

## Uso de equações diferenciais ordinárias na simulação da relação de Carbono/Nitrogênio em um composto orgânico

### RESUMO

O presente artigo tem como principal objetivo, estimar o tempo em que o composto orgânico, produzido a partir de folhas de cajueiro (*Anacardium occidentale*), de mangueira (*Mangifera indica*) e esterco bovino de gado leiteiro, atinge a concentração ideal de relação Carbono/Nitrogênio para fins de utilização em atividades hortícolas. Neste sentido, para o período de 60 dias, que é o tempo total da degradação ativa, foram utilizadas Equações Diferenciais Ordinárias para realizar simulações do dia, material e proporções do composto ideal exigido pela legislação. As simulações feitas foram satisfatórias para descrever o processo analisado. Os resultados obtidos mostraram que os valores médios da relação de Carbono/Nitrogênio foram diminuindo de acordo com as proporções, ou seja, quanto maior a quantidade de esterco, menor os valores desta relação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Equação diferencial ordinária, atividades hortícolas, decaimento, composto orgânico, degradação ativa.

Camila Nicola Boeri Di Domenico  
[camiladomenico@utfpr.edu.br](mailto:camiladomenico@utfpr.edu.br)  
UTFPR-FB

Gracieli Mapelli  
[gracymapelli@hotmail.com](mailto:gracymapelli@hotmail.com)  
UTFPR-FB

Raquel Barroso de Oliveira  
[quel\\_dj12@hotmail.com](mailto:quel_dj12@hotmail.com)  
UTFPR-FB

## INTRODUÇÃO

As atividades humanas, sendo elas, por exemplo, agrícolas e a agropecuárias geram grande quantidade de resíduos sólidos orgânicos, os quais não sendo tratados provocam sérios problemas ambientais. Com isso, as autoridades vêm exigindo das empresas públicas e privadas, ações a fim de haver uma reutilização desses resíduos gerados à partir do uso dos recursos naturais.

“Segundo a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010) os resíduos podem ter uma disposição final ambientalmente adequada, em aterros, ou para uma destinação final ambientalmente adequada. Como exemplo de destinação final ambientalmente adequada tem-se a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético, de modo a evitar danos ou riscos à saúde e minimizar os impactos ambientais adversos”.(Cristiane Graepin,2014)

Quando manipulado corretamente, podemos aproveitá-los a partir de um processamento denominado compostagem. Está, porém, se torna um dos meios mais alternativos e ecologicamente corretos de reciclagem de resíduos.

“A forma mais eficiente de reciclagem de resíduos orgânicos é por intermédio de processo de compostagem. Cerca de 60% do resíduo domiciliar produzido no país é constituído de matéria orgânica. Toda essa massa heterogênea de resíduos pode ser tratada (estabilizada) e transformada em adubo orgânico (humificada). ” (Pereira Neto, 2007).

“Os materiais utilizados para a compostagem podem ser divididos em duas classes, a dos materiais ricos em carbono e a dos materiais ricos em nitrogênio. Entre os materiais ricos em carbono podemos considerar os materiais lenhosos como a casca de árvores, as aparas de madeira, as podas dos jardins, folhas e galhos das árvores, palhas e fenos, e papel. Entre os materiais nitrogenados incluem-se as folhas verdes, estrumes animais, urinas, solo, restos de vegetais hortícolas, erva, etc.” (Emídio, C. A. Oliveira, et al.).

O nitrogênio no solo é responsável pela integração das proteínas, e os cromossomos dos organismos, e representa metade da biomassa, ou seja, é o material construtivo para o crescimento celular. Quando os decompositores se alimentam dos resíduos orgânicos eles devolvem para o ambiente, compostos nitrogenados, que são substâncias com nitrogênio na molécula, uma forma de nitrogênio que as raízes assimilam.

O carbono além de fonte de energia participa na respiração microbiana e na composição das moléculas. Nesse ciclo o carbono é incorporado da atmosfera pela fotossíntese, e são devolvidos pelos decompositores ao ar através da cadeia alimentar. A relação ideal entre o C/N é de 30 e 40 partes de carbono por parte de nitrogênio, proporcionando intensificação da atividade microbiana e diminuição no tempo de compostagem.

Quando obtiver uma alta proporção C/N, será possível o retardamento do processo, já que os microrganismos não serão capazes de digerir todo carbono presente. Segundo Pereira Neto, “Se houver na massa de compostagem maior concentração de nitrogênio do que carbono, ocorrerá perda natural (provocada pelos microrganismos) de nitrogênio, em virtude da volatilização da amônia.” Ocorrendo anaerobiose, pois o oxigênio é consumido rapidamente e sua pilha provavelmente irá liberar o excesso na forma de gás de amônia com forte cheiro.

Para que ela ocorra de forma correta, resultando num fertilizante orgânico de qualidade alguns fatores são essenciais, como a aeração, temperatura, umidade,

potencial hidrogeniônico (pH), granulometria das partículas a serem compostadas e a proporção carbono/nitrogênio (C/N).

De acordo com KIEHL (1985), o composto somente será considerado humificado, ou seja, bio-estabilizado quando a relação C/N for inferior a 18/1 e o produto acabado ou humificado com relação C/N em torno de 10/1, apresentando coloração escura, cheiro característico de terra e consistência amanteigada.

O artigo tem como principal objetivo aplicar uma Equação Diferencial Ordinária (EDO) de primeira ordem de forma a estimar a relação Carbono/Nitrogênio em um determinado tempo de um composto orgânico, durante 60 dias, pois é o tempo total da degradação ativa, em diferentes tratamentos, para que o composto atinja a concentração de C/N ideal 18/1 e 10/1.

## METODOLOGIA

### COLETA DE DADOS

O referido artigo tem como base o trabalho realizado na Horta Didática do Departamento de Fitotecnia do CCA/UFC, em Fortaleza, Ceará, executado por Vicente de Paulo Miranda Leitão et.al. Com o objetivo de avaliar o desempenho da relação C/N em um composto orgânico a partir de folhas de cajueiro (*Anacardium occidentale*) de mangueira (*Mangifera indica*) e esterco bovino de gado leiteiro, para fins de utilização em atividades hortícolas.

O experimento foi executado com três repetições, em esquema fatorial de 6x7, sendo seis proporções de folhagem/ esterco (0/100%, 10/90%, 20/80%, 30/70%, 40/60% 50/50%) de material triturado, e não triturado (natural) na composição de pilhas de volume 2,45m<sup>3</sup> e sete tempos (fase de degradação ativa): 0, 10, 20, 30, 40, 50 e 60 dias.

Tabela 1- Variação da relação C/N durante a fase de degradação ativa, para diferentes tipos de tratamento com material triturado.

RELAÇÃO C/N – FASE DEGRADAÇÃO ATIVA							
TRATAMENTO	DIAS						
	0	10	20	30	40	50	60
(A) PMT 90/10	38	36	33	31	29	28	26
PTM 80/20	36	34	32	30	28	26	25
PMT 70/30	34	31	30	28	27	25	24
PMT 60/40	32	30	29	27	25	22	20
PMT 50/50	31	29	27	26	24	20	19
FOLHAGEM	41	39	28	36	33	30	29

Fonte: Vicente P.M. Leitão et.al (2001).

Tabela 2- Variação da relação C/N durante a fase de degradação ativa, para diferentes tipos de tratamento com material não triturado (não natural).

RELAÇÃO C/N – FASE DEGRADAÇÃO ATIVA									
TRATAMENTO	DIAS								
	0	10	20	30	40	50	60	70	80
PMT 90/10	39	37	36	34	32	30	28	27	25
PTM 80/20	37	35	34	32	30	28	26	25	23
PMT 70/30	36	34	32	30	27	26	24	22	20
PMT 60/40	35	33	31	29	28	25	23	21	19
PMT 50/50	32	30	29	27	25	24	22	20	18
FOLHAGEM	42	40	39	37	24	32	30	29	27

Fonte: Vicente P.M. Leitão et.al (2001).

## MODELO MATEMÁTICO

A relação C/N será calculada por meio de equação diferencial ordinária de primeira ordem com variáveis separáveis, sendo ela uma equação de decaimento.

Sendo assim, a equação utilizada foi dada por:

$$\frac{dR}{dt} = -K \cdot R \quad (1)$$

Onde R é a relação C/N, t é o tempo e K é uma constante.

## ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise correlacional indica a relação entre duas variáveis lineares e os valores sempre serão entre -1 e +1. O sinal indica a direção, se a correlação é positiva ou negativa, e o tamanho da variável indica a força da correlação.

$$P(x, y) = \frac{COV(x, y)}{\sqrt{Var(x) \cdot Var(y)}} \quad (2)$$

Onde P(x,y) é a correlação entre as series x e y.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### MODELAGEM MATEMÁTICA

A equação (1) que descreve a taxa de variação da concentração em função do tempo foi resolvida por variáveis separáveis e sua solução é descrita a seguir, considerando o primeiro tratamento (90/10):

Solução Geral:

$$\frac{dR}{dt} = -K.R \rightarrow \int \frac{dR}{R} = - \int K. dt \rightarrow \ln(R) = -Kt + c \rightarrow e^{\ln(R)} = e^{-k.t.e^c} \rightarrow R(t) = ce^{-k.t} \quad (3)$$

Solução Particular: Foi utilizado o (t) que mais se adequava com os resultados da tabela (1) e (2).

Para R(0)=38

$$R(t) = ce^{-k.t} \quad (4)$$

$$38 = c.e - k.e^{-k.0}$$

$$38 = c.1$$

$$38 = c$$

Determina-se agora o valor de K. Sabendo-se que para R = 36 o valor de C é de 38, tem-se: Para R(10)= 36

$$R(10) = 38e^{-k.t} \quad (5)$$

$$36 = 38e^{-k.10}$$

$$\frac{36}{38} = e^{-k.10}$$

$$0,94 = e^{-k.10}$$

$$\ln 0,94 = \ln e^{-k.10}$$

$$\ln 0,94 = -k.10$$

$$\frac{\ln 0,94}{-10} = k$$

$$k = 0,0061875$$

Encontrado então o valor de k, a equação para qualquer determinado tempo será:

$$R(t) = 38e^{-0,0061875.t}$$

Para R(60) = ? Substituindo K em  $R(t) = 38e^{-0,0061875.t}$  tem-se:

$$R(t) = 38e^{0,0061875.t} \quad (6)$$

$$R(t) = 38e^{0,0061875.-60}$$

$$R(t) = 26,21$$

Essa equação foi resolvida para cada tratamento com material triturado e para o não triturado e para os diferentes tipos de concentração de folhagem e do esterco.

Para os demais tratamentos com material triturado, a resolução se deu de forma similar, obtendo-se os seguintes valores para as constantes c e K:

Tabela 3 – Os valores de C e de K descobertas pelas EDOs.

Tratamento	C	K
80/20	36	0,0057629
70/30	34	0,0062582
60/40	32	0,0064538
50/50	31	0,0066781
Folhagem	41	0,0054539

Fonte: do autor.

Para os demais tratamentos com material não triturado (natural), a resolução se deu de forma similar, obtendo-se os seguintes valores para as constantes c e K:

Tabela 4 – Valores de C e K determinadas pelas EDOs.

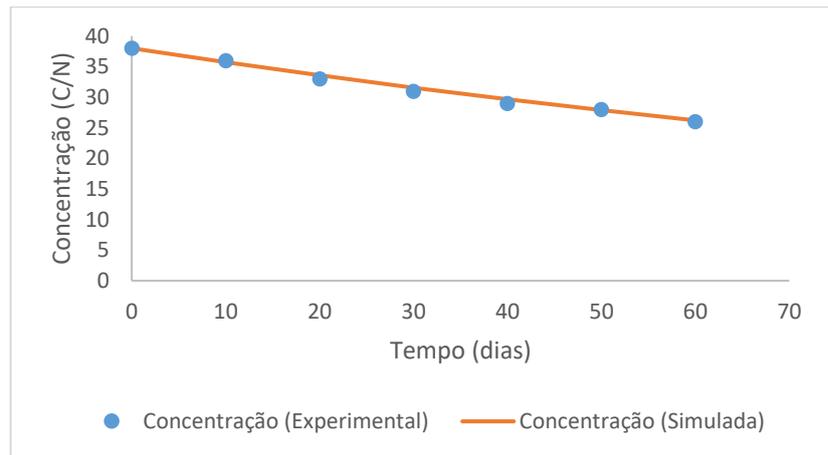
Tratamento	C	K
90/10	39	0,005266
80/20	37	0,005561
70/30	36	0,006078
60/40	35	0,006731
50/50	32	0,006453
Folhagem	42	0,005438

Fonte: do autor.

## RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

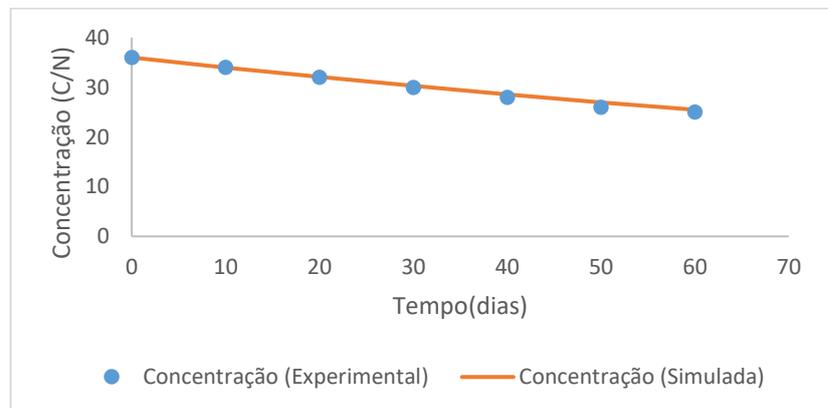
A partir da solução geral (1) descrita acima e com os valores das constantes  $c$  e  $k$ , foi possível obter as curvas simuladas para cada tratamento realizado e, a partir delas, estimar a concentração e o número de dias para a obtenção da concentração ideal 18/1 e 10/1.

Gráfico 1- Relação de C/N em tratamento com material triturado (90/10).



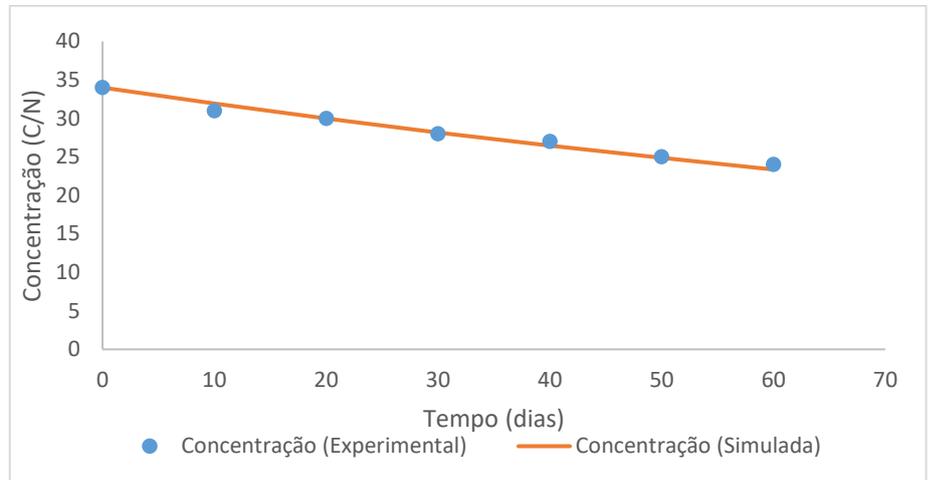
Fonte: do autor.

Gráfico 2-Relação de C/N em tratamento com material triturado (80/20).



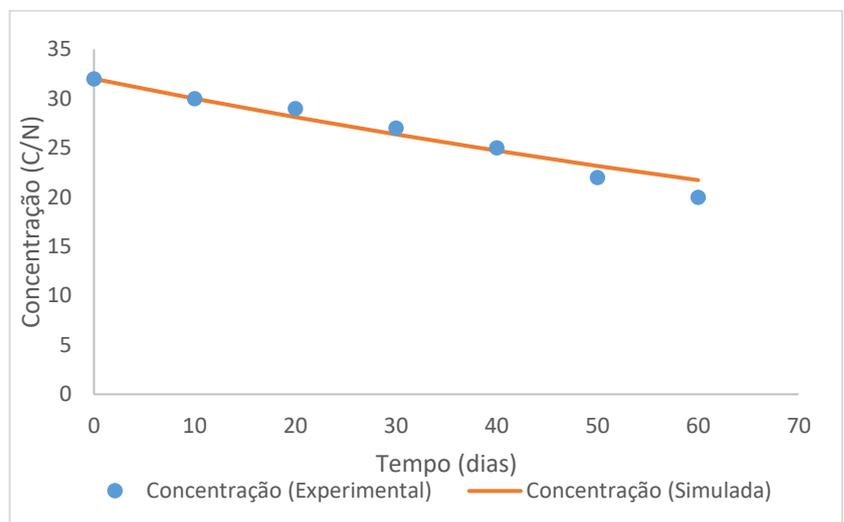
Fonte: do autor.

Gráfico 3- Relação de C/N em tratamento com material triturado (70/30).



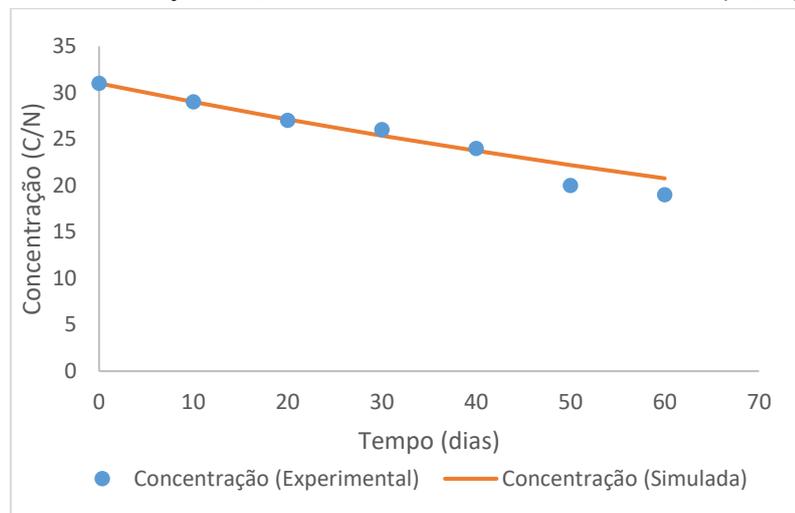
Fonte: do autor.

Gráfico 4 - Relação de C/N em tratamento com material triturado (60/40).



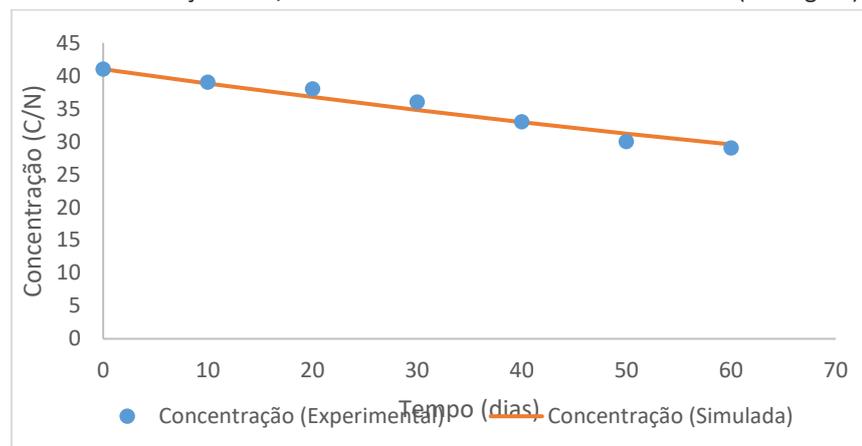
Fonte: do autor.

Gráfico 5- Relação de C/N em tratamento com material triturado (50/50).



Fonte: do autor.

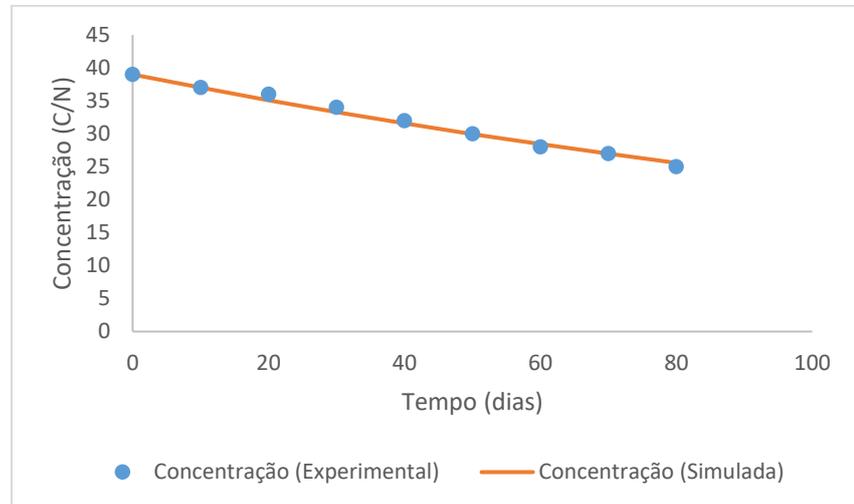
Gráfico 6 - Relação de C/N em tratamento com material triturado (Folhagem).



Fonte: do autor.

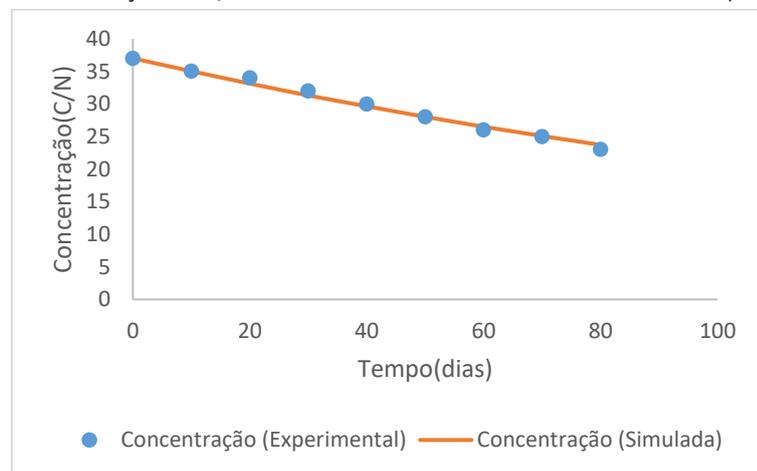
Nos gráficos 1 ao 6, é demonstrado a relação de C/N com material triturado em diferentes tipos tratamento e proporções de (folhagem/esterco), com a concentração (Experimental) e a concentração (Simulada). Os resultados refletem de modo exato, o esperado, em razão que os valores obtidos com as EDOs foram muito similares com os dos constatados no experimento, sendo assim, possível a confiabilidade na simulação. Com a EDO estipulada é possível estimar qualquer contração e proporção do C/N independente do dia, obtendo uma margem de erro baixa.

Gráfico 7- Relação de C/N em tratamento com material não triturado (90/10).



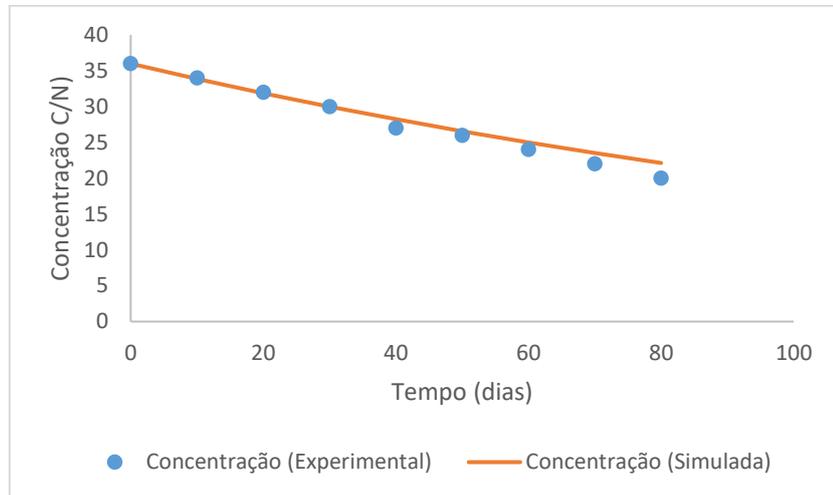
Fonte: do autor.

Gráfico 8- Relação de C/N em tratamento com material não triturado (80/20).



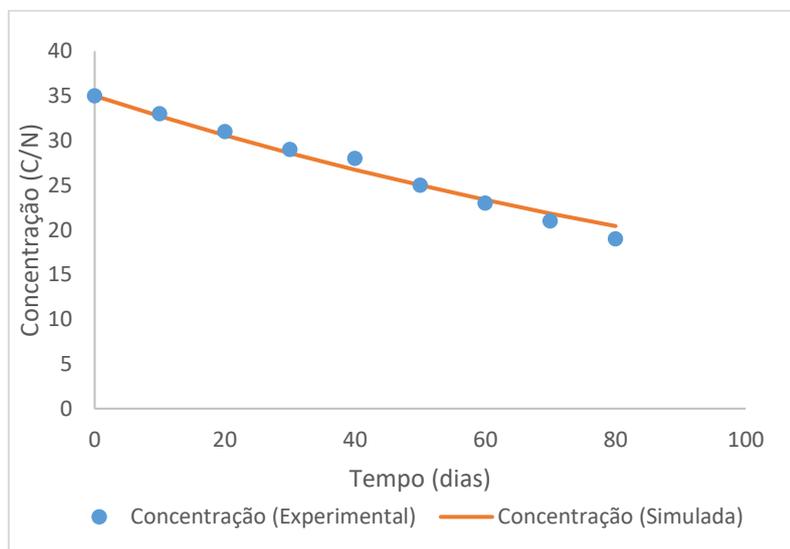
Fonte: do autor.

Gráfico 9 - Relação de C/N em tratamento com material não triturado (70/30).



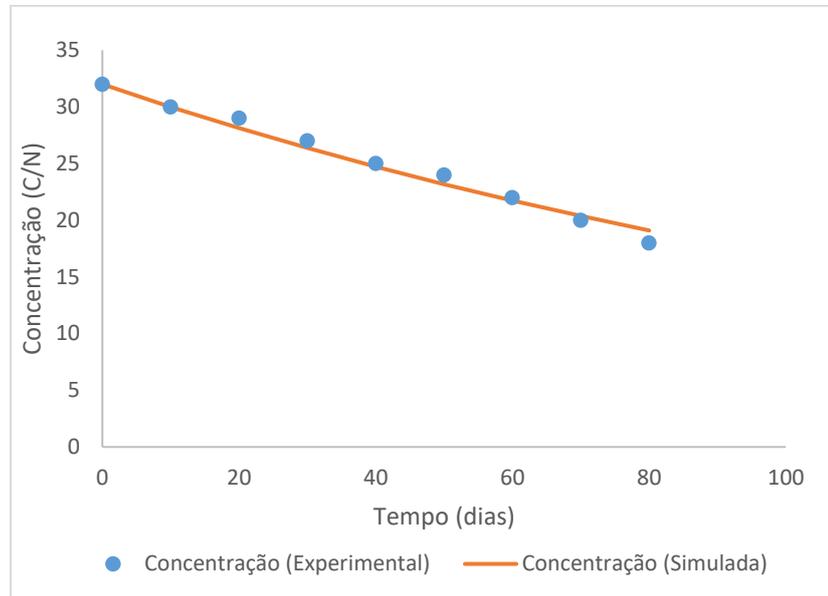
Fonte: do autor.

Gráfico 10 - Relação de C/N em tratamento com material não triturado (60/40).



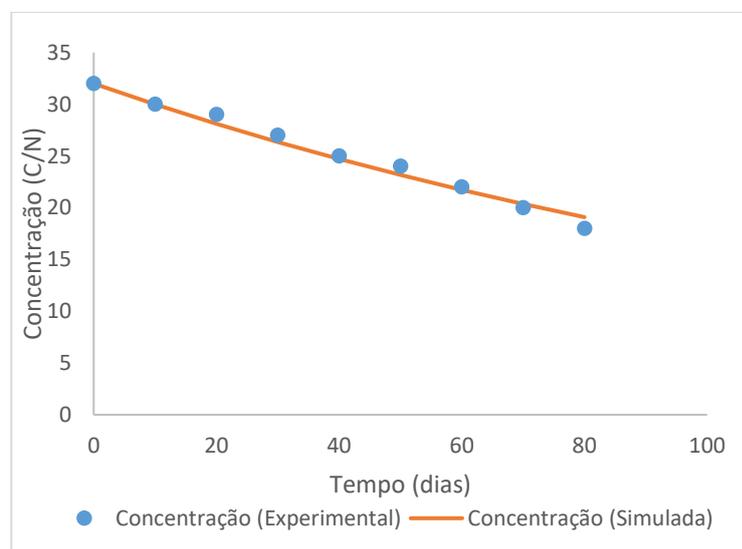
Fonte: do autor.

Gráfico 11- Relação de C/N em tratamento com material não triturado (50/50).



Fonte: do autor.

Gráfico 12- Relação de C/N em tratamento com material não triturado (folhagem).



Fonte: do autor.

Nos gráficos 7 ao 12, consta-se o decaimento da relação de C/N com material não triturado em diferentes tipos tratamento e proporções de (folhagem/esterco), com concentração (Experimental) e concentração (Simulada). Os resultados refletem de modo exato, o esperado, em razão que os valores obtidos com as EDOs foram muito similares com os do experimento, assim sendo possível a confiabilidade na simulação. Obtendo-se uma discrepância muito baixa.

Com a aplicação da EDO foi possível estimar o número de dias que o composto levará para ser considerado humificado, ou seja, bio-estabilizado, possuindo relação C/N inferior a 18/1, assim como, em que dia apresentará pronto para o uso, apresentando relação C/N igual a 10/1 exigido pela legislação. Utilizando a equação (4).

Tabela 5 – Estimativa em dias das concentrações de C/N 18/1 e 10/1 para material não triturado.

<b>MATERIAL NÃO TRITURADO (Dias)</b>		
<b>Tratamento</b>	<b>18/1</b>	<b>10/1</b>
90/10	147	258
80/20	129	229
70/30	114	211
60/40	99	186
50/50	89	180
Folhagem	156	264

Fonte: Do autor.

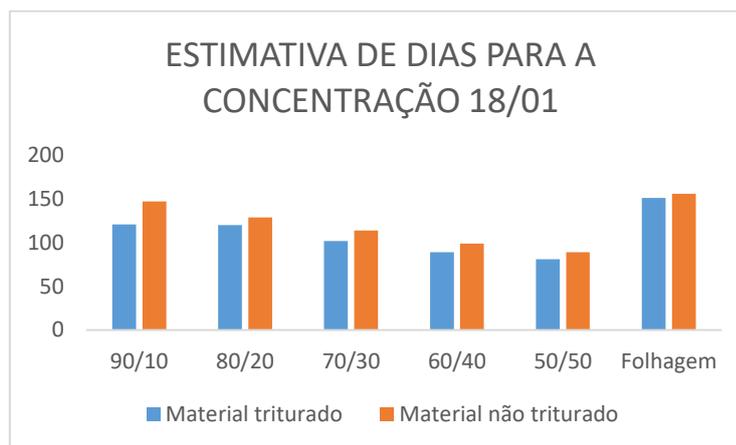
Tabela 6 – Estimativa em dias das concentrações de C/N 18/1 e 10/1 para material triturado.

<b>MATERIAL TRITURADO (Dias)</b>		
<b>Tratamento</b>	<b>18/1</b>	<b>10/1</b>
90/10	121	216
80/20	120	222
70/30	102	196
60/40	89	180
50/50	81	169
Folhagem	151	258

Fonte: Do autor.

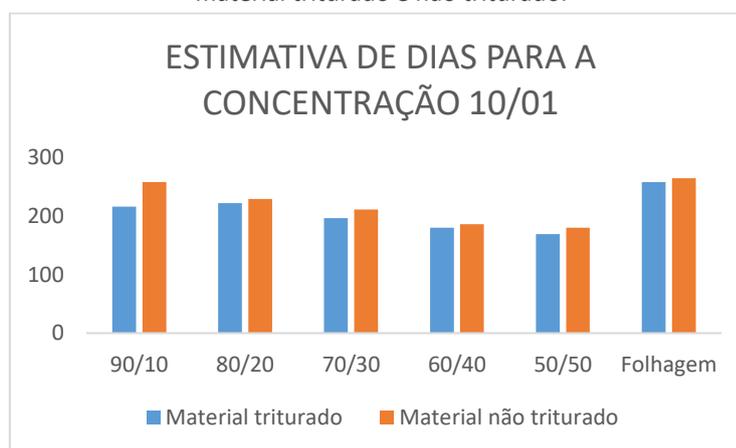
Com os resultados obtidos é possível observar que o composto que estará pronto para o uso será o de tratamento 50/50 com material triturado levando 169 dias.

Gráfico 13 – Comparação da estimativa de dias para concentração de C/N 18/1 com material triturado e não triturado.



Fonte: Do autor.

Gráfico 14 – Comparação da estimativa de dias para concentração de C/N 10/1 com material triturado e não triturado.



Fonte: Do autor.

Com os gráficos 13 e 14 podemos ter uma conclusão mais detalhada sobre os resultados das EDOs, observando-se que o composto com o material triturado leva menos dias para chegar à concentração ideal, e que o adubo só com a folhagem obtém uma quantidade mais elevada da relação C/N. Segundo Emídio, C. A. Oliveira, et al. (2008), “O processo de decomposição inicia-se junto à superfície das partículas, onde exista oxigênio difundido na película de água que as cobre, e onde o substrato seja acessível aos microrganismos e às suas enzimas extracelulares”, pois, quanto menor for o tamanho das partículas, maior é a sua superfície específica, e, portanto, mais fácil é o ataque microbiano ou a disponibilidade biológica das partículas, assim, sendo decompostas mais rapidamente.

## ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Com o coeficiente de correlação é possível medir o grau de correlação linear entre duas variáveis quantitativas, onde o resultado reflete a intensidade de uma relação linear entre os conjuntos de dados.

O nosso (R), significa uma correlação entre duas variáveis, nas quais são a concentração experimental (x), e concentração simulada (y). O R deve ser o mais próximo de um 1 pois, quanto mais próximo de 1 mais perfeita estará a correlação.

Tabela 7 – Coeficientes de correlação na fase de degradação ativa com material triturado.

Tratamentos	Coeficientes de correlação (R)
90/10	0,996479173
80/20	0,998745636
70/30	0,993954148
60/40	0,985191736
50/50	0,982381573
Folhagem	0,985562176

Fonte: Do autor.

Tabela 8 – Coeficientes de correlação na fase de degradação ativa com material não triturado.

Tratamentos	Coeficientes de correlação (R)
90/10	0,996207144
80/20	0,995996225
70/30	0,997476288
60/40	0,993420288
50/50	0,992740932
Folhagem	0,994416011

Fonte: Do autor.

Na tabela 7, o tratamento que apresentou maior coeficiente de correlação foi o 80/20, isto indica que há um maior alinhamento dos pontos das series, sendo bem próximos um do outro com uma inclinação positiva, de maneira que quando houver variação em (y), a variável (x) varia em proporções semelhantes. O tratamento que apresentou menor coeficiente de correlação foi o 50/50, mas ainda apresentam valores muito próximos a 1. Uma hipótese sugerida, é que está discrepância pode ser provido da variável concentração experimental (x), pois, numa análise laboratorial a vários fatores que proporcionam erros relativos, assim sendo possível uma maior discordância no alinhamento dos pontos das series.

Na tabela 8, observou no geral um comportamento do coeficiente de correlação mais próximo em alguns tratamentos do que na tabela 7. O que apresentou maior correlação foi o tratamento 70/30, assim indicando um maior alinhamento das series. O tratamento que apresentou menor correlação, mas menos

assim muito próximos a um, foi 50/50 novamente, também sendo possível fruto de erros experimentais.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Com a aplicação de uma Equação Diferencial Ordinária (EDO) de primeira ordem, foi possível estimar a relação Carbono/Nitrogênio em um determinado tempo.

A maior concentração da relação C/N no composto orgânico acontece no período em que ocorre a degradação ativa do composto, onde há uma relação de folhagem/esterco na composição de um esquema fatorial 6/7. Os resultados obtidos mostram que os valores de C/N foram diminuindo de acordo com as proporções, ou seja, quanto maior a quantidade de esterco, menor os valores desta relação. Isso também ocorre em função do tempo, conforme vai aumentando, a concentração de C/N vai decaindo, isto acontece em todos os tipos de tratamentos.

Também foi possível identificar que o composto que estará pronto primeiro vai ser o de relação C/N, 50/50 do material triturado. Ainda é possível calcular por meio da EDO, qualquer relação em função do tempo.

# Use of Ordinary Differential Equation on simulation of Carbon / Nitrogen ratio of organic compound

## Abstract

The present article has as main objective, estimating the time in the organic compound produced from cashew leaves (*Anacardium occidentale*) of hose (*Mangifera indica*) and cattle manure of dairy cattle, producing an ideal concentration of Carbon / Nitrogen ratio in an Organic compound for use in horticultural activities for 60 days, the total time of active degradation, reducing an analysis rather than the time of its execution and also provides the ideal format for legislation, material and proportions of ideal ideal for Legislation. An Ordinary Differential Equation (ODE). The results showed that the mean values of the C / N ratio were decreased according to the proportions, ie, the higher the amount of manure, the lower the relation values.

**KEYWORDS:** Differential Equation, horticultural activities, decay, organic compost, active degradation.

## REFERÊNCIAS

ATKINS BARTOSZECK, KIEHL, E. J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. Piracicaba, São Paulo, o Autor, 1998<sup>a</sup>. 171p.

LEITÃO, P. M. Vicente, et.al. **Avaliação da relação Carbono/Nitrogênio na fase de degradação ativa em um composto orgânico de folhas de cajueiro, de mangueira e esterco bovino para fins hortícolas**, Universidade Federal do Ceará – UFC, Campus do Pici, Fortaleza – CE, disponível em: <[http://www.abhorticultura.com.br/biblioteca/arquivos/Download/Biblioteca/45\\_0582.pdf](http://www.abhorticultura.com.br/biblioteca/arquivos/Download/Biblioteca/45_0582.pdf)>, acesso em 16/06/2017.

MICROSOFT. **Correl (Função Correl)**, disponível em: <<https://support.office.com/pt-br/article/CORREL-Fun%C3%A7%C3%A3o-CORREL-995dcef7-0c0a-4bed-a3fb-239d7b68ca92>>, acesso em 29/06/2017.

OLIVEIRA, C. A. Emídio. et al. **Compostagem**. Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2008, disponível em: <[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Compostagem\\_000fhc8nfqz02wyiv80efhb2adn37yaw.pdf](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Compostagem_000fhc8nfqz02wyiv80efhb2adn37yaw.pdf)>, acesso em 20/06/2017.

PEREIRA NETO, J. T. **Manual de Compostagem: processo de baixo custo** – Viçosa MG: Ed. UFV, 2007 – 12p.

CRISTIANE GRAEPIN, **Compostagem como Alternativa de Destinação para o Lodo Flotado de Abatedouro de Frangos**- Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas - UFSM, Santa Maria, Disponível em: < Revista Monografias Ambientais - REMOA v.13, n.5, dez. 2014, p.4011-4018>. Acesso em acesso em 29/06/2017.

**Recebido:** 26/07/2017

**Aprovado:** 10/05/2018

**DOI:**

**Como citar:** Uso de Equações Diferenciais Ordinárias na simulação da relação de Carbono/Nitrogênio em um composto orgânico. R. Eletr. Cient. Inov. Tecnol, Medianeira, v. 09, n23. p110- p128, set/dez 2018.. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/recit>>. Acesso em: XXX.

**Correspondência:**

Camila Nicola Boeri Di Domenico

[camiladomenico@utfpr.edu.br](mailto:camiladomenico@utfpr.edu.br)

**Direito autoral:** Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

