

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E RECURSOS NATURAIS

KAROLINA KOTSUBO

**AVALIAÇÃO DO EFEITO “PRIMING” NA QUALIDADE DO VERMICOMPOSTO
DE *EICHHORNIA CRASSIPES***

SÃO CARLOS

2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E RECURSOS NATURAIS

KAROLINA KOTSUBO

**AVALIAÇÃO DO EFEITO “PRIMING” NA QUALIDADE DO VERMICOMPOSTO
DE *EICHHORNIA CRASSIPES***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestra em Ecologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de São Carlos.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Marcela Bianchessi da Cunha Santino

SÃO CARLOS

2021



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Biológicas e da Saúde
Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais

Folha de Aprovação

Defesa de Dissertação de Mestrado da candidata Karolína Kotsubo, realizada em 03/03/2021.

Comissão Julgadora:

Profa. Dra. Marcela Bianchessi da Cunha Santino (UFSCar)

Prof. Dr. Gilmar Perbiche Neves (UFSCar)

Prof. Dr. Hugo Henrique Lanzi Saulino (EESC/USP)

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

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha orientadora Prof^a. Dr^a. Marcela Bianchessi da Cunha Santino e ao Prof. Dr. Irineu Bianchini Júnior pelo aconselhamento e direcionamento durante o Mestrado. Agradeço também pela atenção e paciência durante esse período de aprendizado e desafios não só no laboratório e na pesquisa, como também, na vida.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela concessão da bolsa e pelo financiamento dessa pesquisa e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo financiamento parcial desse estudo (2018/00348-0).

Ao Programa de Pós-graduação em Ecologia e Recursos Naturais (PPGERN – UFSCar), ao Departamento de Hidrobiologia e ao Laboratório de Bioensaios e Modelagem Matemática pela infraestrutura necessária para a realização desta pesquisa.

Aos queridos amigos e colegas de laboratório Andresa Lana Thomé Bizzo Cabral, Erica Zanardo Oliveira Andreoli, Fábio Leandro da Silva, Julia Romano Sanches, Leticia Kamimura Almeida, Luana Lorca Sartoris Gimenes, Luana Lume Yoshida, Raphael Machado, Roberta Mafra Freitas da Silva, Ricardo Rafael Ribeiro da Silva pelas palavras e momentos de auxílio e incentivo, pela compreensão e aconselhamentos.

Aos meus amigos Afonso e Henrique que me apoiaram desde o início. Às amigas Maria Clara, Leilane, Lais e Ana Paula Lima e a minhas primas Beatriz e Lu pelas conversas nos momentos difíceis, pelas risadas e pelo apoio. Aos amigos Guilherme, Igor Thales e Luan pelo incentivo durante os intervalos. Agradeço também a Ana Paula pelo seu trabalho de apoio no laboratório.

Aos meus pais Lislaine Generoso e Roberto Kotsubo, a minha irmã Kamila Kotsubo e meu namorado Leonardo Ishii e aos queridos Marilene Miyuki e Rafael Hiroki pelo apoio por todo esse desafio, pelo incentivo e carinho. Agradeço a toda a família, não teria conseguido sem esse apoio.

Agradeço finalmente ao meu avó Carlos Fernandes Generoso, que esteve comigo durante toda minha formação, me levando para escola desde o primeiro dia de aula até o laboratório muitas vezes durante o Mestrado. Ele torceu por mim, me deu apoio e comemorou comigo enquanto esteve aqui. Durante o período do Mestrado ele nos deixou, mas tenho certeza que está acompanhando mais essa etapa.

RESUMO

Em ambientes eutrofizados, as macrófitas aquáticas se reproduzem rapidamente e ocupam extensas áreas, impedindo os usos múltiplos dos recursos hídricos. O aproveitamento da biomassa dessas plantas na vermicompostagem representa uma alternativa sustentável. O objetivo do trabalho consiste na avaliação da vermicompostagem utilizando biomassa de macrófitas e a adição de substâncias orgânicas e inorgânicas a esse processo. A hipótese que motivou esse estudo é que o enriquecimento pelas substâncias orgânicas e inorgânicas aumente a fertilidade do composto produzido e do consumo da biomassa pelos anelídeos. Foi testado o enriquecimento da biomassa de macrófitas durante a vermicompostagem por solução inorgânica de NPK (1,75% e 3,5%) e orgânica de glicose (0,25 g/L e 0,5 g/L). A umidade e temperatura não se mostraram limitantes ao processo, se mantendo dentro do padrão estabelecido para vermicompostagem. O pH e a condutividade elétrica também apresentaram comportamento esperado para a vermicompostagem. A eficiência de consumo da biomassa para os tratamentos com NPK foram 21,57% e 8,7% superiores ao controle. Para os tratamentos com glicose a eficiência foi 51,5% e 40,5% superior ao controle. Ambos os tratamentos mostraram qualidade superior do composto formado quando comparado ao controle. Em relação a humificação, o enriquecimento com NPK se mostrou intermediário, com valores superiores de substâncias húmicas formadas e maior humificação indicada pela razão E2/E3. O enriquecimento com glicose mostrou maior potencial de nutrição em função da superior eficiência de consumo da biomassa, maior humificação representada pela razão E4/E6 e dos valores superiores de fertilidade para matéria orgânica total, nitrogênio, fósforo e cálcio. Os dados confirmaram a hipótese inicial de que o enriquecimento tanto orgânico como inorgânico melhorariam a qualidade do composto gerado e o consumo de biomassa. A glicose causou um efeito positivo ao composto formado, com aumento da fertilidade e da eficiência da vermicompostagem, além de ser de baixo custo, de fácil obtenção e aplicação. Apesar da melhoria nos compostos, eles se mostram inadequados para o uso pleno como fertilizante, sendo sugerida a combinação com outros fertilizantes favorecendo, assim, a manutenção da umidade e estruturação do solo.

Palavras-chave: *Eisenia fetida*, eutrofização, NPK, glicose, humificação.

ABSTRACT

In eutrophicated environments, aquatic macrophytes reproduce rapidly and occupy large areas, hindering the multiple uses of water resources. The use of the biomass of these plants in vermicomposting represents a sustainable alternative. The objective of this work consists in the evaluation of the vermicomposting using macrophyte biomass and the addition of organic and inorganic substances to this process. The hypothesis that motivated this study is that the enrichment by organic and inorganic substances increases the fertility of the produced compost and the consumption of the biomass by the annelids. The enrichment of macrophyte biomass during vermicomposting by inorganic NPK (1.75% and 3.5%) and organic glucose (0.25 g/L and 0.5 g/L) solutions was tested. Humidity and temperature did not prove to be limiting to the process, remaining within the standard for vermicomposting. The pH and the electrical conductivity also had an expected behavior for vermicomposting. The efficiency of biomass consumption of the treatments with NPK were 21.57% and 8.7% higher than the control. For the treatments with glucose, the efficiency was 51.5% and 40.5% higher than the control. Both treatments showed superior quality of the compost formed when compared to the control. Regarding humification, the enrichment with NPK was intermediate, with higher values of humic substances formed and higher humification indicated by the E2/E3 ratio. The enrichment with glucose showed higher nutritional potential due to higher biomass consumption efficiency, higher humification represented by the E4/E6 ratio, and higher fertility values for total organic matter, nitrogen, phosphorus, and calcium. The data confirmed the initial hypothesis that both organic and inorganic enrichment would improve the quality of the generated compost and biomass consumption. Glucose caused a positive effect to the compost formed, with increased fertility and vermicomposting efficiency, besides being low cost, easy to obtain and apply. Despite the improvement in the composts, they prove to be inadequate for full use as fertilizer, being suggested the combination with other fertilizers and favoring soil moisture and structuring.

Keywords: *Eisenia fetida*, eutrophication, NPK, glucose, humification.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Exemplos de macrófitas coletadas antes de serem secas em estufa.....	10
Figura 2. Separação de indivíduos de <i>E. fetida</i> para medição e pesagem.....	11
Figura 3. Exemplos dos miniminhocários.....	12
Figura 4. Biomassa de macrófitas em dois momentos do experimento.....	13
Figura 5. Adubo comercial utilizado para enriquecimento inorgânico.....	14
Figura 6. Extração da extração de substância húmica.....	16
Figura 7. Variação semanal dos tratamentos para pH.....	21
Figura 8. Variação semanal dos tratamentos para CE.....	22
Figura 9. Variação semanal dos tratamentos para eficiência de consumo.....	23
Figura 10. Dinâmica temporal da biomassa consumida em função da massa das minhocas nos tratamentos Controle, NPK 3,5% e NPK 1,75%.....	26

Figura 11. Dinâmica temporal da biomassa consumida em função da massa das minhocas nos tratamentos Controle, Glicose 1 e Glicose 2.....	27
Figura 12. Variação temporal da formação de substâncias húmicas por tratamento.....	28
Figura 13. Variação semanal da taxa E2/E3.....	29
Figura 14. Variação semanal da taxa E4/E6.....	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Média, desvio padrão, valor máximo e mínimo de temperatura para cada tratamento.....	19
Tabela 2. Média, desvio padrão, valor máximo e mínimo de umidade para cada tratamento.....	20
Tabela 3. Comparação da eficiência e da contagem dos indivíduos de <i>E. fetida</i> ao final do processo de vermicompostagem considerando os três tratamentos: Controle, NPK 1,75% e NPK 3,5%.....	24
Tabela 4. Parâmetros do modelo de consumo de biomassa de <i>Eichhornia crassipes</i> por <i>E. fetida</i> nos tratamentos testados.....	27
Tabela 5. Resultados dos parâmetros referentes a avaliação de fertilidade para os vermicompostos utilizando biomassa de <i>Eichhornia crassipes</i> (Controle, NPK 1,75% e NPK 3,5%, Glicose 1 e Glicose 2)	31

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Solo.....	1
1.2 Compostagem e vermicompostagem.....	2
1.3 Importância das minhocas.....	3
1.4 Macrófitas.....	3
1.5 Efeito “priming”	5
1.6 Estudos similares.....	6
2. HIPÓTESE.....	8
3. OBJETIVOS.....	8
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	9
4.1 Montagem e preparação dos minhocários e miniminhocários.....	9
4.2 Experimentos de vermicompostagem.....	13
4.3 Análise da eficiência de consumo de <i>Eichhornia crassipes</i>	16
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	19
5.1 Acompanhamento das variáveis abióticas durante a vermicompostagem.....	19
5.2 Eficiência do consumo.....	23
5.3 Qualidade do composto.....	28

6. CONCLUSÃO.....35

REFERÊNCIAS.....36

1. INTRODUÇÃO

1.1 Solo

O solo consiste em um dos mais importantes compartimentos terrestres, visto que é responsável pela provisão de alimentos, pelo suporte físico, pelo fornecimento de nutrientes às plantas e pela manutenção da qualidade ambiental contemplando desde o nível local até global (Doran et al., 1996). Bezdiek (1996) destaca, ainda, as contribuições do solo ao funcionamento dos ecossistemas pela ciclagem de nutrientes, aporte de matéria orgânica, remediação de poluentes, imobilização de metais pesados e a diversidade de macro e microrganismos.

Apesar da ocorrência de indicativos de atividades degradantes ao ambiente desde o princípio da humanidade, o desenvolvimento tecnológico e consequente aumento da utilização de recursos naturais nos últimos séculos têm causado impactos irreversíveis para as diferentes esferas ambientais (Tótola & Chaer, 2002). Ao que se refere a pedosfera, podemos citar como principais impactos a degradação do solo, a perda de fertilidade e a mudança do uso da terra. Esses impactos podem ocasionar prejuízos em escala global, dada a importância do solo na produção de alimentos e de matéria-prima. Consiste, ainda, em uma das principais determinantes do ciclo do carbono e de nutrientes na biosfera sendo a principal fonte para o crescimento de plantas pela obtenção dos mesmos (Fontaine, Mariotti & Abbadie, 2003). Uma das principais consequências desses impactos é a perda de matéria orgânica no solo e, conseqüentemente, o comprometimento de sua fertilidade.

O conceito de qualidade do solo se modificou com o passar dos anos. Inicialmente, a qualidade do solo foi definida por Doran (1994) como a capacidade do solo funcionar. Essa definição foi posteriormente modificada pelo mesmo autor (Doran, 1997) para a capacidade de funcionamento dentro dos limites de um ecossistema, seja natural ou modificado, para sustentar a produtividade de biota, manter ou melhorar a qualidade do ar e da água, além de promover a qualidade de vida das comunidades.

Estudos referentes à qualidade do solo se intensificaram a partir da década de 90 (Século XX), quando os impactos ambientais também se intensificaram, havendo uma maior preocupação com a degradação dos recursos naturais (Vezzani & Mielniczuk, 2009). Acredita-se que 40% dos solos agricultáveis foram degradados pela ação humana (Oldeman,

1994). Pesquisadores passaram, então, a tentar definir padrões de qualidade para o solo. Há diversos métodos para determinação da qualidade do solo, entretanto, não é possível estabelecer um padrão, dada a complexidade das interações entre os processos químicos, físicos e biológicos que ocorrem no mesmo, assim como as especificidades locais (Vezzani & Mielniczuk, 2009).

1.2 Compostagem e vermicompostagem

Uma das técnicas que pode contribuir para a reposição da matéria orgânica no solo é a compostagem. A compostagem consiste em um tratamento de resíduos orgânicos, sendo esse um processo controlado de decomposição microbiana caracterizado pela oxidação da matéria orgânica. Inicialmente ocorre uma rápida fase mesofílica seguida de uma fase de bioestabilização. A fase final se caracteriza pela maturação do composto, que é quando ocorre a formação das substâncias húmicas pela mineralização da matéria orgânica (Valente et al., 2009). Uma das principais características desse tipo de tratamento é a possibilidade do uso de praticamente qualquer material orgânico e sua transformação que gera um composto nutritivo que pode ser usado para a adubação.

Outro processo similar à compostagem é a vermicompostagem, que se diferencia pela utilização da mesofauna, especialmente de anelídeos, se beneficiando da ação combinada das minhocas com a da microflora presente em seu trato digestivo, que facilitam o processo de compostagem. A diferença entre esses dois tipos de compostagem é que para a vermicompostagem algumas condições devem ser mantidas, rigorosamente, visto que a presença da macrofauna que participa ativamente do processo se mostra mais sensível, principalmente aos fatores abióticos condicionantes, como umidade e a temperatura (Aquino et al., 1992). Tótola & Chaer (2002) indicam que essas condições ideais seriam 25°C e umidade de 75%.

A formação de um composto nutritivo a partir do processamento pela micro ou mesofauna é uma importante característica desse tipo de tratamento. A utilização do composto fértil, denominado húmus, gerado pela compostagem ou vermicompostagem possui diversas vantagens, além de ser compatível com a produção agrícola sustentável. O uso do composto pode neutralizar o esgotamento da matéria orgânica nos solos e contribuir para a estabilidade do mesmo (Albreght et al., 2011).

1.3 Importância das minhocas

A presença de mesofauna (e.g. minhocas, formigas, besouros) contribui para a aceleração do processo pela trituração do material disponível (Pereira Neto, 1987). Suthar (2009) sugere que a vermicompostagem possui vantagens quando comparada à compostagem tradicional pela melhor qualidade em termos de disponibilidade de nutrientes do composto gerado. Isso se dá pelos benefícios do uso de mesofauna, principalmente de minhocas, que são responsáveis pela modificação do status biológico, físico e químico do composto, pelo aumento da área exposta aos microrganismos e consequente facilitação da ação microbiana para decomposição.

A vermicompostagem utiliza espécies epígeas de minhocas em associação com microrganismos no processamento de resíduos pela biooxidação (Aquino, 2009; Pathma & Sakthivel, 2012). É um processo mesofílico, em que tanto os microrganismos quanto a *E. fetida* são mais ativos metabolicamente na faixa de 10 a 32°C (Adhikary, 2012; Dhoke et al., 2017). Elas atuam como engenheiras ecológicas, consumindo e cominuindo o substrato orgânico, consequentemente há um decréscimo da relação C:N e a estabilização da matéria orgânica (Edwards et al., 2011). A espécie utilizada no presente estudo, também conhecida como minhoca vermelha-da-califórnia, se alimenta de praticamente qualquer resíduo orgânico, tanto animal quanto vegetal, sendo caracterizada pela alta capacidade de transformação de materiais orgânicos em compostos férteis. A *Eisenia fetida* (Oligochaeta, Lumbricidae) é prolífica, têm uma ampla tolerância à temperatura e pode crescer e se reproduzir bem em vários tipos de resíduos orgânicos com uma vasta gama de teor de umidade (Atiyeh et al., 2000), além de seu manuseio ser relativamente simples.

1.4 Macrófitas

Como citado anteriormente, praticamente qualquer tipo de material orgânico pode ser utilizado na vermicompostagem. Em uma das possibilidades, pode ser utilizada a biomassa de macrófitas (Kotsubo, 2018). As macrófitas são plantas aquáticas que colonizaram os ambientes aquáticos e os de transição com o terrestre (Chambers et al., 2008). Possuem grande importância para o ecossistema, funcionando como refúgio para espécies, alimentação e habitat (Bento et al., 2007).

As características reprodutivas desse grupo são beneficiadas em ambientes eutrofizados, resultando em explosões populacionais (Zhang et al., 2019), com a formação de ilhas flutuantes (i.e., baceiros) de vegetação, o que impede os usos múltiplos dos recursos hídricos, causando diversos impactos negativos ecológicos e socioeconômicos (Villamagna & Murphy, 2010; Chapungu et al., 2018). Destaca-se entre as macrófitas flutuantes que normalmente ocorrem em ambientes fertilizados a *Eichhornia crassipes* (Martius) Solms-Laubach (Pontederiaceae). Essa espécie é originária da América do Sul apresentando elevado potencial invasor (Cordeiro et al., 2020) como registrado em outras partes do mundo (Howard & Harley, 1997; Koutika & Rainey, 2015; Kurugundla et al., 2016).

Há poucas técnicas que contribuem para a diminuição da biomassa excedente de macrófitas em ambientes naturais, sendo essas técnicas pouco sustentáveis como a queima da biomassa seca e o posterior envio para aterros sanitários. São utilizados métodos físicos, químicos e biológicos que apresentam impactos não desejáveis e.g. contaminação por herbicidas (Thomaz, 2002).

O uso da biomassa excedente como matéria-prima para vermicompostagem consiste, assim, em uma possibilidade de redução de um problema ambiental pela aplicação dessa biomassa em técnicas sustentáveis (Najar, 2017), sendo aplicável em grande escala (Najar & Khan, 2013). Pompêo (2017) afirma em seu estudo que a adoção de medidas que previnam a inserção de matéria orgânica em ambientes aquáticos consiste no método mais barato e eficiente para prevenção de proliferação dessas plantas aquáticas. O autor cita ainda outros métodos para uso da biomassa excedente tais como bioissorção, fitorremediação, aplicação na ração para peixes, fertilizantes, entre outros.

O uso da biomassa excedente como matéria-prima para vermicompostagem consiste, assim, em uma possibilidade de redução de um problema ambiental e aplicação dessa biomassa em técnicas mais sustentáveis. Dores-Silva et al. (2013) ressaltam a importância da incorporação de matéria orgânica em solos agricultáveis proveniente de resíduos gerados localmente, tendo como benefícios a diminuição da entrada de CO₂ na atmosfera, maior retenção da umidade, melhora na textura do solo, fornecimento de micro e macronutrientes às plantas e redução dos riscos de erosão. Suthar (2009) resalta que resíduos orgânicos podem ser convertidos em produtos úteis para a agricultura ou indústrias, especialmente resíduos derivados de plantas que têm grande potencial agrônômico dada a enorme quantidade de nutrientes disponíveis.

1.5 Efeito “priming”

Diversos aspectos devem ser considerados para determinar a qualidade de um composto, sendo um deles a humificação. Durante o processo de decomposição aeróbia, parte da matéria orgânica é materializada em dióxido de carbono, amônia e água, enquanto a outra parte é transformada em substâncias húmicas. O processo de humificação é considerado o oposto do processo de mineralização, sendo caracterizado pela conversão de matéria orgânica fresca em material orgânico de alto peso molecular, tais como ácido húmico, ácido fúlvico e humina (Dores-Silve et al., 2013) que estocam carbono no solo.

O processo de estímulo à mineralização da matéria orgânica no solo é conhecido como pré-ativação (efeito “priming”). Hamer (2004) observou que são comumente relacionados os efeitos positivos da adição de diferentes substratos orgânicos na mineralização do carbono orgânico no solo. Blagodatskaya et al. (2007) afirmaram que a adição de substâncias orgânicas facilmente disponíveis no solo pode mudar fortemente a rotatividade de matéria orgânica nativa, causando assim, o efeito de pré-ativação.

Fontaine, Mariotti & Abbadie (2003) observaram que a adição de uma quantidade de nutrientes e energia, pela adição na forma de matéria orgânica fresca, causa um aumento da atividade microbiana. Assim, como afirmado por Tótola & Chaer (2002), um solo de alta qualidade possui atividade biológica intensa que pode ser definida por indicadores microbiológicos da qualidade do solo, sendo, portanto, o uso de pré-ativação benéfico ao processo de mineralização e aumento da qualidade do solo.

O acréscimo de matéria orgânica exógena no solo pode provocar uma intensificação ou retardação da decomposição da matéria orgânica, causando um efeito de pré-ativação positivo ou negativo (Chen et al., 2014). Blagodatskaya et al. (2007) citam, ainda, que a aceleração ou retardação da decomposição de matéria orgânica no solo depende, principalmente, do estado físico/químico do solo e da proporção entre carbono e nitrogênio (taxa C/N) do estoque ativo de matéria orgânica no solo, mas não há comprovação de tal sugestão.

Desse modo, entende-se que um dos fatores que limita a decomposição é a limitação de nutrientes disponíveis. O efeito pré-ativação supera essa limitação pela disponibilização de uma quantidade maior de nutrientes a partir da matéria orgânica fresca. Kaspari et al. (2008) exemplifica essa afirmação quando descreve a decomposição de serapilheira. O autor cita os

microrganismos decompositores como um dos principais limitantes de múltiplos nutrientes. No exemplo, a decomposição da serapilheira requer uma quebra sequencial de uma variedade de substratos, tais como ceras, fenóis, lignina e celulose, requerendo assim uma variedade de enzimas produzidas por diferentes micróbios. No exemplo citado, a disponibilização de uma quantidade maior de nutrientes aceleraria esse processo. Resultados semelhantes foram obtidos tais como o estudo de Laskowski & Berg (2005) que mostraram que folhas ricas em N decompõe mais rapidamente quando comparadas a folhas pobres em N.

Outro benefício da adição e assimilação de C e N no solo é a própria retenção do carbono no ambiente terrestre. Hu et al. (2001) afirmam que os ecossistemas terrestres possuem uma quantidade de C três vezes maior que o C presente na atmosfera. O autor afirma, ainda, que o acúmulo de C no compartimento terrestre pode representar uma solução para amenização dos efeitos causados pelo excesso de CO₂ atmosférico produzido de forma antropogênica. Outros autores reafirmam esse fato (Chen et al., 2014) quando citam que mesmo pequenas mudanças no estoque de carbono orgânico no solo causam um profundo impacto na concentração de CO₂ atmosférico.

1.6 Estudos similares

A incorporação de elementos inorgânicos e orgânicos como fonte adicional de nutrientes na biomassa de macrófitas pela pré-ativação (“priming”) poderá melhorar a qualidade do vermicomposto gerado. Essa adição pode ser exemplificada pela incorporação de fontes adicionais de compostos orgânicos nutritivos tais como esterco animal. É comum a adição de esterco na vermicompostagem de macrófitas, principalmente bovino (Gajalashmi et al., 2000; Gajalashmi et al., 2002; Najar & Khan, 2013; Bernal et al., 2016; Suthar et al., 2016; Devi & Khwairakpam, 2020), sendo essa mistura favorável tanto a adaptação das minhocas quanto benéfica para a melhoria do consumo da biomassa de macrófitas.

Em experimento utilizando *E. fetida* em vermicompostagem combinada de macrófitas com esterco bovino, Najar & Khan (2013) obtiveram reciclagem de 100% das macrófitas. A variação obtida nas eficiências se relacionou com as variáveis extrínsecas (e.g., temperatura, umidade, pH) que influenciam as taxas de consumo de *E. fetida*. Dominguez & Edwards (2010) destacam que as minhocas usadas em vermicompostagem possuem limites bem

definidos dessas variáveis, sendo os resíduos processados de modo mais eficiente dentro de uma restrita faixa de condições químicas e ambientais favoráveis.

Em experiência comparativa, Bernal et al. (2016) realizaram vermicompostagem em três tratamentos: *E. crassipes*, com esterco bovino e em tratamento combinado de ambos na proporção de 50%. O experimento obteve conversão total da biomassa de macrófitas em 110 dias, com período de pré-compostagem de 20 dias. Os meios prevalentes para os três tratamentos foram alcalinos (pH entre 8,5 e 9,4) e a condutividade elétrica (CE) variou entre 3,3 e 4,01 dS/m.

Kannadasan et al. (2013) realizaram vermicompostagem combinada de *E. crassipes* utilizando *E. fetida* e *Eudrilus eugeniae* em tratamento com esterco bovino e solo de jardim; os autores mantiveram a umidade entre 35 e 45% e a temperatura entre 26 e 28°C. Na vermicompostagem utilizando *E. fetida* o pH variou entre 6,85 e 8,14 e a CE variou entre 1,8 e 2,14 dS/m.

Ansari & Rajpersaud (2012) realizaram vermicompostagem com resíduos orgânicos de aparas de grama, biomassa da macrófita *E. crassipes* e experimento combinado de ambos. A vermicompostagem com *E. crassipes* teve taxa de conversão de 56,14% enquanto o tratamento combinado obteve conversão de 76,19%. A temperatura para esses tratamentos teve pouca variação, entre 25°C e 32°C. Os tratamentos apresentaram uma variação de pH entre 5 e 8. A CE desses tratamentos apresentou queda nos primeiros 30 dias de experimento, seguido de um acentuado aumento.

2. HIPÓTESE

A adição de substâncias orgânicas (glicose) e inorgânicas (adubo comercial NPK) na biomassa de macrófitas aquáticas pode acelerar o processo de vermicompostagem e contribuir para a formação de um composto de maior fertilidade em relação ao uso de apenas de biomassa de macrófitas, i.e., sem um aditivo pré-ativador.

3. OBJETIVOS

O objetivo geral desse estudo consistiu na avaliação do composto gerado por vermicompostagem utilizando biomassa de macrófitas após a aplicação de compostos orgânicos e inorgânicos, representados pela glicose e adubo comercial (NPK 15-05-05), respectivamente. Os objetivos específicos foram: (i) avaliar a cinética do consumo da macrófitas pela *E. fetida*; (ii) avaliar a qualidade do húmus formado da vermicompostagem por meio de análises químicas; (iii) identificar se a adição de um pré-ativador (orgânico e inorgânico) irá incrementar a qualidade do húmus gerado e (iv) avaliar o consumo da biomassa de macrófita pela *E. fetida* utilizando modelagem matemática.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

A fim de atingir os objetivos propostos, foi realizada a vermicompostagem utilizando a biomassa de macrófitas com o a adição das soluções orgânicas e inorgânicas. Para isso, o experimento foi separado em 3 partes, sendo elas: (i) montagem e preparação dos minhocários e dos miniminhocários, (ii) procedimentos durante a vermicompostagem e (iii) análise da eficiência de consumo de *Eichhornia crassipes*.

4.1 Montagem e preparação dos minhocários e dos miniminhocários

Inicialmente foi realizada a coleta dos exemplares de *Eichhornia crassipes* (Mart) Solms-Laubach (Pontederiaceae) no Departamento de Botânica (DB) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Após a coleta, as macrófitas foram lavadas, manualmente, em água corrente para a retirada de detritos agregados e de outras espécies associadas (Figura 1). Foram utilizadas todas as partes da planta, que após a coleta foram cortadas para facilitar o consumo pelas minhocas. Uma parcela dos exemplares foi seca em estufa (ca. 50 °C) até massa constante. Esse procedimento permitiu compor as proporções de biomassas (massa seca e massa fresca = 3:1) de *E. crassipes* a serem submetidas a vermicompostagem.



Figura 1: Exemplos de macrófitas coletadas antes de ser seca em estufa.

(Fonte: Arquivo pessoal)

O experimento de vermicompostagem foi conduzido em minhocários constituídos por três caixas de polipropileno escuras, previamente limpas, secas e empilhadas (dimensão total: 32 cm de comprimento, 16 cm de largura e 36 cm de altura). Assim, os minhocários foram compostos por duas caixas digestoras (volume total: 8 L) uma caixa coletora (volume: 4 L). Nas caixas digestoras foram adicionadas uma camada de ca. 2 cm de um substrato inerte que consistiu em uma mistura de vermiculita e areia (1:1), de modo a facilitar a identificação do composto produzido.

Acima do substrato foi colocada uma rede (malha: 1 cm) de polipropileno para separação entre o substrato inerte e a biomassa de macrófitas a ser adicionada. Esse procedimento visou facilitar a separação final da biomassa remanescente de macrófitas após o término da vermicompostagem e, assim, do cálculo de eficiência de consumo da biomassa de *E. crassipes*. Essa montagem (camada inerte e tela) não impediu que os indivíduos de *E. fetida* transitassem entre os diferentes compartimentos (i.e., caixas digestoras) do minhocário.

Foram selecionados 30 exemplares de *Eisenia fetida* com tamanhos e massas variados, contemplando, assim, todos os estágios de vida da espécie. Os indivíduos tiveram seu comprimento (em cm) determinado antes e depois de cada tratamento com auxílio de régua milimetrada (Figura 2).



Figura 2: Separação de indivíduos de *E. fetida* para medição e pesagem.

(Fonte: Arquivo pessoal)

As biomassas iniciais e finais dos exemplares foram determinadas em balança analítica de precisão (marca Bel Engineering, modelo M214Ai; precisão 0,0001 g) e foram contabilizados o número de indivíduos no início e após o término da vermicompostagem. Os 30 indivíduos foram mantidos para a adaptação nas caixas digestoras ($n = 3$ para cada tratamento) por 24 h antes do início da vermicompostagem.

Paralelamente, foram montados miniminhocários (Figura 3) para descrever as cinéticas de consumo das biomassas das macrófitas. Os miniminhocários foram preparados com biomassa de *E. crassipes* e indivíduos de *E. fetida* na mesma proporção que os minhocários descritos anteriormente (1 g de biomassa fresca, 3 g de biomassa seca e 3

indivíduos de *E. fetida*). Os miniminhocários foram desmontados semanalmente (segundo os mesmos procedimentos descritos).



Figura 3: Exemplos dos miniminhocários.

(Fonte: Arquivo pessoal)

Foram montados também experimentos sem minhocas a fim de possibilitar a comparação entre o consumo da biomassa pelos anelídeos e pelos microrganismos. Esse experimento foi feito nas mesmas proporções dos miniminhocários, porém sem os indivíduos de *E. fetida*.

4.2 Experimentos de vermicompostagem

Alguns padrões devem ser seguidos para que a vermicompostagem atinja seus objetivos e, ao mesmo tempo, corresponda ao padrão de tolerância da macrofauna presente. Portanto, buscou-se manter os minhocários a 25°C e 75% de umidade (Venter & Reinecke, 1988). As macrófitas adicionadas devem estar tanto em sua forma fresca como em sua forma seca, sendo fixada a adição de 10 g de biomassa fresca e 30 g de biomassa seca (Figura 4).



Figura 4: Biomassa de macrófita em dois momentos do experimento

(Fonte: Arquivo pessoal)

Para verificar o efeito de pré-ativação no vermicomposto gerado foram realizados cinco tratamentos (em trélicas) com as biomassas de *E. crassipes*:

- (i) Tratamento Controle: composto apenas por biomassa de *E. crassipes* sem adição de composto inorgânico;

- (ii) Tratamento NPK 1,75%: composto por biomassa de *E. crassipes* e adição de composto inorgânico na concentração de 1,75%;
- (iii) Tratamento NPK 3,5%: composto por biomassa de *E. crassipes* e adição de composto inorgânico na concentração de 3,5%;
- (iv) Tratamento Glicose 0,25 g/L: composto por biomassa de *E. crassipes* e adição de composto orgânico na concentração de 0,25 mg/mL e
- (v) Tratamento Glicose 0,5 g/L: composto por biomassa de *E. crassipes* e adição de composto orgânico na concentração de 0,2 mg/mL.

Os tratamentos contemplando a adição de nutrientes foram realizados pela aplicação de adubo inorgânico comercial (Casa Verde Foliar Dimy, Figura 5), contendo nitrogênio, fósforo e potássio (NPK) na proporção 15-05-05. O adubo comercial utilizado foi adicionado como solução aquosa, nas concentrações 1,75% e 3,5% objetivando utilizar a solução inorgânica como modo de manter a umidade nos minhocários durante o tempo experimental de 60 dias. O mesmo procedimento foi realizado para a solução aquosa de glicose, nas concentrações 0,25 mg/mL e 0,5 mg/mL.



Figura 5: Adubo comercial utilizado para enriquecimento inorgânico.

Disponível em: <<https://www.plantei.com.br/fertilizante-foliar-casa-verde-15-05-05-120ml-concentrado-dimy>>. Acesso em jan. 2021

A primeira adição foi realizada após a finalização de sua montagem, sendo adicionados 100 mL da solução em cada minhocário e 10 mL em cada miniminhocário. As aplicações seguintes foram de: 50 mL e 10 mL respectivamente para minhocários e miniminhocários na primeira semana, 25 e 10 na segunda semana e 10 e 5 na terceira semana.

Para acompanhar as condições abióticas (pH, CE) nos minhocários foram realizadas amostragens semanais, em tréplica, do vermicomposto em formação sendo acompanhadas as seguintes variáveis: temperatura, umidade, pH e CE. A temperatura foi obtida por medição por termômetro de mercúrio. A umidade foi obtida por método de umidade gravimétrica (Uhlund, 1951; Embrapa, 1979), utilizando estufa e balança de precisão (marca Bel Engineering, modelo M214Ai).

Para as análises de pH e CE, uma alíquota de vermicomposto foi retirada dos minhocários sendo adicionada água deionizada para fazer o extrato aquoso (Proporção 2:8) onde foram medidos o pH e a CE. O pH foi obtido por potenciômetro (pHmetro DIGIMED modelo DMPH-2) e a CE foi obtida por potenciômetro (Conduvímetero DIGIMED DM3).

Semanalmente foi retirada uma alíquota (ca. 50 mg) do vermicomposto em geração, para se realizar a extração de substâncias húmicas com extractante alcalino (NaOH 0,5 mol/L). As extrações foram realizadas até que a solução extractante não apresentasse mais coloração (i.e. transparente), como pode ser visto na Figura 6. Após a extração as soluções alcalinas foram varridas nos seguintes comprimentos de onda 250, 254, 365, 450 e 665 nm para os cálculos das concentrações de substâncias húmicas e dos índices de humificação E2/E3 e E4/E6.



Figura 6: Extração da extração de substância húmica.

(Fonte: Arquivo pessoal)

4.3 Análise da eficiência de consumo de *Eichhornia crassipes*

Após o término da vermicompostagem em cada tratamento (ca. 60 dias), a biomassa remanescente (i.e. não consumida pelas minhocas) de *E. crassipes* foi retirada do minhocário e tiveram suas massas secas em temperatura controlada (50°C) e, posteriormente, determinadas gravimetricamente em balança de precisão (marca Bel Engineering, modelo M214Ai; precisão 0,0001 g). A partir da quantificação das massas iniciais e finais de macrófita foram realizados os cálculos para determinação da eficiência global (Equação 1) da vermicompostagem da biomassa de *E. crassipes*.

$$E = \frac{B_e - B_s}{B_e} \times 100 \quad (1),$$

em que: E = eficiência de consumo (%); B_e = biomassa de entrada; B_s = biomassa de saída.

Para as descrições dos consumos de biomassa foi utilizado um modelo de primeira ordem (Equação 2). Os parâmetros do modelo (BC_{max} e k) foram obtidos de regressões não lineares; para tanto, foi utilizado o algoritmo iterativo de Levenberg-Marquardt (Press et al., 2007).

$$BC = BC_{max} \times (1 - e^{-kt}) \quad (2)$$

em que: BC, consumo acumulado de biomassa (biomassa oxidada + biomassa transferida para *E. fetida*); BC_{max} , consumo máximo de biomassa por condição (%); k , coeficiente de consumo (sem^{-1}); t , tempo (semana).

Para verificar a fertilidade do vermicomposto em cada tratamento foram realizados testes que indicam a qualidade do composto em laboratório credenciado (Laboratório de Fertilidade do Solo - Departamento de Ciência do Solo da ESALQ/USP; Laudo nº 0017889.1-N-O.S.10668). Foram realizados os seguintes testes: matéria orgânica total obtida por perda por ignição (Alcarde, 2009); carbono orgânico (%) foi obtido por extração com dicromato e determinação por titulometria; determinação de N total (%) foi feita por digestão sulfúrica/Kjeldahl; P total (%) foi obtido por extração por vanado-molibdico de amônio e determinação por colorimetria; K total (%) foi obtido por extração com ácido clorídrico e determinação por fotometria de chama; S total (%) foi obtido por extração por cloreto de bário e método gravimétrico; os teores de Ca total (%) e Mg total (%) foram obtidos por extração com ácido clorídrico e determinação por absorção atômica. A relação C/N foi determinada conforme MAPA (2007).

A fim de verificar a diferença entre os tratamentos, as variáveis pH, CE e eficiência de consumo dos vermicompostos, foram analisados, primeiramente, com o teste de homogeneidade de D'Agostino & Pearson (1970). A normalidade não foi confirmada para a CE, sendo aplicado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis e, posteriormente, o teste de Dunn. Para o pH e eficiência de consumo a normalidade foi confirmada, sendo aplicado o teste de paramétrico ANOVA-um fator com aplicação posterior do teste de Comparação múltipla de Tukey. Foi adotado o nível de significância $p < 0,05$.

Comparamos também o consumo da biomassa com e sem minhocas, através da avaliação da cinética dos miniminhocários. A normalidade foi confirmada pelo teste de homogeneidade de D'Agostino & Pearson (1970). Posteriormente foi realizado teste T para comparação entre os dois tratamentos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Acompanhamento das variáveis abióticas durante a vermicompostagem

A umidade e temperatura são importantes variáveis para a manutenção dos indivíduos de *E. fetida*. Desse modo, o monitoramento e controle das condições ideais indicaram pouca variação entre as réplicas para essas variáveis. Os valores médios, desvio padrão, valor máximo e mínimo de temperatura para cada tratamento estão disponíveis na Tabela 1.

Tabela 1. Média, desvio padrão, valor máximo e mínimo de temperatura para cada tratamento (Controle; NPK 1,75%; NPK 3,5%; Glicose 1 e Glicose 2).

Tratamento	Controle	NPK 1	NPK 2	Glicose 1	Glicose 2
Média	23,35	23,38	24,38	21,08	18,98
DP	1,00	1,27	0,84	1,63	1,09
Máximo	25,00	25,50	26,00	24,00	21,00
Mínimo	22,00	21,00	23,00	18,00	17,00

A temperatura ideal para o processo de vermicompostagem é ca. 25°C. Entretanto, minhocas podem suportar condições com 30°C (Anjos, 2015). A atividade metabólica, i.e., respiração e crescimento das minhocas são extremamente influenciados pela temperatura (Edwards & Lofth, 1972). A faixa térmica ótima de desenvolvimento de *E. fetida* é de 20 a 29°C (Kaplan et al., 1980), sendo que a exposição das minhocas acima de 35°C pode ser letal (Gray, 2004). Para a produção e eclosão de casulos de *E. fetida*, 20°C é a temperatura mais favorável (Reinecke & Kriel, 1981; Hartenstein, 1982). Observou-se que durante a vermicompostagem as temperaturas se mantiveram abaixo de 30°C.

Os valores inferiores à média obtidos durante o tratamento com glicose (Glicose 1 e Glicose 2) decorrem do fato do experimento ter ocorrido durante período de temperaturas mais baixas (de março a julho). Os tratamentos orgânicos obtiveram uma temperatura, respectivamente, 11,7% e 20,52% inferior à média dos tratamentos inorgânicos. Em experimento realizado por Deka, Deka & Baruah (2013) a temperatura também variou

sazonalmente entre 20,8°C e 29,5°C. Não foram utilizados quaisquer instrumentos para manutenção da temperatura dos minhacários, como luzes ou aquecedores.

Os valores médios, desvio padrão, valor máximo e mínimo de umidade para cada tratamento estão disponíveis na Tabela 2. A *E. fetida* requer substrato com teor de umidade relativamente alto, com limites entre 60 a 90% (Dominguez & Edwards, 2010). A temperatura associada à umidade são as duas variáveis mais importantes durante a vermicompostagem (Gray, 2004). A umidade está relacionada diretamente com a temperatura; experimentos sobre o ciclo de vida de *Eisenia fetida* consideraram como condições ideais para o desenvolvimento dessa espécie, 25°C e 75% de umidade (Venter & Reinecke, 1988).

Tabela 2: Média, desvio padrão, valor máximo e mínimo de umidade para cada tratamento (Controle; NPK 1,75%; NPK 3,5%; Glicose 1 e Glicose 2).

Tratamento	Controle	NPK 1	NPK 2	Glicose 1	Glicose 2
Média	56,65	69,24	44,41	61,73	57,48
DP	5,23	8,37	8,62	3,83	6,37
Máximo	69,87	96,71	63,90	72,19	68,40
Mínimo	46,77	51,32	28,94	54,02	43,80

Os resultados da variação temporal de pH do vermicomposto para os diferentes tratamentos mostram uma leve redução nos cinco tratamentos analisados (Figura 7). Os resultados para a variação temporal de pH do vermicomposto mostraram que não houve diferença ($p = 0,44$; $F = 0,95$, $R = 0,098$) entre os tratamentos ($p < 0,001$).

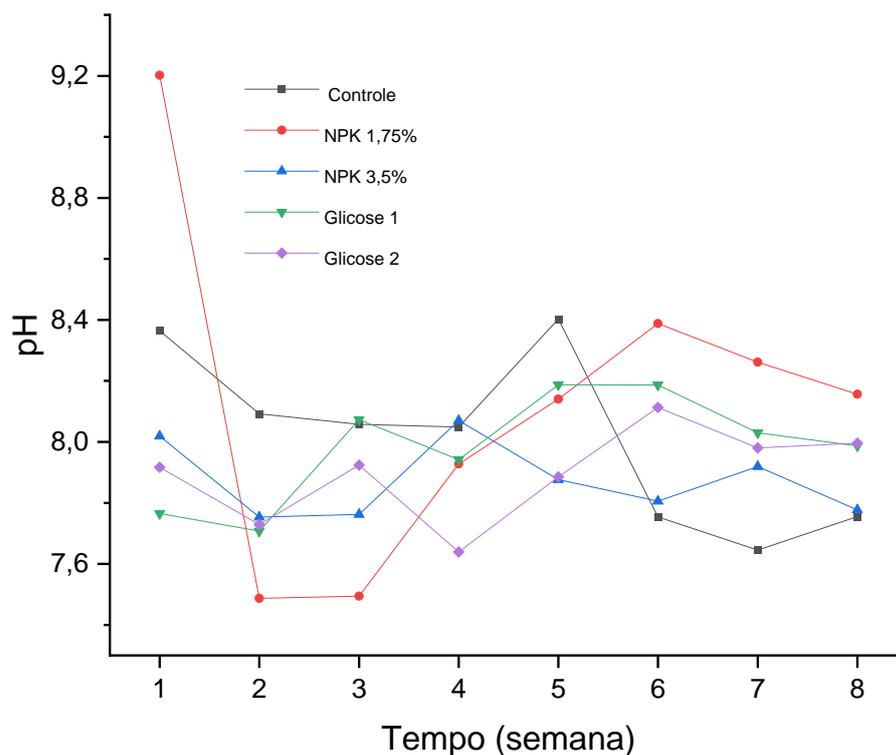


Figura 7: Variação semanal do pH para os cinco tratamentos (Controle; NPK 1,75%; NPK 3,5%; Glicose 1 e Glicose 2).

A variação do pH do vermicomposto para os cinco tratamentos tendeu a neutralidade, variando pouco entre o pH 8. A diminuição do pH durante a vermicompostagem ocorreu em função da formação de substâncias húmicas (i.e., ácidos húmicos e fúlvicos), o que provoca o aumento da acidez. Pavinato & Rosolem (2008) afirmam que com a degradação da matéria orgânica ocorre o aumento na concentração de ácidos orgânicos de baixa densidade no solo. Pramanik et al. (2007) apontam que a decomposição de matéria orgânica implica na formação de amônio e ácidos húmicos, sendo esses dois elementos responsáveis por efeitos antagônicos na fertilidade solo. Enquanto a presença de compostos húmicos propicia a diminuição do pH, os íons amônios provocam o aumento; a presença concomitante das duas substâncias faz com que o pH do meio tenda a neutralidade.

A variação semanal de CE no vermicomposto (Figura 8) mostrou diminuição somente para o tratamento NPK 3,5%, enquanto os demais apresentam aumento. Em relação a CE, os

resultados obtidos mostraram que houve diferença entre os tratamentos Controle e Glicose 1, NPK 3,5% e Glicose 1 e Glicose 1 e Glicose 2 ($p < 0,001$).

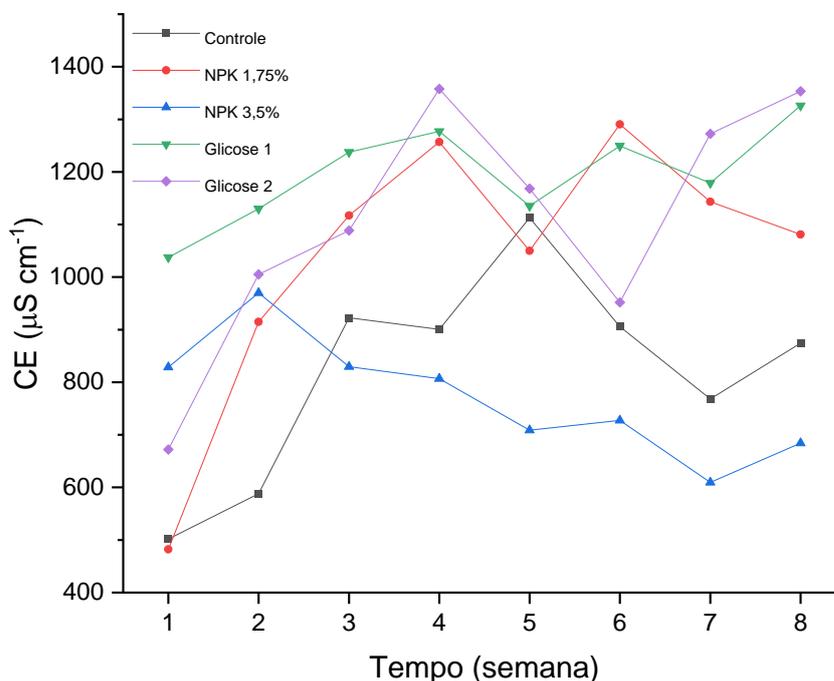


Figura 8: Variação semanal da CE dos tratamentos (Controle; NPK 1,75%; NPK 3,5%; Glicose 1 e Glicose 2).

O aumento dos valores de CE foi decorrente da liberação de íons a partir da biomassa de macrófita, que foram sendo incorporadas ao húmus durante o processo de vermicompostagem. A solubilização dos conteúdos protoplasmáticos das macrófitas aquáticas liberam quantidades elevadas de íons como K (Park & Cho, 2003) e metais como Fe (He et al., 2018). Esse aumento também pode ocorrer pelo aumento da disponibilidade de sais solúveis resultante da atividade de mineralização das minhocas e microrganismos que atuam no intestino das mesmas (Karmegam & Daniel, 2009). Entretanto, valores baixos de CE se mostram melhores para a nutrição e crescimento de plantas, por ocorrer uma liberação lenta dos íons necessários (Ansari & Rajpersaud, 2012).

5.2 Eficiência do consumo

A eficiência de consumo na vermicompostagem consistiu em um importante indicativo, não apenas da viabilidade da utilização da biomassa de macrófitas, como também mostrou a efetividade de sua utilização como alternativa sustentável. Na comparação entre os tratamentos, os resultados obtidos mostraram que houve diferença significativa entre os tratamentos Controle e NPK 1,75% e Controle e NPK 3,5%. Foram também realizadas análises estatísticas para comparação entre os tratamentos Controle e Sem minhoca. Os resultados indicaram que houve diferença significativa ($p < 0,001$) entre esses dois tratamentos (Figura 9).

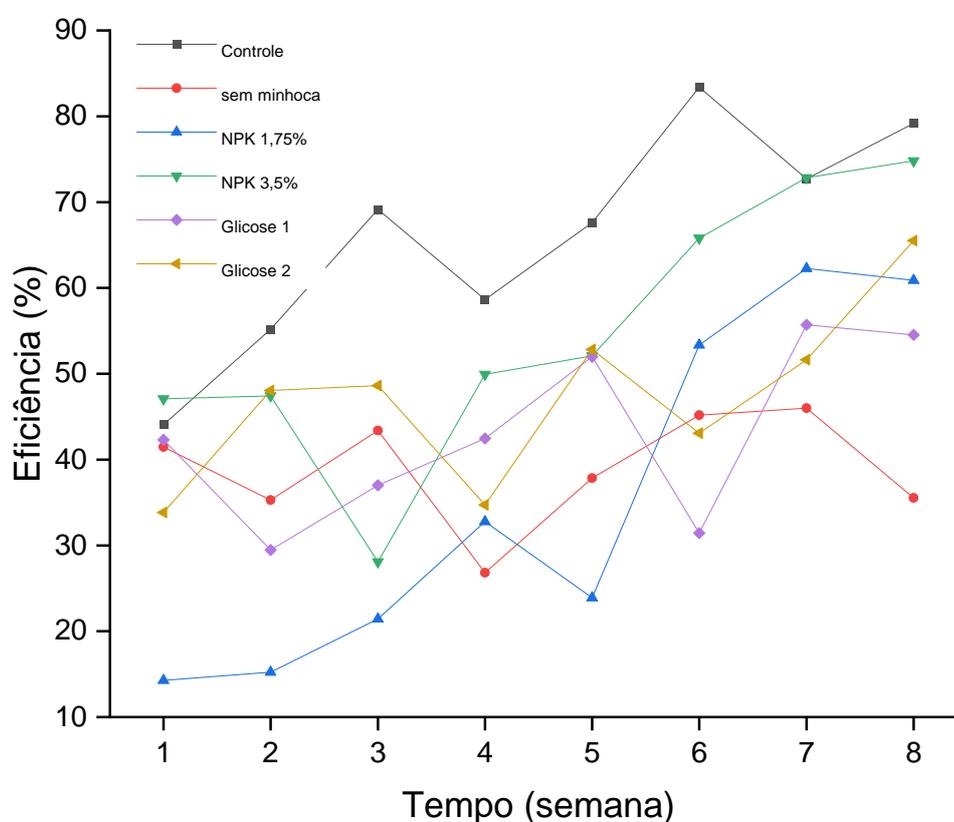


Figura 9: Variação semanal eficiência de consumo das macrófitas dos tratamentos (Controle; NPK 1,75%; NPK 3,5%; Glicose 1 e Glicose 2).

A cinética do consumo da biomassa observada pelos experimentos nos mininhocários mostrou uma eficiência inferior a 50% nas duas semanas iniciais. Para todos os cinco tratamentos foi possível observar, ainda, um acentuado aumento do consumo de biomassa ao longo do experimento, sendo acentuado nas semanas finais do experimento atingindo valores próximos a 70 e 80%. O tratamento sem minhocas foi o que obteve menor variação durante todo o experimento. Najar & Khan (2013) indicaram que o baixo consumo de biomassa, no início do experimento, pode se relacionar ao tempo de aclimação das minhocas em função da nova fonte de alimentação. Paralelo a isso, a alteração da estrutura da biomassa (i.e., diminuição da resistência física do detrito) durante o decorrer da decomposição pode ter contribuído para o aumento do consumo de biomassa nas semanas finais do experimento. A eficiência obtida nos minhocários e a contagem dos indivíduos de *E. fetida* podem ser observadas na Tabela 3.

Tabela 3: Comparação da eficiência e da contagem dos indivíduos de *E. fetida* ao final do processo de vermicompostagem considerando os cinco tratamentos: Controle, NPK 1,75%, NPK 3,5%, Glicose 1 e Glicose 2.

	Controle		NPK 1,75%		NPK 3,5%		Glicose 1		Glicose 2	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Eficiência (%)	56,14	9,16	68,25	7,72	61,04	7,72	85,05	1,90	78,92	4,98
Nº de indivíduos	22,5	8,26	23,3	8,37	21,83	8,37	33,05	5,02	33,33	3,73

Foi possível observar que os tratamentos com glicose obtiveram valores de eficiência muito superiores aos demais tratamentos. Os tratamentos com NPK 1,75% e 3,5% apresentaram uma eficiência média, respectivamente, 21,57% e 8,7% superior ao do tratamento Controle. Já para a glicose, esses valores foram ainda maiores, sendo as eficiências 51,5% e 40,5%, superiores. Podemos relacionar os elevados valores de eficiência a maior quantidade de indivíduos de *E. fetida* em tais tratamentos, o que demonstra que esse tratamento se mostrou mais favorável a sobrevivência e reprodução dos anelídeos.

A taxa de consumo de biomassa na vermicompostagem está diretamente ligada ao processamento pelas minhocas. Desse modo, a própria sobrevivência desses indivíduos influencia no processo de vermicompostagem. Decréscimos no número de minhocas foram observados na vermicompostagem de macrófitas submersas (Najar, 2015) sendo observado, também, um menor consumo de biomassa quando comparado ao experimento com macrófitas flutuantes.

Bernal et al. (2016) obtiveram um índice de sobrevivência das minhocas de 90% em experimento de vermicompostagem de *E. crassipes* e esterco bovino, indicando a adaptação dos indivíduos ao meio e as condições do material a ser decomposto. Os autores indicam que o uso exclusivo de biomassa de *E. crassipes* resulta no aumento da mortalidade dos indivíduos de *E. fetida*, sendo necessária a realização de uma pré-compostagem com esterco bovino.

Najar & Khan (2013) apontam que a composição química do recurso orgânico influencia na palatabilidade das minhocas, o que afeta o consumo de biomassa. Em uma revisão sobre ecologia alimentar de minhocas, Curry & Schmidt (2007) indicaram que a ingestão de matéria orgânica pode ser muito variável, dependendo de fatores como condições ambientais favoráveis para atividade metabólica das minhocas, a qualidade nutritiva do alimento e palatabilidade.

Nas Figuras 10 e 11 e Tabela 4 são indicadas as variações temporais dos consumos acumulados e os parâmetros do modelo utilizado (Eq. 2) para descrever a cinética de consumo da biomassa de *E. crassipes*. Verificou-se que houve maior consumo de biomassa no meio enriquecido com NPK 3,5%, tendo como consumo máximo 79,7%. Contudo, essa condição apresentou um coeficiente de consumo ($0,31 \text{ sem}^{-1}$) menor que o tratamento Controle ($0,74 \text{ sem}^{-1}$). A condição intermediária de enriquecimento (NPK 1,75%) apresentou o menor rendimento de consumo (65,0%) e o menor coeficiente de consumo ($0,20 \text{ sem}^{-1}$).

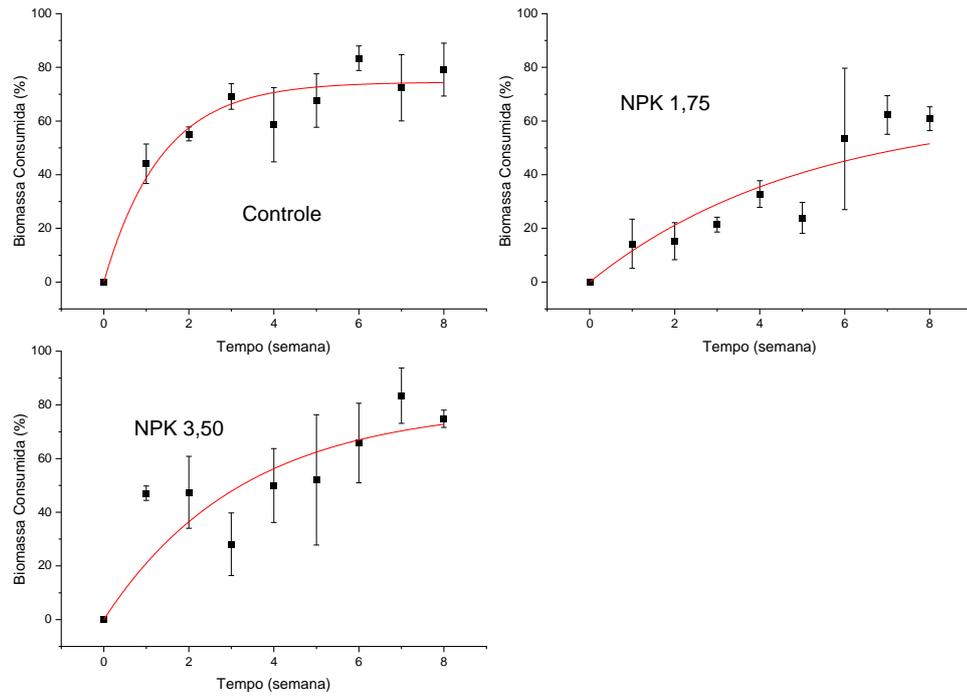


Figura 10: Dinâmica temporal da biomassa consumida em função da massa das minhocas nos tratamentos Controle, NPK 3,5% e NPK 1,75%.

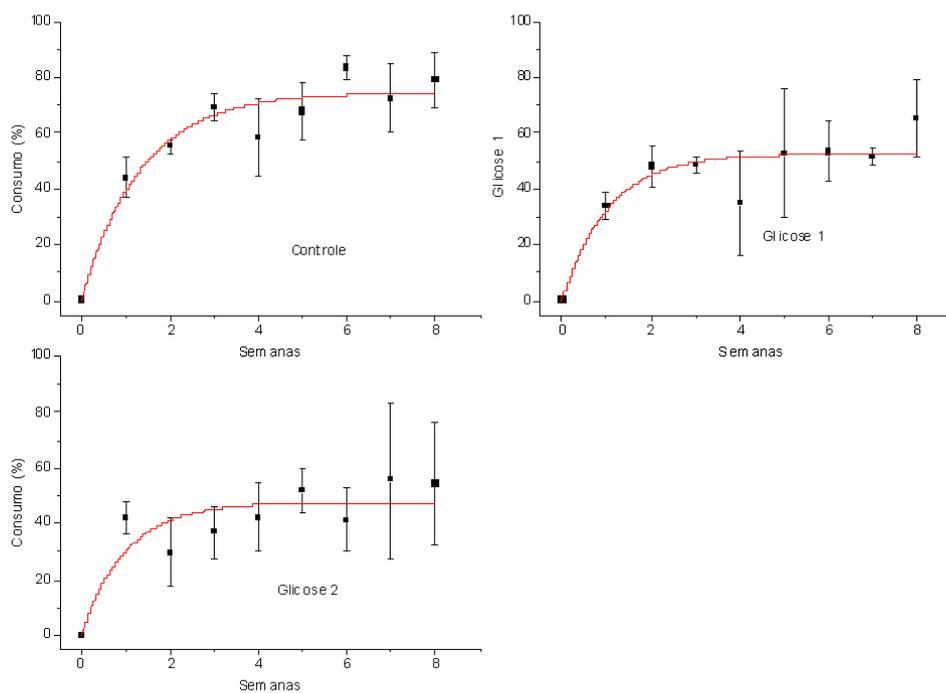


Figura 11: Dinâmica temporal da biomassa consumida em função da massa das minhocas nos tratamentos Controle, Glicose 1 e Glicose 2.

Tabela 4: Parâmetros do modelo de consumo de biomassa de *Eichhornia crassipes* por *E. fetida* nos tratamentos testados (Controle, NPK 1,75%, NPK 3,5%, Glicose 1 e Glicose 2).

Condição	BC _{max} (%)	k (sem ⁻¹)	r ²
Controle	74,5	0,74	0,94
NPK 1,75%	65,0	0,20	0,83
NPK 3,5%	79,7	0,31	0,72
Glicose 1	52,5	0,95	0,83
Glicose 2	47,5	0,99	0,76

O coeficiente de determinação (r^2) obtido para o tratamento Controle foi maior (0,94) quando comparado aos outros tratamentos. Ainda para o tratamento Controle, o consumo de

biomassa acumulado (BC_{max}) foi o segundo maior (Tabela 4). O tratamento Glicose 2 apresentou o maior coeficiente de consumo ($0,99 \text{ sem}^{-1}$) apesar de apresentar o menor consumo acumulado entre os tratamentos observados (47,5%). O coeficiente de consumo para os tratamentos Glicose 1 e Glicose 2 foram muito superiores aos demais, atingindo valores máximos ($0,95$ e $0,99 \text{ sem}^{-1}$). Quanto ao consumo de biomassa acumulado desses tratamentos, os valores obtidos foram inferiores aos demais tratamentos Controle e com NPK (1,75% e 3,5%).

5.3 Qualidade do composto

A formação de substância húmica total foi muito superior no composto enriquecido com NPK 1,75% (Figura 12) sendo muito superior aos demais tratamentos. As substâncias húmicas consistem no principal componente da matéria orgânica estabilizada e são essenciais para o crescimento vegetal (Zandonadi & Busato, 2012) ressaltando na possibilidade de uso do composto para uso como fertilizante.

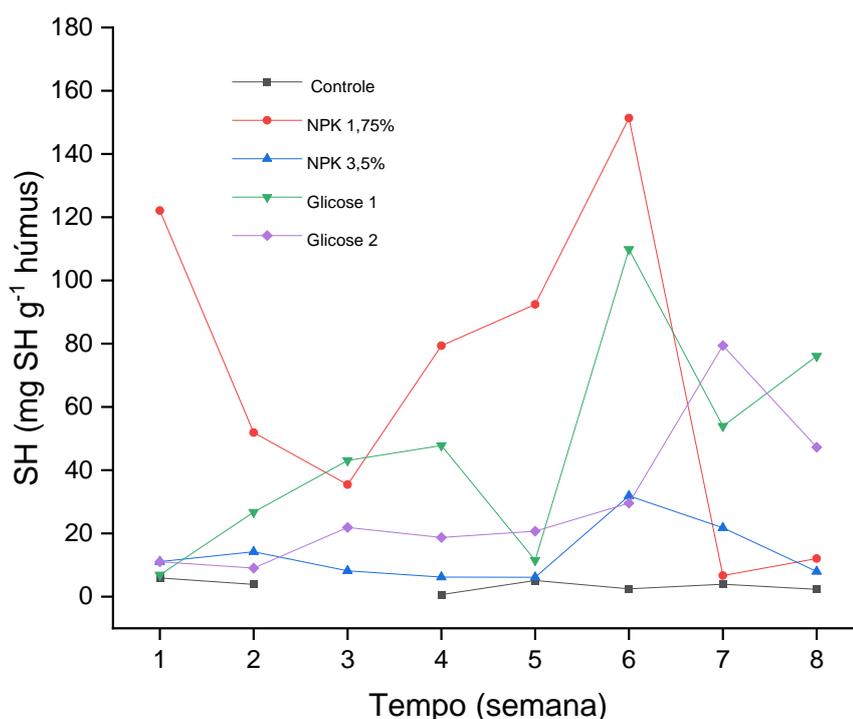


Figura 12: Variação temporal da formação de substâncias húmicas por tratamento (Controle, NPK 1,75%, NPK 3,5%, Glicose 1 e Glicose 2).

A formação das substâncias húmicas no processo de compostagem é caracterizada pela mineralização de matéria orgânica (Valente, 2009). Pelos resultados apresentados na Figura 12 notou-se que o tratamento com NPK 1,75%, apresentou maior variação no decorrer do experimento quando comparado aos demais tratamentos, sendo seguida pelo tratamento Glicose 1.

Técnicas como a espectrofotometria são frequentemente utilizadas para indicar a qualidade do solo, pois é possível quantificar e relacionar algumas propriedades do mesmo como aromaticidade e grau de humificação. Essas propriedades podem ser observadas pela razão do valor correspondente a comprimentos de onda específicos. As variações nos coeficientes E2/E3 para os três tratamentos estão dispostas na Figura 13.

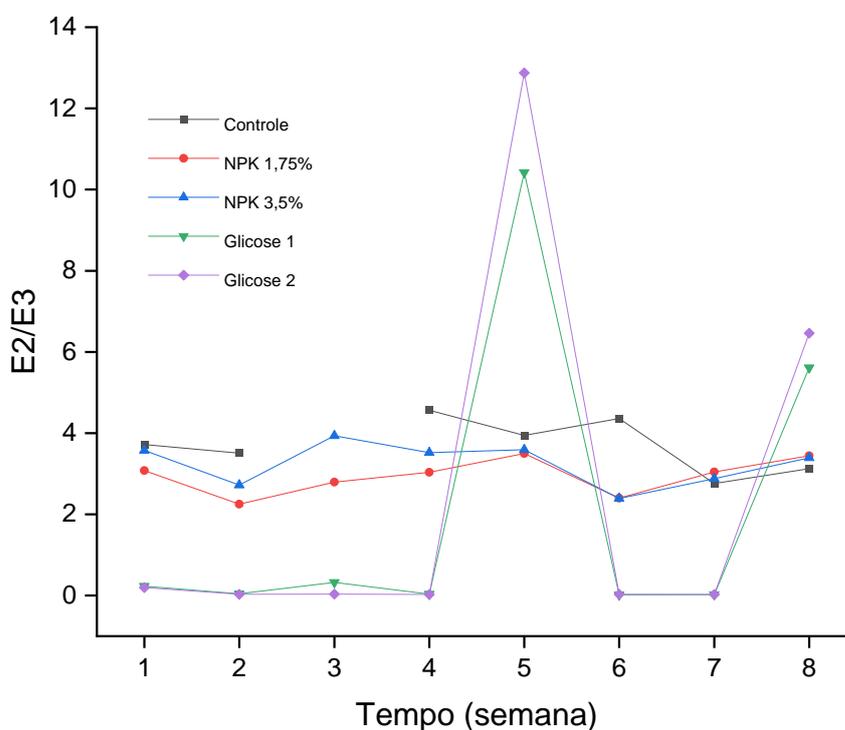


Figura 13. Variação semanal da razão E2/E3 para os tratamentos (Controle, NPK 1,75%, NPK 3,5%, Glicose 1 e Glicose 2).

A razão E2/E3 é um índice que pode ser relacionado a qualidade do composto. O valor

dessa razão diminui com o aumento da absorção de luz por matéria orgânica dissolvida cromófora, de alta massa molecular (Helms et al., 2008) e da aromaticidade (Peuravuori & Pihlaja, 1997; Helms et al., 2008). Segundo De Haan (1983), valores de E2/E3 próximos de 4 indicam elevada humificação. Os resultados mostraram que os tratamentos Controle, NPK 1,75% e NPK 3,5% apresentaram valores mais próximos de 4. Os resultados obtidos para Glicose 1 e Glicose 2 apresentaram comportamento semelhante, apresentando um pico entre as semanas 4 e 6. A formação de substância húmica nesse período apresentou grande variação entre as semanas, alterando entre altas e baixas repetidamente e apresentando pico de formação de substâncias húmicas nesse período. As variações nos coeficientes E4/E6 para os três tratamentos estão dispostas na Figura 14.

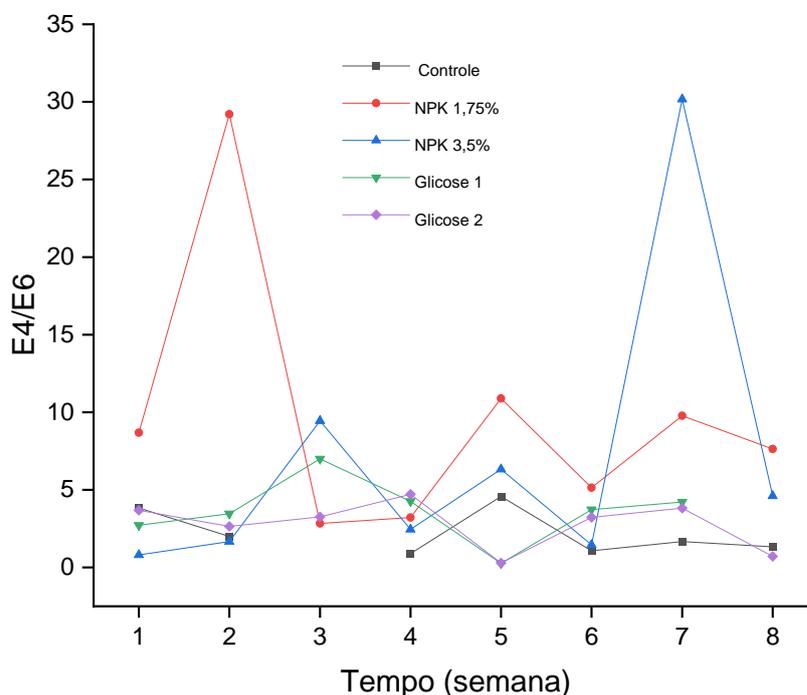


Figura 14. Variação semanal da razão E4/E6 para os tratamentos (Controle, NPK 1,75%, NPK 3,5%, Glicose 1 e Glicose 2).

Segundo Stevenson (1994), a relação E4/E6 diminui com o aumento da massa molecular e da condensação de constituintes aromáticos e se constitui em um índice de humificação. Schnitzer & Khan (1972) consideram que a razão E4/E6 seja inversamente proporcional ao grau de condensação de materiais húmicos e ao tempo de residência de

materiais húmicos no solo. Valores baixos da razão E4/E6 (inferiores a 5) indicam compostos de alta qualidade (Haddad et al., 2015). Outros autores (Grayson & Holden, 2012) sugerem que valores da razão entre 2 e 5 indicam maior humificação quando comparados a valores maiores que esse.

Os tratamentos Controle, Glicose 1 e Glicose 2 apresentaram a maioria dos valores dentro do intervalo correspondente, indicando assim maior índice de humificação. Os tratamentos com NPK 1,75% e 3,5% apresentaram grande variação, causado pelo enriquecimento com compostos inorgânicos. Os resultados obtidos para os tratamentos com composto orgânico mostram que há uma relação com a razão apresentada anteriormente. Assim como na Figura 13, em que podemos observar um pico entre as semanas 4 e 6, na Figura 14 podemos ver que os tratamentos orgânicos apresentaram nesse período os valores mais baixos, explicados pelo processo de humificação acentuado. Os resultados dos testes de fertilidade para os compostos formados pela vermicompostagem de macrófitas estão descritos na Tabela 5.

A matéria orgânica é um dos principais constituintes do solo. Prezotti & Guarçoni (2012) afirmam que um substrato com maior quantidade de matéria orgânica (valores superiores a 5%) tem maior capacidade de fornecimento de nutrientes. Analisando os resultados obtidos no teste de fertilidade constatou-se que a presença de matéria orgânica se mostrou superior nos compostos enriquecidos com glicose (3,3% e 5,16%) quando comparado ao Controle (0,95%), sendo o enriquecimento com solução NPK demonstrando resultados intermediários. Os resultados do controle e do enriquecimento com NPK se mostraram abaixo do valor necessário. A adição da solução com glicose mostrou melhoria no vermicomposto quanto a quantidade de matéria orgânica disponível (Tabela 5).

A diminuição do carbono orgânico é um indicador do aumento da decomposição que foi acelerada pela ação das minhocas (Ansari & Rajpersaud, 2012). A percentagem de carbono orgânico permaneceu constante para o controle, os tratamentos com NPK e Glicose 1. O tratamento Glicose 2 apresentou valores superiores aos demais, representando o dobro da percentagem referente aos demais tratamentos.

Tabela 5: Resultados dos parâmetros referentes a avaliação de fertilidade para os vermicompostos utilizando biomassa de *Eichhornia crassipes* (Controle, NPK 1,75% e NPK 3,5%, Glicose 1 e Glicose 2).

	Controle	NPK 1,75%	NPK 3,5%	Glicose 1	Glicose 2	Valor recomendado (Mendes, 2007)	Valor recomendado (Prezotti & Guarçoni, 2012)
Matéria orgânica total	0,95%	1,88%	3,11%	3,30%	5,16%	5%	-
Carbono Orgânico	0,30%	0,31%	0,30%	0,29%	0,6%	-	-
Nitrogênio total	0,17%	0,14%	0,19%	0,24%	0,24%	-	-
Fósforo total	0,09%	0,11%	0,12%	0,13%	0,13%	0,1 a 1%	1,6%
Potássio total	0,16%	0,17%	0,19%	0,19%	0,27%	1 a 3,5%	1,5%
Cálcio total	0,30%	0,32%	0,36%	0,36%	0,36%	0,6%	0,5 a 3%
Magnésio total	1,75%	1,34%	1,05%	1,61%	1,92%	6%	0,15 a 1%
Enxofre total	0,03%	0,05%	0,07%	0,05%	0,05%	0,1 a 0,4%	-

O nitrogênio é um dos elementos essenciais para a nutrição de plantas; nesse sentido, Prezotti & Guarçoni (2012) apontaram que as composições dos compostos orgânicos usados na adubação possuem uma quantidade média de nitrogênio de 2,25%. Todos os resultados obtidos para os compostos apresentaram valores inferiores a esses, sendo obtido no composto com adição de glicose os valores mais elevados (0,24%).

A razão C/N consiste em um importante indicativo da qualidade e maturidade do composto (Suthar et al., 2016). Os autores obtiveram uma redução dessa razão com o decorrer

do experimento, ocasionado pelo declínio de carbono pela mineralização e respiração, concomitante ao acúmulo de N na vermicompostagem. Ansari & Rajpersaud (2012) ressaltam que a transformação do N em formas disponíveis para as plantas ocasionam a rápida absorção pelas mesmas, diminuindo a concentração desse elemento no composto. Outras causas relacionadas a baixa concentração de N no vermicomposto refere-se à volatilização de NH_3 e a incorporação do nitrogênio pelas minhocas (Ansari & Rajpersaud, 2012).

O fósforo consiste em um elemento essencial para a fotossíntese e respiração, além de atuar no armazenamento e transferência de energia e crescimento vegetal (Lopes, 1998). Para o fósforo os valores sugeridos são 1,6% (Prezotti & Guarçoni, 2012), enquanto para Mendes (2007) o valor recomendado é de 0,10 a 1,0%, sendo comumente encontrado na faixa entre 0,12 a 3,0%. Todos os tratamentos apresentaram valores dentro no limite mínimo desse intervalo (0,11% e 0,12%).

O potássio consiste em um dos principais nutrientes para as plantas, assim como o N e P. Atua no metabolismo vegetal, sendo um essencial ativador enzimático (Lopes, 1998). O valor considerado adequado é 1,5% (Prezotti & Guarçoni, 2012), enquanto para Mendes (2007) o intervalo sugerido é de 1 a 3,5%. Os valores obtidos nos vermicompostos ficaram abaixo dessa faixa, tendo o tratamento Glicose 2 apresentado o maior valor (0,27%).

As concentrações de cálcio e magnésio estão correlacionadas, visto que ambos formam cátions básicos, sendo muito utilizados na correção do pH do solo (Lopes, 1998). Os valores indicados são respectivamente de 0,6 e 6,0% (Mendes, 2007). O intervalo sugerido por Prezotti & Guarçoni (2012) é de 0,5 a 3,0% para Ca e 0,15 a 1,0% para Mg. Os valores de Ca obtidos foram abaixo do recomendado para todos os tratamentos. Os valores de Mg nos compostos produzidos na vermicompostagem foram significativos, sendo obtidos valores mais elevados para os tratamentos enriquecidos com glicose (1,61% e 1,92%), seguido pelo Controle (1,75%) e pelos tratamentos enriquecidos com NPK (1,34% e 1,05%).

Enxofre e fósforo no solo estão em concentrações correlacionadas, sendo comum que S esteja em quantidade superior a P. O intervalo da quantidade de S é de 0,1 a 0,4% (Mendes, 2007), sendo que os resultados obtidos estão abaixo desse valor. O enxofre pode se tornar, temporariamente, imobilizado durante o processo de decomposição (Lopes, 1998).

A concentração de macronutrientes abaixo do limite recomendado mostrou que a formação de um composto fértil pela vermicompostagem de macrófitas, apesar de viável, não

possui alguns dos atributos necessários para nutrição adequada das plantas. Outros experimentos realizados com a associação de macrófitas e esterco animal (Ansari & Rajpersaud, 2012; Kannadasan et al., 2013; Sakthika & Sornalaksmi, 2019) apresentaram valores muito superiores aos obtidos para a concentração de macronutrientes. A adição de esterco possui ainda desvantagens pela possibilidade de presença de coliformes fecais e patógenos, impossibilitando o uso posterior como fertilizante.

O enriquecimento tanto com o composto inorgânico (NPK) quanto orgânico (glicose) provocaram um sutil aumento na qualidade do composto formado, comprovado pelos valores superiores ao controle para eficiência de consumo, substância húmica formada, matéria orgânica total, fósforo, potássio, cálcio e enxofre. Os valores de fertilidade, no entanto, se mantiveram abaixo do limite recomendado mostrando que os compostos formados podem não fornecer a nutrição adequada quando utilizados como fertilizante. O composto, no entanto, pode funcionar como agregador ao solo promovendo aumento da umidade e proporcionando maior estruturação do solo, assim como na associação com outro fertilizante.

Os compostos enriquecidos com glicose se mostraram superiores quanto à eficiência de consumo da biomassa, que foram 51,5% e 40,5% superiores à média dos tratamentos com NPK. Esse tratamento, também, se mostrou mais promissor para seu uso como fertilizante, visto que contribuíram para um composto de maior qualidade explicitado principalmente pelos valores superiores de matéria orgânica total, nitrogênio, fósforo e cálcio quando comparado com o tratamento inorgânico. A adição de glicose possui os benefícios de ser de fácil obtenção e baixo custo, sendo uma alternativa viável para a melhoria na produção por meio de uma alternativa sustentável para o uso da biomassa excedente e transformação em um fertilizante aplicável em outras produções locais. Sugerimos que estudos futuros testem a aplicação dessa técnica em larga escala.

6. CONCLUSÕES

A vermicompostagem utilizando macrófitas como fonte de matéria orgânica representa uma alternativa sustentável para o uso dessa biomassa. A adição tanto de compostos orgânicos quanto inorgânicos se mostrou adequada a esse processo, contribuindo para o aumento da eficiência no consumo da biomassa e sutil melhora na fertilidade do composto formado. O composto enriquecido com NPK mostrou resultados superiores quanto a substâncias húmicas formadas e maior humificação indicada pela taxa E2/E3. Os compostos enriquecidos com glicose se mostraram fertilizante com maior potencial, dada a superioridade de eficiência de consumo da biomassa, maior humificação representada pela razão E4/E6 e dos valores superiores de fertilidade para matéria orgânica total, nitrogênio, fósforo e cálcio. A adição de glicose consiste em um método de baixo custo, de fácil obtenção e aplicabilidade para a melhoria da produção agrícola e utilização da biomassa excedente de *Eichhornia crassipes*. Apesar da adição orgânica e inorgânica mostrar um aumento da qualidade dos compostos, o mesmo não possui os requisitos necessários para seu uso como fertilizante. Entretanto, sugerimos que o composto pode ser utilizado em associação com outros fertilizantes, agregando umidade e estruturação ao solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCARDE, J.C. **Manual de análise de fertilizantes**. Piracicaba: Fealq, 2009.

ANJOS, J.L.; AQUINO, A.M.; SCHIEDECK, G. **Minhocultura e vermicompostagem: interface com sistema de produção, meio ambiente e agricultura de base familiar**. Brasília: Embrapa, 2015.

ANSARI, A.A.; RAJPERSAUD, J. **Physicochemical changes during vermicomposting of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and grass clippings**. International Scholarly Research Notices, v. 2012, 2012. doi: 10.5402/2012/984783

ATIYEH, R.M.; EDWARDS, C.A.; SUBLER, S.; METZGER, J.D. **Pig manure vermicompost as a component of a horticultural bedding plant medium: effects on physicochemical properties and plant growth**. Bioresource Technology, v. 78, n. 1, p. 11-20, 2001. doi: 10.1016/S0960-8524(00)00172-3

BENTO, L.; MAROTTA, H.; ENRICH-PRAST.; A. **O papel das macrófitas aquáticas emersas no ciclo do fósforo em lagos rasos**. Oecologia Brasiliensis, v. 11, n. 4, p. 582-589, 2007. doi: 10.4257/oeco.2007.1104.10

BERNAL, M.P.; ALBURQUERQUE, J.A.; MORAL, R. **Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review**. Bioresource Technology, v. 100, n. 22, p. 5444-5453, 2009. doi: 10.1016/j.biortech.2008.11.027

BLAGODATSKAYA, E.V.; BLAGODATSKAYA, S.A.; ANDERSON, T.H.; KUZYAKOV, Y. **Priming effects in Chernozem induced by glucose and N in relation to microbial**

growth strategies. Applied Soil Ecology, v. 37, n. 1-2, p. 95-105, 2007. doi: 10.1016/j.apsoil.2007.05.002

CHAMBERS, P.A.; LACOUL, P.; MURPHY, K.J.; THOMAZ, S.M. **Global diversity of aquatic macrophytes in freshwater.** Freshwater animal diversity assessment. v. 595, p. 9-26. doi: 10.1007/s10750-007-9154-6

CHAPUNGU, L.; MUDYAZHEZHA, O. C.; MUDZENGI, B. **Socio-ecological impacts of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) under dry climatic conditions: the case of Shagashe River in Masvingo, Zimbabwe.** Journal of Environmental Science and Public Health, v. 2, n. 1, p. 36-52, 2018. doi: 10.26502/jesph.96120027

CHEN, R.; SENBAYRAM, M.; BLAGODATSKY, S.; MYACHINA, O.; DITTERT, K.; LIN, X.; BLAGODATSKAYA, E.; KUZYAKOV, Y. **Soil C and N availability determine the priming effect: microbial N mining and stoichiometric decomposition theories.** Global Change Biology, v. 20, n. 7, p. 2356-2367, 2014. doi: 10.1111/gcb.12475

CORDEIRO, P.F.; GOULART, F.F.; MACEDO, D.R.; CAMPOS, M.C.S.; CASTRO, S.R. **Modeling of the potential distribution of *Eichhornia crassipes* on a global scale: risks and threats to water ecosystems.** Revista Ambiente & Água, v. 15, n. 2, 2020. doi: 10.4136/ambi-agua.2421

COTTA, J.A.O.; CARVALHO, N.L.C.; BRUM, T.S.; REZENDE, M.O.O. **Compostagem versus vermicompostagem: comparação das técnicas utilizando resíduos vegetais, esterco bovino e serragem.** Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 20, n. 1, p. 65-78, 2015. doi: 10.1590/S1413-41522015020000111864

CURRY, J.P.; SCHMIDT, O. **The feeding ecology of earthworms—a review.** *Pedobiologia*, v. 50, n. 6, p. 463-477, 2007. doi: 10.1016/j.pedobi.2006.09.001

DE HAAN, H. **Use of ultraviolet spectroscopy, gel filtration, pyrolysis/mass spectrometry and numbers of benzoate-metabolizing bacteria in the study of humification and degradation of aquatic organic matter.** *Aquatic and terrestrial humic materials*, p. 165-182, 1983.

DEVI, C.; KHWAIRAKPAM, M. **Bioconversion of Lantana camara by vermicomposting with two different earthworm species in monoculture.** *Bioresource Technology*, v. 296, p. 122308, 2020. doi: 10.1016/j.biortech.2019.122308

DEKA, H.; DEKA, S.; BARUAH, C. K. Vermicomposting of water hyacinth *Eichhornia crassipes* (Mart. Solms) employing indigenous earthworm species. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CHEMICAL, AGRICULTURAL AND MEDICAL SCIENCES (CAMS-2013)*, 2013, Kuala Lumpur. <http://dx.doi.org/10.15242/IICBE.C1213074>

DOMINGUEZ, J.; EDWARDS, C.A. **Biology and ecology of earthworm species used for vermicomposting. Vermiculture technology: earthworms, organic waste and environmental management.** CRC Press, Boca Raton, p. 27-40, 2011.

DORES-SILVA, P.R.; LANDGRF, M.D.; REZENDE, M.O.O. **Processo de estabilização de resíduos orgânicos: vermicompostagem versus compostagem.** *Química Nova*, v. 36, n. 5, p. 640-645, 2013. doi: 10.1590/S0100-40422013000500005.

EDWARDS, C.A.; LOFTY, J.R. **Biology of Earthworms.** London: Chapman and Hall, 1972.

ELVIRA, C.; GOICOCHEA, M.; SAMPEDRO, L.; MATO, S.; NOGALES, R. **Bioconversion of solid paper-pulp mill sludge by earthworms.** *Bioresource Technology*, v. 57, n. 2, p. 173-177, 1996. doi: 10.1016/0960-8524(96)00065-X

FONTAINE, S.; MARIOTTI, A.; ABBADIE, L. **The priming effect of organic matter: a question of microbial competition?** *Soil Biology and Biochemistry*, v. 35, n. 6, p. 837-843, 2003. doi: 10.1016/S0038-0717(03)00123-8

GAJALAKSHMI, S.; RAMASAMY, E. V.; ABBASI, S. A. **Potential of two epigeic and two anecic earthworm species in vermicomposting of water hyacinth.** *Bioresource Technology*, v. 76, n. 3, p. 177-181, 2001. doi: 10.1016/S0960-8524(00)00133-4

GAJALAKSHMI, S.; RAMASAMY, E. V.; ABBASI, S. A. **Vermicomposting of different forms of water hyacinth by the earthworm *Eudrilus eugeniae*, Kinberg.** *Bioresource Technology*, v. 82, n. 2, p. 165-169, 2002. doi: 10.1016/S0960-8524(01)00163-8

GRAYSON, R.; HOLDEN, J. **Continuous measurement of spectrophotometric absorbance in peatland streamwater in northern England: implications for understanding fluvial carbon fluxes.** *Hydrological Processes*, v. 26, n. 1, p. 27-39, 2012. doi: 10.1002/hyp.8106

HADDAD, G.; EL-ALI, F.; MOUNEIMNE, A. H. **Humic matter of compost: determination of humic spectroscopic ratio (E4/E6).** *Current Science International*, v. 4, p. 56-72, 2015.

HAMER, U.; MARSCHNER, B.; BRODOWSKI, S.; AMELUNG, W. **Interactive priming of black carbon and glucose mineralisation.** *Organic Geochemistry*, v. 35, n. 7, p. 823-830, 2004. doi: 10.1016/j.orggeochem.2004.03.003

HE, Y.; SONG N.; JIANG H.L. **Effects of dissolved organic matter leaching from macrophyte litter on black water events in shallow lakes.** Environmental Science and Pollution Research, v. 25, n. 10, p. 9928-9939, 2018. doi: 10.1007/s11356-018-1267-0

HELMS, J.R.; STUBBINS, A.; RITCHIE, J.D.; MINOR, E. C.; KIEBER, D.J.; MOPPER, K. **Absorption spectral slopes and slope ratios as indicators of molecular weight, source, and photobleaching of chromophoric dissolved organic matter.** Limnology and Oceanography, v. 53, n. 3, p. 955-969, 2008. doi: 10.4319/lo.2008.53.3.0955

HOWARD, G. W.; HARLEY, K. L. S. **How do floating aquatic weeds affect wetland conservation and development? How can these effects be minimised?** Wetlands Ecology and Management, v. 5, n. 3, p. 215-225, 1997. doi: 10.1023/A:1008209207736

KANNADASAN, N.; NATARAJAN, N.; ANBUSARAVANAN, N.; SEKAR, P.; KRISHNAMOORTHY, R. **Assessment of sustainable vermiconversion of water hyacinth by *Eudrilus eugeniae* and *Eisenia fetida*.** Journal of Applied and Natural Science, v. 5, n. 2, p. 451-454, 2013.

KASPARI, M. **Multiple nutrients limit litterfall and decomposition in a tropical forest.** Ecology Letters, v. 11, n. 1, p. 35-43, 2008. doi: 10.1111/j.1461-0248.2007.01124.x

KARMEGAM, N.; DANIEL, T. **Investigating efficiency of *Lampito mauritii* (Kinberg) and *Perionyx ceylanensis* Michaelsen for vermicomposting of different types of organic substrates.** The Environmentalist, v. 29, n. 3, p. 287-300, 2009. doi: 10.1007/s10669-008-9195-z

KOTSUBO, K. **Uso de macrófitas aquáticas como alternativa para nutrição de *Eisenia fetida* na produção de húmus**. 2018. Trabalho de conclusão de curso (Gestão e Análise Ambiental) - Departamento de Ciências Ambientais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2018.

KOUTIKA, L.S.; RAINEY, H.J. **A review of the invasive, biological and beneficial characteristics of aquatic species *Eichhornia Crassipes* and *Salvinia molesta***. Applied Ecology and Environmental Research, v. 13, n. 1, p. 85-97, 2015. doi: 10.15666/aeer/1301_263275

KURUGUNDLA, C.N.; MATHANGWANE, B.; SAKURINGWA, S.; KATORAH, G. **Alien invasive aquatic plant species in Botswana: Historical perspective and management**. The Open Plant Science Journal, v. 9, n. 1, 2016. doi: 10.2174/1874294701609010001

LASKOWSKI, R.; BERG, B. **Litter decomposition: guide to carbon and nutrient turnover**. Amsterdam: Academic Press, 2006.

LOPES, A.S. **Manual internacional de fertilidade do solo**. 2ª ed. Piracicaba: Potafós, 2004.

MAPA (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO). **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos**. Brasília: MAPA, 2007.

MENDES, A.M.S. Introdução a fertilidade do solo. *In*: CURSO DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 2007, Barreiras, BA. **Anais** [...]. Barreiras: SFA-BA/SDC/MAPA, 2007. Disponível em: <
<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/159197> >. Acesso em: 01 out. 2020.

NAJAR, I.A.; KHAN, A.B. **Management of freshwater weeds (macrophytes) by vermicomposting using *Eisenia fetida***. Environmental Science and Pollution Research, v. 20, n. 9, p. 6406-6417, 2013. doi: 10.1007/s11356-013-1687-9

NAJAR, I.A. **Vermicomposting of aquatic weeds: a quick review**. Plant Science Today, v. 4, n. 3, p. 133-136, 2017. doi: 10.14719/pst.2017.4.3.311

PARK, S.; CHO, K.H. **Nutrient leaching from leaf litter of emergent macrophyte (*Zizania latifolia*) and the effects of water temperature on the leaching process**. Korean Journal of Biological Sciences, v. 7, n. 4, p. 289-294, 2003. doi: 10.1080/12265071.2003.9647718

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. **Disponibilidade de nutrientes no solo: decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, n. 3, p. 911-920, 2008. doi: 10.1590/S0100-06832008000300001

PEURAVUORI, J.; PIHLAJA, K. **Molecular size distribution and spectroscopic properties of aquatic humic substances**. Analytica Chimica Acta, v. 337, n. 2, p. 133-149, 1997. doi: 10.1016/S0003-2670(96)00412-6

PRAMANIK, P.; GHOSH, G.K.; GHOSAL, P.K.; BANIK, P. **Changes in organic-C, N, P and K and enzyme activities in vermicompost of biodegradable organic wastes under liming and microbial inoculants**. Bioresource Technology, v. 98, n. 13, p. 2485-2494, 2007. doi: 10.1016/j.biortech.2006.09.017

PREZOTTI, L.C.; GUARÇONI, A. M. **Guia de interpretações de análise de solo e foliar**. Vitória: Incaper, 2013.

RINI, J.; DEEPTHI, M. P.; SAMINATHAN, K.; NARENDHIRAKANNAN, R. T.; KARMEGAM, N.; KATHIRESWARI, P. **Nutrient recovery and vermicompost production from livestock solid wastes with epigeic earthworms.** Bioresource Technology, v. 313, p. 123690, 2020.

SAKTHIKA, T.; SORNALAKSMI, V. **Nutrients analysis of vermicompost of water hyacinth supplemented with probiotics.** Acta Scientific Agriculture, v. 3, n. 10, p. 10-13, 2019. doi: 10.31080/ASAG.2019.03.0637

SCHNITZER, M.; KHAN, S.U. **Humic substances in the environment.** New York: M. Dekker, 1972.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions.** New Jersey: John Wiley & Sons, 1994.

SUTHAR, S.; PANDEY, B.; GUSAIN, R.; GAUR, R.Z.; KUMAR, K. **Nutrient changes and biodynamics of *Eisenia fetida* during vermicomposting of water lettuce (*Pistia* sp.) biomass: a noxious weed of aquatic system.** Environmental Science and Pollution Research, v. 24, n. 1, p. 199-207, 2017. doi: 10.1007/s11356-016-7770-2

THOMAZ, S. M. **Fatores ecológicos associados à colonização e ao desenvolvimento de macrófitas aquáticas e desafios de manejo.** Planta Daninha, v. 20, n. SPE, p. 21-33, 2002. doi: 10.1590/S0100-83582002000400003

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. **Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos.** Tópicos em Ciência do Solo, v. 2, n. 3, p. 195-276, 2002.

VALENTE, B.S.; XAVIER, E.G.; MORSELLI, T.B.G.A.; JAHNKE, D.S.; BRUM JR., B.S.; CABRERA, B.R.; MORAES, P.O.; LOPES, D.C.N. **Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos**. *Archivos de Zootecnia*, v. 58, n. 224, p. 59-85, 2009. doi: /10.21071/az.v58i224.5074

VENTER, J. M.; REINECKE, A. J. **The life-cycle of the compost worm (*Oligochaeta*)**. *African Zoology*, v. 23, n. 3, p. 161-165, 1988. doi: 10.1111/j.1365-2427.2009.02294.x

VILLAMAGNA, A. M.; MURPHY, B. R. **Ecological and socio-economic impacts of invasive water hyacinth (*Eichhornia crassipes*): a review**. *Freshwater Biology*, v. 55, n. 2, p. 282-298, 2010. doi: 10.1111/j.1365-2427.2009.02294.x

ZANDONADI, D.B.; BUSATO, J.G. **Vermicompost humic substances: technology for converting pollution into plant growth regulators**. *International Journal of Environmental Science and Engineering Research*, v. 3, n. 2, p. 73-84, 2012.

ZHANG, Y.; MA, R.; LIANG, Q.; GUAN, B.; LOISELLE, S. **Secondary impacts of eutrophication control activities in shallow lakes: Lessons from aquatic macrophyte dynamics in Lake Taihu from 2000 to 2015**. *Freshwater Science*, v. 38, n. 4, p. 802-817, 2019. doi: 10.1086/706197