

## **Avaliação do processo de compostagem de substrato com lodo de caixa de gordura utilizando espectroscopia uv-vis**

*Evaluation of the composting process of substrate with grease trap sludge using uv-vis spectroscopy*

**Danilo Morais Itokagi<sup>\*</sup>, Eurico P. L. Neto, Bárbara F. S. Bresolin, Camille F. Chaves, José Ricardo Castrillon Fernandez, Isabel Matos Fraga, Mônica Elizabeth Craveiro Theodoro**

*Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso,  
Campus Cáceres-Prof. Olegário Baldo, Cáceres, MT, Brasil.*

*\*danilo.itokagi@cas.ifmt.edu.br*

**Submetido em 24/02/2019; Versão revisada em 02/05/2019; Aceito em 06/05/2019**

### **RESUMO**

O processo de compostagem de substratos contendo resíduos de alimentos, capim e lodo de caixa de gordura, foi avaliado através da análise de dados de espectroscopia no UV-Vis das amostras. Dois tipos de substratos foram obtidos a partir da mistura de diferentes resíduos orgânicos: o substrato R foi constituído de capim seco e restos de alimentos do restaurante estudantil. O substrato G, 13,33% de capim seco, 20% de lodo de caixa de gordura (LCG) e 66,67% de restos de alimentos do restaurante estudantil. R e G foram submetidos ao processo de compostagem durante 84 dias. O substrato G apresentou período mais longo com  $\Delta T$  positivo, devido a presença de conteúdo rico em lipídeos e, portanto, alto conteúdo energético. Em geral os índices espectroscópicos A280/A665 e A465/A665 foram menores para o composto G, o que sugere que a maior atividade microbiológica neste substrato, como mostrado pelos dados de  $\Delta T$ , contribuíram para o processo de humificação. Com relação aos valores de índice de germinação de R e G, este último apresentou melhores resultados, indicando que a adição de LCG na proporção de 20% apresentou efeitos positivos com relação à qualidade do composto final.

**Palavras-chave:** Compostagem, lodo de caixa de gordura, espectroscopia UV-vis.

### **ABSTRACT**

Two kinds of substrates were made by mixing different organic residues: the R substrate were composed of dry grass and kitchen waste with the proportion of 16.67 and 83.33% by weight, respectively, and the G substrate were made by adding grease trap sludge (GTS) to dry grass and kitchen waste so that the composition were 20, 13.33 and 66.67%, respectively. The composting process using the R and G substrates took place during 84 days. The G substrate presented longer time range with positive  $\Delta T$  due to its higher lipid composition which presents high energy content. In general, the spectroscopic indexes A280/A665 and A465/A665 were lower for the G final compost which suggests that the higher microbiological activity in G, as had been shown by  $\Delta T$  data, has also contributed to the humification process. From the germination index values for R and G, the last one presented better results, indicating that the addition of GTS in the 20% proportion to those residues had positive effects in the quality of the final compost.

**Keywords:** composting; grease trap sludge; UV-Vis spectroscopy.

## INTRODUÇÃO

O processo de compostagem representa um importante meio para se agregar valor à resíduos orgânicos decomponíveis. Neste processo a matéria orgânica sofre decomposição aeróbia resultando no final o composto orgânico, de cor escura, que apresenta moléculas bioestáveis complexas, semelhantes a substâncias húmicas. Este produto atua como condicionador de solos, melhorando propriedades de granulometria, capacidade de retenção de água, capacidade de troca catiônica e controle de biodisponibilidade de nutrientes, reduzindo com isto, a necessidade de aplicação de fertilizantes químicos.

Além de vantagens relacionadas à aplicação do composto ao solo para a agricultura, o processo de compostagem apresenta outras vantagens com relação à redução de impactos ambientais. Alcântara (2010) em seus estudos, observou que 60,45% dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Cáceres MT são classificados como matéria orgânica decomponível. A utilização do processo de compostagem desta fração reduziria significativamente a quantidade a ser disposta no meio ambiente de forma inadequada, além de reduzir riscos de contaminação de águas subterrâneas e superficiais devido à decomposição anaeróbia da matéria orgânica fresca que gera compostos orgânicos tóxicos.

Os resíduos de caixa de gordura também representam sérios problemas ambientais. Estes são ricos em óleo, gordura e ácidos graxos e não podem ser coletados por sistemas de rede de esgoto, uma vez que podem formar depósitos nos canais causando entupimento, formação de espumas, diminuindo assim, a eficiência do tratamento de águas residuárias nas ETEs (estações de tratamento de esgotos) (KOBAYASHI; KURAMOCHI; XU, 2017; WU et al., 2015; YALCINKAYA; MALINA, 2015; HU, Z.; HSUEH; HE, 2011; LONG et al., 2012). Esses resíduos devem ser estocados separadamente, em

receptáculos nos locais onde são gerados (caixa de gordura), para posteriormente serem coletados por empresas que são responsáveis pela destinação mais adequada deste tipo de material. Por serem ricos em lipídeos, que apresentam alto conteúdo energético, maiores do que o do amido e de outros açúcares, e portanto, sua presença no substrato orgânico durante o processo de compostagem pode intensificar a atividade microbiológica, levando a maiores valores de temperatura do substrato, aumentando a taxa de transformação da matéria orgânica fresca e provocando remoção de microorganismos patogênicos (LEMUS et al., 2004; BELYAEVA; HAYNES, 2010).

Lemus et al., (2004) verificaram que a adição de resíduos de caixa de gordura à resíduos de podas de jardim, nas proporções de 5% e 10% em massa, provocaram maior intensidade de atividade microbiológica, com máximos de temperatura em 67 e 61 °C, respectivamente. Já a compostagem utilizando somente podas de jardim alcançou somente 49 °C.

Belyaeva e Haynes, (2010), estudaram o processo de compostagem de resíduos municipais verdes (restos de podas de jardins, árvores, gramas) e misturas destes com esterco de galinha, ou com resíduos de caixa de gordura e fossa séptica. Neste trabalho os autores submergiram os resíduos verdes em tanque contendo resíduos de caixa de gordura e de fossa séptica durante 6 horas e então os removeram para o processo de compostagem. Eles observaram que, em relação ao processo em que foram empregados somente material lignocelulósico sem imersão, a compostagem dos resíduos que foram submersos apresentou maior intensidade de atividade microbiológica alcançando máximo de temperatura de 78 °C, enquanto o primeiro, alcançou somente 52 °C. Os autores verificaram também, no composto final, obtido após imersão em tanque com resíduos de caixa de gordura e de fossa séptica, a ausência de *Salmonella spp.* e o número de coliformes fecais estavam abaixo dos níveis considerados aceitáveis, indicando que o aumento de

temperatura resultante de intensa atividade microbológica é importante para diminuir os riscos de micro-organismos patogênicos.

Diante do exposto, o presente estudo teve como objetivo avaliar dois tipos de substratos orgânicos submetidos ao processo de compostagem. O substrato denominado R, foi obtido com a mistura de capim seco (CS: 16,67 %) e restos de alimentos do restaurante estudantil do IFMT Campus Cáceres (RA: 83,33 %). O substrato denominado G, foi obtido a partir da mistura de capim seco (CS: 13,33 %), restos de alimentos do restaurante estudantil do IFMT Campus Cáceres (RA 66,67 %) e lodo de caixa de gordura (LCG 20%), apresentando composição CS:RA:LCG em termos mássicos de 13,33 %:66,67 %:20,00 %. Buscou-se comparar os dois tipos de substratos ao longo do processo de compostagem (através da determinação de parâmetros físico-químicos, da coleta de parâmetros espectroscópicos UV-Vis e da determinação de índice de germinação), com relação ao grau de humificação e fitotoxicidade do composto final.

Para melhor explorar os dados de absorvância UV-Vis em diferentes comprimentos de onda utilizou-se técnicas estatísticas multivariadas, como análise de componentes principais (PCA – principal component analysis). Na literatura não foram encontrados estudos envolvendo dados espectroscópicos UV-Vis com utilização de técnicas multivariadas para se avaliar o efeito da adição de LCG no grau de humificação do substrato ao longo do processo de compostagem.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Reagentes e materiais

Os seguintes reagentes, materiais e instrumentos foram utilizados:  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (Dinâmica),  $\text{NaHCO}_3$  (Dinâmica), papel Germitest, béqueres de 150 mL, cadinhos de porcelana de 50 mL, estufa (FANEM modelo 520), mufla (VRC-MILLENIUM), Centrífuga (Solab modelo SL-700),

pHâmetro (Ion pH500) e espectrofotômetro (Nova modelo 6100UV).

### Montagem das composteiras com os substratos R e G

A compostagem foi realizada em composteiras feitas de garrafões de água mineral de 20 L. As partes superiores de 4 garrafões foram cortadas para introdução dos substratos R e G. Cerca de 7,0 kg de substrato foram introduzidos em cada garrafão. Duas replicatas foram montadas para cada tipo de substrato inicial, assim duas composteiras receberam códigos R1 e R2, e outras duas, G1 e G2, indicando o tipo de substrato contido e o número da replicata. Depois da introdução dos substratos nas composteiras, adicionou-se em cada uma mais 1 L de água de torneira. A composição mássica dos substratos R e G estão na tabela abaixo.

**Tabela 1**

Composição mássica dos substratos R e G

| Substratos | CS%   | LCG%  | RA%   |
|------------|-------|-------|-------|
| R          | 16,67 | 0,00  | 83,33 |
| G          | 13,33 | 20,00 | 66,67 |

CS: capim seco; LCG: lodo de caixa de gordura; RA: restos de alimentos.

Todos os resíduos orgânicos, CS, LCG e RA, foram coletados no Campus do IFMT (Instituto Federal do Mato Grosso) localizado na cidade de Cáceres-MT. CS é resultante da roçagem de capim realizado periodicamente no Campus. RA e LCG foram coletados no restaurante estudantil, onde o primeiro provem da cozinha e o último da caixa de gordura. Este, após ser coletado foi colocado em tecido organza para escoamento de água.

### Medidas de temperatura

Dados de temperatura do ambiente e dos substratos dentro das composteiras foram coletados nos seguintes dias de compostagem: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 15, 21, 27, 29, 31 e 85.

Para cada dia, foram determinados, os valores médios entre R1 e R2, e G1 e G2, utilizando-se um termômetro espeto KASVI (faixa de -50 a 300 °C) para as medidas de temperatura. Todas as medidas de temperatura das composteiras foram realizadas em triplicata.

### **Medidas de pH**

Dados de pH foram coletados em triplicatas em cada composteira, nos dias 7, 35 e 84 de compostagem. Valores médios de R1 e R2, e G1 e G2 foram determinados. A determinação do pH foi realizada de acordo com o método descrito no trabalho de Rezende, Landgraf e Dores-Silva (2013) com adaptações. Pesou-se 5 gramas de substrato em béquer de 150 mL, adicionou-se 100 mL de solução de  $\text{CaCl}_2$  0,01 mol.L<sup>-1</sup>, deixou-se esta mistura em agitação magnética durante 30 minutos e verificou-se o pH em triplicatas.

### **Umidade e teor de cinzas**

Três amostras de cada composteiras foram retiradas todos os dias entre o 35º e 84º dias de compostagem, e tiveram sua umidade e teor de cinzas verificados. Os valores do dia 7 não foram determinados devido a problemas da rede elétrica. Para cada dia de compostagem que se determinou a umidade e teor de cinzas, valores médios de R1 e R2, e de G1 e G2, foram calculados. Seguiu-se o mesmo procedimento adotado por Lemus et al. (2004) para determinação dos dois parâmetros. Cerca de 10,00 gramas de amostra de substrato foram adicionadas à um cadinho de porcelana, previamente pesado. Posteriormente o cadinho contendo a amostra foi introduzido em estufa à 100 °C permanecendo ali durante o período de 24 h. Então, retirou-se o cadinho com amostra seca e realizou-se nova pesagem para determinação gravimétrica da umidade (%). Em seguida colocou-se o cadinho com amostra seca em mufla, deixou-se este sistema a 550 °C durante 2 horas. Esperou-se cerca de 30 minutos para atingir temperatura ambiente, e realizou-se nova pesagem

para determinação gravimétrica do teor de cinzas (% na base seca).

### **Coleta de dados espectroscópicos uv-vis**

A análise de espectroscopia UV-Vis para obtenção do extrato levemente alcalino foi realizada de acordo com a metodologia descrita por Rezende, Landgraf e Dores-Silva (2013), porém com adaptações. Em um béquer de 150 mL pesou-se 5,00 gramas de amostra de substrato, adicionou-se solução aquosa de  $\text{NaHCO}_3$  0,025 mol.L<sup>-1</sup>, posteriormente a mistura foi submetida à agitação magnética durante 30 minutos. Após agitação, centrifugou-se a mistura à 3500 rpm durante 20 minutos. Coletou-se então o extrato para leituras de absorvâncias no espectrofotômetros UV-Vis. De acordo com vários trabalhos que utilizaram dados espectroscópicos para avaliação do processo de compostagem de diferentes resíduos ou substratos orgânicos, selecionaram-se os seguintes comprimentos de onda para obtenção das leituras de absorvância: 203, 230, 250, 280, 365, 400, 465, 540, 600 e 665 nm (REZENDE; LANDGRAF; DORES-SILVA, 2013; FIALHO et al., 2010; SANTOS et al., 2009; ALBRETCH et al., 2011; LI et al., 2014; CAMPOS; RESSETI; ZITTEL, 2014; PURMALIS; KLAVINS, 2013).

Os dados foram coletados em três momentos: dias 7, 35 e 84 de compostagem. Em cada momento, de 4 amostras, R1, R2, G1 e G2, foram obtidas as leituras de absorvância UV-Vis nos comprimentos de onda supracitados. Ao todo foram gerados 12 espectros UV-Vis. Estes foram normalizados para soma 1, para eliminar efeitos de espalhamento devido a variações no processo de centrifugação e efeitos de diluição devido a diferenças de umidade e solubilização dos compostos nas amostras. Neste procedimento os valores de absorvâncias para cada observação são somados e, em seguida, divide-se cada valor de absorvância em determinado comprimento de onda pelo resultado daquela soma.

Os índices espectroscópicos A280/A665 e

A465/A665 que representam as razões entre as absorvâncias em 280 e 665 nm, e entre absorvâncias em 465 e 665 nm, têm sido utilizados para se avaliar o grau de humificação do composto ao longo do processo de compostagem e para se comparar a fração orgânica de diferentes solos (REZENDE; LANDGRAF; DORES-SILVA, 2013; FIALHO et al., 2010; SANTOS et al., 2009; ALBRETCH et al., 2011; LI et al., 2014; CAMPOS; RESSETI; ZITTEL, 2014; PURMALIS; KLAVINS, 2013).

Estes índices foram calculados a partir dos dados espectroscópicos coletados para os compostos finais R1, R2, G1 e G2. Com relação a estes índices, valores médios entre R1 e R2, e G1 e G2 foram determinados para estudo comparativo. Para análise estatística foi utilizado o programa livre R (CORE, 2017). Este contém diversos pacotes contendo funções para análise uni e multivariada de dados.

### Índice de germinação

O índice de germinação foi obtido somente para os compostos finais obtidos a partir de cada substrato para se comparar a fitotoxicidade entre ambos. O procedimento descrito é semelhante ao utilizado por Bakhrouf, et al. (2010) porém, com modificações. Pesou-se 5,00 gramas de amostra do composto final em um béquer de 150 mL. Adicionou-se 100 mL de água destilada, e agitou-se magneticamente durante 30 minutos. Centrifugou-se esta mistura durante 20 minutos a 3500 rpm. Coletou-se 1,00 mL do sobrenadante e transferiu-se esta alíquota para uma placa de Petri com papel Germitest. Foram distribuídas uniformemente 12 sementes de *Raphanus sativus* (rabanete) naquele recipiente. Deixou-se então este sistema sob abrigo da luz durante 48 horas. Para o controle, repetiu-se o mesmo procedimento mencionado, porém 1,00 mL de água destilada foi dispensada no papel Germitex contido na placa de Petri. Após este tempo determinou-se em cada placa o número de sementes germinadas e o comprimento da raiz destas. O Índice

de Germinação (IG) foi calculado de acordo com a equação 1.

$$IG = \frac{PG_{\text{tratamento}} * L_{\text{tratamento}}}{PG_{\text{controle}} * L_{\text{controle}}} * 100 \quad (1)$$

Onde

$PG_{\text{tratamento}}$ : porcentagem de germinação relacionada a cada composto final (tratamento) retirado de R1, R2, G1 ou G2.

$PG_{\text{controle}}$ : porcentagem de germinação nos experimentos controle.

$L_{\text{tratamento}}$ : comprimento médio das raízes em cada tipo de substrato (tratamento)

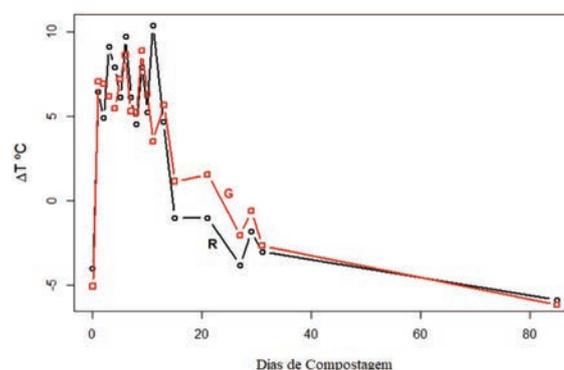
$L_{\text{controle}}$ : comprimento médio das raízes nos experimentos controle.

O valor de IG foi obtido para cada composto final proveniente de R1, R2, G1 e G2, e, no final, determinaram-se os valores médios deste parâmetro.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Temperatura, pH, umidade e teor de cinzas.

A Figura 1 mostra a diferença entre os valores de temperatura média de cada substrato (R e G) e a temperatura ambiente ao longo do processo de compostagem.



**Figura 1.** Variação da diferença entre os valores de temperatura média de cada tipo de substrato e a temperatura ambiente;  $\Delta T = T_{\text{substrato}} - T_{\text{ambiente}}$  ( $^{\circ}\text{C}$ );  $T_{\text{substrato}}$ : temperatura média dos substratos ( $^{\circ}\text{C}$ );  $T_{\text{ambiente}}$ : temperatura ambiente ( $^{\circ}\text{C}$ )

Analisando a Figura 1, pode-se observar que no

9º dia de compostagem, o substrato G (linha vermelha) atingiu um  $\Delta T$  (8,85°C) maior que o substrato R (linha preta). No 11º dia de compostagem, o substrato R (linha preta) apresentou  $\Delta T$  (10,35°C) maior que o apresentado pelo substrato G, no entanto, esse  $\Delta T$  voltou a cair no 13º dia de compostagem. Em toda Figura 1 é possível observar que o substrato G apresentou  $\Delta T$  maior que o do substrato R nos dias 1, 2, 5, 8, 9, 10, 13, 15, 21, 27, 29, 31 de compostagem, tendo seu pico no 9º dia. Já o substrato R apresentou  $\Delta T$  maior nos dias 3, 4, 6, 7, 11, 85 de compostagem, apresentando seu pico no 11º dia. A Figura 1 mostra que embora o  $\Delta T_{\text{pico}}$  de G tenha sido menor, este permaneceu com temperatura média acima da temperatura ambiente ( $\Delta T$  positivo) até o 21º dia de compostagem, enquanto o substrato R, 6 dias antes (15º dia de compostagem), já apresentava temperatura média abaixo da temperatura ambiente ( $\Delta T$  negativo). Este comportamento pode estar relacionado à presença de LCG (20%) em G, pois este por ser rico em lipídeos (alto conteúdo energético), pode ser capaz de prolongar a fase de compostagem em que a temperatura do substrato é maior do que a temperatura ambiente. Este efeito foi constatado nos trabalhos de Lemus et al. (2004) e de Belyaeva e Haynes (2010).

Nos estudos de Lemus et al. (2004) e de Belyaeva e Haynes (2010), porém, os picos de temperatura dos substratos alcançaram a faixa termofílica (>40 °C) com valores acima de 60 °C. Neste trabalho os valores de pico de temperatura médios para cada substrato, R e G, foram de 46,4 e 43,35 °C, respectivamente, próximo do limite superior de faixa mesofílica (20-40 °C) e inferior da termofílica (<40 °C) (AZIM et al., 2017). Estes valores menores de temperatura podem ter impedido a remoção de micro-organismos patogênicos, no entanto este parâmetro não foi avaliado neste estudo.

Os menores valores de pico de temperatura podem ser atribuídos à alta umidade dos substratos R e G. A alta capacidade calorífica da água (4,18

joules/g.°C) pode ter contribuído para impedir o aumento significativo da temperatura dos substratos orgânicos.

A tabela 2 apresenta os valores de umidade, teor de cinza, pH e índice de germinação dos compostos.

**Tabela 2**  
Umidade, teor de cinzas, pH e índice de germinação

| Temp. Comp. | Tipo de Substr. | umidade %  | TCZ %      | pH        | IG%         |
|-------------|-----------------|------------|------------|-----------|-------------|
| 7           | R               | nv         | nv         | 5,02±0,74 | nv          |
| 7           | G               | nv         | nv         | 4,13±0,23 | nv          |
| 35          | R               | 76,26±7,66 | 26,51±2,98 | 7,36±0,76 | nv          |
| 35          | G               | 76,71±4,97 | 30,42±1,92 | 8,20±0,13 | nv          |
| 84          | R               | 72,54±8,52 | 37,89±7,74 | 8,00±0,28 | 40,48±21,03 |
| 84          | G               | 65,17±0,45 | 32,52±8,66 | 8,05±0,07 | 49,17±19,19 |

Temp. Comp.: tempo de compostagem; Tipo de Substr.: tipo de substrato, R ou G; TCZ: teor de cinzas, IG: índice de germinação; nv: nenhum valor.

Os valores da tabela 2 indicam que valores de umidade no início estavam acima de 75 %. No trabalho de Lemus et al. (2004) os valores de umidade, no início do processo de compostagem, eram menores, na faixa de 50-59 %, e no trabalho de Belyaeva e Haynes (2010) a umidade foi mantida entre 60 e 70 % ao longo de todo estudo. A alta umidade dificulta a decomposição aeróbia pois provoca maior compactação do material inicial, impedindo difusão de ar e, conseqüentemente, inibindo a atividade microbológica aeróbia. Portanto, nesse estudo, na preparação dos substratos, a etapa de adição de 1L de água em cada composteira deveria ter sido evitada.

Os resultados da tabela 2 mostram que o teor de cinzas (TCZ na base seca %) aumentou, e esse aumento pode estar relacionado à mineralização da matéria orgânica. Este parâmetro em geral apresenta maiores taxas de variações durante as duas primeiras semanas de compostagem. A observação destas variações não foi possível, pois as análises do 7º dia de compostagem foram perdidas.

No 7º dia o pH ainda estava ácido, tanto para R quanto para G, mas após 35 dias de compostagem, ambos apresentavam pH alcalino. Houve menor variação de pH entre o 35º e 84º dia em relação ao período entre o 7º e o 35º dia. No início da

compostagem o pH é ácido devido a formação de compostos orgânicos de cadeia curta, em geral, ácidos carboxílicos. Então com a degradação destes compostos e formação de amônia, o pH alcança valores em torno de 8,00.

Azim et al. (2017) em seu trabalho descrevem que o processo de compostagem apresenta 4 fases com relação a variações de pH. A fase I é a fase acidogênica em que o pH diminui devido a produção de ácidos orgânicos. A fase II, é a fase de alcalinização, em que o pH aumenta devido à hidrólise bacteriológica de proteínas e formação de amônia. A fase III, é a fase de estabilização do pH em que a relação C/N diminui, a atividade microbiológica é menos intensa, amônia é volatilizada e nitrogênio é usado para síntese de novas substâncias húmicas. E por fim, a fase IV é a fase em que o pH atinge valores próximos da neutralidade e o composto está na fase de maturação. De acordo com esta descrição, com o tempo de compostagem (84 dias) e com os valores de pH, ambos os substratos no 84º dia de compostagem estavam provavelmente na fase III, fase de estabilização do pH.

O composto G apresentou maior índice de germinação em relação ao composto R. Pode-se sugerir então que aquele é menos fitotóxico, porém sem confirmação estatística devido à alta variação dos resultados. Nota-se que o valor do IG de R mais o seu desvio padrão engloba o valor médio de IG de G.

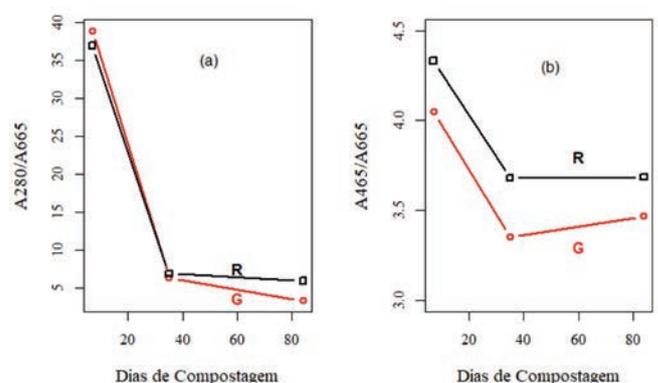
Portanto a introdução de lodo de caixa de gordura não apresentou efeitos negativos quando comparado ao substrato R, que usualmente é usado em processos de compostagem. Esperava-se que G, rico em lipídeos, apresentasse menor valor de IG, devido à formação de ácidos carboxílicos de cadeia curta que são fitotóxicos, porém no final do processo, o maior valor de IG para G, sugere que aqueles ácidos foram reduzidos a níveis comparáveis a R.

### Índices espectroscópicos UV-VIS: A280/A665 e A465/A665

Com a coleta de dados espectroscópicos UV-Vis

em diversos comprimentos de onda foi possível determinar os índices A280/A665 e A465/A665. Estes índices estão relacionados com o grau de maturidade do composto, ou seja, indica se este apresenta estruturas moleculares complexas semelhantes a substâncias húmicas. A absorvância em 280 nm está relacionada à matéria orgânica não-humificada e a absorvância em 665 nm à matéria orgânica humificada. Portanto, durante o processo de compostagem o índice A280/A665 tende a diminuir significativamente devido ao processo de humificação do substrato orgânico. A razão A465/A665 está relacionada com o surgimento de estruturas aromáticas policondensadas. Visto que moléculas com estas estruturas absorvem radiação UV-Vis em torno de 665 nm, este índice tende a diminuir também ao longo da compostagem. Ambos são usados para comparação do grau de humificação de diferentes substratos.

A Figura 2 mostra as diferenças, envolvendo os índices A280/A665 e A465/A665, ao longo do tempo de compostagem e entre os diferentes substratos. Estes índices, para os substratos R e G, apresentaram variação brusca entre o 7º e 35º dia, e variações mais leves entre o 35º e 84º dia de compostagem, indicando que nos primeiros 35 dias houve intensa atividade microbiológica, com maiores taxas de transformação da matéria orgânica neste período (0-35 dias).



**Figura 2.** Índices espectroscópicos UV-Vis, A280/A665(a) e A465/A665(b) organizados de acordo com o tempo de compostagem e com o tipo de substrato

Na Figura 1 já apresentada nessa seção, foi possível verificar que no 35º dia todos os substratos já apresentavam  $\Delta T$  negativo, sugerindo lenta atividade dos micro-organismos. Com relação ao índice A280/A665 (Figura 2a), no 7º e 35º dia de compostagem, os substratos apresentaram valores semelhantes, mas no final (84º dia) o substrato G apresentou menores valores, indicando que este apresenta maior grau de humificação. O índice A465/A665 apresentou menores valores para o substrato G ao longo de todo processo de compostagem, portanto, para o composto final, o comportamento deste índice concorda com o anterior, sugerindo maior grau de humificação para o substrato G em relação ao R.

O índice espectroscópico A465/A665 é o mais encontrado na literatura para se avaliar grau de humificação dos compostos. Portanto realizou-se teste t pareado com os dados deste índice considerando dois tratamentos (R e G), em que os diferentes tempos foram considerados como blocos. Os resultados mostraram que, para este índice, R e G, são estatisticamente diferentes a um nível de 5% de significância (o p-valor obtido foi de 0,005). Com relação ao índice A280/A665, no 7º dia, G apresenta maior valor, porém no 35º e 84º dia de compostagem, apresenta menores valores (o teste t pareado para este índice não indicou diferença significativa). Estes dados sugerem que o composto final G encontra-se com maior grau de humificação.

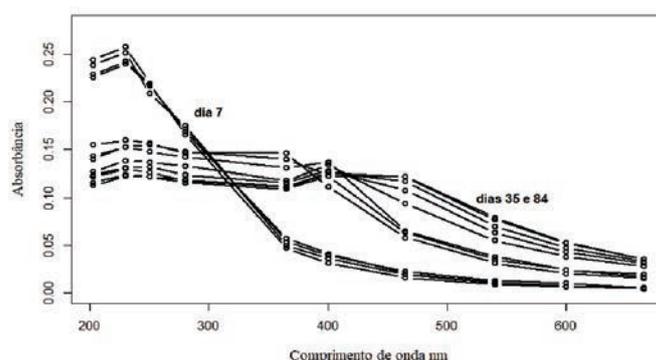
Com a análise multivariada dos dados espectroscópicos UV-Vis fica mais claro que o composto final G encontra-se mais humificado do que R.

### **Análise de componentes principais dos dados espectroscópicos**

A Figura 3 apresenta os espectros dos extratos alcalinos de R1, R2, G1 e G2 obtidos a partir da análise das amostras coletadas no 7º, 35º e 84º dias de compostagem, e cada um destes foi normalizado para soma 1. Observando a Figura 3, verifica-se que o

formato destes sofre mudanças, indicando as transformações da fração solúvel, em solução levemente alcalina, ocorridas ao longo do processo de compostagem. As absorvâncias, relacionadas à estruturas moleculares menores, em 203, 230, 250 e 280 nm diminuíram, enquanto as relacionadas às estruturas humificadas com anéis aromáticos policondensados, de 365 a 665 nm, aumentaram.

Nota-se que os espectros do 7º dia de compostagem encontram-se mais agrupados, e que há menos diferenças entre os espectros dos dias 35 e 84. Esse resultado indica que a atividade biológica é menor neste período. Esta observação está de acordo com as variações observadas nos valores de pH, dos índices espectroscópicos mostrados anteriormente na Figura 2 e de  $\Delta T$  mostrados anteriormente na Figura 1, em que este, neste período de tempo (35-84 dias), apresenta somente valores negativos.



**Figura 3.** Espectros dos extratos alcalinos de R1, R2, G1 e G2 obtidos a partir da análise das amostras coletadas no 7º, 35º e 84º dias de compostagem normalizados para soma 1

Com a utilização de pacotes estatísticos do software livre R, realizou-se a análise de componentes principais. Os componentes principais foram calculados à partir do método de decomposição do valor singular (*single value decomposition* – SNV) (FERREIRA, 2011; BEEBE; RANDY; MARY, 1998). Os dois primeiros componentes extraídos, PC1 e PC2, explicam 99,45 % da variação dos dados. Portanto, a adição do terceiro componente representaria apenas introdução de ruído ao modelo (BRERETON, 2003; BEEBE; RANDY; MARY, 1998).

A maior parte da variação dos dados está em PC1, 93,87 %. PC2 representa apenas 5,60 % da variação total

A Figura 4 apresenta o gráfico dos *scores* e *loadings* dos dois componentes principais. Verifica-se neste gráfico três conjuntos de variáveis, em que todos estão altamente correlacionados com PC1: C1 - absorvâncias em 203, 230, 250 e 280 nm a esquerda bem alinhada com PC1; C2 - absorvâncias, a direita, quadrante inferior, em 365 e 400 nm; C3 - absorvâncias em 465, 540, 600 e 665 nm, a direita, no quadrante superior.

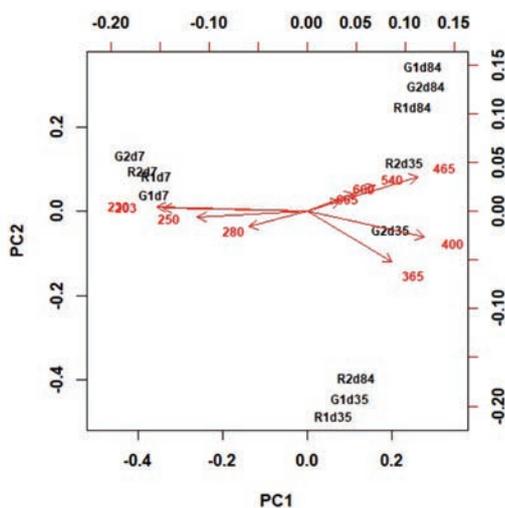


Figura 4. Gráfico dos scores e dos loadings (vermelho) dos dois componentes principais extraídos através do método de decomposição de valor singular (single value decomposition)

Estrutura de moléculas orgânicas menores estão relacionadas às absorvâncias em C1. Portanto, amostras agrupadas mais à esquerda, são aquelas que não se encontram humificadas e amostras à direita, apresentam maiores grau de humificação. O conjunto de amostras, R17d, R2d7, G1d7 e G2d7, estavam no início do processo de compostagem e encontram-se agrupadas à esquerda. Esta observação está de acordo com o índice espectroscópico A280/A665, em que as amostras deste conjunto apresentaram maiores valores para este índice. As amostras localizadas mais à direita estão relacionadas com C2 e C3, que são

comprimentos de onda relacionados a substâncias húmicas. Porém o segundo componente PC2 discrimina as amostras à direita em dois grupos, as relacionadas a C2 (com grau de humificação intermediário), R2d84, G1d35, R1d35 e G2d35, e as relacionadas a C3 - com maior presença de estruturas aromáticas policondensadas, visto que a variável absorvância em 665 nm aponta para esta direção, e portanto, estão mais humificadas do que todas as outras - R2d35, R1d84, G1d84 e G2d84.

A análise de componentes principais conduziu à separação das amostras de substratos em três grupos distintos, de acordo com o grau de humificação. Além disto pode-se confirmar a observação obtida com os índices espectroscópicos, na qual o substrato G apresentava maior grau de humificação. Na Figura 3, apresentada anteriormente, verifica-se que as amostras G1d84 e G2d84 encontram-se no extremo superior direito do gráfico, indicando que estas devem apresentar maiores valores de absorvância em C3 do que as demais, e, portanto, são as mais humificadas.

## CONCLUSÃO

Valores elevados de umidade, maiores do que 65%, podem ter inibido a elevação da temperatura dos substratos, onde os picos de temperatura foram de 46,4 e 43,35 °C para os substratos R e G, respectivamente. Valores maiores são desejáveis para remoção de micro-organismos patogênicos. No preparo dos substratos foi adicionado em cada composteira 1,0 L de água de torneira, esta etapa deveria ser eliminada para evitar compactação do material e aumentar a aeração para intensificar a atividade microbiológica.

Através do gráfico de  $\Delta T$  vs tempo de compostagem, verificou-se que o substrato G apresentou valores positivos em uma extensão maior de tempo (0 a 21 dias de compostagem) em relação ao substrato R (0-13 dias). Este efeito pode estar relacionado à presença de LCG em G, visto que

aquele apresenta alto conteúdo energético e prolonga a atividade microbiológica. Esta, por sua vez, induziu a formação de composto final (G) com maior grau de humificação.

Através dos índices espectroscópicos A280/A665 e A465/A665 verificou-se que G apresentou maior grau de humificação no final da compostagem aos 84 dias. A análise de componentes principais separou as amostras coletadas ao longo do experimento em três grupos de acordo com o grau de humificação: não humificadas, com grau de humificação intermediário e humificadas.

Embora esperava-se que a fitotoxicidade dos compostos G fosse maior em relação ao composto R, o primeiro apresentou IG maior do que o segundo. Pode-se inferir que a realização da compostagem na dosagem de 20 % de LCG não apresenta efeitos negativos em relação a fitotoxicidade do composto final. Estudos com diferentes proporções de LCG devem ser realizados para se melhor avaliar as condições ótimas de IG e grau de humificação.

Estes resultados sugerem que a adição de lodo de caixa de gordura no processo de compostagem, com resto de alimentos e capim seco, apresenta efeitos positivos tanto com relação ao grau de humificação quanto à fitotoxicidade.

## REFERÊNCIAS

- ALBRETCH, R.; LE PETIT, J.; TERROM, G.; PÉRISSOL, C. Calibration of Chemical and Biological Changes in Cocomposting of Biowastes Using Near-Infrared Spectroscopy **Bioresource Technology**. v.102, p.4495, 2011.
- ALCÂNTARA, A. J. O.; **Educação a distância: um estudo nas instituições públicas de educação superior no estado de Mato Grosso**. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual do Mato Grosso, 2010.
- AZIM, K.; SOUDI, B.; BOUKHARI, S.; PERISSOL, C.; ROUSSOS, S.; ALAMI, I. T. Composting parameters and compost quality: a literature review. **Org. Agr.** v.8, p.141-158, 2017.
- BAKHROUF, A.; KHEDHER, M. B.; AYED, L.; MAKNI, H. Evaluation of the maturity of organic waste composts **Waste Management & Research**. v.28, p.489, 2010.
- BEEBE, K. R.; RANDY, J. P.; MARY, B. S.; **Chemometrics A Practical Guide**, 1ª ed., Wiley: New York, 1998.
- BELYAEVA, O. N.; HAYNES, R. J. A comparison of the properties of manufactured soils produced from composting municipal green waste alone or with poultry manure or grease trap/septage waste. **Bio Fertil Soils**. v.46, p. 271-281, 2010.
- BRERETON, R. G.; **Chemometrics Data Analysis for the Laboratory and Chemical Plant**, 1ª ed., Wiley: Chichester, 2003.
- CAMPOS, S. X.; RESSETI, R. R.; ZITTEL, R. Monitoring and characterization of compost obtained from household waste and pine sawdust in a facultative reactor by conventional and spectroscopic analyses **Waste Management & Research**. v.32, p.1186.
- CORE TEAM; R. **A language and environment for statistical computing; R Foundation for Statistical Computing**, Austria, 2017.
- FERREIRA, D. F.; **Estatística Multivariada**, 2ª ed., Editora UFLA: Lavras, 2011.
- FIALHO, L. L.; SILVA, W. T. L.; MILORI, D. M. B. P.; SIMÕES, M. L.; MARTIN-NETO, L. Characterization of organic matter from composting of different residues by physicochemical and spectroscopic methods. **Bioresource Technology**. v.101, p.1927, 2010.
- HU, Z.; HSUEH, M. K.; HE, Q. Enhancing biomethanation of municipal waste sludge with grease trap waste as a co-substrate. **Renewable Energy**. v. 36, p. 1802, 2011.
- KOBAYASHI, T., KURAMOCHI, H., XU, K.Q. Variable oil properties and biomethane production of 664 grease trap waste derived from different resources. **Int. Biodeterior. Biodegrad.** v.119, P. 273, 2017.
- LEMUS, G. R.; LAU, A. K.; BRANION, R. M. R.;

- LO, K. V. Bench-scale study of the biodegradation of grease trap sludge with yard trimmings or synthetic food waste via composting. **Journal of Environmental Engineering Science**. v.3, p.485, 2004.
- LI, D.; HE, X.; XI, B.; WEI, Z.; PAN, H.; CUI, D. Study on UV–Visible Spectra Characteristic of Dissolved Organic Matter during Municipal Solid Waste Composting **Advanced Materials Research**. v.878, p.840, 2014.
- LONG, J. H.; AZIZ, T. N.; DE LOS REYNES III, F. L.; DUCOSTE, J. J. Anaerobic Co-Digestion of Grease Trap Waste. **Process Safety and Environmental Protection**. v.90, p.231, 2012.
- PURMALIS, O.; KLAVINS, M.. Comparative study of peat humic acids by using uv spectroscopy *1st Annual International Interdisciplinary Conference*, Azores, Portugal, 2013.
- REZENDE, M. O. O.; LANDGRAF, M. S.; DORES-SILVA, P. R. Processo de estabilização de resíduos orgânicos: vermicompostagem versus compostagem. **Química Nova**, v.36, p.640, 2013.
- SANTOS, L. M.; SIMÕES, M. L.; MELO, W. J.; MARTINS-NETO, L.; PEREIRA-FILHO, E. R. Application of chemometric methods in the evaluation of chemical and spectroscopic data on organic matter from oxisols in sewage sludge applications. **Geoderma**. v.1, p.10372, 2009.
- WU, L.; KOBAYASHI, T.; KURAMOCHI, H.; LI, Y.; XU, K. High loading anaerobic co-digestion of food waste and grease trap waste: Determination of the limit and lipid/long chain fatty acid conversion. **International Biodeterioration & Biodegradation**. v.104, p.315, 2015.
- YALCINKAYA, S.; MALINA, J. F. Anaerobic co-digestion of municipal wastewater sludge and undewatered grease trap waste for assessing direct feed of grease trap waste in municipal digesters *International Biodeterioration & Biodegradation*. v.104, p.490, 2015.