que são considerados benéficos para o crescimento das plantas.

Apesar de existirem trabalhos avaliando diferentes tipos de bokashi e EM, poucos autores avaliaram a diferença de inóculos no produto final. O inóculo de microrganismos nativos pode ter um efeito diferenciado ao dos EM comerciais, por ser constituído de diferentes grupos microbiológicos, além de ser amplamente utilizado por agricultores familiares. Além disso, há escassos relatos na literatura científica do efeito da mineralização de nitrogênio e no aumento da disponibilidade de fósforo por meio da aplicação desses diferentes inóculos ou dos bokashis a partir dos mesmos.

1.1. Objetivo

O presente estudo teve por objetivo avaliar o efeito dos inóculos microbianos comercial e nativo, assim como da farinha de penas, na disponibilização de N e P, e sua interferência na nitrificação no solo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Bokashi

“Bokashi”, palavra de origem japonesa, significa “matéria orgânica fermentada”, porque é produzido a partir da fermentação predominantemente láctica de matéria orgânica balanceada, com o uso de inóculos microbiológicos como fermentadores (Siqueira e Siqueira, 2013). Esse processo foi desenvolvido na década de 80 por Teruo Higa, na Universidade de Ryukyus (Okinawa, Japão), e através da Fundação Mokiti Okada popularizou-se no Brasil, onde é muito utilizado (Homma, 2005). Já Fornari (2002) descreve o bokashi como definição japonesa para todo composto de origem orgânica e relata que este é fermentado em um conjunto de mais de 10 gêneros e 90 espécies de diferentes microrganismos, que vivem no solo naturalmente fértil, entre eles leveduras, actinomicetos e bactérias lácticas. O bokashi pode ser feito em sua forma aeróbica ou anaeróbica (Rodrigues et al., 2009; Siqueira e Siqueira, 2013). Além disso, na literatura encontram-se diferentes formas em que a compostagem e a fermentação foram realizadas, podendo variar o tempo de preparo, de 7 até 60 dias (Magrini, 2011; Scotton et al. 2017; Siqueira e Siqueira, 2013)

O bokashi é composto basicamente por farelos e tortas vegetais, podendo ser enriquecido com farinhas animais e minerais, desde que não interfira na fermentação, que é do tipo ácida. Entretanto, ele deve ser feito com matérias-primas fáceis de encontrar em cada região, o que acaba barateando o seu custo. Por isso, é difícil de padronizar o bokashi como um produto, mas sim, como um processo (Siqueira e Siqueira, 2013). Durante sua fermentação, ocorre a transformação de moléculas orgânicas complexas em compostos orgânicos simples que muitas vezes podem ser absorvidos diretamente pelas plantas e assim auxiliar no desenvolvimento vegetal. Entre eles estão os ácidos orgânicos, vitaminas, enzimas, aminoácidos e polissacarídeos (Higa e Parr, 1994; Higa e Wididana, 1991). Com isso, é obtido um fertilizante orgânico fonte de N, P e K, além de um possível bioestimulante de solos agrícolas (Penteado, 2003; Homma, 2005). Nesse sentido, o Dr. Teruo Higa foi o pioneiro no avanço do conceito de microrganismos efetivos, conhecido também como EM, que é uma mistura de microrganismos benéficos aplicados ao solo, e obteve resultados favoráveis à melhoria da qualidade do solo, crescimento e produtividade das culturas (Higa e Parr, 1994). Este é composto de uma mistura de microrganismos que possuem diferentes funções ecológicas e que se complementam, como por exemplo bactérias produtoras de ácido láctico, leveduras, actinomicetos, fungos filamentosos e bactérias fotossintéticas (Fundação Mokiti Okada, 2002). A adaptação do EM para o bokashi visa o estabelecimento desses em um substrato que possa ser armazenado, aplicado e incorporado ao solo de forma mais uniforme. Trani et al. (2013) também descreveram o bokashi como composto ativado com microrganismos úteis que aceleram o processo de compostagem.

Ao aplicar o bokashi, ou o EM, busca-se a bioestimulação e bioaumentação do solo, o que resultaria em maior produção da planta, aumentando a supressividade do solo por meio da introdução de microbiota mais diversa, mas também estimulando microrganismos benéficos como os promotores de crescimento, diazotróficos, entre outros. Além disso, por ser constituído de material orgânico, o bokashi é fonte de nutrientes e carbono. Tradicionalmente tem cerca de 3% de N, 1% de P_2O_5 e 1% de K_2O e sua relação C:N é cerca de 12:1 (Homma, 2005). A ação mais importante do bokashi é introduzir microrganismos benéficos no solo, desencadeando um processo de fermentação na biomassa disponível, o que proporciona rapidamente condições favoráveis à

multiplicação e atuação da microbiota benéfica existente no solo, como fungos, bactérias, actinomicetos, micorrizas e fixadores de nitrogênio (Siqueira e Siqueira, 2013).

O inóculo utilizado no bokashi pode ser proveniente de solos de mata, como também misturado a solos de cultivo agrícola. Normalmente buscam-se áreas de mata próxima da área de cultivo para realizar a coleta do solo, as quais muitas vezes pertencem a áreas de reserva legal ou de preservação permanente (Scotton et al., 2017). Outra opção é o uso de inóculos comerciais, nos quais os grupos de microrganismos são selecionados e desenvolvidos em laboratório de acordo com o fim que se deseja, como o EM, ou até o uso de fermentos comerciais utilizados para fins alimentícios (Rodrigues et al. 2009; Trani et al. 2013). O EM foi trabalhado e melhorado para diferentes fins. Hoje existe o fertilizante FertBokashi® comercializado pela empresa Korin Agropecuária Ltda que foi desenvolvido pelo Centro de Pesquisa Mokiti Okada, tendo como base o EM, porém para fins de promover o equilíbrio biológico do solo, a formação de agregados, e maior disponibilização de nutrientes a partir da fermentação da matéria orgânica disponibilizada (Korin, 2017). O EM também foi melhorado para fins de biorremediação (Pushpa et al., 2015; Singh et al., 2014) e como acelerador de compostagem (Singh e Nain, 2014), gerando os produtos da linha Embiotic® comercializados pela Korin Meio Ambiente (Siqueira e Siqueira, 2013; KMA, 2017).

Segundo Siqueira e Siqueira (2013), embora as matérias-primas para a produção do bokashi possam ter alto custo por quilograma, ele geralmente é aplicado em baixas dosagens, na ordem de 2 a 3 toneladas por hectare, o que corresponde de 200 a 300 gramas por m². Os autores destacam que sua atuação não é somente na nutrição direta da planta e sim indireta, através do incentivo à vida do solo que promove a ciclagem de nutrientes e sua liberação para a nutrição das plantas, e que nessas dosagens, aliada ao manejo da biomassa produzida no próprio local, a técnica do bokashi torna-se altamente sustentável e economicamente viável. No entanto outros autores encontraram que o aumento de respostas produtivas do mesmo ocorreu em doses de até 10 toneladas por hectare no cultivo de brócolis (Ferreira et al., 2012; Ferreira, et al., 2013) e até 20 toneladas por hectare no cultivo de milho (Yuliana et al., 2015).

Talvez pela grande diversidade nas formas de preparo, aplicação e dosagens do bokashi, os resultados também são contraditórios. Fernandes et al. (2011) concluíram que o fertilizante orgânico Fert-Bokashi® não exerceu efeito significativo sobre a sobrevivência e o crescimento em mudas de *Eucalyptus urophylla*. Enquanto que Pereira et al. (2016) verificaram bons resultados do mesmo produto aplicado em *Brachiaria brizantha* após o 3º corte e três aplicações. Ouvires et al. (2010) avaliando a mesma cultura perceberam melhoras quando usaram o bokashi com inóculo de EM, verificando mesmos níveis produtivos de área com adubação química. Suthamathy e Seran (2013) observaram efeitos positivos da aplicação do bokashi com inóculo do EM em tubérculos de rabanete em solo arenoso. Motta (2013) concluiu em seu experimento que o bokashi na dose de 20 g em vasos de 4 litros favorece o crescimento das plantas de cebolinha e do coentro, além de elevar o teor de nitrogênio, fósforo, carbono da biomassa microbiana e carbono total no solo. Porém observou uma redução da colonização micorrízica radicular e a quantidade de seus esporos no solo. Couto (2011) mensurou que o EM associado à gramínea triturada estimulou o crescimento radicular e a atividade microbiana no feijoeiro. Além disso observou que o uso da gramínea triturada foi mais eficiente que o esterco bovino, no estímulo à microbiota do solo. Ele concluiu que a associação do inóculo microbiano com a gramínea favoreceu o aumento nos teores de P, cálcio (Ca) e magnésio (Mg) das folhas, hastes e raiz do feijoeiro, porém teve pouca influência na absorção de nitrogênio e potássio. Boechat et al. (2013) concluíram, em experimento de incubação com diferentes materiais e adição de EM, que a mineralização do nitrogênio dos materiais, quando submetidos ao processo pelo qual passa o bokashi, ocorria de forma mais rápida. O que foi observado também em outros trabalhos em situações distintas (Bautista-Cruz et al., 2014; Sharma et al., 2014). Formowitz et al. (2007), entretanto, demonstraram que o uso do EM nas pilhas de compostagem apenas alteraram a

temperatura. E perceberam que os microrganismos inoculados não foram encontrados no final do processo, havendo predomínio de fungos apenas, e afirmaram que os resultados produtivos foram atrelados aos benefícios dos farelos do composto, sem resultado da adição do EM.

As situações nas quais existe maior evidência dos efeitos do EM ou do bokashi, ocorrem principalmente em áreas em que as plantas estão passando por algum tipo de estresse. Como por exemplo, alguns autores descreveram o aumento da tolerância de cultivos agrícolas ao estresse salino mediante à aplicação de EM (Salama et al., 2014; Talaat, 2015; Talaat et al., 2015). Solos em bom estado de ciclagem de nutrientes e carbono, tendem a não ter muita influência dos microrganismos benéficos, pois já os próprios organismos nativos estão cumprindo com suas respectivas funções ecológicas. Dessa forma, Higa e Parr (1994) destacam que o aumento dos microrganismos benéficos acontece também com a adição de material orgânico ao solo. Em modelos agrícolas de grande adição desse material como os agroecológicos, esses microrganismos já estão presentes e podem auxiliar da mesma forma, porém isto é possível em áreas de pequenos agricultores familiares, o que abrange somente parte das áreas agricultáveis. Dessa mesma forma, Mayer et al. (2010) encontraram pouco ou nenhum efeito do EM ou bokashi em experimento de quatro anos de duração em solo arenoso sob manejo orgânico com rotação de culturas, em clima temperado. Além disso, Higa e Parr (1994) complementam que o EM não é substituto para outras práticas de manejo, mas uma prática para melhorar a eficiência de boas práticas agrícolas recomendadas (por exemplo a rotação de culturas e a adubação verde). Esses autores ainda defendem a ideia de que o EM é mais adequado do que o isolamento e reaplicação dos microrganismos do próprio solo. Já Kumar e Gopal (2015) exploram em uma revisão mais recente os diversos benefícios que uma inoculação com microrganismos nativos pode trazer, mostrando o potencial desses em superar as inoculações comerciais, por ter maior grau de aproximação e identificação com a microbiota nativa da área em que esta será inserida. Seja com inóculo nativo ou com inóculo comercial, o bokashi precisa ser visto como uma ferramenta complementar para melhorar a saúde do solo, que pode estar associado com práticas agrícolas como a rotação de culturas, uso de compostos orgânicos, plantio direto, reciclagem de resíduos da cultura, e controle biológico de pragas para garantir boas produtividades (Higa e Wididana, 1991).

2.2. Farinha de penas

Altos teores de N em sua composição, aliado a um custo baixo, tornam as penas de galinhas interessantes fontes de fertilizante para a agricultura (Reddy, 2015). Hadas e Kautsky (1994) concluíram em experimento de incubação que a farinha de penas é uma boa fonte de N disponível quando aplicada no solo, o que a torna importante ferramenta para a agricultura orgânica, esta que é baseada na decomposição de materiais orgânicos para suprir nutrientes. As farinhas de penas algumas vezes são demandadas também para a alimentação animal. As penas contêm cerca de 90% de proteína, porém a maior parte é composta por queratina insolúvel que é estabilizada por ligações dissulfureto (Reddy, 2015). Quando processadas por vapor pressurizado, essas ligações são destruídas em parte, assim resultando em um produto mais digestível pelas enzimas proteolíticas no trato digestivo animal (Bielorai et al., 1982). Mesmo assim, a farinha de penas comercial, é considerada relativamente pobre como fonte de proteína para nutrição animal, pelo lento grau de digestibilidade do material. Por outro lado, no solo, onde este resíduo não está exposto a degradação por tempo determinado, o aproveitamento do material pode ser mais vantajoso. Além disso, a grande diversidade microbiana do solo pode ter uma maior capacidade de decomposição do material que o trato digestivo de um animal (Hadas e Kautsky, 1994).

Ao contrário de outros materiais orgânicos, a mineralização da farinha de penas é muito lenta, e isso acaba inviabilizando seu uso sem tratamento como fonte de N. Essa mineralização do N-orgânico no solo se refere à decomposição de proteínas, aminoácidos, e ácidos nucleicos por microrganismos e assim a disponibilização de amônio solúvel para as plantas (Novais et al., 2007). A mineralização lenta do nitrogênio das penas indica que os microrganismos do solo não podem quebrar prontamente a estrutura da queratina. Assim sendo, se a estrutura da queratina é modificada pela quebra de ligações específicas, a mineralização tende a aumentar. A pena ficaria mais susceptível assim à quebra por microrganismos por prover maior área com barreiras físicas reduzidas (Choi e Nelson, 1996). Esta quebra pode ocorrer por várias vias, sendo a hidrólise a vapor, como já mencionado, uma delas (McCasland e Richardson, 1967; Morris e Balloun, 1973), ou por ataque enzimático microbiano, podendo ocorrer por ação de *Bacillus licheniformis* (Williamns et al., 1990), de *Streptomyces fradiae* (Elmayergi e Smith, 1971) ou de *Bacillus subtilis* (Jeong et al., 2010). Ambas as formas foram testadas por Choi e Nelson (1996), e estes autores concluíram que a hidrólise a vapor das penas resultou em um aumento de quatro vezes mais N mineralizado, e de liberação bem rápida, sendo quase totalmente mineralizado em apenas cinco semanas. Com o uso do *B. licheniformis* as características de liberação lenta de N foram mantidas, apesar de aceleradas, havendo um incremento na mineralização ainda entre a oitava e a décima primeira semana de incubação. A aplicação de diferentes concentrações de formaldeído também tem potencial de retardar o efeito da hidrólise a vapor, aumentando a mineralização do N, garantindo que esta seja de forma gradual, porém os autores não encontraram efeito nesse trabalho variando sua concentração de 0,005 a 10%. Todavia, demonstraram que este tratamento pode fazer variar o teor do N total de 15,3 % (hidrolisado apenas) até 11,5% (adição de 10% de formaldeído) e variando com a quantidade de formaldeído adicionado. Mais recentemente, More et al. (2017) demonstraram como o método por micro-ondas pode aumentar a disponibilidade de N também na farinha de penas, assim como de outros nutrientes em outros fertilizantes orgânicos.

No Brasil o potencial desse fertilizante ainda é pouco explorado, enquanto que em outros países, como os Estados Unidos este é amplamente comercializado, tendo também a forma peletizada que pode ser aplicada em cobertura durante a safra (Johnson et al., 2012; Vann et al. 2017a). O seu uso na agricultura vem sendo atualmente testado em trabalhos científicos. Diaz-Perez e Jenkins (2017) demonstraram formas de aproveitar esse fertilizante em substratos de mudas de tomateiro, descrevendo doses e tempo de aplicação antes do plantio das sementes. Vann et al. (2017a) demonstraram efeitos positivos da aplicação de dois tipos de farinha de penas comerciais em produção de tabaco orgânico. Vann et al. (2017b) verificaram que a farinha de penas pode ser aplicada em subsuperfície com bons resultados produtivos na produção de milho. Kumar et al. (2017) estudaram a aplicação de microrganismos degradadores de queratina na farinha de penas e demonstrou resultados positivos no uso para melhorar a germinação de ervilha e arroz em sistemas orgânicos de produção.

Entretanto, é preciso ter cautela no uso deste fertilizante. As empresas recomendam limites de doses para as culturas, variando em torno de 500 a 600 kg ha⁻¹, do qual, caso não respeitado, o produto pode causar fitotoxidez nas plantas. A alta taxa de mineralização desse material hidrolisado pode fornecer uma alta dose de amônio ao solo, levando tempo para que a nitrificação desse material aconteça (o que depende de fatores como textura e drenagem do solo). Assim, o excesso de amônio pode levar a níveis de toxidez para as plantas (Bittsánszky et al., 2015; Cruz et al., 2006). De qualquer forma, o uso da farinha de penas passa a ser uma ferramenta interessante para o manejo de produção orgânica, principalmente pela escassez de outras fontes de alta concentração de N. Esta pode ser usada também em combinação com outras práticas, como por exemplo a adubação verde, o que pode aumentar ainda seu potencial (Jonhson et al., 2012). Além disso, é um melhor substituto para o esterco de galinha (aproximadamente 3% de N e 3% de P₂O₅), que normalmente é usado como fonte de N, aumentando gradualmente o teor de fósforo,

que ao se acumular no sistema, pode levar a quadros de desbalanço nutricional e de poluição ambiental (Novais et al., 2007; Huang et al., 2017).

2.3. Mineralização do nitrogênio orgânico do solo e nitrificação

O N é um dos elementos de maior importância para a vida biológica na Terra e está presente na litosfera, atmosfera, hidrosfera e biosfera. A litosfera é o maior estoque de N natural. Segundo alguns autores este estoque pode significar 87,8% ou até 98% de todo o N existente na Terra. Por outro lado, o intemperismo mineral não representa uma importante fonte de N para a biosfera e, portanto, essas rochas contribuem muito pouco para a ciclagem de N. Existe também, logo acima da litosfera e abaixo da atmosfera, a camada conhecida como pedosfera. Nesta se desenvolve a maior parte dos componentes da biosfera, como as vegetações naturais, plantas cultivadas e uma ativa população de microrganismos, minhocas, pequenos insetos, os quais tem importante efeitos sobre as características químicas e físicas do solo, assim como no crescimento de raízes. E é nesse meio em que ocorrem diversas transformações e processos de transporte, o que inclui os processos ligados ao N (Li et al., 2014).

A deficiência de N no solo é um dos maiores limitantes de produção em todo o mundo. Existem diferentes formas de N no solo, inorgânicas e orgânicas. O amônio e o nitrato são as formas inorgânicas de N disponível para absorção direta pelas plantas. O nitrato é facilmente perdido por lixiviação e desnitrificação, e o amônio quando transformado em amônia, por volatilização. Dessa forma nenhum dos dois é estável no solo. O N mineral pode ser adicionado ao sistema por meio de fertilizantes, criação e pastejo, fixação biológica, assim como por meio de deposição úmida e seca pela atmosfera (Marschner, 2012; Raij, 2011).

Em contraste ao N mineral, o N-orgânico, em sua maior parte, existe na matéria orgânica do solo (MOS) e constitui forma predominante do N do solo. Mais de 90% do N na superfície da maioria dos solos é organicamente complexado (Stevenson, 1982). Sua mineralização produz N disponível para plantas e microrganismos, adicionando o mesmo ao sistema produtivo (Leinweber et al., 2013). Essa mineralização ocorre, por exemplo, em N-orgânico de proteínas, por meio da atividade de enzimas proteolíticas, mediadas por microrganismos heterotróficos do solo, que utilizam os compostos orgânicos como fonte de energia (Cantarella, 2007; Näsholm et al., 2009). Porém, o N-orgânico não necessariamente se mineraliza em N disponível, como também pode se transformar em componentes orgânicos que podem ser absorvidos pelas plantas, como por exemplo em plantas colonizadas por micorrizas, as quais tem facilidade para realizar a absorção desse tipo de N (Li et al., 2014; Schimal e Bennett, 2004; Hodge e Storer, 2014).

Outro importante processo que ocorre concomitantemente com a mineralização é a imobilização do N. Esta é definida como a transformação do N inorgânico em orgânico. Os responsáveis são os microrganismos que incorporam o N inorgânico disponível no solo às suas células. Ao morrerem, o N assimilado pode voltar a ser mineralizado ou ser incorporado às células de outros microrganismos e seguir o caminho da síntese de compostos nitrogenados mais complexos, que gradualmente, formam a MOS (Cantarella, 2007). Um dos fatores que interferem diretamente na mineralização e imobilização é a relação carbono:nitrogênio (C:N) do material orgânico adicionado ao solo. Se esta for alta (acima de 30), é mais provável que haja imobilização do N liberado do solo para satisfazer os microrganismos que vão decompor o material, enquanto se esta for baixa (abaixo de 20), é mais provável que não exista imobilização, e que o material sofra mineralização liberando N inorgânico no sistema solo (Moreira e Siqueira, 2006). No entanto, outros aspectos precisam ser levados em consideração, como as características bioquímicas do material. Um aspecto que normalmente interfere no grau de mineralização (mais rápido ou mais lento) é a relação celulose:lignina. A lignina, por ser

uma molécula orgânica de mais difícil decomposição pela sua complexidade, que a celulose por exemplo. Dessa forma, se determinado material tem mais lignina, terá uma relação celulose:lignina mais baixa, provavelmente terá uma mineralização mais lenta, assim como teor de nitrogênio potencialmente mineralizável menor (Agehara e Warncke, 2005).

Para estudos de mineralização de N-orgânico é necessário isolar os materiais em condição controlada de temperatura, umidade e no escuro, para que os microrganismos decompositores possam oxidar a MOS com todo seu potencial, simulando uma situação de solo, e assim medir o teor liberado de N-NH_4^+ e N-NO_3^- na solução do solo de forma sequencial, dando preferência para intervalos de medições nas primeiras semanas, quando a mineralização costuma ser mais intensa, conforme demonstrado por Agehara e Warncke (2005). Estes mesmos autores determinaram que em umidades acima de aproximadamente 70% da capacidade de campo do solo, não existem grandes alterações na mineralização de compostos orgânicos. Além disso, destacaram que um aumento de 10°C de temperatura pode até triplicar a mineralização em alguns casos. Já Moreira e Siqueira (2002) citaram que a maior atividade biológica ocorre com umidade em torno de 50 a 70% da capacidade de campo do solo e com temperatura entre 40 e 60°C. Mesmo assim, varia na literatura as condições em que os trabalhos são feitos. Boechat et al. (2013) trabalharam com mineralização de material orgânico em temperaturas e umidade em torno de 25°C e 70% da capacidade de campo respectivamente. Já Jonhson et al. (2012) trabalharam com temperatura de 25°C, porém com umidade de 50% da capacidade de campo do solo. Hadas e Kautsky (1994) incubaram os materiais orgânicos a 30°C e umidade de 60% da capacidade de campo. Essas diferenças, principalmente de temperatura, podem trazer maiores diferenças entre comparações de trabalhos científicos da literatura, principalmente quando se trata da temperatura (Agehara e Warncke, 2005). No entanto, graças à variedade de organismos envolvidos, as reações de mineralização ocorrem em grande amplitude de condições de temperatura e umidade (Cantarella, 2009). Vale destacar, que em situações extremas, como solos próximos do ponto de saturação, a tendência é de que a mineralização diminua. Em solos saturados, continua ocorrendo a mineralização por meio de microrganismos aeróbios facultativos ou pela microflora anaeróbia. Porém, nessas situações as taxas de mineralização são bem mais baixas e o rendimento energético é menor (Cantarella, 2007). No entanto, é interessante observar que Tete et al. (2015) verificaram que o grau de mineralização de N em solo com alagamento transitório foi metade de solo totalmente alagado ou na capacidade de campo, destacando uma terceira situação possível.

Pela alta complexidade de moléculas que compõe os materiais orgânicos, boa parte dessas pode ser degradada mais facilmente pelos microrganismos, enquanto outras não. Dessa forma, é estabelecido que uma média de 50% do N total dos materiais é potencialmente mineralizável. No entanto, mesmo assim, destes 50%, dificilmente 100% é mineralizado. Testes nas condições ideais já citadas mostram, por exemplo, que a farinha de sangue pode chegar em até 61% de mineralização do potencialmente mineralizável, enquanto adubo a base de peletes de alfafa chegam a 52% e o esterco de galinha a 45%, após 84 dias de incubação (Agehara e Warncke, 2005). Hadas e Kautsky (1994) verificaram que a farinha de penas pode chegar até valores acima de 70% após 56 dias de incubação, quando passadas por hidrólise a vapor. E Boechat et al. (2013) observaram valores próximos de 60% para resíduo petroquímico e lodo de esgoto tratado em 70 dias de incubação, porém reduzidos para 10 dias quando esses tiveram fermentação controlada prévia via processo de bokashi. A mineralização pode ocorrer não somente dos compostos adicionados, como também pode ser induzida pela aplicação do material para maior mineralização da matéria orgânica já presente no solo. Esse efeito é conhecido como efeito “priming” ou efeito de N adicionado. O aporte de nutriente estimula a flora microbiana a atacar a MOS de modo que o N mineral produzido exceda aquele que seria liberado sem a adição desses insumos (Cantarella et al., 2007). Porém, como o N-orgânico adicionado não é totalmente mineralizado dentro do intervalo observado em testes de incubação, fica difícil observar ou mensurar esse efeito, principalmente a curto prazo.

Após a mineralização do N-orgânico em amônio, este último fica susceptível a passar por outra transformação no solo, a conhecida como nitrificação, ou oxidação do N amoniacal a nitrato. Esta é realizada no solo por bactérias quimioautotróficas que obtêm energia no processo e que podem sintetizar todos os seus constituintes celulares a partir do CO_2 . Geralmente o N amoniacal no solo é rapidamente absorvido por microrganismos e incorporado à biomassa microbiana se houver carbono disponível. Havendo limitação de carbono, o amônio é consumido pelos nitrificadores e rapidamente oxidado a nitrito e, posteriormente, a nitrato, de modo que este último predomine nos solos em condições aeróbicas. Os fatores que influenciam esse processo são: pH do solo, C oxidável, temperaturas extremas, umidade ou qualquer fator que influenciar a aeração do solo. O N na forma de nitrato pode ser perdido por lixiviação com o advento das chuvas, no entanto essa forma é absorvida pelas plantas, de forma preferencial para muitas culturas, enquanto para outras tem forte papel no equilíbrio com o amônio para aumento de seus parâmetros produtivos (Cantarella, 2007; Hachiya e Sakakibara, 2017; Zhang et al., 2016).

2.4. Fósforo orgânico do solo

O P existe no solo em várias formas químicas, podendo estas ser classificadas como orgânicas e inorgânicas. Essas diferem em seu comportamento e destino no solo. O P-inorgânico representa de 35% a 70% do P total no solo. O P-orgânico também representa semelhante fração podendo representar de 30% a 65% do P-total (Harrison, 1987). O P-orgânico existe na maior parte como fosfatos de inositol e fosfonatos, que são formas mais estáveis, assim como diésteres de ortofosfatos, monoésteres de ortofosfatos lábeis e polifosfatos orgânicos. O P-orgânico pode ser disponibilizado por processos de mineralização mediados por microrganismos do solo e raízes de plantas, por secreções de fosfatases. Esses processos são altamente influenciados pela umidade do solo, temperatura, propriedades físico-químicas de superfície das partículas do solo, pH do solo e potencial redox (Shen et al., 2011).

Quando mineralizado o P-orgânico torna-se P-inorgânico e assim fica propenso a sofrer com a mesma dinâmica deste no solo. As formas de P solúveis para a absorção das plantas em maior quantidade são H_2PO_4^- ou HPO_4^{2-} . Quando na forma inorgânica o P, apesar de ânion, tem uma dinâmica muito particular no solo. Diferentemente de outros ânions, como o sulfato e o nitrato, o P tende a não lixiviar por ficar adsorvido à capacidade de troca de cátions do solo. O P-solúvel tem alta propensão à rápida adsorção no solo assim que este torna-se disponível. Este processo é muito influenciado pela textura do solo, ou seja, em solos mais argilosos, maiores quantidades de P são necessários para ocupar os sítios de adsorção, para que uma quantidade fique na forma lábil, trocando com a solução do solo, e assim permitir a absorção pelas plantas. Além disso, nos solos tropicais brasileiros, grande parte é constituído por oxidróxidos de ferro e alumínio, os quais tem grande afinidade com a adsorção do P. Outra questão que afeta muito a disponibilidade do P é a acidez do solo. Em condições ácidas ocorre a precipitação do P com ferro e alumínio trocáveis em formas insolúveis, e assim menos disponíveis para as plantas. O mesmo ocorre em ambiente alcalino quando o P pode precipitar com o Ca trocável (Novais et al., 2007).

A aplicação de materiais orgânicos em solos ricos em P tendem a levar à mineralização do nutriente, da mesma forma que materiais orgânicos pobres em P podem levar à sua imobilização pela biomassa microbiana. Segundo Iyamemye e Dick (1996), relação C:P (carbono:fósforo) menor que 100 leva à mineralização do P-orgânico, enquanto que maior que 300 leva à imobilização de formas minerais do P pelos microrganismos. Assim sendo, materiais orgânicos podem ser mineralizados desde que estes tenham alto teor de P em sua composição, ou desde que seja aplicado P para auxiliar no processo de decomposição desse material. A disponibilidade de P de resíduos culturais pode ser

significativamente reduzida em sistemas onde o teor de P dos materiais orgânicos e do solo é baixo (Damon et al., 2014). Por exemplo, o esterco pode ser aplicado também para aumentar a fertilidade por P. O teor total de P do esterco varia muito, mas cerca de 70% do total de seu P é considerado lábil. Além disso, a adsorção do P às partículas do solo podem ser muito reduzidas pela aplicação de substâncias orgânicas. Os ácidos húmicos contêm grande número de cargas negativas, e grupos carboxílicos e hidroxil, que competem fortemente pelos sítios de adsorção com o P-inorgânico, deixando-o mais disponível para as plantas (Shen et al., 2011). Outra contribuição significativa no processo de mineralização do P acontece por parte dos microrganismos solubilizadores de fosfato (MSF), os quais podem ser bactérias ou fungos. Estes podem mobilizar o P pela acidificação do solo, disponibilização de enzimas (como as fosfatases e fitases), ou a produção de carboxilatos tais como gluconato, citrato e oxalato (Sharma et al., 2011; Jones and Oburger, 2011). Os microrganismos solubilizadores de fosfato podem ser vistos como uma alternativa ao fertilizante químico, com menores impactos ambientais, tendo um bom custo-benefício também, podendo ser associados com biofertilizantes (Satyaprakash et al., 2017) como é o caso do EM e do bokashi.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização do experimento: produção dos bokashis e processo industrial da farinha de penas

A compostagem do material durante a confecção dos bokashis foi realizada em galpão coberto e ventilado do Centro de Pesquisa Mokiti Okada (CPMO) em Ipeúna-SP. Para aplicação no ensaio, foram confeccionados dois tipos de composto fermentado bokashi, sendo ambos de mesma composição de farelos, porém com inóculos diferentes (um nativo e outro comercial). O inóculo nativo foi coletado em área de mata dentro de área de preservação permanente (APP) da fazenda onde se localiza o CPMO, de acordo com metodologia descrita por Scotton et al. (2017). De forma aleatória foram coletados 300 g de serapilheira, 300 g de solo de zona de transição (esta caracterizada por área com serapilheira mais decomposta misturada ao solo), e 300 g de solo de até 10 cm de profundidade. Foi coletado também 600 g de solo de área de cultivo de milho próxima de forma aleatória, fazendo uma composta de três amostras de 0 a 10 cm de profundidade. Até o momento de levar as amostras ao laboratório, estas foram colocadas em sacos plásticos identificados e foram fechadas com papel-toalha e elástico, de forma a permitir a troca gasosa, a fim de evitar anaerobiose, porém evitando grandes perdas de umidade. A serapilheira foi triturada com o uso de liquidificador e os ingredientes foram todos misturados para preparo do inóculo. Como inóculo comercial foi utilizado o FertBokashi® Premium (FBP) da empresa Korin Agropecuária Ltda., biofertilizante à base de água, extrato de levedura, composto orgânico e melaço de cana de açúcar. Para a composição do prebiótico, foram cozidos 600 g de batata inglesa com casca em 450 ml de água não clorada. Após o cozimento, a batata foi triturada com toda a água do cozimento em liquidificador. Adquirida a mistura homogênea, chamada “batata mix”, utilizou-se apenas 75 ml do total. Foram dissolvidos em um balde com 5,25 L de água não clorada: 75 ml de melaço e 75 ml de “batata mix”, formando assim o prebiótico.

Como ingrediente dos bokashis foram misturados 6 kg de farelos de arroz, 6 kg de farelos de trigo, 3 kg de torta de mamona, inóculo (1,5 kg de inóculo, no caso do inóculo nativo em 5,25 L de água não clorada, e 300 mL do FBP, no caso de inóculo comercial, diluído em 4,95 L de água não clorada), e 150 mL de prebiótico.

Para proceder à mistura, os farelos de arroz e trigo e a torta de mamona foram espalhados no chão limpo e misturados manualmente. Posteriormente, foi colocado o inóculo e misturado novamente. Após a homogeneização dos ingredientes, foi adicionado o prebiótico com o uso de um regador, repetindo a operação por três ou quatro vezes até a remoção de todo o produto do regador. Concomitante foram desmanchados os grumos manualmente homogeneizando o máximo possível a umidade da pilha de composto.

Os produtos foram distribuídos em quatro bombonas de plástico de 50 L identificadas com os nomes dos tratamentos (sendo duas para cada inóculo), atingindo altura de leira de 30 cm aproximadamente e cobertas com sacos de rafia, assim permitindo troca gasosa da respiração microbiana e fermentação. Durante o período de fermentação (72 horas), foi medida a temperatura das leiras para que não ultrapassassem 50°C, a fim de privilegiar a multiplicação de microrganismos mesófilos (Scotton et al, 2017), utilizando um medidor portátil de temperatura. Sempre que essa temperatura foi atingida, o material foi revolvido com uma pá. Após 24 horas de fermentação foi possível observar que o bokashi com inóculo comercial (BC) teve os primeiros aumentos de temperatura, fermentando mais rapidamente e atingindo temperatura mais próxima de 50°C, entretanto ambos estavam com temperaturas acima de 45°C. Claramente nesse ponto já foi percebido que o odor dos bokashis era bem distinto. No

segundo dia de fermentação pode ser observado no bokashi com inóculo nativo (BN) a presença de fungos filamentosos (Figura 1), alta temperatura (50°C e aparecimento de fumaça) e odor forte, assemelhando-se a odor de pão caseiro. Já o BC, apresentou odor forte, porém distinto, assemelhando-se a cheiro de queijo curado, além de temperatura de 45°C aproximadamente e sem presença de fungos filamentosos. Ambos foram revolvidos novamente.

Figura 1. Fungos filamentosos crescendo no canto interno da bombona do BN (fonte: autor)

Ao terceiro dia, ambos os bokashis foram espalhados em chão limpo para a secagem. Eles apresentaram diferentes características: o BN apresentou cor mais escura, grumos maiores (presença de fungos ao redor e dentro dos grumos) e de difícil quebra. Já o BC, apresentou coloração mais clara e grumos menores (Figura 2). Ambos mantiveram o odor característico de cada um. Essas caracterizações estão nesse trabalho com o intuito de guiar quem quiser replicar esse processo, porém essas características são percepções pessoais e não foram mensuradas nesse trabalho

Figura 2. Diferença dos grumos dos bokashis BN à esquerda e BC à direita (fonte: autor).

A farinha de penas foi fornecida pronta pela Korin Agropecuária Ltda, e estes informaram o seguinte processo pela qual passou até ficar pronta para uso: as penas saem da depenadeira, e por gravidade, são conduzidas através de tubulação de PVC com água até um tanque com uma bomba de recalque de onde é mandada para peneira estática. As águas são separadas através de peneira estática e em seguida as penas são conduzidas manualmente ao

digestor onde são processadas (acrescentando o aditivo antioxidante). O digestor trabalha com uma pressão interna de 3 kgf cm⁻² e a temperatura varia de 120°C a 140°C. O cozimento das penas se dá por meio de rotor interno a vapor para rompimento da queratina e secagem final do produto. O gás proveniente do processamento das penas é coletado através de tubulações até o sistema de tratamento de gases conforme normas ambientais vigentes. Através de uma percoladora e rosca transportadora acoplada ao digestor, a farinha é automaticamente levada até o saco de rafia, o qual está fixado em suporte apropriado no final da rosca. O saco de rafia é de primeiro uso, seco e limpo, com o rótulo impresso, contendo todas as informações constantes da legislação vigente. O peso líquido (40 kg) é controlado em balança eletrônica. O produto é armazenado em local seco, fresco, arejado, sobre estrados, afastado de paredes e devidamente fechado para garantir a sua inviolabilidade. O transporte é realizado por caminhões previamente higienizados. A validade do produto é de 30 dias se armazenado em local seco, fresco e arejado.

3.2. Caracterização do experimento: incubação e tratamentos

O ensaio foi realizado em laboratório do Centro de Pesquisa Mokiti Okada (CPMO), localizado em Ipeúna-SP. O solo escolhido para o ensaio foi classificado como Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (EMBRAPA, 2013) de textura Franco Argilo Arenosa (21% de argila, 4% de silte e 75% de areia), com granulometria determinada pelo método do densímetro (EMBRAPA, 1997), peneirados e secos ao ar. Parte desse solo foi separado para determinação de fertilidade química em laboratório segundo metodologia de Raij et al (2001) e para P foi usado extrator Mehlich-1 (Silva et al., 2009). Esses dados estão representados na Tabela 1

Tabela 1. Dados de fertilidade do solo experimental.

Fertilidade do solo	und	
pH		5,2
C	g dm ⁻³	7,5
K	mmol _c dm ⁻³	0,7
Ca		6,0
Mg		5,0
H+Al		42,0
Al		1,0
SB		12,2
CTC		54,2
V	%	22,6
m		7,6
P	mg dm ⁻³	7,3
S		140,0
B		0,1
Cu		1,4
Fe		19,0
Mn		4,0
Zn		0,1

Os tratamentos submetidos à incubação foram: somente solo, como controle (T); solo com adição dos farelos que compõem o bokashi apenas (F); solo com adição de farelos e inóculo nativo (FN); solo com adição de farelos e inóculo comercial (FC); solo com adição de bokashi com inóculo nativo (BN); bokashi com inóculo

comercial (BC); solo com adição de inóculo comercial somente (TC), como testemunha do FC, pelo fato do inóculo ser registrado como fertilizante fonte de nitrogênio; e solo com adição de farinha de penas (FP). Todos os materiais orgânicos usados no trabalho foram submetidos à análise química de teores nutricionais de acordo com metodologia de Vieira e Silva (2009) no Laboratório de Fertilidade do Solo do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos e Araras-SP e a análise de celulose e lignina em fibra em detergente ácido (FDA) segundo metodologia de Goering & Van Soest (1970) foi determinada no Laboratório de Bromatologia da ESALQ-USP em Piracicaba-SP. Os dados podem ser encontrados na Tabela 2.

Tabela 2. pH e teores de carbono (C), nitrogênio (N), fósforo (P_2O_5), lignina, celulose e suas relações nos materiais orgânicos. BN=bokashi com inóculo nativo; BC=bokashi com inóculo comercial; F=farelos somente; FN=farelos com inóculo nativo; FP=farinha de penas.

Tratamentos	pH	C	N	P_2O_5	Lignina %	Celulose	Lignina/Celulose	C/N	C/P
BN	5,9	41,1	2,8	0,9	6,0	7,6	0,79	14,7	44,2
BC	6,1	39,4	2,6	1,2	4,5	7,4	0,61	15,5	33,1
F	6,0	36,1	2,4	1,6	4,0	6,6	0,61	15,0	22,0
FN	6,0	36,8	2,5	1,0	4,7	7,1	0,66	15,0	38,7
FP	5,8	19,7	13,0	1,8	...	...	...	1,5	10,7

As unidades experimentais foram compostas por copos plásticos opacos descartáveis de 280 mL. A estes foi adicionado 200 g de solo seco mais respectivos tratamentos. Todos foram adicionados a fim de igualar a quantidade fornecida de nitrogênio potencialmente mineralizável, considerando que os compostos poderiam em média mineralizar cerca de 50% do nitrogênio total, adicionando 120 mg de nitrogênio solúvel por unidade experimental (Agehara e Warncke, 2005; Li et al., 2014). Para isso foi misturado 5 g kg^{-1} no tratamento F, 4,9 g kg^{-1} no FN, 5 g kg^{-1} no FC mais aplicação de 0,86 mL kg^{-1} de FBP de acordo com recomendação comercial do produto, 4,2 g kg^{-1} no BN, 4,6 g kg^{-1} no BC, 0,86 mL kg^{-1} de FBP somente e no TC e 0,9 g kg^{-1} no FP. Foram quatro repetições para cada tratamento, sendo previsto determinações de variáveis aos 7, 14, 28, 56 e 84 dias de incubação, totalizando 160 unidades experimentais.

Foi adicionada água deionizada às unidades experimentais a fim de manter a umidade do solo entre 65 a 70% da capacidade de campo para permitir plena atividade biológica e consequentemente a mineralização de N (Agehara e Warncke, 2005). Essa foi balizada via curva de retenção que já havia sido feita para solo do experimento para outro trabalho de pesquisa do CPMO. Foi adicionado a cada copo um tampão com pedaço recortado de mulching plástico preto com três furos feitos por palito de dente e preso por meio de elástico, para evitar grandes perdas de umidade no solo, permitir trocas gasosas, assim como evitar entrada de luz durante as pesagens, simulando sistema solo, o qual não promove entrada de luz, o que interferiria nos microrganismos (Inácio et al., 2017). A partir desse momento, foi determinado, com base nas massas das unidades experimentais, o peso padrão do qual a umidade teria que se manter ao longo do experimento. Semanalmente foram sorteadas 10 amostras para pesagem. Se estavam muito próximas de ficar abaixo da umidade mínima estabelecida, todas tiveram adicionada água deionizada por meio de borrifador. O uso do borrifador para adição de água teve por fim evitar formação de lama por excesso de umidade concentrada.

Os tratamentos foram colocados dentro de incubadora tipo DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) no escuro à temperatura de 25°C (Agehara e Warncke, 2005) em delineamento inteiramente casualizado.

3.3. Determinação de N-amônio e N-nitrato no solo e nos compostos

Foram determinados o teor de N-amônio e de N-nitrato no solo aos 7; 14; 28; 56 e 84 dias de incubação e também nos compostos e farelos estudados, sendo avaliados o BN, o BC, o FN e o F, para verificar se o processo fermentativo do bokashi tem efeito sobre a solubilização de nitrogênio dos farelos. Para cada época de avaliação foram desmontadas as unidades experimentais pertinentes, cada uma foi homogeneizada em bandeja e imediatamente foi pesado 10 g para posterior análise de umidade, e 10 g para extração de amônio e nitrato. O primeiro foi colocado em estufa para secagem até peso constante a 105°C. Ao segundo foi imediatamente adicionado 50 mL de solução de cloreto de potássio a 2 mol L⁻¹ e as amostras foram colocadas para agitar em mesa agitadora horizontal a 200 rpm por 2 horas. Após esse período as amostras foram colocadas para filtrar por mais 2 horas. Para determinação de N-amônio, depois desse período, foi pipetado 20 mL do sobrenadante límpido e foi adicionado em tubos de digestão. Foi adicionado 0,2 g de óxido de magnésio por amostra e assim foi feita a destilação da alíquota em destilador de arraste de vapores (Método de Kjeldahl). O condensado foi coletado em erlenmeyer de 125 mL, contendo 5 mL de solução indicadora de ácido bórico a 2%. Para solução de ácido bórico foi pesado 40 g de ácido bórico em um béquer de 2 L, e adicionado 1,6 L de água deionizada, o qual foi aquecido e agitado até a dissolução do ácido bórico. Assim foi adicionado 200 mL de solução indicadora, preparada pela dissolução de 0,132 g de verde-de-bromocresol e 0,066 g de vermelho-de-metila em 1 L de etanol 95%. Depois de esfriar, foi completado o volume até 2 L com etanol 95% em balão volumétrico. Para determinação do N-nitrato foi utilizado a mesma alíquota de 20 mL destilada anteriormente. A essa quantidade foi adicionado 0,2 g de liga de Devarda. O princípio é converter o excedente (nitrato) em amônio para uma posterior determinação (Silva, 2009). Para determinação de N-amônio e de N-nitrato, as alíquotas obtidas no destilador foram tituladas com solução de ácido sulfúrico 0,005 N. O mesmo se procedeu para os compostos e mistura de farelos. Esta obtida pela dissolução, em água, de 10 vezes de solução de ácido sulfúrico 0,05 N. O volume gasto foi inserido no cálculo seguinte:

$$N - \text{Amônio ou } N - \text{Nitrato} = A \times B \times C \times D$$

Sendo:

A = 2,5, obtido da divisão de 50 (quantidade em mL de KCl 2 mol L⁻¹ usado na extração) por 20 (alíquota em mL usada na determinação de amônio e nitrato);

B = volume (mL) de H₂SO₄ 0,005 N gasto na titulação;

C = 0,07, decorrente do fato de que cada 1 mL de H₂SO₄ 0,005 N gasto na titulação equivale à presença de 0,07 mg de N-NH₄⁺ ou N-NO₃⁻;

D = 100, pois é a relação entre os 1.000 g de solo usados na unidade e os 10 g de solo usados na extração.

O solo que foi usado para determinação da umidade foi usado para validar o padrão da umidade das amostras, assim como usar para base de outras variáveis avaliadas (adaptado de Silva et al, 2009).

Dessa forma foi determinado a quantidade de N-amônio e N-nitrato (mg kg⁻¹) para cada tratamento. Com base nos dados adquiridos, também foi determinada a porcentagem de mineralização total, descontando a média dos valores de T para todos os outros tratamentos, com exceção do FC para o qual foi descontado o valor do TC. Foi estimada a taxa média em porcentagem de mineralização por dia, dividindo o total do nitrogênio mineralizado pelos dias dentro do intervalo de medições. E por fim a porcentagem de amônio e nitrato para cada época também, dentre o total disponibilizado para cada tratamento.

3.4. Determinação de respiração basal, carbono da biomassa microbiana e qCO_2

Para determinação das variáveis microbiológicas foi separado 100 g de cada amostra de solo referentes às análises dos 7 e 56 dias, com a intenção de representar o início do processo de mineralização e uma outra situação de maior estabilidade. Esse solo foi reincubado por uma semana em mesma condição de temperatura e umidade anterior. Após esse período as unidades experimentais foram desmontadas para determinações de carbono da biomassa microbiana, respiração basal e quociente metabólico (qCO_2).

Para análise de respiração basal foi pesado 50 g de solo úmido para cada repetição, os quais foram acondicionados em frascos de vidro de 500 mL. Foi adicionado 10 mL de NaOH 1 M em frascos de plástico de 100 mL, sendo estes colocados cuidadosamente dentro do frasco maior de vidro junto com o solo. O frasco maior foi então hermeticamente fechado com o auxílio de papel filme embalando repetidas vezes os frascos, para que não houvesse entrada de CO_2 do ar externo ou fuga do CO_2 internamente produzido. Foi montado também frasco sem solo para solução controle (branco). Os frascos foram colocados em câmara DBO sem iluminação, a 28°C e lá permaneceram por 5 dias (Jenkinson & Powlson, 1976). Após o processo de incubação, os frascos foram retirados da câmara, foram retirados os respectivos frascos contendo NaOH e foi adicionado 2 mL de $BaCl_2$ 10% (m/v) para completa precipitação do CO_2 , seguido de imediato fechamento do frasco com solução precipitada. As amostras foram então destampadas, foi adicionado 2 gotas de fenolftaleína 1% (m/v) e estas foram tituladas sob agitação magnética com solução de 0,5 M de ácido clorídrico para determinação.

Como parte do cálculo, é necessário conhecer a molaridade exata do ácido clorídrico utilizado na análise (Silva et al., 2007). Para isso foi adicionado 50 mL da solução THAM e 10 mL da solução de ácido bórico em um erlenmeyer, e foi titulado sob agitação magnética com o ácido clorídrico a ser determinado. O cálculo da molaridade exata do HCl foi dado pela equação:

$$MHCL = (MTHAM \times VTHAM) / VHCL$$

Sendo:

MHCL = molaridade do ácido clorídrico a ser determinada;

MTHAM = molaridade da solução THAM;

VHCL = volume do ácido clorídrico gasto na titulação;

VTHAM = volume de THAM utilizado na titulação.

O cálculo da respiração basal do solo foi determinado então pela seguinte equação:

$$RBS = \left(\frac{(Vb - Va) \times M \times 6 \times 1000}{Ps} \right) / T$$

Sendo:

RBS = carbono oriundo da respiração basal do solo (mg de C- CO_2 kg⁻¹ solo hora⁻¹);

Vb = volume de ácido clorídrico gasto na titulação da solução controle (branco) em mL;

Va = volume gasto na titulação da amostra em mL;

M = molaridade exata do HCl;

Ps = massa de solo seco em g;

T = tempo de incubação da amostra em horas.

Para análise de carbono da biomassa microbiana foi usada a metodologia proposta por Vance et al. (1987) com modificações propostas por Silva et al. (2007). Para isso foram pesadas duplicatas de 20 g de cada amostra sendo acondicionadas separadamente em frascos de 100 mL. Uma das duplicatas de cada amostra foi separada para

fumigação. Foi acondicionado aproximadamente 1 mL de clorofórmio isento de etanol com o auxílio de uma pipeta com graduação de 1 mL, sem todos os frascos destinados a fumigação. Os frascos foram imediatamente fechados em dessecadores (de forma aleatória) e armazenados em câmara DBO insenta de luminosidade e com temperatura constante de 28°C por 24 horas. No dia seguinte os frascos foram retirados dos dessecadores em capela de exaustão, deixando evaporar todo o clorofórmio presente até eliminação completa.

A extração foi feita nas amostras fumigadas, após 24 horas, seguida de eliminação dos resíduos de clorofórmio, e nas não-fumigadas, realizado imediatamente após pesagem anterior. Para isso foram adicionados 50 mL da solução 0,5 M de sulfato de potássio, com o auxílio de um dispensador de 50 mL. As amostras foram colocadas para agitar por 30 minutos em agitador horizontal a 220 rpm e posteriormente foram deixadas decantar por mais 30 minutos. O sobrenadante foi transferido então com o auxílio de uma pipeta para um filtro de papel acoplado a funil e tubo de 50 mL, evitando resuspensão e recuperação de material decantado. Ao final da filtração foi obtido o extrato de cada amostra fumigada e não-fumigada que foram levadas para determinação de carbono microbiano.

Para proceder à determinação foi transferido 8 mL de cada extrato previamente filtrado para erlenmeyer de 250 mL. Foram então adicionados 2 mL de solução 0,066 M de dicromato de potássio, 10 mL de ácido sulfúrico P.A. e 5 mL de ácido ortofosfórico P.A., todos com o auxílio de dispensador, e em ordem cronológica. Após esfriar foi adicionado cerca de 70 mL de água deionizada, foi esperado esfriar novamente, foi adicionado quatro gotas de difenilamina e foi titulado sob agitação magnética com uma solução de 0,033 M de sulfato ferroso amoniacal.

Como parte do cálculo de teor de C nos extratos é necessário calcular antes a molaridade exata da solução de extrato ferroso amoniacal. Para isso foi usada a equação:

$$M1 = \frac{(M2 \times V2) \times 6}{V1}$$

Sendo:

M1 = molaridade exata padronizada do sulfato ferroso amoniacal;

M2 = molaridade exata do dicromato de potássio (0,066 M);

6 = razão estequiométrica ($K_2Cr_2O_7$);

V1 = volume de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da amostra controle (branco);

V2 = volume da alíquota de dicromato de potássio utilizada.

Com este valor calculado, foi feito então o cálculo do teor de C nos extratos, por meio da equação:

$$C = \frac{(Vb - Va) \times M \times 0,003 \times V1 \times 10^6}{Ps \times V2}$$

Sendo:

C = carbono extraído do solo (mg C kg⁻¹ solo);

Vb = volume do sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da solução controle (branco) em mL;

Va = volume de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da amostra em mL;

M = molaridade exata do sulfato ferroso amoniacal;

V1 = volume do extrator utilizado ($K_2Cr_2O_7$);

V2 = alíquota pipetada do extrato para a titulação;

0,003 = miliequivalente do carbono;

Ps = massa de solo seco em g;

Sendo calculado o teor de carbono, esses dados foram usados para o cálculo do carbono da biomassa microbiana pela equação:

$$BMSC = FC \times kc^{-1}$$

Sendo:

BMSC = carbono da biomassa microbiana do solo em mg de C por kg de solo;

FC = fluxo obtido da diferença entre a quantidade de C (mg kg⁻¹), da equação anterior, recuperada no extrato da amostra fumigada e a recuperada na amostra não fumigada;

kc = fator de correção (kc=0,33).

O quociente metabólico do solo (qCO₂) é a razão entre a respiração basal do solo por unidade de carbono da biomassa microbiana do solo conforme descrito por Silva et al. (2007). Dessa forma para sua determinação foi utilizada a equação:

$$qCO_2 = \frac{RBS}{BMSC}$$

Sendo:

qCO₂ = quociente metabólico do solo (mgC-CO₂ g⁻¹ BMSC h⁻¹)

RBS = respiração basal do solo;

BMSC = carbono da biomassa microbiana do solo.

3.5. Determinação de fósforo disponível no solo e fósforo disponível nos compostos

O P disponível no solo foi analisado nas amostras referentes à incubação aos 7, 28 e 84 dias, os quais foram os menores, maiores e menores novamente respectivamente valores de pH obtidos. Para isso foi usado o método de Mehlich-1 para avaliar o fósforo disponível no solo (Silva et al., 2009). A extração do P das amostras foi feita mediante a adição de 10 cm³ de terra fina seca ao ar (TFSA) em frascos de plástico de 100 mL. Foi adicionado então a solução extratora duplo-ácida (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹). Estes foram tampados e agitados por 5 minutos em mesa agitadora horizontal a 220 rpm depois colocados para descansar até que o solo decantassem.

Para proceder à determinação foi pipetado 5 mL do sobrenadante e foi colocado em erlenmeyer de 125 mL. Foi adicionada solução ácida de molibdato de amônio diluída e aproximadamente 30 mg de ácido ascórbico em pó. As amostras foram agitadas por 1 minutos em agitador horizontal e foi deixada desolver a cor durante 1 hora. Foi então efetuada a leitura da densidade ótica no fotocolorímetro, usando filtro vermelho, comprimento de onda de 660 nm e os valores foram anotados.

A solução extratora duplo-ácida foi feita a partir da adição de 43 mL de ácido clorídrico P.A. (d = 1,19) e 6,9 mL de ácido sulfúrico P.A. (d = 1,84) em aproximadamente 5 L de água deionizada, contidos em balão aferido de 10 L. Estes foram agitados e o volume foi completado com água deionizada. Para fazer a solução ácida de molibdato de amônio concentrada foi pesado 2 g de subcarbonato de bismuto. Este foi colocado em balão aferido de 1 L contendo aproximadamente 250 mL de água deionizada. Foi adicionado, imediatamente, 150 mL de ácido sulfúrico concentrado P.A. e foi deixado esfriar. Foi preparada a solução de molibdato de amônio com 20 g em 200

mL de água deionizada. Essa foi transferida para balão de 1 L, o qual foi agitado, e foi completado o volume com água deionizada. Para a solução ácida de molibdato de amônio diluída, foi colocado 300 mL da solução concentrada em balão aferido de 1 L e foi completado volume com água deionizada. Para a solução padrão de P (50 mg de P L⁻¹) foi pesado 0,2195 g de KH₂PO₄ em balança analítica, este previamente seco em estufa a 105°C. Posteriormente foi dissolvido em água deionizada em balão aferido de 1 L. Foi adicionado a este 3 mL de H₂SO₄ concentrado, para assegurar perfeita dissolução do fosfato. O volume foi completado com água deionizada. Assim, para determinação das soluções padrão de P (1 mg, 2 mg, 3 mg e 4 mg de P L⁻¹) foi pipetado 5; 10; 15 e 20 mL respectivamente de solução de 50 mg de P L⁻¹. Estas foram colocadas em balões aferidos de 250 mL e foi completado o volume com solução extratora.

Para proceder ao cálculo foi necessário o preparo da reta de padrões. Para isso foi colocado 5 mL de cada solução padrão diluída (1 mg, 2 mg, 3 mg, 4 mg de P L⁻¹) em erlenmeyers de 125 mL. Foi então adicionado 10 mL de solução ácida de molibdato de amônio e aproximadamente 30 mg de ácido ascórbico. Foram feitas três repetições para cada padrão e foram anotadas as leituras em absorbância correspondente. Com o colorímetro bem regulado, as leituras desses quatro padrões têm proporção constante. Dessa forma, é possível estabelecer, com segurança, um único fator (FP) para as interpolações. O fator FP é o coeficiente angular da reta obtida, grafando-se os valores de concentração de P dos padrões no eixo das abscissas e as respectivas leituras no eixo das ordenadas. Assim, considerando que a concentração de P na amostra sofreu diluição de 1:10 na extração, para a obtenção direta da concentração de P na TFSA o fator FP foi multiplicado por 10. Assim o cálculo do teor de P assimilável na amostra foi obtido convertendo-se a leitura efetuada no aparelho em mg de P dm⁻³ de solo, por meio da reta padrão de acordo com a equação:

$$mg\ de\ \frac{P}{dm^3}\ na\ TFSA = leitura \times 10\ FP$$

Após as determinações de P disponível no solo, foi feito cálculo de porcentagem de aumento de P disponível no solo, com base no total de P adicionado pelo material orgânico, considerando que as adições foram diferentes para cada insumo, assim como o total de P de sua respectiva composição, segundo a equação:

$$\% de\ aumento\ de\ P\ em\ relação\ à\ testemunha = \frac{(P_{solo} - P_{testemunha}) \times 2}{((Mad \times 10.000) \times TPM)/100} \times 100$$

Sendo:

P_{solo} = teor de fósforo disponível no solo determinado na amostra;

P_{testemunha} = teor de fósforo disponível no solo determinado no T ou TC (no caso de comparação com o FC);

2 = fator de conversão de mg kg⁻¹ para kg ha⁻¹;

Mad = quantidade de material orgânico adicionado em cada tratamento;

10.000 = fator conversão de g por amostra para kg ha⁻¹

TPM = teor de fósforo total de cada amostra em porcentagem.

Nos compostos e farelos foi analisado o teor de P₂O₅ solúvel em ácido cítrico a 2% a fim de verificar se o processo fermentativo do bokashi promove maior disponibilização de P no produto final. Essa análise foi feita com os tratamentos BN, BC, FN, FF e com amostra de fosfato natural reativo “bayóvar” com garantia de fábrica de 14% de P₂O₅ solúvel em ácido cítrico a 2%, como controle positivo. Para tal foi feito o método

colorimétrico do ácido molibdovanadofosfórico, para fósforo solúvel em ácido cítrico a 2%, relação 1:100, descrita por Vieira e Silva (2009). Para proceder à extração, primeiramente foi pesado 1 g das amostras. Esta foi juntada a 100 mL de ácido cítrico a 20 g L⁻¹ em frasco alongado próprio para agitador Wagner. Estas foram encaixadas no agitador e foram agitadas por 30 minutos a 40 rpm. Estas foram retiradas e filtradas. Para preparo da curva padrão foi pipetado 2 mL, 2,5 mL, 3 mL, 3,5 mL e 4 mL da solução de 500 ppm de P₂O₅ e foram transferidos para balões de 50 mL, numerados de 1 a 5. Foram adicionados cerca de 20 mL de água deionizada, 5 mL da solução ácido cítrico a 20 g L⁻¹ e 15 mL da solução vanadomolibdica. Foram completados com água deionizada, foram agitados e foi esperado 10 minutos para assim formar as soluções de 20 ppm, 25 ppm, 30 ppm, 35 ppm e 40 ppm. Foi determinada a absorbância a 400 nm em espectrofotômetro e foi estabelecida a equação de regressão, acertando o zero com a solução padrão de 20 ppm de P₂O₅. Assim foi calculada a regressão. Para determinação foi recolhido 2,5 mL como alíquota do extrato e este foi transferido para balão de 50 mL. Foi adicionado cerca de 20 mL de água deionizada a um volume de ácido cítrico a 20 g L⁻¹ de forma que somado à alíquota resultou em 5 mL. Foi adicionado mais 15 mL de solução vanamolibdica, foi completado com água deionizada e foi agitado. Após 10 minutos as amostras foram determinadas a absorbância a 400 nm. Foi então encontrada a solução de leitura pela equação de regressão e assim foi calculado o teor de P₂O₅ solúvel em ácido cítrico a 2% nas amostras, pela equação:

$$\%P_2O_5 = \frac{0,5C}{A \times G}$$

Sendo:

C = concentração (ppm) de P₂O₅ na solução de leitura;

A = alíquota (mL) utilizada na diluição para o balão de 50 mL;

G = peso inicial (g) da amostra.

3.6. Determinação de pH, carbono e nitrogênio total no solo

Os valores de pH foram obtidos aos 7; 14; 28; 56 e 84 dias de incubação de acordo como descrito em Silva et al. (2009). Para isso foi transferido 10 cm³ de TFSA para copo plástico, numerado, de 80 mL. Foi adicionado 25 mL de solução CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ às amostras. Estas foram colocadas para agitar com bastão individual e foram deixadas em repolso por 15 minutos para molhamento completo da amostra. As amostras foram agitadas novamente com bastão de vidro por 5 minutos. Após 30 minutos foi feita a leitura direta do pH em CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹, mergulhando o eletrodo na suspensão homogeneizada, sem nova agitação.

O teor de carbono (C) e N total no solo foi determinado apenas ao final do experimento, nos solos incubados a 84 dias. Foi retirada porção de 10 mg de solo de cada amostra. Estas foram moídas até que fosse possível que passassem totalmente por peneira de 100 mesh. Estas foram colocadas em microtubos tipo eppendorf e foram encaminhadas ao Laboratório de Matéria Orgânica do Departamento de Ciência do Solo da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. As amostras foram analisadas por combustão a seco pelo equipamento LECO®CN-2000 determinando-se o C e o N total.

3.7. Análises estatísticas

Os resultados foram submetidos à análise de variância e suas médias foram comparadas pelo teste Least Significant Difference (LSD) a $\alpha=0,05$. Os tratamentos foram comparados nos compostos, assim como em cada período de avaliação para cada variável. As diferenças entre períodos para cada tratamento também foram comparadas para as variáveis analisadas.

4. RESULTADOS

4.1. Mineralização do nitrogênio orgânico

Observou-se que quando submetidos ao processo de bokashi, os materiais apresentaram maior teor de N solúvel (amônio mais nitrato), indicando que o processo colabora para mineralização do material (Figura 3).

Figura 3. Nitrogênio solúvel total (amônio mais nitrato) nos materiais orgânicos. BN=bokashi com inóculo nativo; BC=bokashi com inóculo comercial; F=farelos somente; FN=farelos com inóculo nativo; FP=farinha de penas. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de significância.

Nesse caso o inóculo comercial (BC) apresentou maior potencial que o inóculo nativo (BN) para mineralização do N-orgânico contido nos farelos usados para o processo fermentativo. Nenhum deles atingiu o patamar de N solúvel que continha naturalmente no FP.

No experimento de incubação, aos 7 dias da mistura dos materiais com o solo, as quantidades de N mineralizado apresentaram comportamento distinto. Os tratamentos BC, BN, FC e FN tiveram valores negativos, pelo fato do solo da testemunha ter mineralizado mais que estes tratamentos (Tabela 3).

Tabela 3. Nitrogênio solúvel total (amônio mais nitrato) no solo a partir do aporte dos materiais orgânicos expressos em mg kg^{-1} descontando-se a testemunha e testemunha relativa para o FC. BN=bokashi com inóculo nativo; BC=bokashi com inóculo comercial; F=farelos somente; FN=farelos com inóculo nativo; FC=farelos com inóculo comercial; FP=farinha de penas.

Tratamentos	Dias em incubação				
	7	14	28	56	84
	mg kg^{-1}				
BC	-7,6 c	8,4 c	11,4 d	13,4 c	16,6 de
BN	-1,7 bc	5,5 d	10,9 d	13,9 c	13,6 e
FC	-9,1 c	11,0 bc	19,8 b	22,7 b	26,0 bc
FN	-4,6 bc	8,3 c	16,8 c	16,9 c	21,8 cd
FP	18,5 a	33,5 a	41,7 a	51,7 a	60,1 a
F	3,2 b	11,2 b	16,8 c	24,1 b	32,1 b

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de significância.

Isso indica que houve imobilização de N. O grau de imobilização pela adição desses materiais não indicou diferença entre eles, porém o BC e o FC diferiram do F, indicando maior potencial do inóculo comercial nessa imobilização inicial. Porém, não houve diferença entre o BC e o FC, nem entre o BN e o FN, indicando que para essa primeira semana a simples mistura de farelos com os inóculos teve comportamento semelhante ao dos bokashis com seus respectivos inóculos. O FP foi o único que não apresentou valores negativos em nenhuma de suas repetições, além de apresentar quantidade de N mineralizado bem superior aos outros materiais, indicando seu maior potencial de mineralização logo na primeira semana.

Aos 14 dias de incubação todos os tratamentos apresentaram valores positivos de N, indicando mineralização em todos os casos. Houve diferença significativa entre a quantidade mineralizada de BC e BN, indicando maior mineralização de BC, mesmo este último tendo imobilizado mais na primeira semana, o que indicou comportamento diferente entre os dois tipos de bokashi na segunda semana de mineralização. Já entre os FC e FN não apresentaram diferenças entre si, quando os inóculos foram misturados simplesmente aos farelos. O BC, BN e o FN foram os únicos que diferiram do F, com menor mineralização, indicando efeito dos inóculos nesse processo. Nesse caso o BC não diferiu do FC, não ficando clara novamente a diferença do processo de bokashi com a simples mistura dos inóculos no caso do inóculo comercial. Já o BN foi diferente do FN, indicando efeito do processo bokashi quando utilizado o inóculo nativo, porém com menor valor de mineralização quando passou por esse processo. O FP diferiu dos outros tratamentos na maioria dos casos com valores de até três vezes mais mineralização que os outros tratamentos. Sua taxa de mineralização caiu em relação à primeira semana, porém foi a segunda maior de todo o período (Tabela 4).

Tabela 4. Taxa de mineralização de nitrogênio no solo em relação ao aporte dos materiais orgânicos em porcentagem por dia descontando-se a testemunha e testemunha relativa para o FC. BN=bokashi com inóculo nativo; BC=bokashi com inóculo comercial; F=farelos somente; FN=farelos com inóculo nativo; FC=farelos com inóculo comercial; FP=farinha de penas; IN=imobilização de nitrogênio.

Tratamentos	Dias em incubação									
	7	14		28		56		84		
	% de N mineralizado por dia									
BC	IN	1,9	ab	0,18	c	0,06	b	0,1	a	
BN	IN	0,87	ab	0,32	bc	0,09	b	-0,01	a	
FC	IN	2,37	a	0,53	a	0,09	b	0,1	a	
FN	IN	1,53	ab	0,51	a	0	b	0,15	a	
FP	2,2	1,79	ab	0,49	ab	0,3	a	0,25	a	
F	IN	0,94	b	0,33	bc	0,22	a	0,24	a	

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de significância.

Entretanto os outros tratamentos, após imobilização, mostraram interessantes aumentos em sua taxa de mineralização, sendo o maior valor para o FC. Este foi o único que se diferiu do F, indicando que a adição do inóculo aumentou a taxa de mineralização nesse período, porém o mesmo não pôde ser observado quando passou pelo processo de bokashi, pois o BC não diferiu. Apenas o F não apresentou significativo aumento entre a primeira e segunda semana em relação ao aumento da taxa de mineralização, apresentando comportamento diferente de quando envolvidos os inóculos microbianos, porém manteve a taxa de mineralização próxima do constante até o final do período de incubação, diferentemente de quando haviam inóculos envolvidos (Figura 4).

Figura 4. Porcentagem de nitrogênio solúvel em relação ao aporte de nitrogênio total no solo a partir da adição dos materiais orgânicos. BN=bokashi com inóculo nativo; BC=bokashi com inóculo comercial; F=farelos somente; FN=farelos com inóculo nativo; FC=farelos com inóculo comercial; FP=farinha de penas. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de significância.

Aos 28 dias de incubação não houve diferença entre o BN e o BC quanto ao total de N mineralizado. No entanto, ambos diferiram do FC, FN e F com menores resultados de mineralização. FN não diferiu do F nesse período, indicando quantidades muito semelhantes de N mineralizado. Entretanto, a taxa de mineralização do FN foi superior ao do F. O FC acumulou aumento semelhante ao FN. O FC mostrou também valor superior ao F, o que demonstra um potencial aumento de mineralização dos farelos quando misturados com inóculo comercial durante esse período. Entre os bokashis com diferentes inóculos, também houve diferença da taxa de mineralização nesse período. O BN teve diferença entre os valores de porcentagem de mineralização dos 14 para os 28 dias, enquanto

que o BC não. Por outro lado, a taxa média de mineralização entre os dois bokashis não diferiu nesse período. O FP manteve os maiores valores de N mineralizado nesse período também, com uma taxa de mineralização de aproximadamente 0,5% por dia. De qualquer forma foi possível observar grande diminuição na taxa de mineralização nesse período, em relação aos dois primeiros, para todos os tratamentos.

Aos 56 dias de incubação o BC e o BN continuaram não diferindo entre si quanto à quantidade de N mineralizado. O BN também não diferiu do FN, indicando não haver diferença na quantidade de N mineralizado nesse período, misturando o inóculo no material ou fazendo o bokashi, porém ambos diferiram com menor taxa de mineralização para com o F, mostrando efeito do inóculo. Por outro lado, em relação ao BC, este diferiu do FC nesse período também, com menor teor de N mineralizado onde foi feito o bokashi. O FC, por outro lado, não diferiu do F nesse período. Analisando as taxas de mineralização, todas os materiais com inóculo, bokashi ou não, tiveram nesse período uma taxa bem mais baixa (BC=0,06%; BN=0,09%; FC=0,09% e FN=0% por dia), enquanto que o F teve aproximadamente uma taxa em média de 0,22% por dia diferindo estatisticamente dos outros tratamentos. O FP continuou com a maior quantidade de N mineralizado nesse período, e com uma taxa de mineralização de aproximadamente 0,3% em média por dia nesse período, não diferindo da taxa do tratamento F.

Aos 84 dias de incubação não houve diferença entre a quantidade de N total mineralizado do BC e do BN novamente, não mostrando interferência dos inóculos entre os bokashi nesse período. Ambos continuaram diferindo de F, em quantidade menor de N solúvel. BN passa a diferir de FN com menos N solúvel, assim como o BC do FC. O FC não diferiu do FN nesse período também. Porém, ao contrário do FC, o FN se diferiu do F, mostrando efeito do inóculo ainda nesse período. Foi possível observar, que ao contrário dos outros materiais orgânicos que receberam inóculo, o FN teve um aumento na porcentagem de material mineralizado nos últimos 28 dias de experimento, ao contrário do FC, BN, BF e F, que não apresentaram claramente diferença para a semana anterior, mostrando um efeito retardado da inoculação do farelo com inóculo nativo. O FP continuou como o material com maior quantidade de N solúvel disponível, assim como em todos os períodos, tendo valores muito superiores a qualquer resíduo de origem vegetal, com ou sem inóculo. O valor máximo de porcentagem de N mineralizado, em relação ao N considerado potencialmente mineralizável (50% do total de N do material) foi de 13,9% no BC, 11,3% no BN, 21,7% no FC, 18,2% no FN, 26,8% no F e 50,1% na FP até o período em que o experimento foi conduzido (84 dias). De qualquer forma, os resultados aqui encontrados indicaram que para quase todos os tratamentos (com exceção do BN) seria esperado que a mineralização continuasse caso o experimento fosse feito por mais tempo, porém em menor taxa e intensidade do que já foi observado até então. Não houve diferença para a taxa de mineralização entre os tratamentos nesse período, alguns valores de mineralização negativos ou muito próximos de zero (com repetições negativas) demonstram a grande proximidade do ponto de equilíbrio entre mineralização e imobilização de N.

De forma geral, mesmo os bokashis apresentando maiores teores de N solúvel durante o processo fermentativo, quando misturados ao solo apresentaram menores valores de N solúvel total na maioria das épocas em relação às misturas dos farelos com os respectivos inóculos. As principais diferenças entre eles ocorreram durante a fermentação no processo de confecção dos mesmos e no solo até os 14 dias de incubação, mostrando influências do inóculo apenas até esse período. Os farelos com a mistura dos inóculos apresentaram valores de N solúvel relativamente maiores aos seus respectivos bokashis na maioria das épocas estudadas, assim como mais baixos que os farelos somente, igualando em algumas épocas. Aos 28 dias de incubação o FC teve maior mineralização do FN e do F. O FC demonstrou maiores teores de mineralização que o FN em dois dos cinco períodos estudados, mostrando diferença entre o comportamento dos inóculos. A taxa de mineralização de ambos permaneceu muito semelhante

durante o período. O uso de inóculos, seja como bokashi ou apenas mistura de farelos, causou uma diminuição da taxa de mineralização a partir dos 56 dias de incubação, em relação aos farelos (F). A FP demonstrou mineralização de N superior aos demais tratamentos em todos os períodos.

4.2. Nitrificação

Não houveram expressivos teores de N-nitrato solúvel até que os tratamentos alcançassem os 56 dias de incubação. Mesmo com teores considerados baixos, aos 14 dias de incubação houve algumas diferenças entre os tratamentos incubados. Os tratamentos FC e FP indicaram maior quantidade de N-nitrato, porém não diferindo de FN. De qualquer forma, como aos 28 dias essas diferenças não apareceram, esses dados foram considerados não representativos (Tabela 5).

Tabela 5. Nitrogênio na forma de nitrato no solo a partir da adição dos materiais orgânicos. BN=bokashi com inóculo nativo; BC=bokashi com inóculo comercial; F=farelos somente; FN=farelos com inóculo nativo; FC=farelos com inóculo comercial; FP=farinha de penas; T=somente o solo.

Tratamentos	Dias em incubação				
	7	14	28	56	84
	mg kg ⁻¹				
BC	1,5 a	1,2 b	2 a	26,8 b	37,7 cd
BN	3,7 a	1,3 b	2,4 a	28,7 ab	34,1 d
FC	3,6 a	2,5 a	2,9 a	30,7 a	45,8 ab
FN	3,5 a	2,1 ab	2,6 a	28,7 ab	41,3 bc
FP	3,9 a	2,6 a	1,8 a	26,5 b	43,1 b
F	2,7 a	1,2 b	2 a	32 a	49,7 a
T	2,8 a	1,2 b	2 a	6,4 c	18,2 e

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de significância.

Após 56 dias de incubação, as diferenças entre os tratamentos passaram a ser mais evidentes, pois foi nesse período em que começou a se expressar de forma mais efetiva o processo de nitrificação. Os tratamentos que apresentaram maiores valores de N-nitrato nesse período foram o FC e o F, não diferindo entre si. Estes não diferiram também do FN e do BN. Porém diferiram do BC, indicando que o mesmo demonstrou também menor disponibilização de N-nitrato nesse período. No mesmo patamar que o BC, ficou também o FP, mesmo este último tendo um teor de N a ser nitrificado, na forma de N-amônio, bem maior que os outros tratamentos. A testemunha, com valor de N com potencial para nitrificação bem menor que os outros tratamentos, apresentou os menores valores de N-nitrato.

Aos 84 dias houve um aumento no teor de N-nitrato em todos os tratamentos, indicando contínua atividade de nitrificação. Dessa vez o F se destacou como maior quantidade de N-nitrato, porém não diferindo novamente do FC. O BC continuou apresentando menor teor de N-nitrato disponível que o FC e o F. Dessa vez não houve diferença entre o teor de nitrato do FC e do FN mostrando igualdade entre os inóculos. Porém, dessa vez o BN demonstrou também menores valores de N-nitrato que o FN, demonstrando diferença entre o processo do bokashi nessa variável. A diferença entre inóculos também não foi observada entre o BC e o BN nesse período, assim como no anterior. O FP continuou abaixo do F em relação a quantidade de N-nitrato, mesmo com aumento

do N-solúvel total em relação à época anterior. A testemunha continuou abaixo de todos. Foi possível observar que os BC e BN mantiveram a mesma proporção de menor quantidade de N-nitrato em relação aos FC e FN no último período, o que se relaciona com a menor quantidade de N-solúvel total, assim como foi o caso da testemunha, porém no caso da FP essa proporção não foi observada, mostrando um limite na capacidade de o solo nitrificar o N-amônio.

Isso pode ser melhor observado nas Figuras de 5 a 11, a qual representam as proporções de N-amônio e N-nitrato dentro do N-solúvel total no solo com relação ao aporte dos materiais orgânicos.

Figura 5. Proporções de N-amônio e N-nitrato dentro do N-solúvel total no solo com relação ao aporte dos materiais orgânicos no FC (farelo com adição de inóculo comercial). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de significância.

Figura 6. Proporções de N-amônio e N-nitrato dentro do N-solúvel total no solo com relação ao aporte dos materiais orgânicos no F (farelo de trigo, arroz e mamona). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de significância.

Figura 7. Proporções de N-amônio e N-nitrato dentro do N-solúvel total no solo com relação ao aporte dos materiais orgânicos na FP (farinha de penas). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de significância.

Figura 8. Proporções de N-amônio e N-nitrato dentro do N-solúvel total no solo com relação ao aporte dos materiais orgânicos no T (solo sem adição de material orgânico). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de significância.

Figura 9. Proporções de N-amônio e N-nitrato dentro do N-solúvel total no solo com relação ao aporte dos materiais orgânicos no BC (bokashi com inóculo comercial). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de significância.

Figura 10. Proporções de N-amônio e N-nitrato dentro do N-solúvel total no solo com relação ao aporte dos materiais orgânicos no BN (bokashi com inóculo nativo). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de significância.

Figura 11. Proporções de N-amônio e N-nitrato dentro do N-solúvel total no solo com relação ao aporte dos materiais orgânicos no FN (farelo com inóculo nativo). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de significância.

Vendo as figuras (Figura 3 à Figura 9) foi possível observar que o FC apresentou menor nitrificação relativa que o F aos 56 dias, apresentando efeito retardante nesse processo por influência no inóculo comercial. O mesmo não ocorreu com o FN, o qual teve comportamento muito semelhante ao F. O BN e o BC tiveram quantidades de nitrificação relativas também muito semelhantes ao F e principalmente ao FN, mostrando não haver interferência do processo de bokashi ou do inóculo nativo nesse sentido. Todos esses tratamentos tiveram comportamento bem diferente da testemunha, indicando que a adição do material orgânico, de qualquer forma que seja, interferiu no processo de nitrificação intensificando-o. O FP teve comportamento diferenciado de todos os outros tratamentos, apresentando um comportamento semelhante à testemunha aos 56 dias de incubação, porém com uma nitrificação relativa média menor que a testemunha, mostrando possível inibição do processo de nitrificação. O solo com adição desse material teve um aporte bem maior de N mineralizado, mostrando mais uma vez um limite no processo de nitrificação para quantidades maiores de N.

4.3. Respiração basal, carbono da biomassa microbiana e qCO_2

As emissões de C- CO_2 (respiração basal) apresentaram valores com diferenças significativas entre os tratamentos para ambos os períodos avaliados (7 e 56 dias de incubação), conforme representado na Tabela 6.

Tabela 6. Respiração basal no solo expresso em mg de C- CO_2 kg^{-1} solo dia^{-1} a partir da adição dos materiais orgânicos. BN=bokashi com inóculo nativo; BC=bokashi com inóculo comercial; F=farelos somente; FN=farelos com inóculo nativo; FC=farelos com inóculo comercial; FP=farinha de penas; T=somente o solo; TC= somente o solo com aplicação do inóculo comercial.

Tratamentos	Dias em incubação	
	7	56
	mg de C- CO_2 kg^{-1} solo dia^{-1}	
BC	17,1 a	26,3 a
BN	14,1 ab	18,5 bcd
TC	5,4 d	20,6 ab
FC	11,2 bc	20,2 abc
FN	17,8 a	20,3 ab
FP	9,4 c	13,5 d
F	10,7 bc	14,1 d
T	4,7 d	14,2 cd

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de significância.

Aos 7 dias de incubação, todos os tratamentos apresentaram valores de respiração basal superiores à testemunha (T) quando se aplicou somente o inóculo comercial sobre o solo (TC), indicando que houve decomposição do material orgânico adicionado. O BC e o FN obtiveram os maiores valores de respiração basal, não diferindo, porém, para o BN. Apenas o BC e o FN tiveram valores significativamente maiores que F, demonstrando maior atividade biológica de decomposição nesses dois casos. O BC apresentou maior emissão de C- CO_2 também que o seu relativo o FC, o qual não diferiu do F. Isso indica que o processo de bokashi com o inóculo comercial teve maior efeito na atividade biológica do que quando este foi simplesmente adicionado aos farelos, nesse período. Já quando foi usado o inóculo nativo, a mistura deste nos farelos demonstrou maior diferença nas atividades biológicas que quando feito o processo do bokashi, pois FN diferiu de F, porém BN não. O FP teve valor de respiração basal mais baixo que o BC, BN e FN, mas é preciso destacar que este insumo adicionou bem menos carbono ao solo, já que os insumos foram aplicados com equivalência no valor de N.

Depois de 56 dias de incubação, houve um aumento da atividade biológica na maioria dos tratamentos, representado pela respiração basal. Todavia, nesse caso, apenas se diferiram da testemunha (T) os tratamentos BC, TC e FN. O BC manteve os maiores valores de respiração, indicando maior atividade biológica, porém dessa vez não diferindo dos tratamentos TC, FC e FN. E o FN também não diferiu do BN, FC e TC. Porém, os tratamentos BC e FN diferiram do F, mostrando o efeito nos inóculos novamente nessas duas combinações distintas (via bokashi ou não e com inóculo comercial e nativo respectivamente). O TC apresentou maior respiração, porém neste tratamento não foi adicionado material orgânico, apenas o inóculo líquido por meio do produto comercial. Isso mostra um efeito retardado da ação do produto na emissão do carbono que já estava presente no solo na forma de CO_2 .

Quanto ao carbono da biomassa microbiana, não houve diferença evidente entre os tratamentos, em nenhuma das duas épocas estudadas, dentro do nível de significância estatístico que esse trabalho abrangeu. A nível de informação, para significância de $p=0,13$ o tratamento T diferiu dos restantes, porém esse resultado não será discutido pelo fato de não atenderem os pressupostos previstos no método estatístico pré-estabelecido. Os resultados numéricos estão descritos na Tabela 7.

Tabela 7. Carbono da biomassa microbiana no solo expresso em mg de C kg⁻¹ solo a partir da adição dos materiais orgânicos. BN=bokashi com inóculo nativo; BC=bokashi com inóculo comercial; F=farelos somente; FN=farelos com inóculo nativo; FC=farelos com inóculo comercial; FP=farinha de penas; T=somente o solo; TC= somente o solo com aplicação do inóculo comercial.

Tratamentos	Dias em incubação	
	7	56
	mg de C kg ⁻¹ solo	
BC	623,9 a	373,9 a
BN	615,4 a	414,7 a
TC	614,1 a	338,7 a
FC	546,7 a	363,5 a
FN	540,3 a	368,6 a
FP	514,3 a	296,4 a
F	509,4 a	380,7 a
T	345,1 a	307,3 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de significância.

Os valores obtidos de quociente metabólico do solo (qCO₂) demonstraram valores estatisticamente diferente entre os tratamentos apenas aos 7 dias de incubação, conforme está demonstrado na Tabela 8.

Tabela 8. Quociente metabólico (qCO₂) no solo expresso em mg de mg de C-CO₂ g⁻¹ CBMS (carbono da biomassa microbiana) h⁻¹ a partir da adição dos materiais orgânicos. BN=bokashi com inóculo nativo; BC=bokashi com inóculo comercial; F=farelos somente; FN=farelos com inóculo nativo; FC=farelos com inóculo comercial; FP=farinha de penas; T=somente o solo; TC= somente o solo com aplicação do inóculo comercial.

Tratamentos	Dias em incubação	
	7	56
	mg de C-CO ₂ g ⁻¹ CBMS h ⁻¹	
BC	0,034 a	0,073 a
BN	0,023 ab	0,047 a
TC	0,009 c	0,067 a
FC	0,025 ab	0,056 a
FN	0,034 a	0,056 a
FP	0,018 bc	0,048 a
F	0,018 bc	0,037 a
T	0,015 bc	0,057 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de significância.

Os maiores valores de qCO_2 foram apresentados pelos tratamentos BC e FN, estando diretamente relacionados aos valores de respiração basal. Estes não diferiram de BN, nem de FC, porém diferiram de F, mostrando mais uma vez o efeito do inóculo e sua dependência da forma como foi aplicado (via bokashi ou não). Apenas os tratamentos BC, BN, FC e FN diferiram da testemunha (T), mostrando mais uma vez o efeito do inóculo associado aos farelos nessa variável. O TC, com apenas inóculo e solo, não apresentou efeito algum, quando comparado ao T. Aos 56 dias não houve diferença entre os tratamentos.

4.4. Fósforo disponível nos compostos e no solo

Quando os farelos foram submetidos ao processo de bokashi houve maior mobilidade do P para forma mais disponível, conforme Figura 12.

Figura 12. Porcentagem de P_2O_5 solúvel em ácido cítrico a 2% nos materiais orgânicos. BN=bokashi com inóculo nativo; BC=bokashi com inóculo comercial; F=farelos somente; FN=farelos com inóculo nativo. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de significância.

O resultado seguiu linha semelhante ao que ocorreu com o N-solúvel nos compostos. O BC apresentou maior teor de P disponível, seguido pelo BN e posteriormente o F. Isso indica que houve maior mobilidade de P para frações mais disponíveis de P quando os farelos foram submetidos ao processo de bokashi, tendo o inóculo comercial sido mais eficiente que o inóculo nativo nesse aumento. O FN, que se trata apenas da mistura do inóculo nativo com o farelo, apresentou menor teor de P-disponível, possivelmente por um efeito diluição, já que não passou por processo fermentativo. Os resultados da análise foram confirmados quando a média do controle positivo, fosfato natural reativo comercial, teve resultado muito próximo das garantias comerciais do produto (média = 14,9% contra 14% de garantia).

Diferentemente do que aconteceu com o nitrogênio, a aplicação dos bokashis no solo expressaram um aumento relativo na quantidade de P-disponível, conforme mostra a Tabela 9.

Tabela 9. Porcentagem de aumento de fósforo disponível (Mehlich-1) em relação à testemunha no solo equivalente a quantidade de P_2O_5 aplicado ($kg\ ha^{-1}$) expresso em % P ($kg\ P_2O_5\ aplicado$)⁻¹ a partir da adição dos materiais orgânicos. BN=bokashi com inóculo nativo; BC=bokashi com inóculo comercial; F=farelos somente; FN=farelos com inóculo nativo; FC=farelos com inóculo comercial; FP=farinha de penas; T=somente o solo; TC= somente o solo com aplicação do inóculo comercial.

Tratamentos	Dias em incubação									eq. P2O5 aplicado
	7			28			84			
	% P (kg P2O5 aplicado)-1						P (mg dm-3) referência			kg ha-1
BC	28,1	Aa		31,6	Aa		29,6	Aa		113,4
BN	23,7	Aa		28	Aa		26,9	Ab		80,7
FC	4,3	Ac		5,4	Ab		5,4	Ad		169,5
FN	8,1	Bbc		8,7	Bb		11,6	Ac		96,3
FP	12,3	Ab		6,6	Ab		5,8	Ad		34,3
F	3,6	Bc		5,9	Ab		6,6	Ad		169,5
T										
TC										

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de significância.

Aos 7 dias já houve aumento de P-disponível no BC e no BN em relação ao FC, FN e F. Esse resultado destaca o processo de bokashi como sendo efetivo na disponibilização de P no solo. Porém, não houve diferença em relação aos inóculos dos bokashis. Isso se confirma, pois não houve diferença entre os FN e FC para com o F, mostrando que a mistura de qualquer um dos dois inóculos com os farelos não causou efeito nessa disponibilização. O FP apresentou potencial para o aumento de P durante a primeira semana, ainda mais que o FC e o F, porém menos que os tratamentos BC e BN.

Aos 28 dias os tratamentos BC e BN mantiveram os maiores valores de P-disponível equivalente, acima de todos os outros tratamentos que ficaram no mesmo patamar. Aos 84 dias os bokashis se mantiveram entre os patamares mais elevados, porém o BC demonstrou maior colaboração para aumento do P-disponível em relação ao BN, demonstrando uma diferença tardia entre os inóculos testados. Houve também um aumento do P-disponível equivalente para o FN em relação ao FC e F, mostrando um efeito tardio com o inóculo nativo quando apenas misturado aos farelos. Dos 28 aos 84 dias de incubação foi observado um aumento significativo de P-disponível equivalente para o FN. Assim como para o F houve um aumento significativo de P-disponível equivalente dos 7 para os 28 dias de incubação.

4.5. Acidez do solo

Houveram diferenças significativas entre os tratamentos para potencial hidrogeniônico do solo (pH) para todas os períodos de incubação, conforme mostra a Tabela 10.

Tabela 10. Potencial hidrogeniônico do solo (pH em CaCl₂) a partir da adição dos materiais orgânicos. BN=bokashi com inóculo nativo; BC=bokashi com inóculo comercial; F=farelos somente; FN=farelos com inóculo nativo; FC=farelos com inóculo comercial; FP=farinha de penas; T=somente o solo; TC= somente o solo com aplicação do inóculo comercial.

Tratamentos	Dias em incubação									
	7		14		28		56		84	
BC	4,46	Bc	4,63	Aa	4,70	Ab	4,30	Cc	4,23	Db
BN	4,45	Cc	4,56	Bb	4,65	Ab	4,29	Dc	4,22	Eb
TC	4,20	Ae	4,22	Ad	4,24	Ad	4,14	Bd	4,00	Cc
FC	4,54	Ca	4,67	Ba	4,86	Aa	4,45	Da	4,24	Eab
FN	4,50	Cb	4,66	Ba	4,83	Aa	4,37	Db	4,27	Ea
FP	4,31	Cd	4,39	Bc	4,47	Ac	4,17	Dd	4,01	Ec
F	4,51	Cab	4,68	Ba	4,81	Aa	4,32	Dbc	4,23	Eb
T	4,20	BCe	4,22	ABd	4,25	Ad	4,16	Cd	4,01	Dc

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de significância.

Aos 7 dias de incubação foi possível verificar um aumento do pH, em relação ao T e TC, para todos os outros tratamentos que receberam aplicação dos materiais orgânicos. O FC teve o maior valor de pH entre os tratamentos, não diferindo somente do F. Em sequência o maior valor foi apresentado pelo FN, que não diferiu de F também, porém diferiu de FC, com um valor abaixo, indicando efeitos distintos pelos diferentes inóculos já na primeira semana. Entretanto, quando os farelos passaram pelo processo do bokashi os inóculos não interferiram durante esse período, já que o BC e o BN não diferiram. Além disso, ambos apresentaram valores de pH abaixo dos farelos que não passaram por esse processo, indicando menor potencial em diminuição inicial da acidez. O FP foi o tratamento que menos aumentou o pH na primeira semana.

Aos 14 dias de incubação foi observado um aumento de pH no BC, assim como para o FN (com aumento relativamente menor), e assim estes passaram fazer parte do grupo de tratamentos que apresentaram maiores valores nesse período, juntamente com o FC e o F, que também aumentaram. O BC e o BN mostraram diferenças nesse período, indicando comportamento diferente dos inóculos nesses compostos. O FP continuou como um intermediário entre os T e TC e os outros tratamentos.

Aos 28 dias de incubação foi o pico de maior pH para todos os tratamentos. Nesse caso os tratamentos FC, FN e F continuaram apresentando os maiores valores de pH. Um segundo patamar foi ocupado por ambos os bokashis, o BC e o BN, que não diferiram nessa ocasião. O FP permaneceu com os menores valores diferindo dos outros tratamentos e sendo maior apenas que o T e o TC.

Aos 56 dias de incubação, houve queda dos valores de pH para todos os tratamentos. O maior valor foi mantido somente pelo tratamento FC nesse período diferindo de F e FN dessa vez, indicando um efeito do inóculo no aumento de acidez. O segundo maior valor de pH foi observado no FN, porém não diferiu do F. O F também não diferiu dos valores de pH do BN e BC, estes últimos que também constinuaram não diferindo entre si. Nesse caso o FP teve um maior aumento da acidez, igualando-se ao T e TC.

Aos 84 dias de incubação, a queda dos valores de pH continuou para todos os tratamentos. Todos os tratamentos com adição de farelos ou bokashi tiveram valores superiores ao do T, TC e FP, indicando que a adição dos farelos como material orgânico por si só já colabora para conter mais a acidificação do solo. O FN apresentou o

maior valor ao final do período de incubação, mostrando potencial do inóculo nativo em evitar a acidificação do solo. O FC também obteve um dos maiores valores, não diferindo do FN, porém também não diferindo do F e dos dois bokashis, BC e BN. Os menores valores continuaram sendo os dos tratamentos FP, T e TC.

De forma geral, os inóculos mostraram ter comportamento diferente nos farelos, assim como nos bokashis, porém, em períodos específicos. Os farelos com inóculo mostraram maior potencial para manter o pH mais elevado aos últimos períodos do experimento, enquanto os bokashis tenderam a acidificar o solo em relação a somente os farelos durante período de decomposição desse material no solo, igualando-se ao mesmo ao final do experimento, aos 84 dias. O FP pouco colaborou no início da incubação para o aumento do pH, e a partir dos 56 dias foi verificado aumento de acidez semelhante à testemunha. O tratamento TC não diferiu em nenhum momento do tratamento T, mostrando que não houve efeito da aplicação do inóculo direto no solo nessa variável. Em todo caso, apesar de estatísticas, as diferenças de pH entre os tratamentos em valores absolutos foram muito baixas, não indicando com clareza um potencial desses insumos em agir como efetivos neutralizantes de acidez do solo.

4.6. Nitrogênio e carbono total do solo

Houveram diferenças significativas nos teores de carbono e N totais no solo após os 84 dias de incubação, conforme está apresentado na Tabela 11.

Tabela 11. Porcentagem de carbono (C) e nitrogênio (N) totais e relação carbono:nitrogênio (C:N) no solo após 84 dias de incubação após a adição dos materiais orgânicos. BN=bokashi com inóculo nativo; BC=bokashi com inóculo comercial; F=farelos somente; FN=farelos com inóculo nativo; FC=farelos com inóculo comercial; FP=farinha de penas; T=somente o solo; TC=somente o solo com aplicação do inóculo comercial.

Tratamentos	C		N		C:N	
	%					
BC	0,787	bc	0,059	abc	13,5	a
BN	0,811	bc	0,057	bc	14,4	a
FC	0,751	c	0,065	ab	11,5	a
FN	0,962	a	0,070	a	13,7	a
FP	0,769	bc	0,065	ab	11,9	a
F	0,809	bc	0,054	c	15,1	a
TC	0,577	d	0,051	c	11,5	a
T	0,887	ab	0,058	bc	14,0	a

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de significância.

Em relação ao teor de carbono total do solo, os tratamentos que diferiram da testemunha T foram apenas os tratamentos FC e TC, mostrando que a aplicação do inóculo comercial resultou em maior consumo de carbono durante o período de incubação, principalmente no TC que foi aplicado diretamente no solo. O FC, em todo caso, não diferiu do BC, do BN, do F e do FP. O FN apresentou o maior teor total de carbono, indicando que não houveram perdas, não diferindo do T, mas diferindo do restante dos tratamentos, indicando efeito diferente dos inóculos nativo e comercial. O BC, o BN, o FP e o F não diferiram também do T, indicando que não houve perda

de carbono, nem diferença dos inóculos entre os bokashis. Houve diferença entre a mistura de farelos com inóculo e o processo de bokashi apenas no caso do inóculo nativo.

Em relação ao teor de N total do solo, os tratamentos que diferiram do T foi somente o FN, com teores maiores. De qualquer forma esse tratamento não diferiu do FC, do BC e do FP, indicando não haver diferença dos inóculos, nem do processo de bokashi no caso do inóculo comercial para essa variável. Porém, no caso do inóculo nativo, houve diferença novamente, indicando que apenas a mistura de farelos com esse inóculo mantém maior quantidade de N total ao final do processo.

Não houve diferença entre a relação C:N do solo após aplicação dos materiais ao final do período de incubação.

4.7. Resumo dos principais resultados

O processo de bokashi produz N e P disponível nos compostos. Quando aplicados ao solo reduzem a mineralização de N, aumentam disponibilidade de P, reduzem a quantidade de N-nitrato e reduzem o aumento de pH em relação as misturas dos farelos com inóculos.

O bokashi com inóculo comercial demonstrou maior potencial que o bokashi com inóculo nativo para produção de N e P disponível nos compostos, aumento de mineralização inicial (até os 14 dias) e aumento da disponibilidade de P no final do período de incubação.

A mistura de inóculos microbiológicos nos farelos vegetais influenciaram em quase todas as variáveis avaliadas de forma ora semelhante, ora distinta. A mistura dos mesmos aos farelos acelerou a mineralização dos 14 aos 28 dias e dos 28 aos 56 diminuiu. A adição de farelos, com ou sem inóculos, intensificou o processo de nitrificação no solo. As variáveis microbiológicas indicaram perda de carbono e estresse no solo pela adição dos materiais orgânicos com maior fonte de carbono, porém este último somente no início da incubação.

A mistura de farelos com inóculo comercial demonstrou maior potencial para imobilizar N na primeira semana de aplicação ao solo, aumentou a taxa de mineralização no período inicial da incubação, aumentou a mineralização de N, demonstrou maior potencial de retardar a nitrificação, demonstrou indícios de maior consumo de carbono no solo e resultou em maior pH aos 56 dias de incubação.

A mistura de farelos com inóculo nativo diminuiu a mineralização de N na maioria dos períodos, demonstrou maior atividade biológica, resultou em maior pH final e foi mais eficiente em aumentar a quantidade de N total do solo, imobilizou fósforo no composto, porém aumentou o mesmo a longo prazo no solo.

A aplicação do inóculo comercial diretamente no solo sem substrato orgânico demonstrou maior perda de carbono por atividade biológica, assim como uma diminuição no carbono total do solo.

A aplicação de farinha de penas no solo demonstrou mineralização de N superior aos demais tratamentos em todos os períodos, demonstrou menor potencial de nitrificação de todo N rapidamente mineralizado, não teve grande influência nas variáveis microbiológicas, talvez pelo fato de ter sido adicionada em quantidade bem menor que os demais materiais, pouco influenciou no aumento de pH no início e se igualou à testemunha a partir dos 56 dias de incubação.

5. DISCUSSÃO

5.1. Bokashi

A produção de N e P disponíveis nos compostos pelos quais passaram pelo processo de bokashi neste trabalho confirma que durante sua fermentação, ocorre a transformação de moléculas orgânicas complexas em compostos orgânicos simples que muitas vezes podem ser absorvidos diretamente pelas plantas e assim auxiliar no desenvolvimento vegetal (Higa e Parr, 1994; Higa e Wididana, 1991). O processo fermentativo ocorre em temperaturas próximas ou pouco acima de 40°C, sendo esta uma temperatura mais favorável para a atividade microbiana e a mineralização e quebra de compostos orgânicos complexos, disponibilizando nutrientes no composto de forma mais rápida (Canterella, 2007). Em outro exemplo, Moreira e Siqueira (2006) destacaram que a maior atividade biológica ocorre com temperaturas entre 40 e 60°C. Isso explica também o maior potencial dos materiais orgânicos que passam por esse processo para nutrição de plantas, como verificado por sua aplicação na lavoura por outros autores (Ouvires et al., 2010; Suthamathy e Seran, 2013; Motta, 2013). Mesmo tendo essa maior disponibilidade de N nos compostos, após sua aplicação no solo esse trabalho demonstrou com seus resultados uma mineralização mais lenta e menor do material, em relação aos farelos que não passaram pelo processo, assim como os que somente foram inoculados, diferentemente do que observou Boechat et al. (2013), que conseguiram uma mineralização mais rápida do material quando esses passaram pelo processo de bokashi. Entretanto estes autores, apesar de testarem o processo em diversos materiais de diferentes constituições, não utilizaram a mistura de farelos vegetais que foram usadas nesse trabalho, sendo o material mais próximo disso usado o composto industrial de polpa de frutas, o que também teve essa mineralização reduzida quando passou pelo processo do bokashi. Essa mineralização menor e mais lenta onde foi aplicado os bokashis pode ter sido consequência da competição dos grupos de microrganismos mineralizadores nativos do solo com os adicionados pelo bokashi. Becker et al. (2012) enfatizaram com seus resultados que as interações antagonísticas podem determinar o funcionamento da comunidade microbiana e causar impacto negativo em suas funções no solo. O fato de o bokashi com inóculo comercial propiciar maior mineralização do material que o bokashi com inóculo nativo converge com essa afirmativa, já que muito provavelmente o inóculo nativo deve ser detentor de uma maior diversidade de microrganismos presentes, o que ocasiona maior competição com os microrganismos nativos do solo experimental (Kumar e Gopal, 2015). Os dados microbiológicos desse trabalho não foram suficientes para elucidar essa atividade biológica a esse nível, porém a demonstração de maior respiração basal no bokashi com inóculo comercial já se mostra um indício de atividade biológica diferenciada, certamente controlada por grupos distintos, já que o material era o mesmo dos outros tratamentos farelados. Da forma que foram feitas as análises microbiológicas, essas não foram efetivas em descrever possíveis melhoras nos aspectos de qualidade de solo, como menor coeficiente metabólico, ou aumento no carbono da biomassa microbiana, pela aplicação dos produtos, conforme descrito por Kaschuk et al. (2010), demonstrando estresse oxidativo causado pela adição da maioria dos materiais orgânicos adicionados. Scotton et al. (2017), com aplicação de materiais muito semelhantes, observaram aumento do carbono da biomassa microbiana e diminuição do coeficiente metabólico quando usado o bokashi com inóculo nativo. Dessa forma, é possível que a reincubação, ou os tempos de incubação escolhidos para avaliação, do presente trabalho, tenham interferido de forma negativa na averiguação dessas variáveis.

A reduzida quantidade de N-nitrato na aplicação dos compostos bokashi foi proporcional à menor mineralização dos mesmos, não parecendo ter existido estímulo ou competição dos microrganismos do composto

com os nitrificadores do solo. Os aumentos de pH observados durante o experimento foram menores pois também foram proporcionais ao grau de mineralização dos compostos, assim como o menor aumento da acidez foi proporcional à nitrificação, ambos os processos conhecidamente influenciadores na alteração dessa variável de solo (Cantarella, 2007).

O aumento da disponibilidade de P no solo também foi observado por Boechat et al. (2013) em alguns dos materiais testados, porém não com tanta intensidade quanto o presente trabalho. O mecanismo de acréscimo desse nutriente como fonte prontamente disponível para as plantas precisa ser melhor investigado, mas pode ter ocorrido via maior disponibilidade do material compostado fermentado (bokashi), como mostrado no presente trabalho. Juntamente a isso pode ter ocorrido ação de microrganismos solubilizadores de fosfato que compõe os inóculos (Sharma et al., 2014; Owen et al., 2015), ou também por uma possível liberação de ácidos orgânicos durante o processo fermentativo (Higa e Parr, 1994; Higa e Wididana, 1991), os quais competem com o P nos sítios de ligação dos colóides do solo, deixando mais do nutriente disponível para as plantas (Damon et al., 2014). O maior potencial do bokashi com inóculo comercial em disponibilizar P no solo pode ser consequência de sua maior disponibilização do nutriente no composto, e melhor condição propiciada para os microrganismos solubilizadores de fosfato (Giassi et al., 2016). A não diferença entre os bokashis quanto ao suprimento de N a partir dos 28 dias de incubação indica que os efeitos distintos entre os inóculos ocorreram somente no começo do teste, entretanto, resultados tardios como a diferenciação da quantidade de P ao final dos 84 dias de incubação mostram que mesmo a diferença dos inóculos tendo cedido à resiliência e equilíbrio do próprio solo (Kumar e Gopal, 2015), as consequências futuras desse período de diferenciação podem aparecer a posteriori com resultados diferentes entre os tratamentos.

De forma mais agrônômica, a aplicação do composto fermentado bokashi parece ser mais interessante no fornecimento de P que de N. No entanto, a mineralização de N mais lenta do material pode ser uma ferramenta de disponibilização do nutriente de forma gradual a fim de evitar perdas na forma de N-nitrato. Além disso, nesse trabalho não foi mensurada qual a participação da biomassa microbiana em imobilizar o N mineralizado. O N amoniacal no solo é rapidamente absorvido por microrganismos e incorporado à biomassa microbiana se houver carbono disponível (Cantarella, 2007; Jílková et al., 2015). Além disso, essa variável costuma ter uma boa correlação ao carbono da biomassa microbiana, o qual não expressou resultados evidentes nesse estudo, porém mostrou certa diferenciação entre inóculos no estudo de Scotton et al. (2017). Nessa forma o N pode ser rapidamente disponibilizado para as plantas e não fica susceptível a perdas no solo (Cantarella, 2007).

5.2. Inóculos comercial e nativo

A mistura dos inóculos microbiológicos nos farelos vegetais demonstraram efeitos distintos nas variáveis avaliadas, tal qual visto por Scotton et al. (2017) em variáveis microbiológicas e físicas de solo. A aceleração da mineralização com a aplicação dos produtos no solo também foi observada por efeito do bokashi com EM por Boechat et al. (2013), assim como a diminuição em período semelhante, porém apenas para um dos materiais testados, o qual tem características bioquímicas mais próximas do material usado no presente trabalho. Quanto ao aumento da intensidade de nitrificação no solo no qual foi adicionado material orgânico (com ou sem inóculo microbiano), o amônio é consumido pelos nitrificadores e rapidamente oxidado a nitrito e, posteriormente, a nitrato, quando há limitação de carbono, sendo o teor de carbono oxidável um dos fatores que influenciam esse processo (Cantarella, 2007).

O fato de a mistura de farelos com adição de inóculo comercial demonstrar maior potencial para imobilização de nitrogênio na primeira semana e logo na segunda semana aumentar a taxa de mineralização de forma expressiva mostra como esses microrganismos se comportam de forma diferenciada em relação à mistura com inóculo nativo. Isso ocorre devido a ação de diferentes grupos microbianos que estão atuando. Diferentes grupos de decompositores possuem características e potencial de mineralização diferentes segundo Hünninghaus et al. (2017). O efeito deste tratamento em retardar a nitrificação parece estar relacionado ao maior teor de N-amônio a ser nitrificado nesse contexto. Ouyang et al. (2017) observaram que a concentração de N-amônio disponível no solo interfere na nitrificação por estar relacionada à ação de diferentes microrganismos de solo, como arqueias quando em baixa concentração de N-amônio e bactérias, quando em alta concentração, interferindo na taxa e potencial para desempenhar o processo.

O maior consumo do carbono do solo quando misturado o inóculo comercial, sendo ainda mais intensivo quando não havia matéria orgânica exógena adicionada ao sistema, mostra o potencial que o mesmo tem em acelerar a decomposição da matéria orgânica do solo. Essa característica semelhante à proposta de outros produtos que são comercializados como aceleradores de compostagem, indicando que situação parecida ocorre no solo. Scotton et al. (2017) não observaram maior respiração basal usando inóculo de mesmas características que esse para confecção de composto fermentado bokashi, porém observaram diminuição também no carbono total do solo, em experimento de incubação. As oscilações de pH pela adição dos tratamentos, mesmo que baixas, podem traduzir a proporcional influência pela aplicação dos tratamentos e seus respectivos inóculos, porém as alterações foram mais evidentes entre os períodos de incubação. O aumento do pH do solo pela utilização de resíduos orgânicos já foi registrado na literatura por outros autores (Franchini et al., 1999; Miyazawa et al., 2000; Franchini et al., 2003; Boechat et al., 2013). Isso acontece devido ao consumo de H^+ da solução do solo mediante a protonação dos grupamentos funcionais, levando a um potencial efeito em minimizar a acidez do solo (Cantarella, 2007).

A diminuição da mineralização de N pela adição do inóculo nativo à mistura de farelos, juntamente com a maior atividade biológica, pode ser sinal de maior competição dos microrganismos inoculados com os nativos dos farelos ou à retenção do N na biomassa microbiana, assim como ocorreu com os bokashis (Becker et al., 2012; Kumar e Gopal, 2015; Cantarella, 2007; Jílková et al., 2015; Scotton et al., 2017). Mas neste tratamento isso ocorreu de forma menos intensa que no caso dos bokashis, mostrando ter uma menor influência quando inoculado sem a fermentação prévia. A atividade dos microrganismos nativos misturados no farelo também influenciou em uma imobilização de P presente nos farelos, o que caracteriza essa possível consequência também para o N do solo após a aplicação, já que ambos dependem de suas relações com o carbono para serem disponibilizados como solúveis (Novais et al., 2007). O aumento do N total do solo pode ter advindo dessa imobilização de N na biomassa microbiana também, podendo até ter ocorrido via fixação biológica de nitrogênio (FBN), esta que não foi mensurada nesse trabalho. A FBN desempenha importante papel no aporte de N em sistemas agrícolas, podendo ocorrer em microrganismos de vida livre também, sendo o sistema de manejo determinante para a atuação dos mesmos, como observado por Orr et al. (2011) e Wang et al. (2017). Há grande variedade de bactérias e cianobactérias capazes de realizar a FBN (Moreira e Siqueira, 2006). Em inóculos nativos existem grande diversidade de fixadores biológicos de nitrogênio que fixam o mesmo do ar, aumentando o teor de N orgânico, parte da biomassa microbiana, o que posteriormente pode ser levado a formas mais complexas e mais estáveis no solo (Kumar e Gopal, 2015).

Possíveis implicações agronômicas podem ser feitas pelos efeitos observados desses inoculantes. O uso do inóculo comercial poderia ser usado em situação em que se deseja uma atividade biológica de decomposição mais intensa, assim como maior liberação de N dos compostos para as plantas de forma mais rápida, para plantas de

crescimento mais rápido ou momentos de maior exigência desse nutriente. Entretanto o uso excessivo em solos com pouca adição de matéria orgânica não parece viável devido ao alto consumo de carbono, podendo a levar a condições de perda de fertilidade futura, já que a matéria orgânica é vital para a capacidade produtiva e sustentabilidade dos solos, principalmente em solos tropicais (Balota, 2017). O inóculo nativo parece ser mais interessante no que se refere ao aumento de fertilidade a longo prazo, pela regulação da acidez e por agregar mais N orgânico ao solo.

5.3. Farinha de penas

Já era prevista uma alta mineralização para a farinha de penas, por esta não conter em sua composição lignina e celulose, como os outros materiais, mas a quitina hidrolisada, que possui maior potencial de mineralização (Choi e Nelson, 1996), assim sendo a quantidade mineralizada no presente trabalho foi semelhante as encontradas por Hadas e Kaustsky (1994) e Johnson et al. (2012). A pouca ou nenhuma influência nas variáveis microbiológicas, assim como no aumento de pH, se deve a menor quantidade em que esse material foi adicionado ao solo, já que os tratamentos foram padronizados para mesma quantidade de N, e esse material tem teor bem superior que os demais, levando também a menor adição de carbono no solo (Franchini et al., 1999; Miyazawa et al., 2000; Franchini et al., 2003; Boechat et al., 2013). O menor potencial de nitrificação relativa pela aplicação desse material orgânico em relação à alta concentração de N-amônio no solo (proveniente da rápida mineralização) pode estar associado à seleção de diferentes grupos nitrificadores no sistema, como por exemplo as bactérias (Ouyang et al. 2017), mostrando haver um limite do potencial do solo em realizar esse processo, já que este depende da ação desses microrganismos.

A aplicação desse material orgânico em sistemas agrícolas se mostrou ter grande potencial para o suprimento de N, entretanto sendo a capacidade de nitrificação do solo limitada, as doses do material, assim como período de aplicação devem ser levados em consideração para que não ocorra efeito de toxidez nas plantas por excesso de N-amônio, como descrito por Bittsánszky et al. (2014). Johnson et al. (2012) consideraram que a rápida mineralização desse material pode não coincidir com as necessidades da cultura, como o milho doce, se esta for aplicada ao solo uma semana antes do plantio, conforme recomendação de Colquhoun et al. (2017), enquanto Vann et al. (2017b) consideraram seu uso muito satisfatório na produção de tabaco transplantado no mesmo dia da aplicação da farinha de penas. Dessa forma, futuros trabalhos precisam ser feitos para a otimização do uso desse material orgânico na lavoura, levando em consideração suas características, ou regulando sua liberação, para permitir a liberação gradual, não lenta demais como sem o tratamento, mas também não tão rápido como com esse tratamento, conforme já demonstrado por diversos autores (McCasland e Richardson, 1967; Morris e Balloun, 1973; Williamns et al., 1990; Elmayergi e Smith, 1971; Jeong et al., 2010; Choi e Nelson, 1996; More et al., 2017).

6. CONCLUSÃO

O composto fermentado bokashi se mostrou eficiente na disponibilização de P no solo, assim como N e P no composto. A mineralização de N foi reduzida quando os farelos passaram por esse processo. A aplicação do bokashi não interferiu na nitrificação. O bokashi com inóculo comercial foi mais eficiente em disponibilizar P e N no composto e no solo que o bokashi com inóculo nativo.

O inóculo comercial misturado aos farelos apresentou uma atividade biológica de decomposição mais intensa, assim como maior liberação de N dos compostos quando comparado ao inóculo nativo misturado aos farelos. O inóculo nativo misturado aos farelos apresentou maior teor de N orgânico no solo. Ambos inóculos demonstraram pouco efeito na nitrificação e na acidez do solo.

A aplicação da farinha de penas no solo apresentou grande potencial para o suprimento de N.

REFERÊNCIAS

- Agehara S, Warncke DD (2005) Soil Moisture and Temperature Effects on Nitrogen Release from Organic Nitrogen Sources. **Soil Science Society of American Journal**, 69:1844-1855.
- Balota EL (2017) **Manejo e Qualidade Biológica do Solo**. Editora: Mecenias, 1ª ed., 287 p.
- Bautista-Cruz A, Domínguez GC, Mendoza MNR, Pacheco RP, Robles C (2014) Effect of compost and slow-release fertilizers addition on soil biochemistry and yield of maize (*Zea mays* L.) in Oaxaca, Mexico. **Rev. FCA UNCUYO**, 46(1): 181-193.
- Becker J, Eisenhauer N, Scheu S, Jousset A (2012) Increasing antagonistic interactions cause bacterial communities to collapse at high diversity. **Ecology Letters**, 15: 468–474.
- Bielorai R, Losif B, Neumark H, Alumot E (1982). Low nutritional value of feather-meal protein for chicks. **J. Nutr.** 112:249–254.
- Bittsánszky A, Pilinszky K, Gyulai G, Komives T. (2015) Overcoming ammonium toxicity. **Plant Sci.** 231:184-190.
- Boechat CL, Santos JAG, Accioly AMA (2013) Net mineralization nitrogen and soil chemical changes with application of organic wastes with “Fermented Bokashi Compost”. **Acta Scientiarum**, 35(2): 257-264.
- Cantarella H (2007) Nitrogênio. In: Novais RF, Alvarez VH, Barros NF, Fontes RL, Cantarutti RB, Neves JCL. **Fertilidade do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa MG, p. 65-90
- Choi JM, Nelson PV (1996) Developing a Slow-release Nitrogen Fertilizer from Organic Sources: II. Using Poultry Feathers. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, 121(4):634-638.
- Colquhoun JB, Gevens AJ, Groves RL, Helder DJ, Jensen BM, Nive GRW, Ruark MD (2017) **Commercial Vegetable Production in Wisconsin**. (Univ. of Wisconsin Ext. Publ.), 318 p.
- Couto JL (2011) **Crescimento, fisiologia e nutrição do feijoeiro submetido a interações entre inóculo microbiano e adubação**. Dissertação (Mestre em Ciências Agrárias). UFRB, 91p.
- Cruz C, Bio AFM, Domínguez-Valdivia MD, Aparicio-Tejo PM, Lamsfus C, Martins-Louc A (2006) How does glutamine synthetase activity determine plant tolerance to ammonium? **Planta**, 223: 1068–1080.
- Damon PM, Bowden B, Rose TJ, Rengel Z (2014) Crop residue contributions to phosphorus pools in agricultural soils: a review. **Soil Biology and Biochemistry**, 74:127-137.
- Díaz-Pérez JC, Jenkins WK (2017) Detrimental Effects of Blood Meal and Feather Meal on Tomato (*Solanum lycopersicon* L.) Seed Germination. **Hortscience**, 52(1):138–141.
- Elmayergi HH, Smith RE (1971) Influence of growth of *Streptomyces fradiae* on pepsin-HCl digestibility and methionine content of feather meal. **Can. J. Microbiol.** 17:1067–1072.
- Embrapa (1997) **Manual de métodos de análise de solo**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. – 2. ed. rev. atual. – Rio de Janeiro, 212 p.
- Fernandes SJO, Titon M, Santana RC, Antonini LG, Nogueira GS, Barros Filho NF (2011) Sobrevivência e crescimento de mudas clonais de eucalipto em resposta à aplicação de fertilizante orgânico. **Cerne**, 17(4): 601-606.
- Ferreira S, Assis RP, Souza RJ, Gomes LAA (2012) Avaliação da adição de bokashi no cultivo de brócolis Lord Summer. **Revista agrogeoambiental**, 4(3): 1-6.
- Ferreira S, Souza RJ, Gomes LAA (2013) Produtividade de brócolis de verão com diferentes doses de bokashi. **Revista Agrogeoambiental**, 5(2): 31-38.

- Formowitz B, Elango F, Okumoto S, Müller T, Buerkert A (2007) The role of “effective microorganisms” in the composting of banana (*Musa spp.*) residues. **J. Plant Nutr. Soil Sci.**, 170: 649–656.
- Fornari E (2002) **Manual prático de agroecologia**. São Paulo: Aquariana, 240 p.
- Franchini JC, Hoffmann-campo CB, Torres E, Miyazawa M, Pavan A (2003) Organic composition of green
- Franchini JC, Malavolta E, Miyazawa M, Pavan MA (1999) Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. **R. Bras. Ci. Solo**, 23:533-542.
- Fundação Mokiti Okada – MOA (2002) **Microorganismos eficazes EM na agricultura**. 2 ed. Ipeúna: Fundação Mokiti Okada, 29 p.
- Goering HK, Van Soest PJ (1970) **Forage fiber analysis (Apparatus, reagents, procedures and some applications)**. Washington, DC: USDA, 379 p.
- Hachiya T, Sakakibara H (2017) Interactions between nitrate and ammonium in their uptake, allocation, assimilation, and signaling in plants. **Journal of Experimental Botany**, 68(10) 2501–2512.
- Hadas A, Kautsky L (1994) Feather meal, a semi-slow-release nitrogen fertilizer for organic farming. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, 38(2):165-170.
- Harrison AF (1987) **Soil Organic Phosphorus—A Review of World Literature**. CAB International, Wallingford, Oxon, UK, 257 p.
- Higa T, Parr JF (1994) **Beneficial and effective microorganisms for a sustainable agriculture and environment**. Atami: International Nature Farming Research Center, 16p.
- Higa T, Wididana GN (1991) The concept and theories of effective microorganisms. In: Hornick SB, Whitman CE. **Proceedings of the First International Conference on Kyusei Nature Farming**. U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C., USA. 118-124.
- Hodge A, Storer K (2014) Arbuscular mycorrhiza and nitrogen: implications for individual plants through to ecosystems. **Plant and Soil**, 386(1):1-19.
- Homma SK (2005) **Efeito do manejo alternativo sobre a descompactação do solo, fungos micorrízicos arbusculares nativos e produção em pomar convencional de tanger “murcott”**. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 84 p.
- Huang H, Ouyang W, Wu H, Liu H, Andrea C (2017) Long-term diffuse phosphorus pollution dynamics under the combined influence of land use and soil property variations. **Science of the Total Environment** 579:1894:1903
- Hünninghaus M, Koller R, Kramer S, Marhan S, Kandeler E, Bonkowski M (2017) Changes in bacterial community composition and soil respiration indicate rapid successions of protest grazers during mineralization of maize crop residues. **Pedobiologia – Journal of Soil Ecology**, 62:1-8.
- Inácio MC, Paz TA, Pereira AMS, Furlan M (2017) Endophytic *Bacillus megaterium* and exogenous stimuli affect the quinonemethide triterpenes production in adventitious roots of *Peritassa campestris* (Celastraceae). **Plant Cell Tiss. Organ. Cult.** 131:15–26.
- Jenkinson DS, Powlson DS (1976) The effects of biocidal treatments on metabolism in soil-I. Fumigation with chloroform. **Soil Biol. Biochem.** 8:167-177.
- Jeong JH, Jeon YD, Lee OM, Kim JD, Lee NR, Park GT, Son HJ (2010) Characterization of a multifunctional feather-degrading *Bacillus subtilis* isolated from forest soil. **Biodegradation**, 21:1029–1040.
- Jíková V, Frouz J, Cajthaml T, Bonkowski M (2015) The role of bacteria and protists in nitrogen turnover in ant nest and forest material: A laboratory experiment. **European Journal of Soil Biology**, 69:66-73.

- Johnson HJ, Colquhoun JB, Bussan AJ, Laboski CAM (2012) Estimating nitrogen mineralization of composted poultry manure, organic fertilizers, and green manure crops for organic sweet corn production on a sandy soil under laboratory conditions. **Horttechnology** 22:37-43
- Jones DL, Oburger E (2011) Solubilization of phosphorus by soil microorganism. In: Buenemann EK, Oberson A, Frossard E. **Phosphorus in Action**. Springer, New York, 169–198.
- Kaschuk G, Alberton O, Hungria M (2010) Three decades of soil microbial biomass in Brazilian ecosystems: Lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. **Soil Biology and Biochemistry**, 42:1-13.
- KMA (2017) **Embiotic**. In: http://www.kmambiente.com.br/produtos_acelerador.html. Acesso em 2017.
- Korin (2017) **Fert Bokashi Premium**. In: <http://www.korin.com.br/produtos/insumos/bokashi/fertbokashi-premium/>. Acesso em 2017.
- Kumar BL, Gopal DVRS (2015) Effective role of indigenous microorganisms for sustainable environment. **3 Biotech**, 5:867–876.
- Kumar J, Sharma A, Kumar P, Kushwaha RKS (2017) Enhancement of Soil Nutrition using Fermented Feather and their Efficacy on Seed Germination. **Int. J. Pure App. Biosci.** 5(1): 92-98.
- Leinweber O, Kruse J, Baum C, Arcand M, Knight JD, Farrel R, Eckhardt KE, Kiersch K, Jandl G (2013) Advances in understanding organic nitrogen chemistry in soils using state-of-the-art analytical techniques. **Advances in Agronomy**, 119:83-151.
- Li S, Wang Z, Miao Y, LI S (2014) Soil organic nitrogen and its contribution to crop production. **Journal of Integrative Agriculture**, 13(10):2061-2080
- Magrini FE, Camatti-Sartori V, Finkler R, Torves J, Venturin L (2011) Características químicas e avaliação microbiológica de diferentes fases de maturação do biofertilizante Bokashi. **Revista Agrarian**, 12(4): 146:151.
- manure during growth and its effect on cation mobilization in an acid Oxisol. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 34:2045-2058.
- Marschner P (2012) **Mineral Nutrition of Higher Plants**. 3rd Edition, Elsevier, 651 p.
- Mayer J, Schied S, Widmer F, Fliebach A, Oberholzer HR (2010) How effective are “Effective microorganisms® (EM)” Results from a field study in temperate climate. **Applied Soil Ecology**, 46: 230-239.
- McCasland WE, Richardson LR (1967) Methods for determining the nutritive value of feather meal. **Poultry Sci.** 46:1231-1236.
- Miyazawa M, Pavan MA, Franchini JC (2000) Neutralização da acidez do perfil do solo por resíduos vegetais. **Inf. Agron.**, 92:1-8.
- More A, Srinivasan A, Liao PH, Lo KV (2017) Microwave enhanced oxidation treatment of organic fertilizers. **J. Sci. Food. Agric.** 97:3233–3239 .
- Moreira FMS, Siqueira JO. (2006) **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2.ed. Lavras: UFLA, 729p.
- Morris WC, Balloun SL (1973) Evaluation of five differently processed feather meals by nitrogen retention, net protein values, xanthine dehydrogenase activity and chemical analysis. **Poultry Sci.** 52:1075-1084.
- Motta NF (2013) **Efeito do Bokashi no crescimento da cebolinha, do coentro e em alguns atributos químicos e biológicos do solo**. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Fortaleza, CE:UFC, 66 p.
- Näsholm T, Kielland K, Ganeeteg U (2009) Uptake of organic nitrogen by plants. **New Phytologist**, 182:31-48.
- Novais RF, Alvarez VH, Barros NF, Fontes RL, Cantarutti RB, Neves JCL (2007) **Fertilidade do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa MG, p. 65-90

- Orr CH, James A, Leifert C, Cooper JM, Cummings SP (2011) Diversity and Activity of Free-Living Nitrogen-Fixing Bacteria and Total Bacteria in Organic and Conventionally Managed Soils. **Applied and Environmental Microbiology**, 77(3):911-919.
- Ouvires OEA, Souza GM, Tiritan CS, Santos DH (2010) Fertilizante orgânico como fonte de fósforo no cultivo inicial de *Brachiaria brizantha* cv. Marandú. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 40(2): 126-132.
- Ouyang YO, Norton JM, Stark JM (2017) Ammonium availability and temperature control contributions of ammonia oxidizing bacteria and archaea to nitrification in an agricultural soil. **Soil Biology and Biochemistry**, 113:161-172.
- Owen D, Williams AP, Griffith GW, Withers PJA (2015) Use of commercial bio-inoculants to increase agricultural production through improved phosphorus acquisition. **Applied Soil Ecology**, 86:41-54.
- Penteado SR (2003) **Introdução à agricultura orgânica**. Viçosa: Gráfica Impress, 235 p.
- Pereira GV, Pereira DCO, Pinto DFP, Demattê Filho LC, Homma SK, Botelho RC (2016) Organic fertilizer: effect on yield and qualitative traits of *Brachiaria brizantha* cv. Marandú after the third harvest. **Brazilian Journal of Sustainable Agriculture**, 6(3): 40-44.
- Pushpa TB, Vijayaraghavan J, Sardhar Basha SJ, Sekaran V, Vijayaraghavan K, Jegan J (2015) Investigation on removal of malachite green using EMbased compost as adsorbent. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, 118: 177-182.
- Reddy N (2015) Non-food industrial applications of poultry feathers. **Waste Management**, 45:91-107.
- Rodrigues DS, Nomura ES, Garcia VA (2009) Coberturas de solo afetando a produção de alface em sistema orgânico. **Revista Ceres**, 56(3): 332-335.
- Salama ASM, El-Sayed OM, El Gammal OHM (2014) Effect of effective microorganisms (EM) and potassium sulphate on productivity and fruit quality of “Hayahy” date palm grown under salinity stress. **Journal of Agriculture and Veterinary Science**, 7(6): 90-99.
- Santos HG, Jacomine PKT, Anjos LHC, Oliveira VA, Lumberreras JF, Coelho MR, Almeida JÁ, Cunha TJF, Oliveira JB (2013) **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos** – 3 ed. rev. ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 353 p.
- Satyaprakash M, Nikitha T, Reddi EUB, Sadhana B, Vani SS (2017) Phosphorous and Phosphate Solubilising Bacteria and their Role in Plant Nutrition. **Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.** 6(4): 2133-2144.
- Schimel JP, Bennet J (2004) Nitrogen mineralization: challenges of a changing paradigm. **Ecology**, 85:591-602.
- Scotton JC, Pereira JS, Campos AAB, Pinto DFP, Costa WLF, Homma SK (2017) Different sources of inoculum to the bokashi provides distinct effects on the soil quality. **Brazilian Journal of Sustainable Agriculture**, 7(3): 32:-38.
- Sharma A, Sharma R, Arora A, Shah R, Singh A, Pranaw K, Nain L (2014) Insights into rapid composting of paddy straw augmented with eficiente microorganism consortium. **Int J Recycl Org Waste Agricult** (2014) 3(2): 1-9.
- Sharma S, Kumar V, Tripathi RB (2011) Isolation of Phosphate Solubilizing Microorganism (PSMs) From Soil. **J. Microbiol. Biotech. Res.** 1(2):90-95.
- Shen J, Yuan L, Zhang J, Li H, Bai Z, Chen X, Zhang W, Zhang F (2011) Phosphorus dynamics: from soil to plant. **Plant Physiology**, 156(3):997-1005.
- Silva EE, Azevedo PHS, De-Polli H (2014) **Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico (qCO₂)**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 4p.
- Silva FC (2009) **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. rev. ampl. - Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica, 627 p.

- Silva FC, Abreu MF, Pérez DV, Eira PA, Abreu CA, van Raij B, Gianello C, Coelho AM, Quaggio JA, Tedesco MJ, Silva CA, Barreto WO (2009) **Métodos de análises químicas e avaliação da fertilidade do solo**. In: Silva FC. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2ª ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 627 p.
- Singh R, Singh P, Sharma R (2014) Microorganism as a tool of bioremediation technology for cleaning environment: A review. **Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences**, 4(1): 1-6.
- Singh S, Nain L (2014) Microorganisms in the conversion of agricultural wastes to compost. **Proc Indian Natn Sci Acad**, 80(2): 473-481.
- Siqueira APP, Siqueira MFB (2013) **Bokashi: adubo orgânico fermentado**. Niterói: Programa Rio Rural (Manual Técnico 40), 16 p.
- Stevenson FJ (1982) Organic forms of soil nitrogen. In: Stevenson FJ. **Nitrogen in Agricultural Soils**. America Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, 67-114.
- Suthamany N, Seran TH (2013) Residual effect of organic manure EM Bokashi applied to proceeding crop of vegetable cowpea (*Vigna unguiculata*) on succeeding crop of radish (*Raphanus sativus*). **Research Journal of Agriculture and Forestry Sciences**, 1(1): 2-5.
- Talaat NB (2015) Effective microorganisms improve growth performance and modulate the ROS-Scavenging System in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants exposed to salinity stress. **J Plant Growth Regul**, 34:35-46.
- Talaat NB, Ghoniem AE, Abdelhamid MT, Shawky BT (2015) Effective microorganisms improve growth performance, alter nutrients acquisition and induce compatible solutes accumulation in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants subjected to salinity stress. **J Plant Growth Regul**, 75:281-295.
- Tete E, Viaud V, Walter C (2015) Organic carbon and nitrogen mineralization in a poorly-drained mineral soil under transient waterlogged conditions: an incubation experiment. **European Journal of Soil Science**, 66:427-437.
- Trani PE, Terra MM, Tecchio MA, Teixeira LAJ, Hanasiro J (2013) **Adubação orgânica de hortaliças e frutíferas**. Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), 16 p.
- van Raij B, Andrade JC, Cantarella H, Quaggio JA (2001) **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, Instituto Agrônomo, 285 p.
- van Raij, B (2011) **Fertilidade do Solo e Manejo de Nutrientes**. Piracicaba: IPNI: International Plant Nutrition Institute, 420 p.
- Vance ED, Bookes PC, Jenkinson DS (1987) An extraction method for measuring soil microbial biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, 19(6):703-707.
- Vann M, Bennett N, Fisher L, Reberg-Horton SC, Burrack H (2017a) Poultry Feather Meal Application in Organic Flue-Cured Tobacco Production. **Agronomy Journal**, 109(6):1-8.
- Vann RA, Recerg-Horton SC, Poffenbarger HJ, Zinati GM, Moyer JB, Mirsky SB (2017b) Starter Fertilizer for Managing Cover Crop-Based Organic Corn. **Agronomy Journal**, 109(5):2214-2222.
- Vieira W, Silva FC (2009) Análise de fertilizantes minerais, organominerais e corretivos. In: Silva FC. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2ª ed. ver. ampl. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 627 p.
- Wang D, Xu A, Elmerich C, Ma LZ (2017) Biofilm formation enables free-living nitrogen-fixing rhizobacteria to fix nitrogen under aerobic conditions. **The ISME Journal**, 11:1602-1613.
- Williamns CM, Lee CG, Garlich JD, Shih JCH (1990) Evaluation of a bacterial feather fermentation product, feather-lysate, as a feed protein. **Poultry Sci**. 70:85-94.

- Yuliana AL, Sumarni T, Islami T (2015) Application of bokashi and sunn hemp (*Crotalaria juncea* L.) to improve inorganic fertilizer efficiency on maize (*Zea mays* L.) **Journal of Degraded and Mining Lands Management**, 3(1): 433-438.
- Zhang J, Wang J, Müller C, Cai Z (2016) Ecological and practical significances of crop species preferential N uptake matching with soil N dynamics. **Soil Biology and Biochemistry**, 103:63-70.