

III-362 – GERAÇÃO DE COMPOSTO ORGÂNICO A PARTIR DA COMPOSTAGEM DO LODO DE RECICLAGEM DE PAPEL

Ivie Emi Sakuma Kawatoko⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP). Mestranda em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP).

Maria Cristina Rizk

Engenheira Química. Mestre em Engenharia Química. Dra. em Engenharia Química. Professor Assistente Doutor da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – campus de Presidente Prudente – Departamento de Planejamento, Urbanismo e Ambiente.

Endereço⁽¹⁾: Av. Trabalhador São Carlense, 400 São Carlos- SP – Brasil Tel (18) 8128-6376 e-mail: iviesk@hotmail.com

RESUMO

O lodo gerado na reciclagem de papel apresenta-se como uma massa fibrosa de cor acinzentada, classificado como resíduo classe IIA – não inerte. No passado, as indústrias adotavam os aterros como forma de disposição final. Porém, atualmente, as empresas vêm buscando alternativas de uso mais nobres para esses resíduos, como o tratamento para serem utilizados como insumos em outros processos e produtos, com o intuito de evitar ou reduzir passivos ambientais. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo o estudo do tratamento do lodo da ETE de reciclagem de papel por meio da construção, operação e monitoramento de leiras de compostagem. Devido às características intrínsecas do lodo, como baixa relação C/N e alto teor de nitrogênio, houve a necessidade de se acrescentar resíduos de poda e capina (RPC) e bagaço de cana (BC) nos experimentos, para atingir valores adequados à compostagem. Ao final do processo, a leira de lodo com RPC gerou um composto orgânico, potencialmente utilizável como fertilizante, que atende aos valores estabelecidos pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, instituído pela Instrução Normativa nº 25 de 23/07/2009.

PALAVRAS-CHAVE: lodo, papel, compostagem.

INTRODUÇÃO

De acordo com dados da BRACELPA (2009), entre os principais produtores mundiais de celulose e papel, o Brasil é referência internacional nesse setor, por suas práticas sustentáveis. Nesse contexto, a reciclagem do papel é um importante aspecto da filosofia preservacionista, que resulta em benefícios tanto para as empresas como para a coletividade, já que economiza energia e aproximadamente 10 árvores por tonelada de papel reciclado.

A reciclagem consiste no aproveitamento das fibras celulósicas do papel velho e sua incorporação na fabricação de novos papéis, semelhante ao processo de obtenção de papel a partir de fibras virgens, sendo que a principal diferença está na depuração de aparas. De uma maneira geral, o papel reciclado no Brasil tem como destino a produção de embalagens (68%) e a produção de papel *tissue* da linha higiênica (10 a 12%), que utiliza aparas claras (BRACELPA, 2009).

Apesar disso, as indústrias que fabricam papel reciclado ainda geram elevadas quantidades de resíduos, também denominados lodos de estações de tratamento de efluentes (ETE). A composição química desses lodos provenientes da reciclagem de papel é afetada pelas características das aparas que chegam à indústria, em especial a concentração de tinta, sendo que as aparas podem ser divididas em dois grupos: apara natural (jornais, revistas, papelão) e apara branca (folhas brancas de papel). Paralelamente, de acordo com o tipo de material reciclado, há mudanças na composição química dos rejeitos (BALBINOT *et al.*, 2006).

O lodo de aparas apresenta característica de uma massa fibrosa de cor acinzentada, sendo classificado como resíduo classe IIA – não inerte (ABNT. NBR10004, 2004). A maioria das indústrias geradoras desse tipo de lodo adotava os aterros como forma de disposição final. Porém, atualmente, as empresas vêm buscando alternativas de uso mais nobres para esses resíduos, como a reciclagem dentro do próprio processo, além do

tratamento e/ou classificação para serem utilizados como insumos em outros processos e produtos, com o intuito de evitar ou reduzir passivos ambientais (BALBINOT *et al.*, 2006).

Nesse sentido, se torna interessante o estudo de processos que reduzam o volume de resíduos a serem dispostos no ambiente, bem como o estudo de alternativas que visem o tratamento desse tipo de resíduo.

Portanto, o presente trabalho teve como objetivo gerar um composto orgânico a partir da compostagem do lodo gerado em uma estação de tratamento de efluentes de uma indústria de reciclagem de papel.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos de compostagem foram realizados no campus da FCT/UNESP e o método de compostagem adotado foi o de pilhas aeradas, cujo revolvimento ocorreu manualmente. O estudo foi realizado em pequena escala, com as seguintes dimensões das leiras: 1,0m de largura x 1,0m de comprimento x 1,0m de altura.

Na ocorrência de precipitações pluviométricas, as leiras eram cobertas com lonas plásticas, a fim de se evitar a influência da penetração de água nestas, bem como nos períodos secos, adicionou-se água às leiras de compostagem.

Para a realização dos experimentos, foram construídas duas leiras sobre lonas plásticas, sendo que os resíduos foram dispostos em camadas nessas leiras. As leiras foram construídas com lodo do tratamento de efluentes de uma indústria de reciclagem de papel misturado com diferentes materiais, a fim de se ajustar alguns parâmetros operacionais do processo de compostagem.

Assim, para se ajustar os parâmetros umidade, teor de carbono e nitrogênio do resíduo, foi construída uma leira com a adição de bagaço de cana (BC) e outra leira com a adição de resíduos de poda e capina (RPC) ao lodo da ETE.

O bagaço de cana foi coletado em uma usina de açúcar e álcool e os resíduos de poda e capina foram coletados nas próprias dependências da FCT/UNESP.

A composição das leiras foi de 50% em peso de lodo acrescido de 50% em peso de resíduo de poda e capina e 50% em peso de lodo acrescido de 50% em peso de bagaço de cana, sendo que os ensaios de compostagem tiveram duração de 60 dias.

Os parâmetros de compostagem foram monitorados quinzenalmente, sendo eles os seguintes: pH, umidade, matéria orgânica, cinzas, carbono orgânico, nitrogênio Kjeldahl e relação C/N. A temperatura foi medida em quatro pontos representativos, com termômetro. Nas duas primeiras semanas as medições foram diárias e posteriormente, a cada três dias, sendo utilizado como valor final a média dos pontos.

As metodologias empregadas para a determinação dos parâmetros estudados foram: pH, densidade, carbono orgânico e teor de umidade (KIEHL, 1985); nitrogênio Kjeldahl (NAIAL, 1985).

RESULTADOS

CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS

A Tabela 1 apresenta a caracterização do lodo gerado na estação de tratamento de efluentes de uma indústria de reciclagem de papel.

De acordo com a caracterização físico-química do lodo bruto, verifica-se que alguns parâmetros não atingiram um valor ideal para o início do processo de compostagem, como a umidade que deveria ser próxima a 50% e a relação C/N que deveria se situar na faixa de 20 a 30:1 (VON SPERLING, 2001).

A elevada umidade do lodo, 93,82%, durante o processo de compostagem possibilita uma alta produção de chorume, além de dificultar a aeração do sistema, o que pode levar a anaerobiose.

Tabela 1 - Caracterização do Lodo de Reciclagem de Papel

Parâmetros	Valores
Matéria Orgânica (%)	67,45
Umidade (%)	93,82
Resíduo Mineral Total (%)	32,55
Carbono Orgânico (%)	37,42
Nitrogênio (%)	3,19
Relação C/N	11,73
pH	6,95
Densidade (g/cm³)	1,1014

Tendo em vista essa limitação de uso aliada à baixa relação C/N, foram analisadas três composições geradas pela mistura do lodo (L), nas proporções de 40%, 50% e 60% em peso, respectivamente, com os resíduos de poda e capina (RPC), como pode ser verificado na Tabela 2.

Tabela 2 - Caracterização da Mistura de Resíduos

Parâmetros				
Resíduo	M.O (%)	N Kjeldahl (%)	Umidade (%)	C/N
40% L; 60% RPC	94,2	2,18	41,97	24,01
50% L; 50% RPC	92,7	2,29	53,01	22,49
60% L; 40% RPC	84,92	2,31	55,26	20,43

Lodo (L); Resíduos de Poda e Capina (RPC)

Paralelamente, foram analisadas também 3 composições geradas pela mistura do lodo (L) nas proporções de 40%, 50% e 60% em peso, respectivamente, com o bagaço de cana (BC), como pode ser verificado na Tabela 3.

Tabela 3 - Caracterização da Mistura de Resíduos

Parâmetros				
Resíduo	M.O (%)	N Kjeldahl (%)	Umidade (%)	C/N
40% L; 60% BC	97,48	1,55	56,23	34,94
50% L; 50% BC	93,91	1,67	65,91	31,24
60% L; 40% BC	93,66	1,71	71,54	30,43

Lodo (L); Bagaço de cana (BC)

Tanto as composições da mistura de resíduos efetuadas com lodo e resíduos de poda e capina, quanto às de lodo e bagaço de cana, apresentaram valores dos principais parâmetros relativamente próximos.

Tendo em vista que o objetivo geral do trabalho é o tratamento do lodo de reciclagem de papel, procurou-se optar pela composição que tratasse uma quantidade maior de lodo e fosse de mais fácil operação, dentro dos valores considerados ideais para a compostagem. Desta forma, foram construídas as leiras: 50 % de lodo de reciclagem de papel misturado a 50% de resíduo de poda e capina e 50% de bagaço de cana.

MONITORAMENTO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM

A evolução da temperatura, ao longo do tempo, de cada leira pode ser verificada na Figura 1, a qual também apresenta valores respectivos da temperatura ambiente, que foram obtidos através de medições em campo.

O pico máximo das temperaturas observadas foi de 55,7°C na leira 1 (50% L, 50% RPC) e 54,5°C na leira 2 (50% L, 50% BC), sendo que a partir do sétimo (7º) dia de compostagem, obtiveram-se valores de temperaturas mais estabilizados.

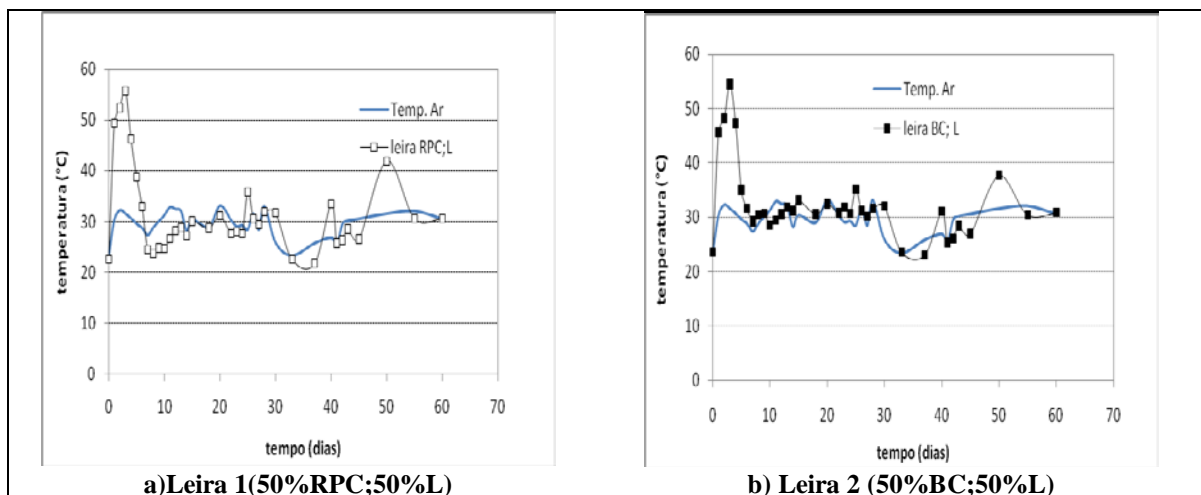


Figura 1 – Evolução da temperatura ao longo do tempo

A temperatura no decorrer do tempo não se elevou em demasia, provavelmente, devido ao tamanho reduzido das leiras, uma vez que de acordo com Pereira Neto (1989), quando as pilhas têm volume pequeno, o calor criado pelo metabolismo dos microrganismos tende a se dissipar e o material tem o aquecimento reduzido.

Acredita-se também que devido ao fato dos resíduos de poda e capina e do bagaço de cana apresentarem estrutura de degradação mais lenta, os microrganismos responsáveis pelo processo apresentaram um baixo metabolismo, fazendo com que as temperaturas não fossem tão elevadas.

Apesar das temperaturas não terem sido tão elevadas, acredita-se que as mesmas seriam suficientes para eliminar a grande maioria dos microrganismos patogênicos, que normalmente são poucos resistentes a temperaturas em torno de 50 e 60 °C. Acredita-se ainda, que havia uma baixa concentração de microrganismos patogênicos nas leiras estudadas, uma vez que em nenhum dos ensaios realizados foram utilizados resíduos com essas características, como, por exemplo, dejetos de humanos ou animais.

Os resultados obtidos no monitoramento da umidade podem ser observados na Figura 2.

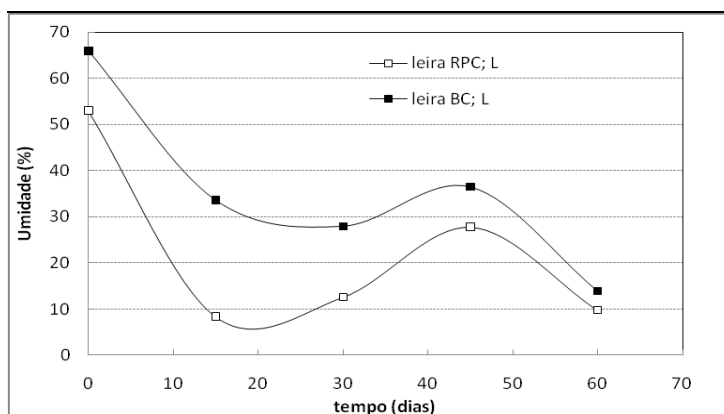


Figura 2 – Evolução da umidade ao longo do tempo

Houve uma queda brusca na umidade das leiras ao longo do tempo, fato notado principalmente na leira 1 (50% L, 50% RPC), em que os valores foram de 53,1% para 9,77%. Enquanto que na leira 2, os valores variaram de 65,91% para 13,93%. Devido a constatação desses teores de umidade, houve necessidade de ajustes, por meio da adição de água.

Devido ao fato das leiras perderem umidade constantemente, não houve formação de chorume ao longo do processo, o que se torna uma vantagem significativa na compostagem desses resíduos.

Kiehl (2002) afirma ainda que leiras de tamanho reduzido estão mais sujeitas a perda de umidade, comportamento semelhante ao verificado no presente trabalho.

Concomitantemente, a temperatura ambiente atua na perda de água por evaporação, influenciando assim na umidade. Tal fato pode ser confirmado pela grande variabilidade nos dados, ocasionada pela instabilidade climática e precipitações durante o processo de compostagem, já que os picos de umidade se situaram nos períodos chuvosos.

A Figura 3 apresenta os resultados obtidos no monitoramento do pH das leiras de compostagem ao longo do tempo.

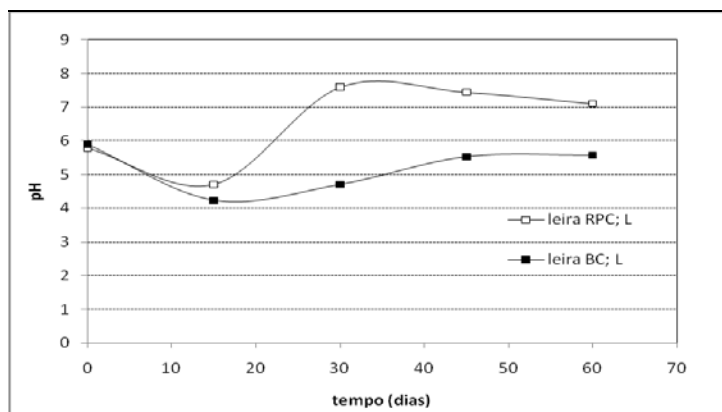


Figura 3 – Evolução do pH ao longo do tempo

Ao se observar os valores de pH medidos, constata-se que as análises apresentaram variações, sendo estas mais acentuadas na leira 1 (50% lodo e 50% de resíduos de poda e capina).

Von Sperling (2001) afirma que no início do processo de compostagem desenvolvem-se microrganismos que apresentam uma fermentação ácida e o pH torna-se mais baixo, o que é favorável à relação de amônia. Na fase seguinte, os ácidos são consumidos por outros agentes biológicos, elevando o pH. O composto orgânico deve ter um pH de, no mínimo 6,0. Geralmente, o composto curado humificado apresenta valores entre 7,0 e 8,0.

A afirmação descrita acima é comprovada pelo monitoramento de ambas as leiras, no entanto apenas a leira 1 apresentou valores de pH compatíveis com os de composto curado humificado, enquanto a leira 2 não apresentou o pH mínimo para composto orgânico.

Na Figura 4 estão apresentados os resultados obtidos no monitoramento do carbono orgânico das leiras de compostagem ao longo do tempo.

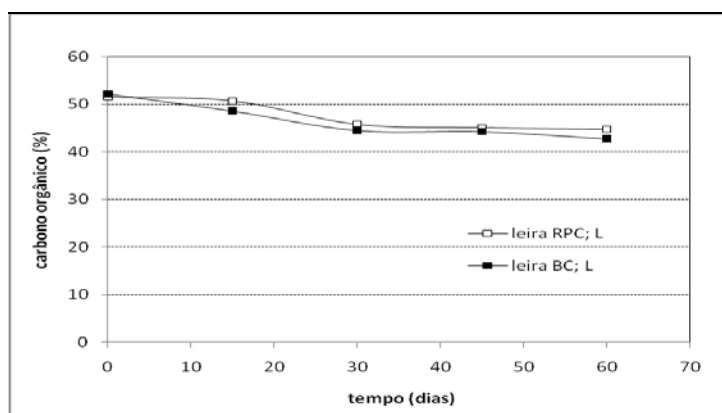


Figura 4 – Evolução do carbono orgânico ao longo do tempo

Constata-se que tanto na leira 1 como na 2, houve pouca redução no teor de carbono orgânico. Acredita-se que este fator possa estar ligado à redução da velocidade de compostagem pela presença de resíduos com alto teor

de celulose, no caso o lodo de reciclagem de papel, bem como aos elevados valores de lignina e celulose encontrados nos resíduos de poda e capina e bagaço de cana.

Houve uma redução de aproximadamente 12,18% e 18,02% de carbono orgânico nas leiras 1 e 2, respectivamente.

Os resultados obtidos no monitoramento do nitrogênio Kjeldahl podem ser verificados na Figura 5. De acordo com Jardim *et al.* (1995), a relação carbono/nitrogênio (C/N) desejável para o início da compostagem deve ser da ordem de 30/1. Ao longo do processo, ocorre um aumento do teor de nitrogênio, já que parte do carbono é transformada em gás carbônico (CO₂) e parte é usada para crescimento microbiano, o que gera menor perda de nitrogênio, que fica retido no material, na forma orgânica e inorgânica.

Tendo em vista esta colocação, os compostos gerados nas duas leiras apresentaram valores que comprovam tal afirmação, já que o teor de nitrogênio aumentou ao longo do tempo em 19,22% e 21,56%, nas leiras 1 e 2, respectivamente.

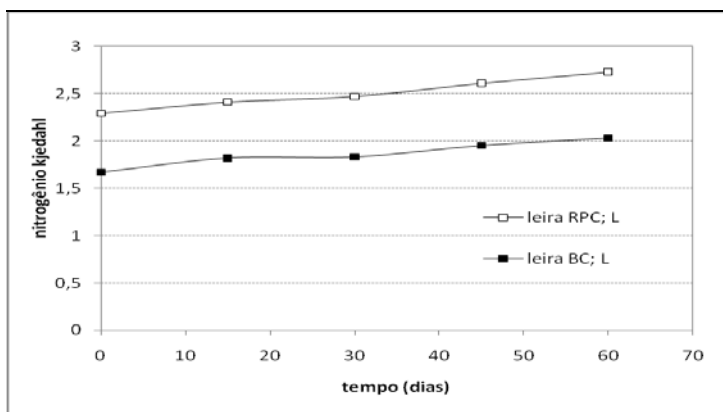


Figura 5 – Evolução do nitrogênio kjeldahl ao longo do tempo

A Figura 6 apresenta os resultados obtidos no monitoramento da relação C/N das leiras de compostagem ao longo do tempo.

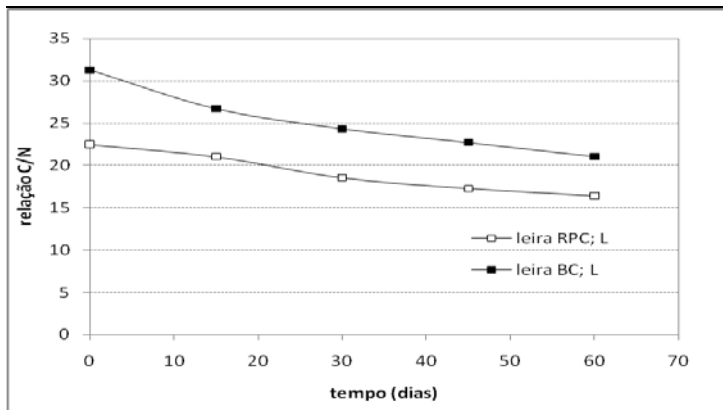


Figura 6 – Evolução da relação C/N ao longo do tempo

A partir das análises, pode-se verificar que houve uma redução da relação C/N em ambas as leiras ao longo do tempo, sendo que a leira 1 (resíduos de poda e capina e lodo) apresentou os melhores resultados, na qual a relação C/N foi reduzida para teores finais de 16,4.

De acordo com Jardim *et al.* (1995), pode-se avaliar o grau de maturidade do produto, através de determinações de carbono total (C) e oxidável, nitrogênio total (N) e amoniacal, e cálculo da relação C/N, que quando inferior a 18/1 indica que o composto está semicurado e inferior a 12/1, curado. Desta forma, pode-se concluir que a leira 1 foi capaz de produzir um composto orgânico semicurado.

Já na leira 2, a relação C/N alcançou redução de 32,55% com um teor final de C/N de 21,07. Assim, pode-se dizer que mesmo não atingido as recomendações para aplicação na agricultura como composto orgânico, houve uma boa eficiência do processo em termos de redução de carbono.

COMPOSTO FINAL

Na Tabela 4 podem ser visualizados os valores de densidade dos compostos orgânicos gerados.

Tabela 4 – Densidade dos compostos gerados

Material de análise	Densidade (g/cm ³)
Composto leira 1	0,96
Composto leira 2	0,99

De acordo com Kiehl (1985) a matéria orgânica reduz a densidade aparente do solo, trazendo benefícios e melhorando as características físicas do mesmo, sendo que em geral, os solos arenosos, de textura grosseira, apresentam densidade entre 1,4 e 1,6 g cm⁻³ e os solos argilosos, de textura fina, apresentam valores entre 1,2 e 1,4 g cm⁻³.

Ao se analisar os resultados obtidos, constata-se que o desenvolvimento dos processos de compostagem não influenciaram na densidade, tendo em vista que ambos os valores permaneceram próximos à densidade da água (1,0 g cm⁻³).

A Tabela 5 apresenta o rendimento dos compostos gerados, bem como a redução de massa de resíduos.

Tabela 5– Rendimento e redução de massa de resíduos

Ensaios	Massa Inicial (Kg)	Massa Final (Kg)	Rendimento (%)	Redução de resíduos (%)
L1 – 50% RPC; 50% L	100	23	23	77
L2 – 50% BC; 50% L	100	46,5	46,5	53,5

L = lodo; BC = bagaço de cana; RPC = resíduo de poda e capina

Verifica-se que ambas as leiras apresentaram uma significativa redução de massa, da ordem de 77% e 53,5% para as leiras 1 e 2, respectivamente. Portanto, caso não haja o interesse de reaproveitar o composto orgânico para a comercialização, sua disposição final em aterros também se torna viável, tendo em vista a significativa redução de massa devido ao processo de compostagem.

Na Tabela 6 encontram-se as características finais dos compostos gerados durante o presente trabalho, bem como os valores estabelecidos pela Instrução Normativa nº 25 de 23/07/2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2005), que determina as especificações técnicas para comercialização de fertilizantes orgânicos.

De acordo com tal classificação da Instrução Normativa, definiu-se o composto gerado em ambas as leiras como sendo pertencentes à Classe B, cuja produção utiliza matéria-prima oriunda do processamento de atividade industrial.

Tabela 6 – Caracterização do composto orgânico gerado

Composto orgânico	PARÂMETRO				
	Umidade (%)	N total (%)	Carbono Orgânico (%)	pH	C/N
L1 – 50% RPC; 50% L	9,77	2,73	44,77	7,57	16,4
L2 – 50% BC; 50% L	13,93	2,03	42,77	5,58	21,07
Composto orgânico Classe B	50(máx.)	0,5 (mín.)	15(mín)	6,0 (mín.)	20 (máx.)

^(*) Valores estabelecidos pela Instrução Normativa nº 25 de 23/07/2009

L = lodo; BC = bagaço de cana; RPC = resíduo de poda e capina

Observando-se os valores apresentados pode-se concluir que ambos os compostos gerados estão dentro dos limites estabelecidos em relação à porcentagem de umidade, carbono orgânico e nitrogênio.

O composto gerado na leira 1 poderia ser empregado na agricultura, no caso de comercialização, sem sofrer ajustes. Todavia, é importante salientar que o lodo gerado na indústria de reciclagem de papel pode apresentar certa quantidade de metais. Desta forma, mesmo não existindo parâmetros pré-estabelecidos referentes às concentrações de metais a serem aplicadas, mais investigações deveriam ser efetuadas nesse sentido.

O composto gerado na leira 2 não pode ser comercializado como fertilizante orgânico, visto que o pH se encontrou abaixo do mínimo exigido pela Instrução Normativa, bem como a relação C/N não foi atingida.

CONCLUSÕES

Após a realização do presente estudo, pode-se concluir que o tratamento biológico gerou ao final do processo de compostagem do lodo e resíduos de poda e capina, um composto orgânico passível de ser utilizado como fertilizante orgânico, visto que atendeu aos valores estabelecidos pelo Ministério da Agricultura, instituído pela Instrução Normativa nº 25 de 23/07/2009. No entanto, o composto gerado pelo lodo acrescido de bagaço de cana não atingiu os resultados esperados, tendo em vista que o pH se encontrou abaixo do mínimo exigido pela Instrução Normativa, bem como a relação C/N não foi atingida.

Assim, pode-se dizer que se o uso pretendido do lodo não for a disposição final em aterro industrial, mas sim a sua comercialização como composto orgânico, a compostagem torna-se uma interessante alternativa, já que além de gerar o fertilizante orgânico, representa uma expressiva redução de massa de resíduos a receber uma destinação, de forma a contribuir para o desenvolvimento da agricultura sustentável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL (BRACELPA). Papéis para fins sanitários. São Paulo, BRACELPA, 2009. Disponível em: http://www.bracelpa.org.br/bra/estatisticas/pdf/anual/papel_04.pdf. Acesso em: 14 de julho de 2009.
2. ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS. Resíduos sólidos – Classificação. NBR 10004, 2004.
3. BALBINOT JUNIOR, A.A.; TORRES, A.N.L.; FONSECA, J.A. da.; TEIXEIRA, J.R.; NESI, C.N. Alteração em características químicas de um solo ácido pela aplicação de calcário e resíduos de reciclagem de papel. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, Lages, v.5, n.1, p. 16-25, 2006.
4. BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa n. 23, de 31 de Agosto de 2005. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*. Poder Executivo, Brasília, 2005.
5. JARDIM, N.Z. *et al.* IPT/CEMPRE. Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado. São Paulo: IPT, 1995. 278 p.
6. KIEHL, E. J.. Manual de Compostagem: Maturação e qualidade do composto. Piracicaba: 3ª edição, 2002.
7. KIEHL, E. J. Fertilizantes Orgânicos. São Paulo: Editora Agronômica – CERES, 1985.
8. NAIAL – NORMAS ANALÍTICAS DO INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Métodos Químicos e Físicos para Análises de Alimentos. São Paulo: 3a edição, Editoração Débora D. Estrella Rebocho, 1985.
9. PEREIRA NETO, J. T. “Conceitos Modernos de Compostagem”, *Engenharia Sanitária*, v. 28, n. 3, pp. 104-109, 1989.
10. VON SPERLING, M. Lodo de esgotos. Belo Horizonte: DESA-UFMG. 2001.