



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE
TROPICAL-PPGBIO
MESTRADO E DOUTORADO
UNIFAP / EMBRAPA-AP / IEPA / CI-BRASIL



Erika Kzan da Silva

Avaliação do uso de moinha de carvão na compostagem de lodo de esgoto e caroço de açaí
para o cultivo de milho (*Zea mays* L.)

Macapá - AP

2014

Erika Kzan da Silva

Avaliação do uso de moinha de carvão na compostagem de lodo de esgoto e caroço de açaí para o cultivo de milho (*Zea mays* L.)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Biodiversidade Tropical da Universidade Federal do Amapá como requisito parcial a obtenção do título de mestre em Biodiversidade Tropical.

Área de concentração: uso sustentável da biodiversidade

Orientador: Marcelino Carneiro Guedes

Macapá - AP

2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Biblioteca da Embrapa Amapá

Silva, Erika Kzan da.

Avaliação do uso de moinha de carvão na compostagem de lodo de esgoto e caroço de açaí para o cultivo milho (*Zea mays* L.) / Erika Kzan da Silva; orientador Marcelino Carneiro Guedes - Macapá, 2014.
61f.

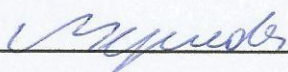
Dissertação (Mestrado) - Fundação Universidade Federal do Amapá, Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Tropical.

1. Adubo orgânico. 2. Resíduo sólido – reaproveitamento. 3. Biossólido. 4. Biochar. I. Guedes, Marcelino Carneiro. orient. II. Título.

CDD (21. ed.) 631.584

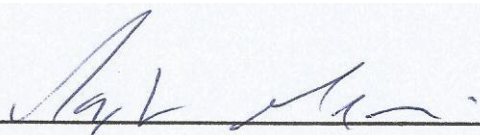
Erika Kzan da Silva

**“Avaliação do uso de moinha de carvão na compostagem de lodo de esgoto e caroço de
açai para o cultivo de *Zea mays* L.”**



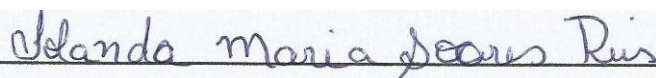
Orientador: Prof. Dr. Marcelino Carneiro Guedes

EMBRAPA-AMAPÀ



Examinador: Dr. Nagib Jorge Melém Junior

EMBRAPA-AMAPÀ



Examinador: Dr.ª. Iolanda Maria Soares Reis

Universidade Federal do Oeste do Pará

Macapá-AP, 29 de Agosto de 2014

DEDICATÓRIA

À minha mãe e avó, em
retribuição ao amor incondicional
a mim.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelas realizações e por me guiar nas escolhas acertadas que fiz.

À minha mãe, Marilene Kizan da Silva, e à minha avó, Helia Kizan da Silva que construíram a ponte para que eu chegasse até aqui, não medindo esforços para a realização de meus sonhos.

À Universidade Federal do Amapá – UNIFAP e ao Programa de Biodiversidade Tropical pela aprovação e por acreditarem em meu potencial.

Ao apoio estrutural e financeiro fornecido pela Embrapa Amapá, por meio do projeto Florestan, Conservação Internacional, CAESA – AP e CAPES.

Ao meu orientador, Dr. Marcelino Carneiro Guedes, pelo grande auxílio nas correções, formação e incentivo na superação de meus limites.

Ao pesquisador da Embrapa, Paulo Paiva, pela colaboração nas coletas de campo e orientação.

Aos amigos e colegas de pesquisa, pela ajuda incansável durante os trabalhos de coleta de dados: Danielle, Ezaquiel, Roseane, Daniel, Maciane, Anderson, Edgley.

Aos amigos conquistados no mestrado: Gabrielly Guabiraba, Maisa Otake, Huann Vasconcelos, Aristides Sobrinho, Lia Kajiki, Cíntia Togura, Beatriz, Emanuelle Pinto e, em especial, a Isai Castro.

Aos amigos de infância e estudos, pelo apoio espiritual, por sempre me lembrarem da vitória ao fim do caminho: Giselle Nerino, Suelen Alves, Julia Bastos, Caio Lourenço, Amanda Trindade, Rafael Saldanha, Leandro Couto, Isabella Rocha, Gabriela Oliveira, Ana Carla Pinho, Caio Giuliano, Samuel Fadul, Juliette Benchimol, Letícia Amaral e Cibelle Begot.

Ao meu antigo orientador e eterno educador, Carlos Costa.

A Bruno Esdras pelos cuidados, doação, paciência e colaboração técnica durante a etapa de final de confecção deste estudo.

Aos demais familiares e amigos por entenderem meus momentos de reclusão, por me incluírem em suas orações e torcerem para que tudo desse certo.



PREFÁCIO

A presente dissertação foi dividida em uma introdução geral com revisão de literatura e em dois capítulos. O primeiro capítulo é referente ao artigo intitulado “**Compostagem de caroço de açaí com lodo de esgoto e moinha de carvão de ouriço da castanheira**” e foi enviado para publicação à Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Já o segundo capítulo é referente ao artigo intitulado “**Produção de milho (*Zea mays* L.) utilizando substrato orgânico contendo lodo de esgoto e moinha de carvão do ouriço da castanheira da Amazônia (*Bertolletia excelsa* Bonpl.)**” que será enviado para a revista Acta Amazônica.

A introdução geral, bem como as suas referências e os capítulos desta dissertação foram formatados de acordo com as normas da Agência Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), contidas nas diretrizes para normalização do documento impresso e eletrônico de teses e dissertações da Universidade Federal do Amapá (UNIFAP).

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Fluxograma do experimento mostrando os dois tipos de compostos orgânicos, com e sem a presença de moinha de ouriço de castanheira da Amazônia (*Bertolletia excelsa* Bonpl.)27
- Figura 2 – Quantidade de substrato produzido ao final da compostagem (GDL = 12). a) Rendimento médio dos substratos orgânicos após 100 dias. b) produção média dos substratos orgânicos após 100 dias.....32
- Figura 3 – Teores médios (n=4, GLR =12) de nitrogênio ao final da compostagem e após 365 dias de estocagem (a) e potássio (b) encontrados nos compostos contendo lodo, esterco, caroço de açaí e moinha de carvão de ouriço da castanha da Amazônia..33
- Figura 4 – Intervalo de confiança (95%) e altura média (n=5) de plantas de milho (*Zea mays* L.) cultivadas em casa de vegetação, em função da interação entre fonte de N e presença de moinha no composto, e da complementação mineral.52
- Figura 5 – Intervalo de confiança (95%) e diâmetro médio (n=5) de plantas de milho (*Zea mays* L.) cultivadas em casa de vegetação, em função da interação entre fonte de N e presença de moinha no composto, e da complementação mineral.52
- Figura 6 – Intervalo de confiança (95%) e MST médio (n=5) de plantas de milho (*Zea mays* L.) cultivadas em casa de vegetação, em função da interação entre fonte de N e presença de moinha no composto, e da complementação mineral.55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Porcentagem de substratos usados na compostagem, em função de cada tratamento, para manter a relação C/N = 30.....	28
Tabela 2 – Caracterização do material de origem usado na produção dos compostos orgânicos.....	31
Tabela 3 – Teores de metais pesados encontrados nos compostos orgânicos produzidos com lodo da lagoa de decantação da CAESA	38
Tabela 4 – Análise química dos teores totais de nutrientes em compostos orgânicos produzidos com lodo, caroço de açaí e moinha de carvão de ouriço da castanheira, após um ano de armazenamento.	46
Tabela 5 – Tratamentos de adubação para milho contendo cinza de coivara, adubação orgânica e complementação química.....	48
Tabela 6 – Análise foliar da folha diagnóstico de plantas de milho submetidas aos tratamentos contendo variação na fonte de N, presença de moinha e complementação de adubação ao final da fase vegetativa	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

C org. – Carbono orgânico

CAESA – Companhia e Água e Esgoto do Amapá

CV – Coeficiente de variação

CTC – Capacidade de troca catiônica

Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

LACEN – Laboratório Central de Saúde Pública do Amapá

Mapa – Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento

MO – Matéria orgânica

NMP – Número mais provável

Resex do Rio Cajari – Reserva Extrativista do Rio Cajari

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	12
1.1 RESÍDUOS SÓLIDOS: PROBLEMA QUE VIRA SOLUÇÃO.....	12
1.2 RESÍDUOS SÓLIDOS DA REGIAO NORTE: CAROÇO DE AÇAÍ.....	13
1.3 RESÍDUOS SÓLIDOS DA REGIAO NORTE: OURIÇO DA CASTANHA DA AMAZÔNIA	14
1.4 COMPOSTAGEM: PROCESSO DE TRANSFORMAÇÃO DE RESÍDUO EM HÚMUS	14
1.5 <i>BIOCHAR</i> DA AMAZÔNIA: BIOCÁRVÃO COMO CONDICIONADOR DE SOLO	15
1.6 COMPOSTO ORGÂNICO	17
2 PROBLEMA	17
3 HIPÓTESE.....	18
4 OBJETIVOS	18
4.1 OBJETIVO GERAL	18
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
REFERÊNCIAS	19
CAPÍTULO 1: COMPOSTAGEM DE CAROÇO DE AÇAÍ COM LODO DE ESGOTO E MOINHA DE CARVÃO DE OURIÇO DA CASTANHEIRA	22
Resumo	22
Palavras-chaves.....	22
Abstract	22
1. INTRODUÇÃO	24
2 MATERIAL E MÉTODOS	27
2.1 PROCEDIMENTOS PARA PRODUÇÃO DO COMPOSTO	27
2.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS E DOS COMPOSTOS PRODUZIDOS.....	29
2.3 ORIGEM DA MOINHA DO CARVÃO DE OURIÇO DE CASTANHA DA AMAZÔNIA	30
2.4 BOLSAS COM MOINHA DE CARVÃO	30
2.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	30
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31

3.1 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DAS PILHAS DE COMPOSTAGEM.....	32
3.2 ADSORÇÃO DE NUTRIENTES PELAS BOLSAS DE MOINHA	36
3.3 METAIS PESADOS	37
CAPÍTULO 2: PRODUÇÃO DE MILHO (<i>Zea mays</i> L.) UTILIZANDO COMPOSTO ORGÂNICO COM LODO DE ESGOTO E MOINHA DE CARVÃO DO OURIÇO DA CASTANHEIRA DA AMAZÔNIA (<i>bertolletia excelsa</i> Bonpl.).....	42
Resumo	42
Palavras-chave	42
Abstract	42
Keywords.....	43
1. INTRODUÇÃO	44
2. MATERIAL E MÉTODOS	46
2.1 PROCEDIMENTOS EM CASA DE VEGETAÇÃO	46
2.2 VARIEDADE ESCOLHIDA	50
2.3. PARÂMETROS ANALISADOS	50
2.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	51
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
3.1 ALTURA E DIÂMETRO	51
3.2 BIOMASSA, MST (g) E RELAÇÃO MSPA/MSR	53
3.3 AVALIAÇÃO DOS NUTRIENTES POR DIAGNOSE FOLIAR	55
4. CONCLUSÃO.....	57
REFERÊNCIAS	58

1. INTRODUÇÃO GERAL

A gestão de resíduos sólidos é uma demanda em crescimento para o poder público e a sociedade em geral, sobretudo, em decorrência do hábito da baixa aplicação de recursos neste setor e tendo em vista a expansão das áreas povoadas (GOLLO et al., 2011). Dar uma destinação adequada para os resíduos gerados pelas atividades humanas contribui para a diminuição da poluição dos solos e água. Também contribui para reduzir os riscos de contaminação para o homem por organismos patogênicos e da biodiversidade como um todo, pela não agressão de habitats, fontes de alimentos e água, o que garante a reprodução e sobrevivência de diversas espécies de indivíduos.

Os métodos de destinação mais usuais dos resíduos sólidos são: incineração, disposição no oceano, recuperação de terrenos de mineração, aterro, digestão em lagoas e uso agrícola (HARRIS-PIERCE et al., 1995). A digestão em lagoas não é eficaz quando passa a comportar material além da sua capacidade suporte, o mesmo podendo ocorrer com aterros. Em muitas cidades, como é o caso de Macapá, é comum que o planejamento do que fazer após o fim da vida útil da lagoa não seja realizado com antecedência. Apenas quando surge a necessidade de esvaziamento da lagoa é que vai se pensar o que fazer com o lodo. O caminho mais curto e fácil é simplesmente descartar o lodo em terrenos baldios, o que apenas mudaria o problema de lugar.

No entanto, o não aproveitamento deste resíduo e o descarte inadequado caracterizam um desperdício de material e de energia. Além disso, a água da chuva pode carrear substâncias suspensas e dissolvidas que infiltram no solo ficando armazenada na superfície ou até descer aos lençóis freáticos, podendo também escorrer na forma de enxurrada chegando aos rios e mares (SISTE et al., 2009)

1.1 RESÍDUOS SÓLIDOS: PROBLEMA QUE VIRA SOLUÇÃO

A disposição do lodo em aterros não é tecnicamente adequada. De acordo com estudos de Guedes e Poggiani (2005), esta prática causa preocupações aos operadores do sistema, gerando problemas como a produção de chorume (líquido muitas vezes tóxico e de coloração escura que escorre do lixo, por muitas vezes, contaminando o solo e o lençol freático) e o abatimento de partes do aterro devido à decomposição da carga orgânica, tornando a presença desses resíduos orgânicos indesejáveis no local.

Alguns resíduos quando não reciclados causam poluição do solo e da água e podem liberar metais pesados que irão se acumular ao longo da cadeia alimentar, podendo chegar ao homem. Estes metais são os elementos com densidade maior que 5 g cm^{-3} (BERTON, 2000) e podem estar presentes, principalmente, em resíduos derivados de atividade industrial. Entretanto, o lodo doméstico tem normalmente concentrações de Cd, Cu, Mo, Ni, Zn, Pb, Mn, Fe, Al, Cr e Hg dentro das faixas permitidas (SILVA et al., 1998).

Uma alternativa segura para disposição do lodo de esgoto, frente aos vários problemas que podem acontecer com outras formas de disposição final, é sua utilização como biossólido. Para Vega et al. (2004), biossólido é o lodo de esgoto devidamente tratado e com características desejáveis para ser usado na agricultura. Porém há a necessidade de observar o comportamento das culturas, dosagens, frequência de aplicação, tanto na biomassa aérea quanto na radicular, pois de acordo com Chang et al. (1987) e Silva et al. (2002), estas seriam as maiores preocupações quanto ao seu uso pelo possível excesso de metais pesados. A USEPA (1995) conceitua o biossólido como qualquer produto orgânico resultante do tratamento de esgotos, que pode ser benéficamente utilizado ou reciclado sem danos ambientais e sem prejuízos à saúde de animais e humanos.

1.2 RESÍDUOS SÓLIDOS DA REGIAO NORTE: CAROÇO DE AÇAÍ

Na região norte do Brasil há alguns resíduos como o caroço do açaí e o ouriço da castanha da Amazônia, produzidos tanto na zona urbana como na zona rural, que podem ser usados em conjunto com o biossólido originado do lodo de esgoto tratado, para a produção de adubos e fertilizantes.

O caroço de açaí corresponde ao endocarpo e amêndoa do fruto do açazeiro (*Euterpe oleracea*). É um subproduto resultante da atividade extrativista, considerado resíduo após o processamento para retirada da polpa nas “batedeiras” (GANTUSS, 2006). Devido não haver um destino útil é geralmente despejado em via pública próximo dos locais de venda, utilizado como aterro em construções ou simplesmente despejado em lixões. Portanto, é mais um poluidor ambiental, tanto no meio urbano quanto para as populações ribeirinhas. Ferreira & Bezerra (2009) concluíram em estudos pelo estuário amapaense, que são encontradas produtividades médias em torno de 200 t ha^{-1} de açaí.

O caroço de açaí é considerado de decomposição lenta, devido ao elevado teor de lignina, se comparado com outros materiais vegetais como folhas. A semente do açaí, desprovida de epicarpo e parte do mesocarpo, é formada de um eixo embrionário e abundante tecido endospermático, que representa 73% a 90% da massa total do fruto (VILLACHICA et

al., 1996; MARTINS et al., 2009). Por ser de mais difícil decomposição, se comparado com materiais mais ricos em nitrogênio, como é o caso do esterco bovino e do biossólido, é material estruturante para ser usado na produção de adubo orgânico por ser fonte de carbono durante todo o processo de decomposição. Em experimentos realizados com caroço de açaí em compostagem (método de decomposição aeróbia de materiais orgânicos), é comum usar cerca de 70%, combinando-o com lixo orgânico urbano (30% a 35%) e capim e folhas, como o que foi realizado por Teixeira et al. (2000) por considerar a necessidade de material estruturante e durável até o final da compostagem.

1.3 RESÍDUOS SÓLIDOS DA REGIAO NORTE: OURIÇO DA CASTANHA DA AMAZÔNIA

O fruto onde ficam guardadas as amêndoas de castanha é popularmente denominado de ouriço. Após a quebra do fruto, o ouriço que sobra da coleta de castanha da Amazônia, torna-se um resíduo largamente produzido na zona rural do sul do Amapá, onde se pratica o extrativismo da castanha. Este ouriço, que pode pesar, em média, 1,6 kg sem as amêndoas (NOGUEIRA et al., 2014), tem sido pouco aproveitado. De acordo com Ambiente Brasil (2007), o ouriço que sobra da coleta da castanha da Amazônia é um resíduo que existe em abundância no sul do Estado do Amapá e em vários estados da Amazônia. Altamente lignificado, possui elevado poder calorífico e potencial para uso como energia. Uma das alternativas seria sua utilização para produção do carvão, sendo mais uma fonte de renda para a população de extrativistas da Amazônia (NOGUEIRA et al., 2014), bem como a utilização da moinha que é a sobra do processo de produção do carvão como condicionador do solo. No presente trabalho, o ouriço não foi utilizado como resíduo orgânico, mas sim a parte fina do carvão dele derivado.

A incorporação da moinha do carvão do ouriço da castanheira em processos de compostagem garantiria o aproveitamento do resíduo mais fino do carvão na geração de alimentos, sem competir com o potencial energético do carvão. Com isso, seria dada uma destinação sustentável ao resíduo gerado após a retirada da amêndoa, aproveitando ainda mais os recursos disponibilizados por esta espécie, que é o símbolo do desenvolvimento sustentável na Amazônia.

1.4 COMPOSTAGEM: PROCESSO DE TRANSFORMAÇÃO DE RESÍDUO EM HÚMUS

Ao comentar sobre o método de utilização de restos de origem animal e vegetal decompostos, Kiehl (1985) diz que o ponto mais favorável em relação à compostagem é a redução de lixo destinada aos aterros sanitários, assim como a capacidade de se criar uma

destinação nobre para resíduos. O reaproveitamento desses resíduos, como o caroço do açaí, por meio do método da compostagem é uma forma de tornar cíclica a gama de nutrientes que pode ser disponibilizada a partir da decomposição para pronto consumo de formas vegetais. Assunção et al. (2010) afirmam que o progresso pode ocorrer pelo uso de materiais facilitadores da conversão de uma economia baseada em materiais fósseis por outra baseada no baixo uso de carbono, com desenvolvimento mais igualitário às populações e com menos prejuízo ao meio ambiente.

Com base em Chorom & Hosseini (2011), é possível afirmar que em condições ambientais favoráveis, os microrganismos atuam degradando os resíduos, sendo que o consumo deste material garante ao final do processo a produção do húmus. Segundo Kiehl (2004), ao final do processo de compostagem é gerado um composto orgânico contendo sais minerais, onde estão presentes nutrientes necessários ao desenvolvimento de vegetais e húmus que é um condicionador de solo. Esse composto é classificado como fertilizante orgânico pela legislação brasileira.

A matéria orgânica para Kiehl (1985) é toda substância que possui carbono tetravalente se ligando a oxigênio, hidrogênio, nitrogênio e outros elementos. Assim, são diversos os materiais orgânicos que podem ser utilizados na compostagem.

1.5 *BIOCHAR* DA AMAZÔNIA: BIOCARVÃO COMO CONDICIONADOR DE SOLO

A moínha do carvão do ouriço da castanha aplicado ao solo pode melhorar suas propriedades físicas e químicas. No entanto, esse efeito pode ser potencializado se a moínha for funcionalizada. A criação de grupos funcionais, ou funcionalização, é o que permite a ela reter nutrientes junto ao complexo de trocas de cargas do solo (LEHMANN et al., 2005). Aumentar a CTC do solo é ainda mais importante em solos típicos da região amazônica, intensamente oxidados, pobres em matéria orgânica, e com argilas de baixa capacidade de troca de cargas (PROST et al., 2013). Estudos têm mostrado que a incorporação de apenas de biocarvão proporciona enriquecimento do solo. Porém, este mais envelhecido e com adição de adubo, mostra melhora na qualidade do solo, podendo ainda fornecer fósforo e potássio dependendo de sua fonte (TENENBAUM, 2014).

A adição da moínha como condicionador de solos ocorreu com o que se conhece como terra preta do índio (TPI). Segundo BENITES et al. (2009), a formação da TPI é um fenômeno estudado no mundo todo, para verificar como essas manchas de solo fértil pode dar direcionamento para as pesquisas sobre a adubação e deposição de resíduos. Neste contexto, Benites et al. (2009) comentam que “a elucidação da gênese dos horizontes antrópicos nas

TPIs contém informações valiosas que podem gerar novas tecnologias e novas soluções para a agricultura tropical”. Segundo os autores, matéria orgânica de origem pirogênica que se encontra em grande quantidade nesses solos antrópicos, é um dos elementos chave na preservação da elevada fertilidade e na boa estruturação e condição físico-hídrica deles.

A terra preta seria ainda uma rota mais barata para sequestrar dióxido de carbono, servindo como fonte inspiradora para a incorporação de carbono no solo. O carvão tem a capacidade de bloquear o carbono no solo e armazená-los por longos períodos tornando este solo mais fértil. O carbono no carvão fica aprisionado numa forma sólida, como o que acontece na Amazônia (TENENBAUM, 2014).

De acordo com Benites et al. (2009) o ácido húmico encontrado no carvão, de modo geral, é ao mesmo tempo estável e reativo. Portanto, pode ser importante para a formação de fertilizantes organo-minerais pela associação com nutrientes, sendo ainda estruturante para o solo. Além disso, as cinzas contidas na moinha apresentam nutrientes que podem ser disponibilizados, como é o caso do potássio e cálcio. O aumento da capacidade de troca catiônica (CTC), da retenção de água e a melhoria de outros atributos do solo, podem ser atribuídos ao biocarvão, como relatado por Fischer e Glaser (2011) e Prost et al., (2013).

O carvão é um dos subprodutos da carbonização, juntamente com o ácido pirolenhoso e o alcatrão. A mistura desses três produtos resulta no biocarvão (*biochar*), isto de acordo com interpretações de Schimmelpfennig; Glaser (2012). Outros autores dão interpretação mais simples para o termo. *Biochar* seria então todo material orgânico carbonizado adicionado ao solo com a função de melhorar suas qualidades físicas e químicas (Lehmann et al., 2003).

Outra função destacada por Joyce (2010), é que a inoculação de um solo com *biochar* devidamente acondicionado pode incentivar a formação de conjuntos altamente benéficos estruturais de micorrizas ao longo do tempo. As micorrizas tem função de aumentar a área de absorção das raízes colaborando para o crescimento de vegetais.

Insam; Bertoldi (2007 apud DIAZ; SAVAGE) defendem que a maneira mais indicada para adicionar o biocarvão ao solo é através do processo de compostagem, que permite a oxidação pela temperatura elevada e também a ação biótica dos microorganismos inoculados que degradam o carbono disponível. Nesse processo, o biocarvão pode ser combinado com biomassa rica em nitrogênio para que haja uma boa relação carbono: nitrogênio entre materiais estruturantes e energéticos, como tem sido visto em usos com esterco de galinha e em banheiros secos na Índia. Joyce (2010) expõe que em situações em que o *biochar* foi adicionado diretamente ao solo houve a ocorrência de alterações indesejadas no pH, umidade, ou disponibilidade de nutrientes.

1.6 COMPOSTO ORGÂNICO

Após a compostagem e mistura de materiais ricos e carbono com outros ricos em nitrogênio são produzidos compostos orgânicos para serem usados na agricultura. Este fertilizante orgânico humificado seria a matéria orgânica que passou pelo processo de degradação (Kiehl, 1985). De acordo com a necessidade da planta produzida, este fertilizante pode ser combinado com fontes minerais de adubação, como a cinza que sobra de fornos ou como ocorre em roças, quando é realizada a queima de tocos retirados na área onde será feito o plantio, a coivara, que é o processo corte e queima da capoeira presente no local de plantio da cultura de se deseja cultivar. São exemplos de fertilizantes organo-minerais (Decreto 86.955/ 1982).

Sobre a adição de cinzas no solo, Zimmermann (2002) observou em seus estudos que após adicionar cinza de madeira, houve elevação da atividade microbiana com o aumento da mineralização da matéria orgânica e da respiração do solo. Ele aponta também a elevação no teor de cálcio e comenta que o retorno da cinza para o solo diminui os custos com adubação. Materechera; Mkhabela (2002) testaram cinza de serrapilheira e observaram elevação do pH em solos ácidos, concluindo que a cinza pode ser usada como método de calagem.

Nesse contexto, este trabalho visa propor uma destinação adequada de resíduos sólidos como o lodo de esgoto, o caroço do açaí e a moinha que sobra do processo de carbonização do ouriço da castanha da Amazônia, por meio da compostagem. Assim, após o tratamento adequado do lodo de esgoto e a compostagem dos resíduos orgânicos, sem e com a moinha do carvão, o composto orgânico produzido foi testado na cultura do milho.

2 PROBLEMA

O planejamento dessa dissertação foi orientado pela seguinte questão: é possível dar uma destinação adequada para resíduos sólidos como lodo de esgoto e moinha de carvão gerados no Estado do Amapá - Brasil, por meio de processo de compostagem, sem que haja poluição e desperdício de materiais, e ainda produzir um fertilizante de qualidade?

No âmbito do PPGbio, o problema tratado na dissertação se enquadra na linha de pesquisa “uso sustentável da biodiversidade”. Na medida em que a dissertação aborda o aproveitamento de resíduos da biodiversidade amazônica, buscando uma destinação adequada

aos mesmos, o estudo também contribui para evitar a contaminação da biodiversidade devido ao descarte descontrolado de resíduos no ambiente.

3 HIPÓTESE

O planejamento desse trabalho teve por base a hipótese de que a compostagem é uma destinação adequada para resíduos sólidos e que o lodo de esgoto pode substituir o esterco como fonte de nitrogênio no processo, produzindo um composto capaz de fornecer nutrientes à cultura do milho sem lhe causar toxicidade. Testou-se ainda a hipótese de que a combinação com a moinha de carvão de ouriço da castanha-da-amazônia aumenta a eficiência do processo de compostagem e a qualidade do composto produzido.

4 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o processo de compostagem como forma de viabilizar o descarte final adequado dos resíduos sólidos lodo de esgoto, caroço de açaí e moinha de carvão, e o uso do composto como fertilizante orgânico para produção de milho.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar a presença de helmintos e de metais pesados no lodo de esgoto da lagoa de decantação da CAESA, para avaliar o risco de contaminação;
- avaliar o efeito do lodo e da adição da moinha do carvão do ouriço da castanheira sobre a melhoria da qualidade do composto e desenvolvimento das plantas;
- caracterizar química e fisicamente os compostos produzidos;
- comparar o desenvolvimento de plantas de milho produzidas com os compostos, complementados com cinza de coivara e adubo químico.

REFERÊNCIAS

ASSUNÇÃO, F. C. R. **Materiais avançados no Brasil 2010-2022**. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, Brasília, DF. 2010.

BENITES, V. M. et al. **Utilização de carvão e subprodutos da carbonização vegetal na agricultura: Aprendendo com as terras pretas de índio**, p. 285 – 296. 2009. Disponível em: <http://www.biochar.org/joomla/images/stories/Cap_22_Vinicius.pdf>. Acesso em: 02 de ago. de 2014.

BERTON, R. S. **Riscos de contaminação do agroecossistema com metais pesados**. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Ed). Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, n. 16, p. 259-268. 2000.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. Ícone, São Paulo, SP, 739 p. 2010.

BUDZIAK, C. R. et al. 2004. Transformações químicas da matéria orgânica durante a compostagem de resíduos da indústria madeireira. **Química Nova**, v.27, n.3, p. 399-403.

CANELLAS, L. P. Distribuição de matéria orgânica e características de ácidos húmicos em solos com adição de resíduos de origem urbana. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 12, p. 1529-1538. 2001.

CAPIZZI-BANAS, S.; SCHWARTZBROD, J. Irradiation of Ascaris ova in sludge using an electron beam accelerator. **Water Research**, Amsterdam, v. 35, n. 9, p. 2256-2260. 2001.

CHANG, A. C. et al. **Effects of long term sludge application on accumulation of trace elements by crops**. 1987. In: PAGE, A.L.; LOGAN, T.J.; RYAN, J.A. (Ed.) Land application of sludge: food chain implications. Chelsea: Lewis Publishers, p.53-66.

CHOROM, M.; HOSSEINI, S. S. Bioremediation of Crude Oil-Polluted Soil by Sewage Sludge. **Pedologist**. Shaid Chamran University, Khuzstan, Irã, p. 294-301. 2001.

CORRÊA et al. **Produção de biossólido agrícola por meio da compostagem e vermicompostagem de lodo de esgoto**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. UAEA/UFCG, Campina Grande, PB, v. 11, n. 4, p. 420 – 426. 2007.

BRASIL. Decreto nº 86.955, de 18 de fevereiro de 1982. Regulamenta a Lei 6.894, de 16 de dezembro de 1980, alterada pela Lei nº 6.934, de 13 de julho de 1981, que dispõe sobre a inspeção e a fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e pelo Decreto-Lei nº 1899, de 1981, que institui taxas relativas às atividades do Ministério da Agricultura. **Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento**.

FERREIRA, C. N. P. L.; BEZERRA, S. C. M. **Guias de Gerenciamento de Riscos em Alimentos**. Divisão de vigilância Sanitária da Coordenadoria de Vigilância em Saúde da Secretaria Estadual de Saúde do Amapá, Organização Pan-Americana de Saúde - OPAS/OMS. 2009. Disponível em: <http://bvs.panalimentos.org/local/File/Guias_para_gerenciamento_riscos_sanitarios_em_a

limentos.pdf.>. Acesso em: 27 de jul. de 2012.

FISCHER, D.; GLASER, B. **Synergisms between Compost and Biochar for Sustainable Soil Amelioration**. Martin-Luther-University Halle-Wittenberg, Institute of Agricultural and Nutritional Sciences, Soil Biogeochemistry, Halle, Germany Management of Organic Waste, p. 167 – 199. 2011.

GANTUSS, C.A.R. **Caracterização física e química de locais de ocorrência do Açaizeiro (*Euterpe oleracea*, mart) no Estado do Amapá e sua relação com o rendimento e qualidade do fruto**. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal da Paraíba, Areia, PB, 79 p. 2006.

GLASER et al. The Terra Preta phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics. **Naturwissenschaften**, n.88, p. 37- 41. 2001.

GOLLO et al. **Guia de orientação para adequação dos Municípios à Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)**. 2011.

GUEDES, M. G. et al. Propriedades químicas do Solo e Nutrição do Eucalipto em Função da Aplicação de Lodo de Esgoto. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 30 ed., p. 267-280. 2006.

HARRIS-PIERCE et al. Sewage sludge application effects on runoff water quality in a semiarid grassland. **Journal. Environment**, n.24, p. 112-115. 1995.

INSAM, H.; BERTOLDI, M.D. **Microbiology of the composting process**. 2007. In: L.F. DIAZ, L. F.; SAVAGE, G. M. Compost science and technology. Waste Management Series 8, Elsevier, Amsterdam, p. 25 - 48.

JOYCE, J. **The Biochar Revolucion: Conditioning Biochars for Application to Soils**. Principal Technologist. Black is Green Pty Ltd., Part IV: Testing, Conditioning & Using Biochar, cap. 15, Australia, 2010, p. 231 – 246.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes Orgânicos**. Agronômica Ceres Ltda, Piracicaba, SP, 492 p. 1985.

Idem. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. Piracicaba, SP, p. 02-03. 2004.

LEHMANN, J. et al. Near-edge X-ray absorption "ne structure (NEXAFS) spectroscopy for mapping nano-scale distribution of organic carbon forms. in soil. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 19, GB1013. 2005. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2004GB002435/pdf>>. Acesso em 30 de jun. 06 de 2014.

LEHMANN et al. **Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments**. **Plant Soil**. v.249, p. 343–357. 2013.

MARTINS et al. **Comportamento térmico e caracterização morfológica das fibras de mesocarpo e caroço do açaí (*Euterpe oleracea* Mart.)**. Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal, SP, v. 1, n. 4, p. 1150-1157. 2009.

MATERECHERA, S. A.; MKHABELA, T. S. The effectiveness of lime, chicken manure and leaf litter ash in ameliorating acidity in a soil previously under black wattle (*Acacia mearnsii*) plantation. **Bioresource Technology**, n. 85, p. 9-16. 2002.

NOGUEIRA et al. Avaliação da Carbonização do Ouriço da Castanha-do-Brasil em Forno Tipo Tambor. **Scientific Electronic Archives**, n.6, p. 7-17. 2014.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE. **Guias para o gerenciamento dos riscos sanitários em alimentos**. Área de vigilância sanitária, prevenção e controle de doenças - OPAS/OM, Rio de Janeiro, RJ, 320 p. 2009.

PROST et al. Biochar Affected by Composting with Farmyard Manure. Organic compounds in the environment. Technical reports. **Journal of Environmental Quality**, n. 42, p. 164–172. 2013.

SILVA, F. C. da. et al. Cana-de-açúcar cultivada em solo adubado com lodo de esgoto: nutrientes, metais pesados e produtividade. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, DF, v. 33, n.01, p. 1-8. 1998.

SILVA, J. E. et al. Alternativa agrônômica para o biossólido produzido no Distrito Federal. II – Aspectos qualitativos, econômicos e práticos de seu uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 2, n.26, p. 497-503. 2002.

SISTE, C. E. et al. **Manual prático para formação e capacitação de grupos comunitários em métodos de monitoramento de qualidade da água – módulo II: avaliação bacteriológica da água**. Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE. 2009

TEIXEIRA, L. B. et al. **Compostagem de lixo orgânico urbano no município de Barcarena, Pará**. Embrapa Amazônia Oriental: documentos, 59. Belém, PA, 25p. 2000.

TENENBAUM, D. J. **Biochar: Carbon Mitigation from the Ground Up**. Environ Health Perspect, v. 117, n. 2, p.70 - 73. 2009. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2649247/>>. Acesso em 10 de ago. de 2014.

USEPA – United States Environmental Protection Agency. **A guide to the biosolids risk assessments for the EPA Part 503 rule, 1995**. Washington: Office of Wastewater Management, EPA/ 832-B-93-005, 195 p. 1995.

VEGA, F. V. A. et al. Aplicação de biossólido na implantação da cultura da pupunheira. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 22, n. 01, p. 131-135. 2004.

VILLACHICA, H. et al. **Frutales y hortalizas promisorios de la Amazonia**. Tratado de Cooperacion Amazonica. Secretaria Pro-tempore, Lima, Peru, 367 p. 1996.

ZIMMERMANN, S. et al. Rapid degradation of pyrogenic carbono. **Global Change Biology**, n.18, p. 3306–3316. 2012.

ZIMMERMANN, S.; FREY, B. Soil respiration and microbial properties in an acid forest soil: effects of wood ash. **Soil Biology & Biochemistry**, p. 1-11. 2002.

CAPÍTULO 1: COMPOSTAGEM DE CAROÇO DE AÇAÍ COM LODO DE ESGOTO E MOINHA DE CARVÃO DE OURIÇO DA CASTANHEIRA

Resumo

O estudo comparou lodo com esterco bovino como fonte de N, além de testar a adição de moinha de carvão de ouriço da castanheira na compostagem, conduzida por 100 dias em pilhas de 200 L. A produção de composto peneirado foi de 62% nas pilhas sem moinha e de 72% com moinha, de 63% com lodo e de 71% com o esterco. Os teores disponíveis de N, K, Ca e Mg foram maiores no composto com esterco, apenas nas pilhas sem moinha. Não houve diferença significativa para Zn e Mn, apenas para o Fe em relação à fonte de N. O carbono foi maior no composto com esterco, com média de 147 g kg⁻¹. O pH de todos os tratamentos ficou dentro do desejável para uso agrícola (5,5 a 6,5), com teores de Al próximos de zero e valores elevados de P. Comparando as médias das bolsas contendo carvão colocadas nas pilhas com o valor do moinha na fase inicial, houve elevado aumento de N e K. Os teores de metais pesados no composto com lodo estão dentro da faixa permissível pelo CONAMA-375/2006. Em geral, o composto com lodo se mostrou boa fonte de nutrientes, se igualando ao esterco em muitos parâmetros, e a moinha de carvão confirmou a capacidade de adsorção dos nutrientes para liberação lenta ao longo do tempo, mas diminuiu a disponibilidade imediata no composto final.

Palavras-chaves

Adução orgânica, reaproveitamento de resíduos, biossólido, biochar

Abstract

The study compared sludge with cattle manure as a source of N, in addition to testing the addition of chaff coal hedgehog of the chestnut tree in the compost, conducted for 100 days in 200 L. cells Production of sieved compound was 62% in cells without chaff and chaff to 72%, with 63% silt and 71% manure. The levels of available N, K, Ca and Mg were higher in the compound with manure, only in cells without chaff. There was no significant difference for

Zn and Mn, only for Fe in relation to the source of N. The carbon was higher in the compound with manure, with an average of 147 g kg⁻¹. The pH of all treatments was within the desirable for agricultural use (5,5 to 6,5) with Al concentration near zero and high values of P. Comparing the mean carbon-containing bags placed in stacks with the value of chaff in the initial phase, there was high increase of N and K. the heavy metal content in the mud with compound are within the allowable range by CONAMA-375/2006. In general, the compound of sludge showed good source of nutrients, matching the manure on many parameters, and confirmed the chaff charcoal adsorption capacity for slow release of nutrients over time, but decreased availability in the final compound.

Keywords: Organic manure, waste reuse, biosolids, biochar

1. INTRODUÇÃO

A Conferência de Estocolmo (1972), a Agenda 21 (1992), o protocolo de Kioto (1997), o Plano de Implementação da Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável (2002), estão entre as mais importantes convenções mundiais resultantes das pressões internacionais para evitar a degradação ambiental. Uma questão sempre levantada nessas conferências é a necessidade de melhor aproveitamento dos recursos naturais e de gestão dos resíduos gerados.

O Brasil, signatário dessas convenções, investiu na formulação de leis que primam por um desenvolvimento que resguarda os bens naturais coletivos às gerações futuras, como é o caso da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/10) e da Plano Nacional de Saneamento Básico (Lei nº 11.445/07).

A destinação final inadequada dos resíduos sólidos, seja esgoto ou lixo doméstico, contribui para a contaminação da água, elevando a carga orgânica e a demanda bioquímica de oxigênio (DBO). Conseqüentemente, se elimina boa parte da fauna e flora aquáticas, havendo também o risco de contaminação por metais pesados que podem se acumular ao longo da cadeia alimentar.

Estudos do Inventário Nacional de Emissão de Gases do Efeito Estufa (1994) mostram que a disposição inadequada dos resíduos sólidos também pode contribuir para o aumento na emissão de gases do efeito estufa como o CH₄. Esse estudo estimou uma taxa de emissão de 0,68 Tg no ano de 1994, derivada apenas da disposição inadequada de resíduos.

Por outro lado, os resíduos domésticos são fontes ricas de matéria orgânica e nutrientes, que quando bem empregados, contribuem para a melhora da qualidade dos solos. A matéria orgânica é particularmente importante nos solos Amazônicos, normalmente muito intemperizados e, em sua grande maioria, de baixa fertilidade. A exemplo do que ocorreu no passado com a “terra preta do índio”, resultado da ação de populações pré-colombianas, a adição de diversos materiais orgânicos permitiu a formação e manutenção até hoje, de manchas de solo muito férteis e bem estruturados. O uso do fogo controlado e formação de carvão nestas áreas foi importante para a manutenção dessa fertilidade (FISCHER; GLASER, 2011).

Prost et al. (2013) e Insam, Bertoldi (2007) relatam que a adição de carvão no solo, neste caso chamado de “biochar”, contribui para o aumento da capacidade de troca catiônica (CTC) e retenção de nutrientes, bem como com o aumento no conteúdo de água de acordo com o processo de oxidação. O “biochar” pode ser produzido com a parte fina (moinha) do

carvão da madeira e também de resíduos, como o ouriço da castanha da amazônia, que fica acumulado no meio da floresta após a extração, sendo fonte de contaminação para a safra seguinte.

O papel do carvão na CTC depende da geração de cargas nesse material, naturalmente inerte, por meio da funcionalização (PROST et al, 2013). O processo de funcionalização do carvão pode ser intensificado pela compostagem através da oxidação de sua superfície (INSAM; BERTOLDI, 2007).

De acordo com Kiehl (2004), compostagem é a decomposição por ação microbiana por meio do processo de oxidação de uma porção heterogênea de diversos materiais orgânicos. Nesse processo, são produzidos calor e vapor d'água, passando por uma fase inicial termófila, por uma segunda fase de estabilização e por uma última etapa de cura ou humificação, gerando um material de cor uniforme e de cheiro agradável. Uma outra definição de compostagem, é a transformação da matéria orgânica em húmus, na presença de água e oxigênio, pela ação de bactérias fungos e outros organismos (CRAVO et al., 2007; PRIMAVESI, 2009),

Em trabalhos sobre fertilizantes orgânicos, Kiehl (2003), observando a compostagem com esterco bovino (C:N=15) retirado nos pastos, húmus (C:N=10) coletado sob as pilhas de ouriços acumuladas nos castanhais, e outros resíduos agrícolas disponíveis (como cascas de mandioca, cama de frango, etc.), aponta que húmus coletado sob as pilhas de ouriços tem a dupla função de ajudar a compensar a alta concentração de C no carvão do ouriço da castanha da Amazônia (C:N=100:1) e de inocular o composto com a diversidade microbiológica do solo da floresta. Assim, os materiais citados deveriam ser misturados para se obter uma relação C:N próxima de 30. Esse valor descrito é considerado ideal para maximizar a eficiência do processo de compostagem (Kiehl, 1998), sendo que a relação C:N é o principal indicador utilizado para orientar o processo de mistura substratos.

Os resíduos orgânicos com relação C:N baixa (menor que 30), apresentam maior facilidade de decomposição. Em materiais com uma relação elevada ocorre a falta de nitrogênio e em decorrência disso há o retardamento no desenvolvimento de microrganismos benéficos ao processo. Relações C:N muito baixas e o excesso de nitrogênio podem causar pontos anaeróbios no sistema, com liberação de amônia e geração de odores (Teixeira et al., 2000).

Para se obter uma mistura de materiais com relação C:N adequada para um substrato que será compostado, pode-se utilizar dos mais diversos materiais orgânicos e resíduos

disponíveis, sendo importante separar materiais ricos em carbono e materiais que serão fontes de nitrogênio, para calcular a mistura.

Um resíduo rico em nitrogênio que pode ser utilizado na compostagem é o lodo de esgoto. A capital do Estado do Amapá - Brasil, Macapá, ainda não possui serviço de coleta e tratamento de esgoto, sendo o esgoto doméstico normalmente destinado às fossas sépticas. Uma parte do resíduo de esgoto das fossas é coletado por caminhões pipas particulares e despejados na lagoa de decantação das Pedrinhas. Essa lagoa tem a vida útil limitada. Quando for esgotada, o lodo decantado lá precisará ter uma destinação final adequada.

Outro resíduo, nesse caso, rico em carbono, muito comum no Estado do Amapá e em toda a Amazônia é o caroço do açaí. Esse resíduo é gerado após processamento do fruto para produção do vinho, sendo descartado em locais inadequados e contribuindo para geração de um cenário de sujeira nas cidades.

A compostagem pode ser o caminho para a correta destinação final desses resíduos. Além da geração do fertilizante orgânico, a compostagem também pode contribuir para a desinfecção do lodo de esgoto. De acordo com Corrêa et al. (2007), a compostagem reduziu de 4,7 ovos viáveis de helmintos/g de matéria seca de lodo, para 0,34 ovos até valores não detectáveis. A compostagem é indicada pela Resolução 375/2006 do CONAMA para esta finalidade e também para reduzir a atratividade de vetores.

Com a compostagem, a matéria orgânica do lodo pode ser estabilizada chegando a humificação (Kiehl, 2004). Os quelatos, componentes do húmus proveniente da matéria orgânica se unem aos íons metálicos, como os que estão presentes no lodo, diminuindo sua disponibilidade às raízes das plantas. Os metais, quando estão em pequenas quantidades, formam ligações altamente estáveis com os quelatos (Kiehl, 1985).

A adição da moinha do carvão em pilhas de compostagem com lodo e serragem elevou o pH destas leiras e não houve inibição da maturação do composto. Porém, ocorreu inibição da compostagem na concentração de 35% de fino, causando perda de N na fase inicial da compostagem e inibindo a mineralização do potássio (FANG, et al., 1999).

Neste contexto, o estudo foi direcionado para responder se os resíduos em questão poderiam ser incorporados com sucesso na compostagem. Assim, o objetivo do trabalho foi comparar o uso do lodo de lagoa de decantação com o esterco, como fonte de nitrogênio na compostagem, além de verificar o efeito da incorporação da moinha de carvão de ouriço de castanha sobre a eficiência da compostagem e a qualidade do composto produzido.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 PROCEDIMENTOS PARA PRODUÇÃO DO COMPOSTO

No processo de compostagem foram montadas pilhas com materiais ricos em nitrogênio e ricos em carbono. Foram testados dois tipos de compostos ricos em nitrogênio: lodo estabilizado, esterco de gado, ambos com e sem a moinha de carvão vegetal. Foi utilizada moinha feita a partir de cascas do fruto (ouriço) da castanheira da Amazônia. O caroço de açaí foi misturado ao lodo ou ao esterco como material rico em carbono para balancear a mistura.

O experimento foi montado no galpão de compostagem da Embrapa Amapá, em área coberta, com quatro tratamentos (Figura 1) e quatro repetições de cada tratamento.

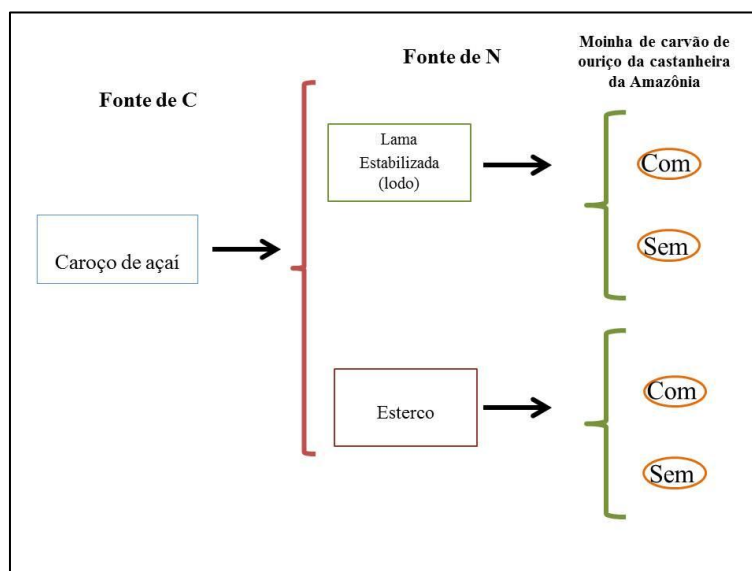


Figura 1 – Fluxograma do experimento mostrando os dois tipos de compostos orgânicos, com e sem a presença de moinha de ouriço de castanheira da Amazônia (*Bertolletia excelsa* Bonpl.)

As leiras de compostagem foram montadas em blocos ao acaso, considerando os quatro tratamentos testados e a posição no galpão de compostagem. Assim, o primeiro bloco, com uma repetição de cada tratamento, foi montado no local que recebia mais sol de manhã. Os outros blocos seguiram a orientação do sol, de maneira que o gradiente formado pela direção da luz solar não interferisse nos tratamentos.

As porcentagens de cada material que foram misturados para a compostagem, expostas na Tabela 1, foram definidas por meio da relação C/N (carbono/nitrogênio). Os cálculos para preparar as misturas foram realizados de maneira a manter o valor da relação C/N após a mistura igual a 30, valor considerado ideal por Kiehl (2002). Os teores de carbono e

nitrogênio em cada material utilizados nos cálculos foram obtidos da literatura (GOMES et al., 2001), uma vez que não estavam disponíveis no momento da montagem da compostagem os valores reais resultantes das análises.

Tabela 1 – Porcentagem de substratos usados na compostagem, em função de cada tratamento, para manter a relação C/N = 30.

Tratamento	Moinha de moinha (%)	Caroço (%)	Esterco (%)	Lodo (%)
Lodo+moinha	25	45	--	30
Lodo	--	64	--	36
Esterco	--	45	55	--
Esterco+moinha	25	32	43	--

Em função dos tratamentos e das repetições, foram montadas 16 pilhas de 200 l cada, onde foram misturados os resíduos utilizados.

O lodo de decantação foi coletado, com auxílio de uma retro-escavadeira, da lagoa da Companhia de Água e Esgoto do Amapá (CAESA). Após esta etapa, o material foi incubado para remoção natural de substâncias indesejáveis e eliminação de patógenos. O procedimento consiste em solarização de 10 a 15 dias, com secagem do lodo ao ar, espalhando-se o material sobre lona plástica, conforme SILVA (2006). Posteriormente, o material foi passado em peneira de 8 mm para homogeneização. Após preparo e peneiramento do lodo, retirou-se uma amostra composta de 10 subamostras, para análise química e verificação de patógenos, principalmente ovos de helmintos, antes da realização da compostagem, conforme realizado por Corrêa (2007).

A quantidade de helmintos no lodo antes deste componente ser inserido na pilha de compostagem foi avaliada no Laboratório Central de Saúde Pública do Amapá (LACEN), seguindo método de sedimentação descrito por Yanko (1987).

Após caracterização do lodo, verificou-se que o teor de N ficou bem abaixo do esperado, provavelmente, pela retirada de terra mineral junto com o lodo pela concha da retroescavadeira. Para corrigir esse desbalanço e nivelar o teor de nitrogênio da mistura, posteriormente, foram realizadas irrigações com a parte líquida de resíduo fresco de fossa sanitária coletado diretamente de caminhão limpa fossa. Apenas pilhas dos tratamentos que continham este material foram irrigadas com o efluente, totalizando 40 l/pilha. As outras pilhas dos outros tratamentos foram irrigadas normalmente com água.

As pilhas foram reviradas, aproximadamente, a cada dois dias, buscando fazer com que a parte externa mudasse para o centro e vice-versa, e irrigadas diariamente até o final do tempo de compostagem, que foi de 100 dias, conforme indicações de Kiehl (1985).

Durante o processo a temperatura e umidade das pilhas foram monitoradas. Após a estabilização da temperatura, que indica a maturação do composto, e 100 dias de compostagem, cada pilha foi peneirada em malha de 4 mm para verificar o rendimento volumétrico e produção de composto.

2.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS E DOS COMPOSTOS PRODUZIDOS

Para as análises de caracterização foram tiradas amostras de seis pontos diferentes de cada pilha, bem como de cada substrato utilizado na compostagem. As subamostras foram homogeneizadas para formar uma amostra composta por material, sendo que todas foram secas em estufa de circulação forçada a 45 °C.

Nas análises físicas, foram verificadas a umidade, determinada a 65°C até peso constante, de acordo com metodologia proposta por Martins (1985).

A caracterização química das pilhas e do material de origem foi realizada pela metodologia proposta por Eaton et al. (1995). Foram avaliados os seguintes parâmetros em unidade VMA (Valor Máximo Aceitável) LE – CETESB P 4.230, com relação aos teores de:

Fósforo (SILVA, 2009) e potássio (NOGUEIRA; SOUZA 2005), magnésio e cálcio, em g kg⁻¹ por Bloise e Moreira (1976), Ca + Mg por Cardoso (1982), nitrogênio, em mg kg⁻¹, após digestão sulfúrica (N) (CONAMA 2006), ferro segundo Cardoso (1982); Jones e Berton (1984), Al trocável e acidez potencial foram determinados por volumetria de neutralização (CARDOSO, 1982).

O pH foi determinado com uso de eletrodo para captação da concentração efetiva de íons H⁺ em solução contendo substrato e água na proporção de 1:2,5.

A matéria orgânica e C org. em g kg⁻¹ foi utilizando método Walkley & Black, onde há a oxidação da matéria orgânica presente na amostra pela adição de solução ácida de dicromato de sódio (Walkley; Black, 1934).

O grau de humificação foi calculado pela razão ácido húmico (AH) e ácido fúlvico (AF) de acordo com Jackson (1982), com o intuito de determinar quanto da matéria orgânica foi transformada em húmus; e a concentração de ácidos benéficos aos processos vitais do solo, e, por conseguinte, na germinação e crescimento de vegetais.

Os teores de metais pesados (Cu, Zn, Cr, Cd, Pb, Ni, Hg, Se, As, Ba) foram determinados através dos métodos 3050 e 3051 do SW-846, Métodos de Teste de Avaliação de Resíduos Sólidos, Métodos de Física/Química indicado pela Resolução 375/2006 do CONAMA (EPA, 2009).

2.3 ORIGEM DA MOINHA DO CARVÃO DE OURIÇO DE CASTANHA DA AMAZÔNIA

O material utilizado foi proveniente de trabalhos realizados pelo projeto “Carbouriço”, liderado pela Embrapa Amapá. Os ouriços de castanha foram obtidos a partir da atividade extrativista na Resex do Rio Cajarí – AP (0°33’30,52803”S, 52°14’34,73145” W). Ao retirar as castanhas, o ouriço é comumente despejado e acumulado na floresta, de onde foi retirado o material e submetido à carbonização.

O processo de carbonização foi realizado em forno de retorta construído em alvenaria, onde o material é carbonizado por cerca de um dia. Após esta etapa, o carvão dos ouriços foi triturado e passado em peneira de 2 mm, para garantir a homogeneização e maior área específica para reação durante a compostagem.

2.4 BOLSAS COM MOINHA DE CARVÃO

Para observar a capacidade de adsorção do moinha em relação aos nutrientes liberados na compostagem, foram colocadas bolsas lacradas em cada pilha de composto contendo moinha. Ao final de 90 dias foram realizadas análises para identificar o teor de nutrientes, água e demais elementos retidos pelo material.

As bolsas foram feitas de poliestireno com 10 cm de comprimento e 10 cm de largura, fechadas com feixe aderente. Dentro de cada bolsa foram colocadas 50 g de moinha.

2.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os resultados das análises foram avaliados por meio de anova multifatorial, com 2 fatores (fonte de N e moinha de moinha) e 2 níveis para cada fator. Contrastes específicos entre tratamentos de interesse e os tratamentos controles foram comparados por meio da análise de variância e comparação dos intervalos de confiança construídos com 95% de certeza.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização química inicial dos substratos utilizados na montagem das pilhas de compostagem pode ser visualizada na Tabela 2.

Tabela 2 – Caracterização do material de origem usado na produção dos compostos orgânicos.

Identificação	C Org. (g kg ⁻¹)	N (%)	P (mg.dm ⁻³)	K (cmol _c .dm ⁻³)	pH H ₂ O
Lodo	41,8	0,19	723	0,25	4,7
Caroço	282,66	0,3	195	0,83	5,7
Esterco	174,41	0,82	1219	1,63	6,3
Moinha	34,51	0,22	85	0,15	6,7

Na análise biológica realizada no lodo cedido pela CAESA e no lodo líquido coletado diretamente dos caminhões-pipas não foram encontradas patógenos, muito provavelmente, pelo fato desse material ter sido exposto ao sol por 15 dias antes de ser montada a mistura para a pilha de compostagem. A quantificação desses ovos de helmintos é um critério mundial para verificação de seu uso com finalidade agrícola (Capizzi-Banas; Schwartzbrod, 2001). Porém, considerando a compostagem como processo de higienização, é raro o aparecimento destes patógenos.

Sobre as condições físicas da pilha na fase inicial da compostagem, conhecida como tóxica, as temperaturas das pilhas não ultrapassaram 39°C, se tornando semelhante à do ambiente ao final do processo. A umidade média foi de 18%, ao longo dos 100 dias. Kiehl (1985) explica que em processos onde a pilha de compostagem é pequena, chamada minicompostagem, a perda de calor e água é maior e, portanto, os valores de temperatura podem não chegar aos esperados para a compostagem na fase termofílica.

Foi considerado como rendimento, o total de material restante ao final do período de compostagem e produção, o material passado por peneira de 1 cm. Assim, o maior rendimento considerando apenas a fonte de nitrogênio, foi do tratamento com esterco (F = 7,49; p = 0,018). Quanto a adição ou não de moinha, a maior quantidade final foi das pilhas com moinha com (F = 9,608; p = 0,009). Normalmente, são consideradas quantidades adequadas após o processo de compostagem, uma sobra de 40% (KIEHL, 2004). Logo, estão mais próximos do valor de referência, as pilhas sem moinha e as pilhas com lodo. A interação entre

os fatores fonte de N e adição de moinha, não mostrou relação significativa ($F = 0,321$; $p = 0,581$), indicando que os efeitos desses fatores são independentes, como mostra a Figura 2. Sobre a produção, que está diretamente relacionada ao rendimento são observadas as mesmas proporções.

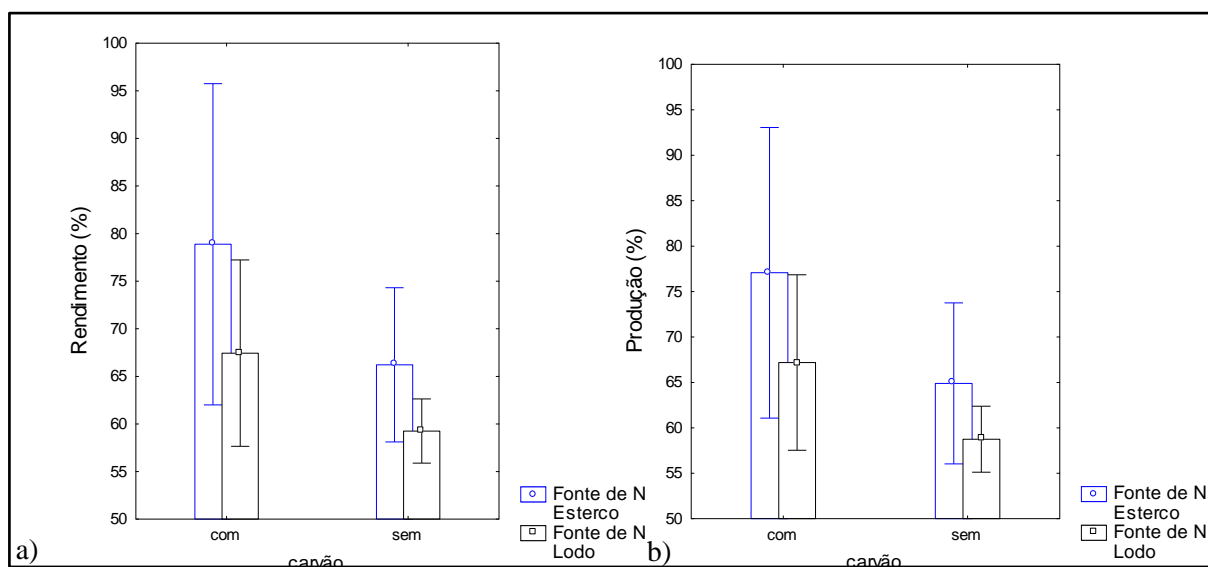


Figura 2 – Quantidade de substrato produzido ao final da compostagem (GDL = 12). a) Rendimento médio dos substratos orgânicos após 100 dias. b) produção média dos substratos orgânicos após 100 dias.

É importante salientar que um material bem compostado, deve-se apresentar maturado. Nessa fase, de acordo com Kiehl (2003), não há cheiro desagradável do material, a coloração é escura e a mistura é uniforme. Isso foi observado para todos os compostos produzidos, apesar do rendimento superior ao valor de referência, que poderia indicar alguma deficiência no processo de compostagem. O maior rendimento nos tratamentos com moinha se deve ao próprio efeito mistura desse material, que é inerte e não vai sofrer redução durante a compostagem devido à degradação pelos microrganismos.

3.1 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DAS PILHAS DE COMPOSTAGEM

Na análise química dos substratos foram verificados os teores disponíveis de nutrientes. Vale ressaltar que ao início da compostagem a quantidade de cada componente na

pilha foi calculada considerando a relação C/N. Além disso, nas pilhas contendo moinha, os teores apresentam diferença pela porcentagem de moinha inserida.

Foram verificados os teores de N, P e K. Quando comparados lodo e esterco como fontes de N, o melhor resultado para N ($F = 14,46$, $p = 0,002$) e K ($F = 5,2033$; $p = 0,042$) é de esterco sem moinha, como mostra a Figura 3. Comparando os teores apresentados com os de esterco bovino (LOUREIRO et al., 2007) no Estado do Pará, verifica-se que os valores observados de $20,4 \text{ g kg}^{-1}$ de N e 23 g kg^{-1} de K no esterco, foram inferiores a todos os teores encontrados para N e para K nas pilhas de compostagem do presente trabalho. Observa-se ainda na Figura 3, que após 365 dias, houve aumento significativo ($F = 28,818$; $p = 0,001$) de N no tratamento contendo esterco e moinha. O que indica adsorção de N pela moinha na pilha de compostagem.

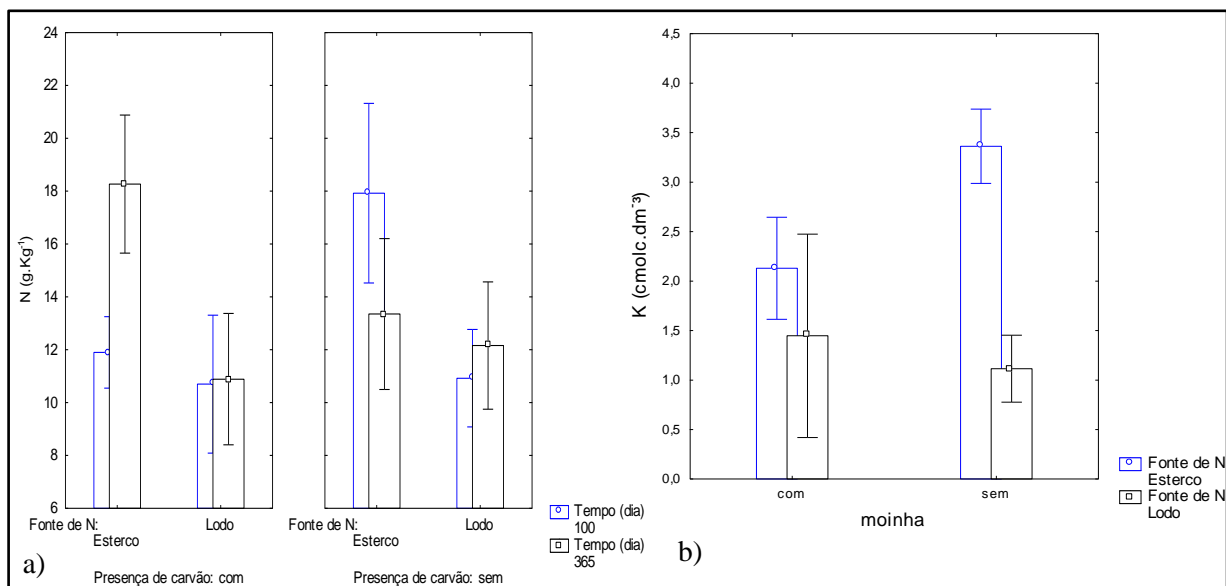


Figura 3 – Teores médios ($n=4$, $GLR = 12$) de nitrogênio ao final da compostagem e após 365 dias de estocagem (a) e potássio (b) encontrados nos compostos contendo lodo, esterco, caroço de açaí e moinha de carvão de ouriço da castanha da Amazônia.

MAPA (2005) considera um nível mínimo para teores de N em fertilizantes orgânicos, igual a 10 g kg^{-1} . Todos os teores dos tratamentos testados estão acima deste valor de referência.

O potássio, de acordo com Malavolta et al. (2006), é importante para translocar açúcares, regular a abertura e fechamento de estômatos e a quantidade de água. Portanto, manter um teor bom deste nutriente é fundamental para a manutenção de funções vitais da planta. De acordo com os parâmetros estabelecidos por Cravo et al. (2007), quando se

compara com teores disponíveis em solos, os valores encontrados para K nos compostos testados, são todos considerados altos ($> 0,234 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$).

Os teores de P variaram de 1233 a 1801 mg dm^{-3} entre os tratamentos, sem diferenças significativas para nenhum dos fatores isolados e nem para a interação ($F = 0,231$; $p = 0,639$). Esses valores foram inferiores aos encontrados por Loureiro e colaboradores (2007) para esterco bovino, com valor de 5000 mg dm^{-3} .

Para Ca, também não houve diferença na interação fonte de N e adição de moinha ($F = 0,453$; $p = 0,513$), mostrando que os efeitos dos fatores são isolados e independentes. Quando comparadas as fontes de N ($F = 12,263$; $p = 0,0044$), o composto com esterco apresentou valor de 12,17 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$, superior ao composto com lodo, que foi de 9,57 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$. A diferença também ocorreu para adição de moinha ($F = 15,787$, $p = 0,002$). O composto sem moinha apresentou valor médio de 12,35 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e com moinha foi igual a 9,4 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$. Todos os valores foram inferiores ao teor de Ca contido em esterco bovino segundo trabalhos de Loureiro e colaboradores (2007), teor este igual a 70, 36, por Pires et al. (2008) foi encontrado valor de 42,41 em experimentos no RJ e 59,8 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ observado por Castilhos et al (2002).

A capacidade de adsorver cálcio da moinha se comprova nos testes realizados nas bolsas, onde a moinha inicial mostra teores menores do que a moinha retirada ao final do processo de compostagem das bolsas nas pilhas.

Não houve diferença na interação fonte de N e adição de moinha para magnésio ($F = 3,007$, $p = 0,108$), sendo significativas apenas as diferenças para os fatores isolados. Quanto a fonte de N, houve diferença ($F = 9,288$; $p = 0,01$), variando de 3,56 a 2,11 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$, com melhor resultado para o composto contendo esterco. Quanto à moinha, o teor de Mg foi maior no tratamento sem moinha ($F = 9,94$, $p = 0,008$), que apresentou valor médio de 3,59 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$, contra 2,09 com moinha. O teor de Mg no esterco bovino curtido apresentado por Loureiro e colaboradores (2007) é de 65,81; 82,26 encontrado por Pires et al. (2008) e 28,79 por Castilho et al (2002) $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$.

Nos testes realizados com micronutrientes, não houve diferenças para o Zn, que apresentou variação de 26 a 50 mg dm^{-3} . Os valores das estatísticas são: interação ($F = 2,906$, $p = 0,114$), fonte de N ($F = 1,107$, $p = 0,313$) e adição de moinha ($F = 1,107$ e $p = 0,313$). Os valores apresentados são menores que o teor de Zn contido no esterco bovino (KIEHL, 1985), sendo este de 70 mg dm^{-3} .

Para manganês, também não houve diferença entre a interação ($F = 0,391$, $p = 0,543$) dos fatores nem para estes de modo isolado, com fonte de N ($F = 2,117$, $p = 0,171$) variando

de 101 a 226 e adição de moinha ($F = 0,002$, $p = 0,961$) entre 161 a 166 mg dm^{-3} , inferiores ao valor encontrado por Kiehl (1985) para esterco bovino, 620 e 336 mg dm^{-3} em trabalhos de Pires et al. (2008).

Na avaliação do elemento Fe, não houve diferença para a interação ($F = 0,597$, $p = 0,454$) com variação de 32 a 559 mg dm^{-3} , tampouco para adição de moinha como fator isolado ($F = 1,69$, $p = 0,218$), variando de 154 a 332 mg.dm^{-3} . Já para fonte de N, houve diferença ($F = 6,624$, $p = 0,024$), com variação entre as médias de 68 (esterco) a 418 mg dm^{-3} no lodo.

Em estudos de vermicompostagem, Mantovani et al. (2003) encontraram valores entre 60 e 89 mg dm^{-3} de Fe. Os teores mais elevados encontrados no presente trabalho para os tratamentos que continham lodo, se dão pelo excesso de ferro existente no solo de Macapá com predominância de solo vermelho amarelo distrófico típico (IBGE, 2004) com teor de ferro de 7 a 11% (KER, 1997).

Os teores de carbono variaram entre 111 a 158 g kg^{-1} , sem diferença para a interação ($F = 0,156$ e $p = 0,699$). Os valores variaram de 124 a 143 g kg^{-1} com relação à fonte de N ($F = 8,314$, $p = 0,014$), sendo maior onde havia esterco. Para a adição de moinha ($F = 17,671$, $p = 0,001$), os valores variaram de 119 a 147 g kg^{-1} , com maior valor para as pilhas sem moinha.

A matéria orgânica irá mineralizar ao longo do período que estiver no solo e ainda lhe proporciona melhorias físicas e químicas. Observando os teores iniciais de carbono, principalmente do caroço de açaí, nota-se que houve uma redução em decorrência da humificação e mineralização que ocorreu nas pilhas de compostagem transformando os materiais originais, além do próprio efeito mistura com outros materiais menos concentrados em carbono.

Nos parâmetros indicados por Brasil (2005), C Org. em fertilizantes orgânicos deve ter valor mínimo de 150 g kg^{-1} . Os teores encontrados estão próximos deste valor. Castilhos et al. (2002) observaram em esterco bovino, com 45 dias de decomposição, teor de 210 g kg^{-1} .

Sobre o grau de humificação (AH/AF), são considerados valores positivos, os que estão próximos de 1, representando caráter húmico ao composto, ou seja, que apresenta bom grau de decomposição e portanto, de liberação de nutrientes (ORTEGA, 1983; MORENO, 1996). Os valores apresentados pelos substratos testados estão próximos da unidade, entre 0,13 – 0,36 sem variação estatística ($F = 1,974$, $p = 0,185$).

Sobre a decomposição e mineralização é possível preferir que todos os tratamentos apresentaram teores de carbono orgânico próximo do indicado para compostos orgânicos (150

g kg⁻¹), indicando que a compostagem foi suficiente para estabilizar a decomposição dos substratos, assim como também confirmado pelo grau de humificação.

O pH de todos os compostos produzidos ficou dentro do desejável para uso agrícola, entre 5,5 e 6,5, com exceção do tratamento contendo lodo e moinha, com valor médio de 5,07. O pH afeta diretamente a disponibilidade de Fe e outros nutrientes (Malavolta, 2006)

Os teores de Al não mostraram diferenças significativas, com médias entre 0,1 – 0,12 cmol_c.dm⁻³, muito próximas de zero, indicando que, praticamente, não há alumínio disponível nesses compostos. O valor de “p” para todos os testes (interação e fatores isolados) foi de 0,337.

Sobre o alumínio trocável (Al³⁺), ele desidrata as plantas, além de prejudicar o desenvolvimento radicular em situações em que a quantidade de alumínio for superior a soma de bases, Ca + Mg em junção com o teor de K (FLEMING; OUY, 1968; MIRANDA; DIAS, 1971 apud PRIMAVESI, 2009). Neste sentido, o Al disponível foi muito menor do que as bases dos compostos testados, com valores entre 10,12 a 18,62 cmol_c.dm⁻³.

3.2 ADSORÇÃO DE NUTRIENTES PELAS BOLSAS DE MOINHA

Foi realizada comparação entre as bolsas retiradas das pilhas com lodo e esterco nos tratamentos com moinha, além da comparação das médias dos teores de nutrientes encontrados na moinha das bolsas após a compostagem com os teores iniciais dos nutrientes na moinha antes da compostagem.

A comparação entre as fontes de N, mostrou que houve diferença significativa apenas nos teores de Ca (F = 13,762, p = 0,01). As médias foram de 1,85 e 1,42 cmol_c dm⁻³, sendo mais elevada nas pilhas contendo lodo.

O teor de N teve médias de 53,29 e 60,34 g kg⁻¹ (F = 1,735, p = 0,236). Para P os valores das médias foram de 69,75 e 94 mg.dm⁻³ (p = 0,067, F = 4,981), K teve médias de 1,65 – 1,12 cmol_c.dm⁻³ (F = 3,742, p = 0,101). Para o alumínio os valores foram os mesmos das pilhas, ou seja, praticamente, igual a zero.

Comparando as médias das bolsas postas nas pilhas com o valor da moinha na fase inicial, sem ter sido misturado a outros substratos, observa-se que na moinha que passou pela compostagem dentro das bolsas houve elevado aumento de N e K, para ambas as fontes de N, aumento de P na bolsa com lodo e perda na bolsa com esterco. Isto indica que a moinha conseguiu adsorver a maioria destes nutrientes.

3.3 METAIS PESADOS

Os resultados de metais pesados indicam que não foram encontrados elementos fora da faixa permissível pela resolução 375/2006 do CONAMA, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 – Teores de metais pesados encontrados nos compostos orgânicos produzidos com lodo da lagoa de decantação da CAESA

Elemento	Lodo	Lodo+moinha	Teores permissíveis (mg kg⁻¹)
Cu (mg kg-1)	27,8	39,67	1500
Zn (mg kg-1)	235,33	235,33	2800
Cr (mg kg-1)	48,17	148,67	1000
Cd (mg kg-1)	0,37	0,75	39
Pb (mg kg-1)	38,4	118,42	300
Ni (mg kg-1)	24,93	22,67	420
Hg (mg kg-1)	0,35	1,31	17
Se (µg kg-1)	66,43	21,5	100
As (µg kg-1)	12,53	57,67	41
Ba (mg kg-1)	4,2	3,9	1300

4 CONCLUSÃO

A compostagem se mostra um processo válido para dar uma destinação adequada ao lodo de esgoto em Macapá, uma vez que este material, após passar pela solarização e pela compostagem não apresentou patógenos. De maneira geral, o adubo orgânico produzido, em muitos aspectos se mostrou tão bom quanto o esterco bovino para as plantas, principalmente no que se refere aos valores de pH, disponibilidade de nutrientes e ausência de alumínio.

Como fonte de N, o lodo de esgoto não se mostrou tão eficiente quanto o esterco, principalmente por apresentar menores teores de N no composto final, sobretudo na compostagem sem moinha. O lodo cedido pela CAESA – AP continha grande quantidade de material inorgânico (terra e outros resíduos), provavelmente por ter sido retirado com retroescavadeira.

Em geral, o composto com lodo se mostrou boa fonte de nutrientes, se igualando ao esterco em muitos parâmetros, e a moinha confirmou a capacidade de adsorção dos nutrientes, mas diminuiu a disponibilidade imediata destes no composto final. Essa moinha pode liberar

gradativamente um nutriente aprisionado como ocorreu no composto contendo esterco e moinha para nitrogênio.

REFERÊNCIAS

- ALVAREZ, V.V.H. et al. **Interpretação dos resultados das análises de solo**. In: RIBEIRO, A.C. et al. *Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais*. Viçosa, MG, 5 ed. p. 25 – 52. 1999.
- BLOISE, R.M.; MOREIRA, G.N.C. 1976. **Métodos de análise de solos e calcário**. Embrapa: SNLCS, Boletim Técnico, 55. Rio de Janeiro, RJ, 36 p. 1976.
- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 23, de 31 de agosto de 2005. Diário oficial da União. Brasília, DF. Seção 1, 12 p. Disponível em: <<http://www.agricultura.org.br>>. Acesso em 10 de ago. de 2014.
- CAPIZZI-BANAS, S.; SCHWARTZBROD, J. Irradiation of Ascaris ova in sludge using an electron beam accelerator. **Water Research**, Amsterdam, v. 35, n. 9, p. 2256 -2260. 2001.
- CARDOSO, A. **Métodos de análises químicas para avaliação da fertilidade do solo**. FCAP, Belém, PA. 1982.
- CASTILHOS, D. D. et al. **Rendimentos de culturas e alterações químicas do solo tratado com resíduos de curtume e cromo hexavalente**. R. Bras. Ci. Solo, n. 26, p. 1083-1092, 2002.
- CRAVO, M.S. et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Pará**. Embrapa Amazônia Oriental. Belém, PA, p. 54 - 71. 2007.
- CORRÊA et al. **Produção de biossólido agrícola por meio da compostagem e vermicompostagem de lodo de esgoto**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. UAEA/UFCG, Campina Grande, PB, v. 11, n. 4, p. 420 – 426. 2007.
- EATON, J. G. et al. **A field information-based system for estimating fish temperature tolerances**. Fisheries. v. 20. 1995.
- FANG, M. et al. Co-composting of sewage sludge and coal fly ash: nutrient transformations. **Elsevier: Bioresource Technology**. P. 19 – 24. 1999. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852499000954>>. Acesso em: 15/ de jul. 07 de 2014.
- FLEMIING, A.LO.; FOY, C.O. **Root struture reflecting differentail tolerance of wheat varieties**. Agron J, n. 60, p. 72 – 76. 1968. In: PRIMAVESI, A. *Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais*. São Paulo: Nobel. 2009.
- FISCHER, D.; GLASER, B. **Synergisms between Compost and Biochar for Sustainable Soil Amelioration**. Martin-Luther-University Halle-Wittenberg, Institute of Agricultural and Nutritional Sciences, Soil Biogeochemistry, Halle, Germany Management of Organic Waste, p. 167 – 199. 2011.
- GOMES, T. C. A. et al. **Preparo de Composto Orgânico na Pequena Propriedade Rural**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Semi-árido: Informativo técnico. 2001.

Disponível em:
<http://www.cpatsa.embrapa.br:8080/public_eletronica/downloads/INT53.pdf>. Acesso em 25 de mar. de 2013.

INSAM, H.; BERTOLDI, M.D. **Microbiology of the composting process**. 2007. In: L.F. DIAZ, L. F.; SAVAGE, G. M. Compost science and technology. Waste Management Series 8. Elsevier, Amsterdam, p. 25 - 48.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Estado do Amapá: pedologia. Mapa exploratório de solos**. 1 ed. 2004.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Brasil coleta 183,5 mil toneladas de resíduos sólidos/ dia**. 2012. Disponível em:
<http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&i=13932>. Acesso em 15 de jan. de 2014.

JONES, J.R.; BERTON, J.A. **Laboratory guide of exercises in conducting soil test and plants analisys**. Athens: Berton Laboratories, 158 p. 1984.

LOUREIRO, D. C. et al. **Compostagem e vermicompostagem de resíduos domiciliares com esterco bovino para a produção de insumo orgânico**. Pesq. agropec. bras., Brasília, v.42, n.7, p.1043-1048. 2007.

KER, J. C. Latossolos do Brasil: uma revisão. **Geonomos**, v. 5, n.1, p.17-40. 1997.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes Orgânicos**. Agronômica Ceres Ltda. Piracicaba, SP, 320 p. 1985

Idem. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. 3 ed., Piracicaba, SP, 171 p. 2002.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres. 2006.

MANTOVANI, J.R. et al. Calagem e adubação com vermicomposto de lixo urbano na produção e nos teores de metais pesados em alface. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 21, n. 3, p. 494-500. 2003.

MARTINS, P. F. da S. **Análise Física de Solo**. Universidade Federal Rural da Amazônia. Belém, PA, 1985.

Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente, **Resolução 375**. 2006. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>>. Acesso em: 23 de jan. de 2014.

MIRANDA, E.R; DIAS, A.C.C.P. **Efeito da saturação de alumínio no crescimento de plântulas de cacau. Theobroma**, v. 1, n. 3, p. 33 – 42. 1971. In: PRIMAVESI, A. Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais. São Paulo: Nobel. 2009

MORENO, J.L. **La matéria orgânica em los agrossistemas**. Madrid: Ministerio da Agricultura Pesca y Alimentación, 174 p. 1996.

NOGUEIRA, A. R.; SOUZA, G. B.; **Manual de Laboratórios: Solo, Água, Nutrição Vegetal, Nutrição Animal e Alimentos**. São Carlos, SP. 2005.

ORTEGA, F.S. **El húmus de los suelos de Cuba: I. suelos derivados de esquistos ácidos**. Ciencia de la Agricultura, Havana, n. 17, p. 144 – 166. 1983.

PIRES, A. A. et al. **Efeito da adubação alternativa do maracujazeiro- amarelo nas características químicas e físicas do solo**. R. Bras. Ci. Solo, n. 32, p. 1997-2005. 2008.

Presidência da República. **Plano Nacional de Saneamento Básico**, Lei nº 11.445. 2007.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. São Paulo: Nobel. 2009.

PROST, K., et al. Biochar Affected by Composting with Farmacyard Manure. Organic compounds in the environment. Technical reports, **Journal of Environmental Quality**, n. 42, p. 164–172. 2013.

SILVA, F. B; **Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes**. Empresa Brasileira de Pesquisa agropecuária. 2009.

SILVA. J. M. S. Processos de produção de compostos de lixo e a sua qualidade como fertilizante orgânico. **Holos Environment**, v. 5, n. 2, 121 p. 2006.

TEIXEIRA, L. B. et al. **Compostagem de lixo orgânico urbano no município de Barcarena, Pará**. Embrapa Amazônia Oriental: Documentos, 59. Belém, PA, 25p. 2000.

U.S. Environmental Protection Agency. **Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils**. 1996. Disponível em: <<http://www.epa.gov/epawaste/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3050b.pdf>>. Acesso em: 23 de jan. de 2014.

WALKEY, A.; BLACK, I.A. Na examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, Baltimore, n.37, p. 29-38. 1934.

YANKO, T. **Método analítico para ovos de helmintos viáveis**. Brasília: Versão expandida por Yanko. Companhia de Saneamento do Distrito Federal, 3p. 1987.

CAPÍTULO 2: PRODUÇÃO DE MILHO (*Zea mays* L.) UTILIZANDO COMPOSTO ORGÂNICO COM LODO DE ESGOTO E MOINHA DE CARVÃO DO OURIÇO DA CASTANHEIRA DA AMAZÔNIA (*Bertolletia excelsa* Bonpl.)

Resumo

A utilização de adubos organo-minerais agrega os benefícios da adição de matéria orgânica ao solo e o fornecimento de nutrientes prontamente disponíveis para o desenvolvimento das plantas. A complementação do composto orgânico com quantidades de nutrientes mineralizados, seja na forma de adubo químico ou cinza, pode ser utilizada para fechar o balanço nutricional necessário às culturas. O objetivo do estudo foi testar formulações de adubos orgânicos contendo como fonte de N esterco ou lodo de esgoto, e moinha de carvão de ouriço da castanheira da amazônia (*Bertolletia excelsa* Bonpl.), complementados com adubo químico ou cinza de coivara, em bioensaio com milho (*Zea mays* L.). O ensaio foi conduzido em vasos de 8 L, em casa de vegetação, sob delineamento inteiramente casualizado, com 17 tratamentos e 5 repetições, totalizando 85 vasos. Foi montado um arranjo fatorial (2x2x3), sendo 2 tipos de composto com diferentes fontes de N e adição de moinha e 2 níveis cada, (lodo, lodo+moinha, esterco, esterco+moinha) e 3 níveis de complementação mineral (cinza, adubo e sem complemento). Além desses 12 tratamentos do arranjo, foram montados mais 5 controles (solo, solo+cinza, solo+moinha, solo+cinza+moinha, solo+adubo). Foram avaliados os teores de nutrientes presentes na folha diagnóstica, a matéria seca total da parte aérea (MSPA), a matéria seca total do sistema radicular (MSTR), a altura e diâmetro das plantas, além da relação MSPA/MSR. Na maioria dos parâmetros testados, não houve diferença entre o lodo e o esterco. Os tratamentos com composto de esterco, com ou sem moinha de carvão, se mostraram melhores que o controle com adubo químico para altura e biomassa. Para os demais parâmetros, todos os tratamentos com fonte de N orgânica compostada são superiores ao químico.

Palavras-chave: Adubação orgânica, biochar, biossólido, reciclagem de resíduos

Abstract

The use of organo-mineral fertilizers combines the benefits of adding organic matter to the soil and readily available supply of nutrients for plant development. The complementation of the organic compound with amounts of mineralized nutrients is in the form of chemical fertilizer or gray may be used to close the appropriate nutritional balance crops. The aim of the study was to test organic fertilizer formulations containing as N source manure or sewage sludge, and chaff coal hedgehog the chestnut amazon (*Bertolletia excelsa* Bonpl.), Supplemented with chemical fertilizer or gray coivara in bioassay maize (*Zea mays* L.). The trial was conducted in 8 L pots in a greenhouse, in a completely randomized design with 17 treatments and 5 repetitions, totaling 85 vessels. A factorial arrangement was mounted (2x2x3), with two types of composite with different sources of N and adding ashes and 2 levels each, (sludge, sludge + fine coal, manure, manure + fine coal) and 3 levels of mineral complementation (gray, fertilizer and without complement). In addition to these 12 treatments arrangement, were mounted over 5 controls (soil, soil + ash, soil + fine coal, ground + gray + fine coal, soil + fertilizer). We evaluated the levels of nutrients present in the diagnostic sheet, total dry matter (TDM), total dry matter of the root system (TDMRS), the height and diameter

of the plants and the relation TDM / TDMRS. In most parameters tested, there was no difference between the mud and manure. The treatments with compost manure, with or without coal bran, proved better than the control with chemical fertilizer for height and biomass. For other parameters, all treatments with organic N source composted are superior to the chemical.

Keywords: Organic fertilizer, recycling of solid waste

1. INTRODUÇÃO

Ainda hoje, dar uma finalidade adequada aos resíduos sólidos produzidos pela atividade humana é um ônus aos governos. Normalmente, mais de 50% dos resíduos sólidos são orgânicos (CEMPRE, 2010) e poderiam ser aproveitados na compostagem, além de resíduos minerais com potencial nutricional, transformando o problema em solução. Em Macapá o desperdício desses resíduos é ainda maior, chegando a 61% (PICANÇO, 2014). Assim, a compostagem pode ajudar a resolver boa parte dos problemas de gestão destes materiais.

No entanto, para que a compostagem possa ser considerada uma destinação final adequada aos resíduos, é preciso prever a utilização do composto produzido. O uso do composto como fertilizante orgânico para promover o desenvolvimento de plantas, fecha o grande ciclo de reciclagem de nutrientes, devolvendo os mesmos às plantas que geraram os resíduos orgânicos.

O composto pode ser produzido com a combinação de diversos substratos orgânicos, desde que seja respeitada a relação C/N adequada. Essa referência é definida com base na quantidade de nitrogênio necessária aos microrganismos, para degradarem uma unidade de carbono, sendo considerado ideal manter a relação entre 25/1 a 35/1 (KIEHL, 1985). Este composto, assim como adubos químicos, podem fornecer nutrientes às plantas, contribuindo para fertilização das culturas.

A adubação é a adição de material contendo elementos em falta no solo para a nutrição de plantas. Assim sendo, usar resíduos orgânicos tratados com potencial nutritivo, na agricultura, pode substituir gastos com insumos químicos, reduzindo o custeio da safra.

O grande gasto dos pequenos produtores consiste na aquisição de adubo, ficando na ordem de 30% a 60% do custo total de manutenção da cultura (PRATT; ALVARYDO, 1966). A fertilidade do solo é um fator essencial à produção, por garantir a nutrição básica do vegetal e a absorção dos elementos N, P e K à produção dos metabólitos fundamentais para o desenvolvimento das plantas.

Os estudos sobre os fertilizantes químicos avançaram muito com o advento da “revolução verde”. No entanto, pouco se sabe sobre a adubação orgânica e se a adição destes compostos orgânicos às culturas resulta em maior precocidade, produtividade e possíveis alterações nas plantas. A introdução de nutrientes no sistema por meio da adubação é ainda mais importante em solos de baixa fertilidade, como é o caso da maior parte da Amazônia.

No Amapá, estado integrante da Amazônia, Domingues (2004) afirma que há a predominância de solos de baixa fertilidade com ocorrência marcante de concreções lateríticas, limitantes ao desenvolvimento do setor agropecuário e florestal. As restrições naturais se somam a outras de natureza variada, como a grande dependência de recursos federais, de importação de calcário e fertilizantes comercializados a preços proibitivos aos pequenos produtores, contribuindo para o baixo desempenho destas atividades econômicas no Estado.

Os solos amazônicos são muito intemperizados e constantemente lavados pelas chuvas abundantes na região, que causam lixiviação de nutrientes e aumento na concentração de alumínio, como reporta Alvim (1978). Nesse caso, a fertilidade ficaria muito mais dependente da decomposição da matéria orgânica, que pode também formar compostos inativos com elementos tóxicos.

Neste contexto, Nóbrega et. al. (2007) observam que em experimentos com mudas de aroeira (*Schinus terebynthifolius* Raddi) contendo lodo de esgoto, foi constatada uma redução na saturação por alumínio, decorrente da complexação que pode ter ocorrido com a matéria orgânica. Assim, foi diminuído o efeito negativo que este elemento pode desempenhar sobre a planta, quando limita seu desenvolvimento radicular.

O excesso de alumínio e a falta de nutrientes dificultam o desenvolvimento pleno de culturas de grande importância econômica, como é o caso do milho (*Zea mays* L.). Coelho e França (1995) consideram que o principal fator para determinar a baixa produtividade do milho é a falta de fertilidade no solo, mesmo em áreas adubadas, devido a erros na adubação e calagem e a falta de consideração com a elevada extração de nutrientes que o milho provoca no solo, principalmente de nitrogênio e potássio.

A adubação orgânica, mais barata e com atributos que melhoram a qualidade dos solos e que tem um nível muito baixo de agressão ao meio ambiente, pode ser caracterizada como uma alternativa acessível ao agricultor. A complementação do composto orgânico com a moinha do carvão, pode maximizar a interação sinérgica entre materiais orgânicos e os nutrientes mineralizados das partículas reduzidas e melhorar a qualidade nutricional do composto.

Segundo Kiehl (1985), após a formulação do adubo orgânico é uma prática positiva misturá-los a fertilizantes minerais, considerando que os primeiros podem ser utilizados por microrganismos e ainda solubilizados nos ácidos presentes nos compostos. Para o nitrogênio, ocorre a liberação na fase inicial da compostagem e posteriormente boa parte volatiliza na forma de NH_3 , daí a importância de adição de fertilizantes nitrogenados. De modo

complementar, a adição desse e de outros nutrientes como o fósforo e o potássio na forma mineral, permitem o balanceamento das proporções dos adubos orgânicos.

As cinzas são outra fonte mineral de nutrientes prontamente disponíveis para serem absorvidos pelas raízes. Sua utilização se dá comumente no meio rural, por meio do uso do fogo. O agricultor faz a limpeza do terreno e as cinzas da queima servem como fertilizante. Primavesi (2009) concluiu que há aumento de Ca e K, além da diminuição de Al, logo após a queima. Porém, com o tempo, o solo daquela área fica empobrecido pela lavagem dos cátions e volatilização de alguns ânions.

Nesta situação, apenas a matéria orgânica da superfície é queimada havendo a necessidade de reposição que pode se dá de modo natural pela sucessão florestal ou pela adição de material orgânico. O fogo quando aplicado de maneira controlada, isolada e esporádica, pode ser benéfico, a exemplo do que ocorre em pastagens, onde ocorre a diminuição do excesso de vegetação.

De acordo com a hipótese que os compostos orgânicos com complementos minerais podem fornecer os nutrientes necessários à cultura do milho, foi planejado o presente estudo. Seu objetivo foi comparar a nutrição e o desenvolvimento do milho em função da aplicação de diferentes compostos, com e sem moinha de carvão, avaliando também as diferenças devido a complementação com cinza e adubo mineral.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 PROCEDIMENTOS EM CASA DE VEGETAÇÃO

O experimento foi instalado em casa de vegetação com climatização, onde se manteve temperatura média de 24° C, no Centro de Pesquisa Agroflorestal do Amapá (Embrapa – Amapá), a 16 m de altitude. O clima da região é “Af”, pela classificação de Köppen, tropical quente e úmido (SETZER, 1966), com pluviosidade anual de 2700 mm, evapotranspiração potencial de 1725,37 mm, excedente hídrico de 848,5 mm e um déficit hídrico de 267,1 mm, temperatura média anual de 27,1 °C.

Após, aproximadamente três meses de compostagem, os substratos orgânicos, contendo lodo de esgoto ou esterco bovino como fonte de N, caroço de açaí como fonte principal de C (em todos), com ou sem moinha de carvão, geraram 4 tipos de composto. Os teores totais de N, P e K desses compostos estão expressos na tabela 4.

Tabela 4 – Análise química dos teores totais de nutrientes em compostos orgânicos produzidos com lodo, caroço de açaí e moinha de carvão de ouriço da castanheira, após um ano de armazenamento.

Tratamentos	N (g kg⁻¹)	P (g kg⁻¹)	K (g kg⁻¹)
Lodo + moinha	10,88	3,28	20,21
Lodo	12,16	3,21	12,94
Esterco + moinha	13,35	2,6	73,65
Esterco	18,27	4,63	37,48

Cada tipo de composto possuía quatro repetições durante a compostagem. Ao final do processo, o material produzido por cada pilha de compostagem foi embalado em sacos de ráfia devidamente identificados. Logo após o término da compostagem foi instalado bioensaio com mudas de açaizeiros, que foram atacadas por formigas cortadeiras, sendo necessário montar novo experimento com uma cultura de ciclo curto. Após um ano de armazenamento, material restante de cada tipo de composto foi homogeneizado para instalação do experimento com as plantas de milho.

No bioensaio com milho foram utilizados vasos de oito litros. Para evitar perda de substrato, o fundo de cada vaso foi forrado com tela de poliestireno de 1 mm de malha. Os tratamentos com complementação mineral receberam cinza de coivara de capoeira de 10 anos, com teores de nutrientes em g Kg⁻¹ para N, P K respectivamente, 7,32, 4,61 e 461,61, passada em peneira de 1 cm.

O experimento foi montado em esquema fatorial com 4 tipos de composto x 3 complementações, mais 5 tratamentos controles (Tabela 5), com 5 repetições, totalizando 17 tratamentos e 85 unidades amostrais.

Tabela 5 – Tratamentos de adubação para milho contendo cinza de coivara, adubação orgânica e complementação química.

Tipo de composto	Controles	Complementação química	Complementação com cinza	Sigla
Lodo	-	Sim	Não	LQ
Lodo+moinha	-	Sim	Não	LMQ
Esterco	-	Sim	Não	EQ
Esterco+moinha	-	Sim	Não	EMQ
Lodo	-	Não	Sim	LC
Lodo+moinha	-	Não	Sim	LMC
Esterco	-	Não	Sim	EC
Esterco+moinha	-	Não	Sim	EMC
Lodo	-	Não	Não	L
Lodo+moinha	-	Não	Não	LM
Esterco	-	Não	Não	E
Esterco+moinha	-	Não	Não	EM
-	Solo puro	Não	Não	SP
-	Solo+moinha	Não	Não	SM
-	Solo+adubo químico	Sim	Não	SQ
-	Solo+cinza	Não	Sim	SC
-	Solo+moinha+cinza	Não	Sim	SMC

Em casa de vegetação os vasos foram distribuídos inteiramente ao acaso, trocando as plantas de bancada e mudando sua posição, semanalmente.

Em cada vaso foi colocada uma quantidade de 830 g de composto, para simular uma aplicação de uma dose de 20 t ha⁻¹, incorporada na camada superficial de 0 a 20 cm do perfil do solo. Cada vaso continha substrato orgânico e solo coletado a 40 cm da superfície.

Primeiramente, foi colocada terra superficial (até 40 cm de profundidade) peneirada no fundo do vaso para todos os tratamentos. O volume restante do balde foram preenchidos com uma mistura da mesma terra com cada tipo de composto de acordo com os de teores de N-P-K. Para que a mistura de adubo orgânico ficasse homogênea, foi utilizada uma betoneira onde a terra e o composto foram misturados por um minuto.

Nos vasos dos tratamentos controles (Tabela 3), a complementação com cinza ou com moinha de carvão, e a adubação química, foi realizada sobre o volume total de solo, sem adição de nenhum tipo de composto.

A camada de adubo orgânico ficou acima da camada de solo para que fosse facilitado o acesso das raízes aos nutrientes na fase mais inicial de desenvolvimento e ainda para simular uma incorporação do composto no campo em uma profundidade de 20 cm. Nos tratamentos contendo químico e cinza, estes adubos foram colocados em superfície e cobertos com terra como em condições de campo.

O tratamento de solo puro serve como testemunha para o experimento e a adubação química, para expressar o máximo que se chegaria obedecendo às exigências da cultura. Na adubação química foram utilizadas as fontes de nutrientes: uréia, super triplo, cloreto de potássio e $ZnSO_4$, para fornecer as seguintes quantidades de nutrientes: 90 kg de N, 90 kg de P, 60 kg de K por hectare e 400 g de Zn, de acordo com Cravo et al. (2007) e Coelho e França (1995). Foi utilizada densidade de plantio de 66.000 plantas por hectare, para calcular a quantidade de cada adubo por planta. Foram postas 1,4 g de N, 1,4 g de P, 0,9 g de K e 61 mg de Zn. No tratamento controle com cinza, foi simulada uma dose de quatro $t\ ha^{-1}$ (DANTAS; MATOS, 1981).

O controle com moinha busca verificar o comportamento do milho, simulando uma aplicação em uma dosagem teste de 10% do volume do vaso.

Os cálculos de adubação foram realizados com base nos teores no composto ao final da compostagem, pois eram os resultados de análise disponíveis no momento do plantio. Para calcular a complementação foi considerado 25% do total de nutrientes introduzidos no vaso para cada tipo de composto, como disponível para a cultura. Dessa forma, os valores de N e K presentes no composto foram maiores do que a quantidade introduzida na adubação mineral, dispensando a complementação desses elementos. Foi necessária complementação com P e Zn, que foram colocados nos vasos, em função do que tinha em cada composto e do que faltou para igualar a adubação mineral.

Foram colocadas três sementes de milho por vaso, com desbaste da pior planta aos 15 dias e da segunda aos 30 dias, deixando apenas a mais vigorosa. As plantas desbastadas foram picotadas com tesoura de poda e seus restos foram colocados no seu respectivo vaso para que houvesse a ciclagem dos nutrientes exportados.

As plantas foram irrigadas diariamente, ao início ou final do dia, variando entre 200 – 400 ml de água de acordo com a necessidade. Para homogeneizar a irrigação, sempre foi colocada a mesma quantidade de água em cada vaso.

Durante o período de condução, foram realizados os tratos culturais como mondas (arranquio de ervas daninhas) e monitoramento de pragas e doenças.

O experimento foi conduzido por 53 dias, fase de desenvolvimento vegetativo, tendo em vista que o florescimento desta variedade se dá com 55 dias, masculino e 58 dias, feminino (OLIVEIRA et al., 2013). No período de 30 a 40 dias após o plantio, a taxa de absorção de potássio já se deu quase por completo, além da maior parte do fósforo e nitrogênio (Büll, 1993). Neste período, as plantas já estavam presas com fios de poliestireno em estacas de bambu de 1m, para evitar acamamento.

2.2 VARIEDADE ESCOLHIDA

Foi utilizada a variedade de milho BRS- Caimbé, recomendada para Roraima (PACHECO et al., 2009), Estado do Norte do Brasil com clima, vegetação e solo semelhantes ao Amapá. De acordo com informativos de n. 96 divulgado pela Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), a variedade foi lançada em 2009, sendo de ciclo semiprecoce, com produtividade média de grão de 5.265,7 kg.ha⁻¹. Outras características dessa variedade são: altura de plantas de 202 – 220 cm, espiga inserida a 92 cm de altura do solo, com grão de coloração amarelo-alaranjada (OLIVEIRA et al., 2013; PACHECO et al., 2009).

2.3. PARÂMETROS ANALISADOS

Para avaliar a qualidade das plantas, foram utilizados os seguintes parâmetros dendrométricos:

A altura média foi avaliada ao final do experimento com fita métrica e o diâmetro na base do solo (D) foi medido com paquímetro digital.

Foi realizada análise da folha diagnóstico seca em estufa a 65°C. Coelho e França (1995) e Coelho et al. (2012) afirmam que a folha é o órgão escolhido com mais frequência para diagnosticar sintomas de deficiência nutricional no milho, sendo escolhida a folha inteira e oposta abaixo do lançamento da primeira espiga. Esta seleção se dá por quatro fatores: pela facilidade na retirada da folha, pouca ou nenhuma interferência na produção, a demanda por nutrientes já é elevada nesta fase e a perda será diluída pelo poder de recuperação da planta.

Os teores de referência considerados adequados por Büll (1993) na folha diagnóstico, para macronutrientes em g kg⁻¹, são: N (27,5 a 32,5), P (17,5 a 29,7) e K (17,5 a 29,5).

Após desmonte do experimento, o material foi cortado e posto em sacos de papel identificados. A massa seca foi determinada em estufa de circulação forçada a 105 °C, até peso constante da parte aérea (MSPA) e das raízes (MSR), biomassa e MST (matéria seca total). Foi observada a relação entre o peso da massa seca da parte aérea com o peso da massa seca da raiz (MSPA/MSR). Para retiradas das raízes, que são fasciculadas, foi necessário colocar a amostra em bolsas de nylon com malha bem fina e lavar o excesso de substrato com jato de água. Após, as raízes foram mergulhadas em baldes com água, e catadas manualmente e com auxílio de pinças para evitar a perda de material.

2.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Foi realizada ANOVA de 2 fatores (tipo de composto x complementação), em arranjo fatorial 4 x 3, para as comparações de altura, diâmetro, biomassa, MSPA, MSR e MST, e para as demais respostas relacionadas aos teores de nutrientes. A comparação dos melhores tratamentos do arranjo fatorial com os tratamentos controles, foi realizada por ANOVA de 1 fator, para respostas específicas com interesse de comparação.

A comparação entre as médias dos níveis de cada tratamento foi realizada por meio da análise de intervalos de confiança construídos com 95% de certeza.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ALTURA E DIÂMETRO

Nas avaliações dos parâmetros dendrométricos, observando-se a comparação entre as alturas médias (Figura 4) dos tratamentos contendo lodo com os tratamentos contendo esterco como fonte principal de nitrogênio, com ou sem moinha e variando a complementação mineral, nota-se que não houve diferença significativa ($F(2, 48) = 2,33, p = 0,108$) para a interação entre os fatores fonte de N e presença de moinha. Verifica-se que há coincidência dos intervalos de confiança, que capturam as médias do outro tratamento, confirmando a semelhança entre os tratamentos.

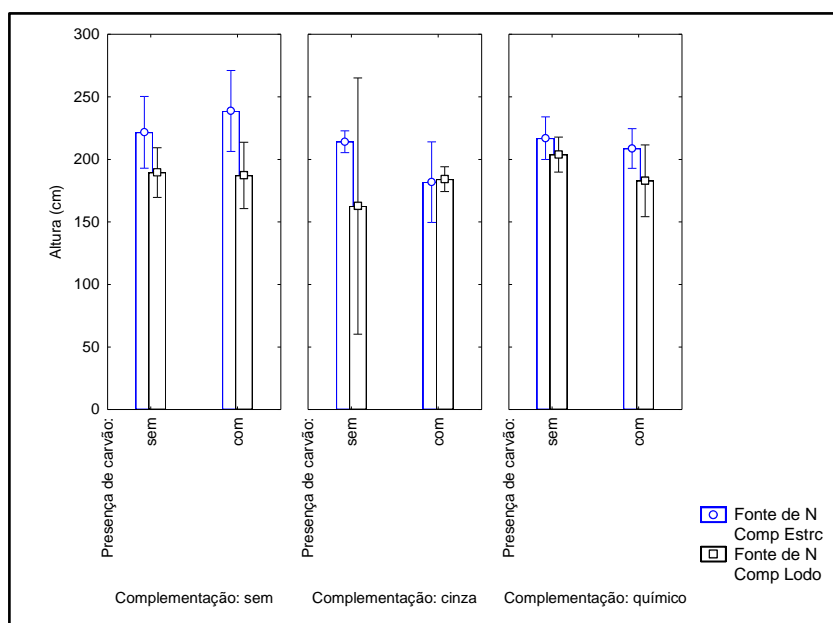


Figura 4 – Intervalo de confiança (95%) e altura média (n=5) de plantas de milho (*Zea mays* L.) cultivadas em casa de vegetação, em função da interação entre fonte de N e presença de moinha no composto, e da complementação mineral.

Comparando entre si os tratamentos tendo como fonte de N apenas esterco variando a adição de moinha e a adubação complementar, os resultados para altura média, variaram de 239 cm para o tratamento EM a 181 cm no tratamento EMC ($F(2, 24) = 4, p = 0,032$).

Para a variável diâmetro (Figura 5) não houve diferença ($F = 1,501, p = 0,233$).

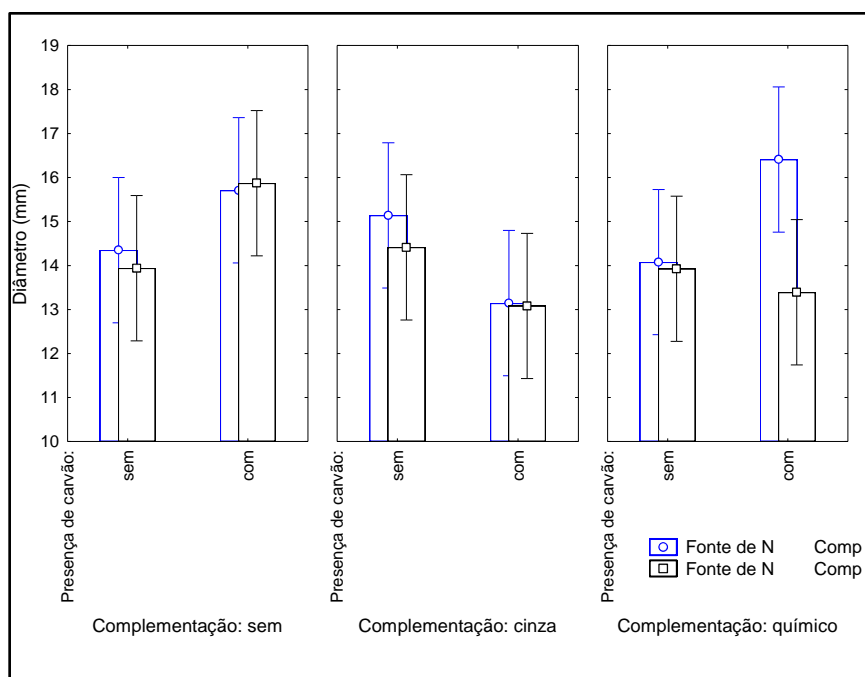


Figura 5 – Intervalo de confiança (95%) e diâmetro médio (n=5) de plantas de milho (*Zea mays* L.) cultivadas em casa de vegetação, em função da interação entre fonte de N e presença de moinha no composto, e da complementação mineral.

Para o diâmetro, os resultados não seguiram relação com a altura, tendo o maior diâmetro para o tratamento EMQ (16,41 mm) e pior resultado para as pilhas EMC (13,14 mm).

Também não houve diferença quando cruzados os resultados para altura média dos tratamentos tendo como fonte de N lodo de esgoto, com $F(2, 23) = 0,799, p = 0,462$. Entre os valores encontrados de diâmetro médio não houve diferença com $F(2, 23) = 2,829, p = 0,08$, quando se considera o nível de probabilidade de erro até 8%.

Nos vasos contendo apenas moinha e solo com e sem adição de cinza de coivara. Os valores obtidos para altura média e diâmetro médio, respectivamente, foram de 144,8 cm e 12,68 mm para o tratamento com cinza e de 105,8 cm e 5,6 mm para os vasos sem cinza, com significância de $p = 0,009$ ($F(1,8) = 11,825$) e $p = 0,001$ ($F(1,8) = 24,744$), respectivamente.

O tratamento controle, SQ, apresentou média das repetições de 195,96 cm para altura e 12,28 mm para diâmetro. O tratamento SC mostrou valores de 149,54 cm de altura e 9,18 mm de diâmetro. E, o tratamento testemunha (SP) apresentou altura de 120,78 cm e diâmetro de 6,98 mm.

Comparando os tratamentos com adubação orgânica testados, os tratamentos contendo lodo ou esterco que estão na faixa acima dos valores do adubo químico para o parâmetro altura são: EQ, EC, EM, EMQ e LQ. Sendo todos superiores ao tratamento contendo apenas cinza e à testemunha.

Para o diâmetro, os tratamentos com esterco e os que continham lodo se mostraram superiores aos controles e à testemunha.

Avaliando a adição de moinha, nos tratamentos contendo apenas este material com ou sem cinzas, foram inferiores na altura quando comparados com SQ, com SC e superior ao SP. Ainda comparando com os controles e testemunha, em diâmetro, os valores foram maiores no tratamento SMC e inferiores no tratamento SM, porém foram menores do que os que possuíam fonte de N orgânica (esterco ou lodo).

3.2 BIOMASSA, MST (g) E RELAÇÃO MSPA/MSR

Para biomassa, nos resultados encontrados para os tratamentos que variaram fonte de N considerando presença e ausência de moinha, além da complementação com adubação química ou com cinza não houve diferença para $F(2, 48) = 8,23$ com $p = 0,446$, variando de 11,62 e 17,81 t . ha⁻¹.

Para as amostras contendo apenas como fonte de N, o esterco, os valores em t . ha⁻¹ foram maiores no tratamento EC (17,81) e menores na média dos vasos EMC (8,8), com distinção entre eles, onde $F(2, 24) = 4,983$ e “p” foi igual a 0,015.

Para as que continham como fonte de N o lodo, não houve diferença com $F(2, 23) = 2,749$ e “p” igual a 0,085. Já para os dois tratamentos que continham apenas moinha, os valores foram de 1,32 (sem cinza) e 5,92 (com cinza) t . ha⁻¹ diferindo entre eles ($p = 0,00026$ em $F(1, 8) = 38,608$).

Com relação aos valores de MST, não houve diferença entre os tratamentos com fonte de N orgânica com $F(2, 48) = 0,82199$ para $p = 0,446$.

Nos tratamentos com esterco cruzados entre si, houve diferença com $F(2, 54) = 3,405$ para $p = 0,04$. Os valores em gramas foram maiores no tratamento EC (247,87) e menores no tratamento EMC (182,46). Já para a adubação com lodo avaliada entre si, a faixa de valores médios ficou entre 221,36 a 181,87 (g), sem diferença entre elas onde “p” é igual a 0,08503 ($F(2, 23) = 2,749$).

No tratamento SMC o MST foi maior (19,948g) do que onde não houve adubação (89,75g), SM, com diferença em $F(1, 8) = 38,608$ com “p” igual a 0,002.

Na avaliação de MSPA, não foi encontrada significância na diferença entre as interações, com “F” igual a 0,81833 e “p” igual a 0,44723.

Comparando a fonte de N esterco entre si, com complementação e presença de moinha, houve diferença com $F = 4,7368$ e $p = 0,01845$, com $GDL = 24$, melhor valor para esterco EC. Nos tratamentos contendo lodo, não houve distinção, com valores entre 179,7 e 220,39 g e “F” de 2,053 ($p = 0,151$).

Para MSR, não houve diferença entre os tratamentos com F de 0, 356 e p de 0,702. Os valores se apresentaram entre 2,34 e 6,79 g. Para lodo, também não houve diferença, com valores entre 179,70 e 220,39, $F = 2,053$, $p = 0,151$. Bem como nos tratamentos contendo esterco com $F = 1,087$, $p = 0,353$.

Comparando as amostras com fonte de N esterco com as que continha lodo de esgoto, os valores tiveram variação de 104,01 a 28,4, ainda sem diferença significativa com $F(2, 23) = 0,72$ e $p = 0,497$.

Nos tratamentos que possuíam apenas moinha incorporada ao solo, os valores médios de MSPA foram de 37,96 g para amostras SMC e de 126,57 g para amostras SM sendo a diferentes entre si, com $p = 0,001$ para $F(1,8) = 35,277$. Para MSR média foram encontrados valores para as amostras SM de 0,68 g e para os vasos SMC, 1,91 g com p de 0,33 em 1,072 sendo não significativos.

Os valores resultantes dos tratamentos controle e testemunha para biomassa ($t \cdot ha^{-1}$) e MSPA/MSR foram, respectivamente, de: controle com químico, 12,39, 187,75 e 26,06; controle com cinza, 6,67, 101,12 e 99,14; solo puro, 2,53, 38,30 e 34,21.

Em confronto entre os tratamentos com fonte orgânica de N (esterco ou lodo) e tratamento apenas com químico, SQ, são superiores em biomassa ($t \cdot ha^{-1}$) a este último os tratamentos: E, EC, EQ, EM, EMQ, LC, LQ, LMC. Sendo todos superiores ao tratamento apenas com cinza e à testemunha. O tratamento SM foi inferior aos três tratamentos parâmetro e aos tratamentos com lodo ou esterco.

Comparando os valores de MST, são superiores ao controle químico os mesmos tratamentos acima. Não houve valores menores que o controle com cinza e que a testemunha SP como mostra a Figura 6 ($F = 25,568$; $p = 0,001$).

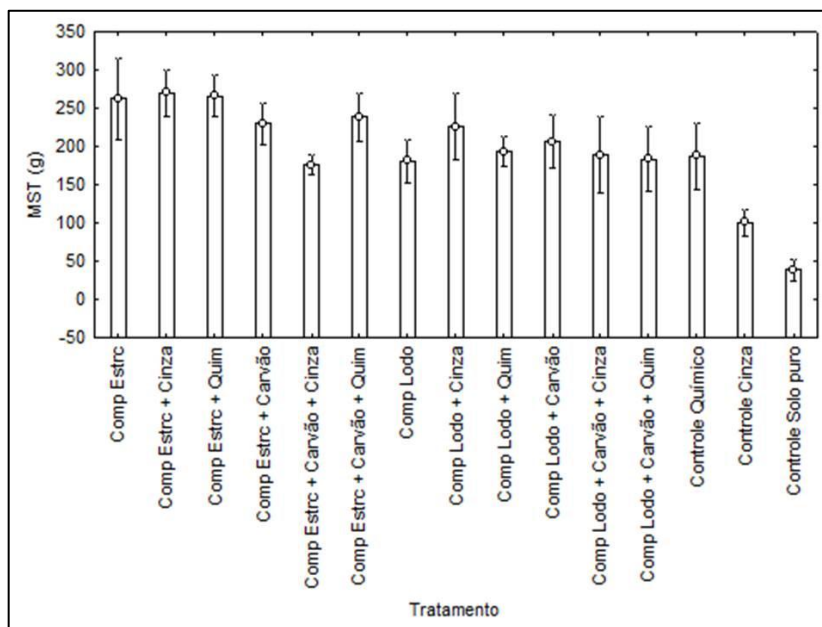


Figura 6 – Intervalo de confiança (95%) e MST médio ($n=5$) de plantas de milho (*Zea mays* L.) cultivadas em casa de vegetação, em função da interação entre fonte de N e presença de moinha no composto, e da complementação mineral.

3.3 AVALIAÇÃO DOS NUTRIENTES POR DIAGNOSE FOLIAR

O desempenho nutricional é característica particular de cada planta, influenciada além das condições ambientais pela disponibilidade de nutrientes (SOARES et al., 2009; MARSCHNER, 1995).

De acordo com Chun et al. (2005), em situações de deficiência de nutrientes, as plantas podem se adaptar fazendo com que o aumento da biomassa radicular seja independente da biomassa total para que a planta possa capturar nutrientes em um raio maior na sua área de localização, o que diminui a relação MSPA/MSR. A Tabela 6 mostra que houve deficiência em N, P e K quando comparados com o padrão da literatura apresentado na metodologia.

Tabela 6 – Análise foliar da folha diagnóstico de plantas de milho submetidas aos tratamentos contendo variação na fonte de N, presença de moinha e complementação de adubação ao final da fase vegetativa.

Tratamentos	N	P	K
	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹

E	16,48	2,44	0,25
EC	17,89	2,15	0,3
EQ	15,08	2,41	0,36
EM	16,81	2,27	0,27
EMC	17,97	2,41	0,39
EMQ	18,47	2,78	0,24
L	16,7	2,72	0,6
LC	15,74	1,65	0,16
LQ	14	0,6	0,27
LM	13,85	2,21	0,25
LMC	13,52	1,9	0,17
LMQ	14,19	2,07	0,16
SQ	5,91	1,93	0,09
SC	5,84	1,78	0,2
SP	7,49	1,47	0,15
SM	14,37	2,32	0,22
SMC	12,54	2,35	0,3

O milho varia na necessidade de fertilizante de acordo com a região (COELHO; FRANÇA, 1995). Para exemplificar, são apontados como teores adequados de N, na análise foliar, os que estão entre 27,5 e 32,5 g kg⁻¹, de 17,5 – 29,7 g kg⁻¹ de P e 0,17 – 0,29 g kg⁻¹ de K ao final do ciclo (BÜLL, 1993). Atingir um padrão esperado para variedade produtiva depende que a adubação atenda às necessidades de cada região e as que a variedade exige. Porém, além dos fatores citados, deve ser considerado o potencial genético da variedade e sua adaptação para a localidade.

Kiehl (1985) explica que teores baixos de nutrientes podem ser em decorrência da mineralização da matéria orgânica que restou no composto orgânico que ainda irá ocorrer em longo prazo. Considera-se que ocorre numa taxa de 50% no primeiro ano de plantio, o que é bom uma vez que a planta precisa de pequenas dosagens continuamente de boa parte dos nutrientes, como é o caso do fósforo que se mantém no solo enquanto houver húmus. No caso do potássio, quando adicionado ao composto, fica adsorvido à matéria orgânica em uma forma disponível às raízes.

As plantas de milho produzidas no experimento não apresentavam característica de deficiência nutricional severas, com exceção dos tratamentos contendo apenas solo puro com moinha e o controle de solo puro. Ao final do processo de condução do experimento, foi possível notar que 50,15% das plantas floresceram e algumas iniciaram a formação de espiga.

4. CONCLUSÃO

De modo geral, o lodo se mostrou com a mesma capacidade de melhoria no desenvolvimento das plantas de milho. Por não ter sido apresentada diferença nos parâmetros avaliados para as duas fontes de n orgânicas testadas (lodo e esterco), é possível constatar que o lodo pode ser um substituto para o esterco.

Na maior parte dos parâmetros avaliados, não ocorreu distinção entre a adubação com os substratos orgânicos testes e a adubação contendo apenas componentes minerais.

A adubação controle com cinza se mostrou inferior em boa parte dos parâmetros aos adubos com lodo ou esterco. O lodo de esgoto de Macapá se mostra, portanto, eficaz na disponibilidade de nutrientes para a planta de milho após passar pelo processo da compostagem.

Na comparação entre as complementações testadas, a adição de químico mostrou-se superior em poucos tratamentos aos que foram complementados com cinza.

Os tratamentos que continham moinha em sua composição não apresentaram diferenças na maioria das respostas com os tratamentos do composto sem moinha, mas também foram superiores ao tratamento de referência que recebeu adubação mineral completa.

REFERÊNCIAS

ALVIM, P. T. **Perspectivas de produção agrícola na região Amazônica**. Interciência, v. 3, n. 4, p. 243-249. 1978.

Ambiente Brasil. **Fruto da castanha do Brasil é alternativa para geração de energia**. 2007. Disponível em: <<http://noticias.ambientebrasil.com.br/clipping/2007/01/29/29149-fruto-da-castanha-do-brasil-e-alternativa-para-geracao-de-energia.html>>. Acesso em: 26 de jul. de 2012

BÜLL, L. T. Nutrição mineral do milho. In: BÜLL, L.T. & CANTARELLA, H. **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, Piracicaba, SP, p. 63-145. 1993.

CEMPRE. Fichas técnicas. **Composto Urbano**. 2010. Disponível em: <http://www.cempre.org.br/fichas_tecnicas.php?lnk=ft_composto_urbano.php>. Acesso em: 07 de ago. de 2014.

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. **Seja o doutor do milho: nutrição e adubação**. Arquivo do agrônomo, n. 2, p. 1 – 25. 1995.

COELHO, A. M. et al. Cultivo do milho: diagnose foliar. **Embrapa Milho e Sorgo**, 8 ed. 2012. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_8_ed/ferdiagnose.htm>. Acesso em: 10 de abr. de 2014.

CHUN, L et al. Genetic analysis of maize root characteristics in response to low nitrogen stress. **Plant and Soil**, The Hague, v. 27, n. 6, p. 369 – 381. 2005.

DANTAS, M; MATOS, A. O. **Estudos fito-ecológicos do trópico úmido brasileiro III. Conteúdo de nutrientes em cinza de floresta e capoeira, Capitão-poço – PA**. CPATU, Empresa Brasileira de Pesquisa agropecuária, Belém, PA, 23 p. 1981.

DOMINGUES. E. et al. **Cobertura e Uso da Terra no Estado do Amapá**. Relatório Técnico: IBGE, Rio de Janeiro, RJ, 137 p. 2004.

Epstein, E. Land application of sewage sludge and biosolids. 1.ed. London, New York, Washington: **Lewis Publishers**. 220 p. 2003.

FEIJÃO, A. R. et al. Nitrato e compostos nitrogenados em plantas de milho. *Bragantia*, Campinas, v. 72, n. 1, p.10-19, 2013.

FERREIRA, C. N. P. L.; BEZERRA, S. C. M. **Guias de Gerenciamento de Riscos em Alimentos**. Divisão de vigilância Sanitária da Coordenadoria de Vigilância em Saúde da Secretaria Estadual de Saúde do Amapá, Organização Pan-Americana de Saúde - OPAS/OMS. 2009. Disponível em: <http://bvs.panalimentos.org/local/File/Guias_para_gerenciamento_riscos_sanitarios_em_alimentos.pdf>. Acesso em: 24 de jul. de 2012.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres. 2006.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London Academic, 2 ed., 889 p. 1995.

NÓBREGA, R. S. A.; et al. Utilização de Biossólido no Crescimento Inicial de Mudanças de Aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi). **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 3, n. 2, p. 239-246. 2007.

NOVAIS, M. V. et al. Efeito da adubação nitrogenada e seu parcelamento sobre a cultura do milho em Patos de Minas. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v.21, n. 115, p.193-202. 1974.

ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Saraiva. 1986.

OLIVEIRA, A. U. **Agricultura e indústria no Brasil**. Campo-Território: Revista de Geografia agrária, v.5, n.10. p. 5-64. 2010.

OLIVEIRA, I. J. et al. Comunicado Técnico 96 BRS Caimbé - Variedade de milho recomendada para o Estado do Amazonas. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Amazônia Ocidental**. Manaus, AM. 2013.

PACHECO, C. A. P. **BRS Caimbé: variedade de milho precoce**. Embrapa Milho e Sorgo: Boletim técnico. Sete Lagoas, MG, p. 1 – 7. 2009.

PICANÇO, R. S. Picanço. **Gravimetria Estimada dos resíduos sólidos da Cidade de Macapá-AP**. 2014. Disponível em: <http://www.portalresiduossolidos.com/gravimetria-estimada-dos-residuos-solidos-da-cidade-de-americana-sp/>. Acesso em: 01 de ago. de 2014.

PRATT, P. F.; ALVAHIDO, R. Cation exchange characteristics of soil of São Paulo, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, n. 1, p.1 – 15. 1966.

PRIMAVESI, A. Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais. São Paulo: Nobel. 2009.

SILVA, T. N. **Caracterização agrônômica e morfológica de populações de milho**. Jaboticabal, SP. 32 p. 2014. (Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP).

SOARES, M. O. et al. Discriminação de linhagens de milho quanto à utilização de nitrogênio, por meio da avaliação de características do sistema radicular. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 8, n. 1, p. 93-10. 2009.

SOUZA, S.N. M. de et al. **Custo da eletricidade gerada em conjunto motor gerador utilizando biogás da suinocultura**. In Proceedings of the 5th Encontro de Energia no Meio Rural, Campinas, SP. 2004. Disponível em: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022004000100042&lng=en&nrm=is. Acesso em: 20 de jul. de 2014.