



**MINERALIZAÇÃO DO CARBONO E DISPONIBILIDADE DO NITROGÊNIO EM SOLOS
TRATADOS COM LODO DE ESGOTO**

Françueudo Bezerra da **Silva**¹; Cristina Silva **Carvalho**²; Adriana Marlene Moreno **Pires**³; Cristiano
Alberto de **Andrade**⁴

Nº 15403

RESUMO - A mineralização do nitrogênio (N) de lodos de esgoto é atributo chave na recomendação da dose a ser aplicada no campo, porém sua determinação envolve custos elevados e tempo excessivo. A mineralização do carbono (C) é mais operacional no laboratório e poderia ser utilizada para estimar a disponibilidade do N, cuja investigação dessa relação foi objetivo do presente estudo. Os dados utilizados foram provenientes de dois trabalhos de pesquisa desenvolvidos a partir de amostras de solo coletadas em duas áreas experimentais com doses de lodo de esgoto aplicadas anualmente por mais de 7 anos. Em um desses trabalhos foi definida a taxa de mineralização do N do solo em laboratório para a camada 0-20 cm de profundidade, enquanto no outro, o foco foi a caracterização da mineralização do C nas profundidades 0-5, 5-10 e 10-20 cm e em classes de agregado (9,52-4,00; 4,00-2,00; 2,00-0,25 e <0,053 mm) separadas a partir da amostra original de solo coletada. Os atributos C mineralizado acumulado, C potencialmente mineralizável, taxa de mineralização do C, relação C/N e grau de humificação foram correlacionados estatisticamente com o N mineralizado. A disponibilidade de nitrogênio em solo fertilizado com lodo de esgoto foi melhor estimada por meio das variáveis C mineralizado acumulado, C potencialmente mineralizável e relação C/N, sendo a dependência destas com o N disponível melhor evidenciada na camada 0-5 cm e nas classes 9,52 - 4,00 mm; 4,00 - 2,00 mm; e < 0,053 mm, o que foi parcialmente atribuído à diferenças no grau de humificação da matéria orgânica.

Palavras-chaves: resíduo orgânico, decomposição, carbono, nitrogênio, agregados do solo.

1 Autor, Bolsista CNPq (PIBIC): Graduação em Engenharia Agrônoma, IFSULDEMINAS, Inconfidentes - MG; saidbezerradasilva@gmail.com

2 Colaborador, Pós doutoranda da Embrapa Meio Ambiente, Bolsista CAPES.

3 Colaborador: Pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna-SP.

4 Orientador: Pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna-SP, cristiano.andrade@embrapa.br.



ABSTRACT - *The sewage sludge nitrogen (N) mineralization is a key attribute in the recommendation of the dose to be applied in the field, however its definition involves high costs and excessive time. The carbon (C) mineralization is more operational in the lab and could be used to estimate the N availability whose investigation of this relation was the objective of this study. The data used have been derived from two researches accomplished from soil samples collected from two experimental areas with sewage sludge doses applied annually for over seven years. While in one of these researches the N mineralization rate of the soil has been defined in lab for 0-20 cm depth layer, the other's focus was the C mineralization profiling in 0-5 cm, 5-10 cm and 10-20 cm depths and in classes of aggregate size (9,52-4,00; 4,00-2,00; 2,00-0,25 and <0,053 mm) picked from the original soil sample collected. The attributes accumulated mineral C, potentially mineralizable C, C mineralization rate, C/N ratio and degree of humification were statistically correlated with the mineralised N. The nitrogen availability in fertilised soil with sewage sludge has been better estimated through the accumulated mineral C, potentially mineralizable C and C/N ratio variables, whose relation with the available is better evident in 0-5 cm layer and in classes 9,52 - 4,00 mm; 4,00-2,00 mm; and < 0,053 mm, which has been partially attributed to differences in the humification degree of organic matter.*

Key-words: *organic waste, decomposition, carbon, nitrogen, soil aggregates.*

1 INTRODUÇÃO

Lodos de esgoto são resíduos semi-sólidos orgânicos, com teores variáveis de componentes inorgânicos provenientes do tratamento de águas residuárias domiciliares e/ou industriais (ANDRADE, 1999), cuja composição química varia com o processo de tratamento na estação e com a época do ano. De modo geral, o carbono (C) é o elemento em maior concentração nos lodos, evidenciando a participação expressiva da fração orgânica na massa seca total desse resíduo, com teores entre 18 a 50% (BOYD et al., 1980).

O nitrogênio (N) também se destaca na constituição de lodos de esgoto, apresentando-se em concentrações relativamente altas, em torno de 4% (BETIOL & CARMAGO, 2001). Tal aspecto



9º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2015 10 a 12 de agosto de 2015 – Campinas, São Paulo

é de fundamental importância, pois o cálculo da dose de lodo com base no fornecimento de N às plantas é a forma de recomendação mais frequentemente utilizada (CONAMA, 2006).

Lodos de esgoto apresentam N principalmente na forma orgânica e, portanto, para ser disponibilizado para as culturas depende do processo de mineralização do resíduo após aplicação no campo (PIRES et al., 2015).

Destaca-se que a disponibilidade do N é de difícil mensuração, uma vez que os métodos empregados para este fim geralmente são de alto custo, duração média de 120 dias e baixa operacionalidade (CANTARELLA et al., 2008; PIRES et al., 2015), como no caso dos métodos de incubação aeróbia. No entanto, outros métodos de incubação de curta duração podem representar de modo satisfatório a mineralização do N no campo (PIRES et al., 2015).

Considerando que os processos de mineralização do C e do N dos lodos de esgoto após aplicação no solo são relacionados (ANDRADE et al., 2006) e que a mineralização do C é, de certa forma, de mais fácil medida e com menores incertezas, torna-se importante conhecer como frações da matéria orgânica do solo se relacionam com o N, de forma a caracterizar melhor a dinâmica e funções do compartimento edáfico.

Com base no exposto, o objetivo deste trabalho foi identificar dentre algumas variáveis relacionadas com a mineralização do C, a que melhor estima a disponibilidade de N no solo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada a partir de dados obtidos em dois estudos complementares, um com foco na mineralização de N determinada em laboratório e validação no campo (PIRES et al., 2015) e outro cujo objetivo foi caracterizar a mineralização do carbono do solo (CARVALHO, 2015).

Esses trabalhos foram desenvolvidos utilizando amostras de solo de duas áreas experimentais fertilizadas anualmente com lodo de esgoto. A área de Campinas-SP está localizada no Instituto Agrônomo - IAC (latitude 22°54' S, longitude 47°3' W e altitude de 600 m), em que o lodo foi aplicado entre os anos de 2001 e 2007. A área de Jaguariúna-SP está localizada na Embrapa Meio Ambiente (latitude 22°41' S, longitude 47° W e altitude de 570 m), em que o lodo foi aplicado por onze anos, entre 1999 e 2010. Em Campinas o solo é classificado como Latossolo Vermelho eutroférico de textura argilosa (58% de argila) e em Jaguariúna o solo é um Latossolo Vermelho distroférico, também de textura argilosa (45% de argila).

No trabalho de disponibilidade do N utilizou-se o método de incubação anaeróbia em amostras coletadas na profundidade 0-20 cm (PIRES et al., 2015), cujos valores médios e de



9º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2015
10 a 12 de agosto de 2015 – Campinas, São Paulo

desvio padrão para o N mineralizado foram de $46 \pm 13 \text{ mg kg}^{-1}$ para a área do IAC e de $52 \pm 34 \text{ mg kg}^{-1}$ para a área da Embrapa.

No estudo da mineralização do C foram utilizadas amostras dos solos coletadas das camadas 0-5, 5-10 e 10-20 cm, bem como em classes de agregado (9,52-4,00; 4,00-2,00; 2,00-0,25; 0,25-0,053 e $<0,053 \text{ mm}$) separadas por meio de peneiramento a seco das amostras originais (CARVALHO, 2015).

A relação entre a mineralização do C e do N foi investigada por meio de correlações estatísticas entre N mineralizado no solo (PIRES et al., 2015) e os resultados de C mineralizado acumulado ($C_{\text{acumulado}}$), C potencialmente mineralizável (C_0), taxa de mineralização do C, relação C/N do solo e grau de humificação da matéria orgânica (H_{FIL}) (CARVALHO, 2015). Os resultados médios das variáveis de mineralização do C e respectivos valores de desvio padrão são mostrados na Tabela 1, considerando-se as profundidades amostradas e a separação ou não em classes de agregado.

Tabela 1. Valores médios e desvio padrão das variáveis relacionadas ao carbono no solo e em classes de agregado do solo em área com lodo de esgoto.

Variáveis ⁽¹⁾	$C_{\text{acumulado}}$ mg kg^{-1}	C_0 mg kg^{-1}	Taxa %	Relação C/N -	H_{FIL} -
0-5 cm de profundidade					
Solo IAC	$572,95 \pm 195,60$	$595,41 \pm 214,59$	$2,40 \pm 0,45$	$11,20 \pm 1,38$	$12477,06 \pm 3513,71$
Classes IAC	$621,10 \pm 361,81$	$638,97 \pm 387,13$	$2,41 \pm 1,25$	$11,25 \pm 1,29$	$11096,98 \pm 4363,16$
Solo EMBRAPA	$532,96 \pm 171,75$	$513,22 \pm 206,77$	$2,73 \pm 0,65$	$11,33 \pm 0,39$	$23926,07 \pm 6276,09$
Classes EMBRAPA	$551,52 \pm 244,04$	$494,28 \pm 214,78$	$2,31 \pm 0,48$	$11,64 \pm 0,93$	$22029,99 \pm 9470,04$
5-10 cm de profundidade					
Solo IAC	$536,91 \pm 157,77$	$510,88 \pm 157,77$	$2,58 \pm 0,53$	$11,01 \pm 0,68$	$13327,06 \pm 2929,62$
Classes IAC	$678,15 \pm 431,16$	$540,94 \pm 243,20$	$2,27 \pm 0,85$	$10,79 \pm 1,03$	$12480,96 \pm 4341,47$
Solo EMBRAPA	$451,48 \pm 107,54$	$426,67 \pm 105,45$	$2,62 \pm 0,25$	$9,07 \pm 1,69$	$36785,85 \pm 8695,49$
Classes EMBRAPA	$552,44 \pm 244,94$	$531,67 \pm 255,48$	$2,65 \pm 0,57$	$11,01 \pm 1,02$	$31039,60 \pm 12512,08$
10-20 cm de profundidade					
Solo IAC	$323,22 \pm 81,70$	$308,97 \pm 82,37$	$1,98 \pm 0,30$	$11,93 \pm 1,25$	$18473,92 \pm 3722,94$
Classes IAC	$453,65 \pm 286,71$	$436,16 \pm 276,99$	$2,37 \pm 0,95$	$10,41 \pm 1,03$	$16831,89 \pm 4640,32$
Solo EMBRAPA	$435,78 \pm 99,83$	$428,86 \pm 105,81$	$2,70 \pm 0,29$	$10,70 \pm 0,22$	$3909,44 \pm 919,12$
Classes EMBRAPA	$534,11 \pm 243,32$	$525,18 \pm 249,11$	$2,70 \pm 0,46$	$11,26 \pm 1,18$	$3305,72 \pm 1326,86$

⁽¹⁾ $C_{\text{acumulado}}$ (carbono acumulado), C_0 (carbono potencialmente mineralizável), Taxa (taxa de degradação do carbono) e H_{FIL} (grau de humificação da matéria orgânica do solo).

A frequência, ou seja, o número de vezes com que cada variável de mineralização do C foi correlacionada significativamente com o N mineralizável foi o parâmetro utilizado na definição da melhor variável preditora da disponibilidade de N.



Esses resultados foram discutidos em termos de relação teórica com a disponibilização do N, incluindo-se aspectos de qualidade da matéria orgânica, e em seguida foi contabilizada a frequência com que a correlação da variável de mineralização do C foi significativa dentro de cada classe de agregado ou solo sem separação em classes e para cada profundidade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De 108 correlações feitas entre as variáveis quantitativas de mineralização do C ($C_{\text{acumulado}}$, C_0 , e taxa de degradação) e o N mineralizável ou disponível, 43% foram significativas (Tabela 2).

Tabela 2. Probabilidades e coeficientes de correlação obtidos a partir de correlações lineares entre atributos quantitativos de mineralização do carbono e a mineralização do nitrogênio determinados em amostras de solo (e classes de agregado) coletadas a diferentes profundidades.

Classes ⁽¹⁾ (mm)	EMBRAPA			IAC		
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm
	$C_{\text{acumulado}}$ (mg kg ⁻¹) ⁽²⁾					
Solo original	0,007 (0,81)*	0,002 (0,85)*	0,002 (0,86)*	0,238 (0,61)	0,090 (0,51)	0,222 (0,62)
9,52-4,00	0,043 (0,73)*	0,018 (0,78)*	0,001 (0,89)*	0,056 (0,75)	0,057 (0,75)	0,458 (0,49)*
4,00-2,00	0,029 (0,75)*	0,009 (0,81)*	0,077 (0,69)	0,033 (0,78)	0,010 (0,84)*	0,306 (0,57)
2,00-0,25	0,010 (0,80)*	0,010 (0,80)*	< 0,001 (0,91)*	0,416 (0,51)	0,126 (0,68)	0,553 (0,44)
0,25-0,053	0,162 (0,62)	0,010 (0,80)*	< 0,001 (0,92)*	0,363 (0,54)	0,106 (0,70)	0,170 (0,65)
< 0,053	0,007 (0,82)*	0,010 (0,80)*	< 0,001 (0,89)*	0,106 (0,70)	0,102 (0,70)	0,358 (0,54)
	C_0 (mg kg ⁻¹) ⁽³⁾					
Solo original	< 0,001 (0,89)*	0,003 (0,84)*	0,003 (0,84)*	0,305 (0,57)	0,063 (0,74)	0,236 (0,61)
9,52-4,00	0,017 (0,78)*	0,026 (0,76)*	0,001 (0,88)*	0,051 (0,76)	0,056 (0,75)	0,473 (0,48)
4,00-2,00	0,029 (0,75)*	0,170 (0,61)	0,027 (0,75)*	0,033 (0,78)*	0,008 (0,85)*	0,242 (0,60)
2,00-0,25	0,002 (0,85)*	0,003 (0,84)*	< 0,001 (0,90)*	0,413 (0,51)	0,084 (0,72)	0,369 (0,53)
0,25-0,053	0,006 (0,82)*	0,059 (0,71)	< 0,001 (0,90)*	0,421 (0,51)	0,024 (0,64)*	0,101 (0,70)
< 0,053	0,007 (0,81)*	0,002 (0,85)*	0,001 (0,86)*	0,152 (0,66)	0,115 (0,69)	0,225 (0,61)
	Taxa de mineralização (%) ⁽⁴⁾					
Solo original	0,001 (0,87)*	0,016 (0,78)*	0,089 (0,67)	0,623 (0,16)	0,591 (0,42)	0,704 (0,35)
9,52-4,00	0,092 (0,67)	0,096 (0,67)	0,007 (0,81)*	0,066 (0,74)*	0,973 (0,10)	0,227 (0,38)
4,00-2,00	0,060 (0,70)	0,111 (0,65)	0,345 (0,51)	0,792 (0,08)	0,594 (0,41)	0,608 (0,16)
2,00-0,25	0,006 (0,82)*	0,037 (0,74)*	0,001 (0,88)*	0,661 (0,14)	0,563 (0,43)	0,581 (0,18)
0,25-0,053	0,111 (0,65)	0,331 (0,52)	0,016 (0,78)*	0,929 (0,03)	0,530 (0,45)	0,580 (0,42)
< 0,053	0,023 (0,76)*	0,270 (0,55)	0,006 (0,82)*	0,716 (0,34)	0,717 (0,34)	0,843 (0,25)

⁽¹⁾ Classes de agregado em função do diâmetro das partículas; ⁽²⁾ Carbono acumulado na forma de CO₂; ⁽³⁾ Carbono potencialmente mineralizável; ⁽⁴⁾ Taxa de mineralização do carbono; e * significativo a 5% de probabilidade.

Com as variáveis indicadoras de qualidade da matéria orgânica do solo (variáveis adimensionais) foram feitas 72 correlações, em que 33% apresentaram significância (Tabela 3).

Comparando entre as variáveis avaliadas, tem-se que as variáveis quantitativas $C_{\text{acumulado}}$ e C_0 , bem com a variável indicadora de qualidade relação C/N, foram as que apresentaram melhor



9º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2015
10 a 12 de agosto de 2015 – Campinas, São Paulo

desempenho na estimativa do N mineralizado, com cerca de 50% das correlações significativas (Figura 1). Isto significa que tanto a quantidade como a qualidade dos compostos orgânicos mineralizáveis são importantes na determinação da disponibilidade do N no solo. Para lodos de esgoto a correlação entre o conteúdo proteico e a mineralização do C é fato conhecido (LERCH et al., 1992; ANDRADE et al., 2006), podendo auxiliar no entendimento dos resultados aqui apresentados, uma vez que o C_0 representa o compartimento de C mineralizável no solo e a relação C/N a estabilidade desse compartimento.

Tabela 3. Probabilidades e coeficientes de correlação obtidos a partir de correlações lineares entre atributos indicadores de qualidade da matéria orgânica do solo e a mineralização do nitrogênio determinados em amostras de solo (e classes de agregado) coletadas a diferentes profundidades.

Classes ⁽¹⁾ (mm)	EMBRAPA			IAC		
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm
	$H_{FIL}^{(2)}$					
Solo original	0,657 (0,13)	0,831 (0,06)	0,864 (0,05)	0,218 (0,38)	0,117 (0,48)	0,518 (0,21)
9,52-4,00	0,980 (0,01)	0,999 (0,00)	0,871 (0,05)	0,036 (0,61)*	0,071 (0,54)	0,175 (0,42)
4,00-2,00	0,932 (0,02)	0,758 (0,09)	0,776 (0,08)	0,085 (0,52)	0,017 (0,67)*	0,481 (0,36)
2,00-0,25	0,822 (0,02)	0,740 (0,09)	0,607 (0,14)	0,272 (0,34)	0,117 (0,48)	0,481 (0,23)
0,25-0,053	0,725 (0,10)	0,767 (0,08)	0,985 (0,01)	0,111 (0,48)	0,035 (0,58)*	0,126 (0,47)
< 0,053	0,606 (0,15)	0,715 (0,10)	0,873 (0,01)	0,045 (0,59)*	0,014 (0,68)*	0,038 (0,60)*
	Relação C/N ⁽³⁾					
Solo original	0,090 (0,45)*	0,424 (0,22)	0,909 (0,03)	0,002 (0,80)*	0,032 (0,62)*	0,131 (0,57)
9,52-4,00	0,010 (0,64)*	0,451 (0,21)	0,014 (0,62)*	0,003 (0,78)*	0,026 (0,63)*	0,225 (0,65)
4,00-2,00	0,262 (0,31)	0,016 (0,61)*	0,218 (0,69)	0,005 (0,74)*	0,225 (0,65)	0,020 (0,66)*
2,00-0,25	0,059 (0,50)	0,085 (0,46)	0,004 (0,69)*	0,003 (0,77)*	0,093 (0,51)	0,139 (0,45)
0,25-0,053	0,039 (0,54)*	0,008 (0,65)*	0,041 (0,53)*	0,007 (0,73)*	0,016 (0,68)*	0,205 (0,48)
< 0,053	0,701 (0,11)	0,096 (0,45)	0,757 (0,23)	0,013 (0,69)*	0,089 (0,51)	0,131 (0,46)

⁽¹⁾ Classes de agregado em função do diâmetro das partículas; ⁽²⁾ Grau de humificação da matéria orgânica; ⁽³⁾ Relação do carbono e nitrogênio do solo; e * significativo a 5% de probabilidade.

Cabe ressaltar que o $C_{acumulado}$ e o C_0 possuem valores similares, pois o C_0 corresponde ao valor de estabilização do processo de mineralização do C no tempo, estimado por meio do ajuste dos valores de $C_{acumulado}$ à equação de cinética química de primeira ordem (ANDRADE et al., 2006).

O desempenho insatisfatório do HFIL pode ser explicado em função da própria natureza do índice. O HFIL é a razão entre a área do espectro de emissão da fluorescência com excitação em 458 nm e a concentração de C orgânico total do solo (MILORI et al., 2002); ou seja, essa medida



não incorpora a quantidade ou a concentração de N na matéria orgânica, sendo seu valor função da abundância de estruturas aromáticas.

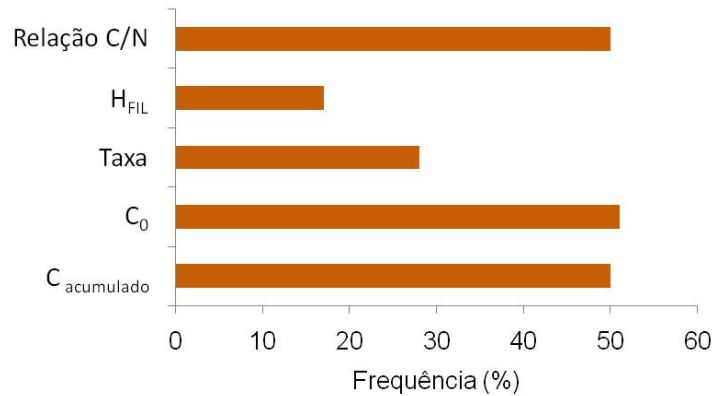


Figura 1. Número de correlações significativas expressas em função do número total de correlações (frequência) entre variáveis referentes a dinâmica do carbono (carbono acumulado - C_{acumulado}, carbono potencialmente mineralizável - C₀, taxa de mineralização do carbono - taxa, grau de humificação - H_{FIL}, e relação C/N) e o nitrogênio disponível.

Em relação às camadas avaliadas, observou-se que a camada 0-5 cm foi a que melhor correlacionou com a disponibilidade de N, o que é explicado parcialmente pelos seus mais elevados teores de C e de N, bem como pelo menor grau de humificação da matéria orgânica (CARVALHO, 2015). Considerando-se que as diferenças em C e N entre as camadas avaliadas são pequenas e que a camada 0-5 cm possui metade da espessura da camada 10-20 cm, percebe-se que a qualidade do material orgânico foi fundamental nas diferenças verificadas.

Dentre as classes de agregado avaliadas e considerando-se somente as três melhores variáveis preditoras (C_{acumulado}, C₀ e relação C/N; Figura 1), as classes de 9,52-4,00; 4,00-2,00 e < 0,053 mm foram as que melhor evidenciaram a disponibilidade do nitrogênio. Essas três classes são as que menos contribuem em termos de percentual do total de massa de solo, uma vez que a soma da participação das três é inferior a 30% (CARVALHO, 2015). No entanto, mesmo representando parte menos expressiva na massa total de solo, as referidas classes de agregado apresentaram matéria orgânica capaz de fornecer N no sistema. De acordo com CARVALHO (2015), o grau de humificação da matéria orgânica nesses agregados foi o menor dentre as classes estudadas, o que corrobora a importância do aspecto qualitativo do componente orgânico, em complemento ao quantitativo, na definição do potencial de mineralização do N em solos fertilizados com lodo.

4 CONCLUSÃO

A disponibilidade de nitrogênio em solo fertilizado com lodo de esgoto foi melhor estimada por meio das variáveis quantitativas C₀ e C_{acumulado} e da variável indicadora da qualidade da matéria



9º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2015 10 a 12 de agosto de 2015 – Campinas, São Paulo

orgânica relação C/N, sendo que esta disponibilidade foi melhor expressa na camada 0-5 cm de profundidade, bem como nas classes de agregado 9,52 - 4,00 mm; 4,00 - 2,00 mm; e < 0,053 mm.

5 AGRADECIMENTOS

Agradeço ao CNPq pela bolsa concedida, à Embrapa Meio Ambiente e ao Instituto Agronômico pela infraestrutura e condições para a realização do estudo.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, C. A. **Nitratos e metais pesados em solos e plantas de Eucalyptus grandis após aplicação de biossólidos da ETE Barueri**. Piracicaba, 1999. 65f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

ANDRADE, C.A.; OLIVEIRA, C.; CERRI, C.C. Cinética de degradação da matéria orgânica de biossólidos após aplicação no solo e relação com a composição química inicial. **Bragantia**, Campinas, v.65, n.4, p.659-668, 2006.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Reciclagem do lodo de esgoto na agricultura**. In: MELO, I.S.; SILVA, C.M.S.; SCRAMIN, S.; SPESSOTO, A. (Org.). Biodegradação, Jaguariúna, p. 93-106, 2001.

BOYD, S.A.; SOMMERS, L.E.; NELSON, D.W. Changes in the humic acid fraction of soil resulting from sludge application. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, p.1179-1186, 1980.

CANTARELLA, H.; ANDRADE, C.A.; MATTOS JUNIOR, D. de. Matéria orgânica do solo e disponibilidade de N para as culturas. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L.S. da; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p.581-596.

CARVALHO, C. S. **Matéria orgânica, agregação e proteção física em solos tratados com lodo de esgoto**. Piracicaba, 2015. 129f. Tese (Doutorado) – Agricultura Tropical e Subtropical – Instituto Agronômico, Campinas, SP.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n.º 375, de 29 de agosto de 2006. **Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 30 ago. 2006.

MILORI, D. M. B. P.; MARTIN-NETO, L.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; BAGNATO, V. S. Humification degree of soil humic acids determined by fluorescence spectroscopy. **Soil Science**, v.167, p.739-749, 2002.

PIRES, A.M.M; ANDRADE, C.A.; SOUZA, N.A.P.; CARMO, J.B.; COSCIONE, A. R.; CARVALHO, C.S. Disponibilidade e mineralização do nitrogênio após aplicações sucessivas de lodo de esgoto no solo, estimadas por meio de incubação anaeróbica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.50, n.4, p.333-342, 2015.