



III-167 - EVITANDO A EMISSÃO DE METANO ATRAVÉS DA COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: ESTUDO DE CASO

Jorge Hamada⁽¹⁾

Prof. Adjunto do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia – Campus UNESP de Bauru. Engenheiro civil, mestrado e doutorado em hidráulica e saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos - USP, consultor na área ambiental especialmente para manejo de resíduos sólidos.

Celso Luiz da Silva

Prof. Adjunto do Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia – Campus UNESP de Bauru. Físico, Doutor em Engenharia Mecânica pela Escola Politécnica da USP. Consultor na área térmica e ambiental.

Endereço⁽¹⁾: Rua Martinha Dal Médico, n. 1-35, Cep: 17.018-150, Bauru – SP, Brasil. Fone: +55-14-3879-1017, +55-14-3103-6112, Fax: +55-14-3103-6101. E-mail: joha@feb.unesp.br.

RESUMO

As emissões descontroladas de gás provenientes de aterros para resíduos sólidos urbanos contribuem significativamente para o efeito estufa em vista dos seus grandes teores de metano. Uma das práticas que evitam as emissões desse gás é a compostagem, além de constituir uma prática comprovada de sustentabilidade ambiental pela possibilidade de retorno de nutrientes ao solo. O presente trabalho descreve a iniciativa de um município localizado no interior do Estado de São Paulo, Brasil, com uma população estimada de 60 mil habitantes, no desenvolvimento de um projeto visando à obtenção de créditos de carbono, através da compostagem. Para estimativa do potencial de geração de metano adotou-se a metodologia descrita por Oonk *et al* (1994). Constatou-se no desenvolvimento do presente trabalho, que a aplicação do projeto, visando somente os créditos de carbono não é compensadora em função da contrapartida para sua implantação. Contudo, a visão deve ser mais ampla e deve incluir a questão ambiental e o meio sócio-econômico. Dentro deste contexto, verificou-se que apesar da emissão evitada, convertida em créditos de carbono, não ser expressiva, os objetivos ambientais da implantação do processo de compostagem, trarão uma complementação fundamental às iniciativas já implementadas no município, para o gerenciamento dos resíduos, que incluem a coleta seletiva. Dentro dessa visão holística, conclui-se que a iniciativa de implantação da compostagem é vantajosa e deve ser implementada pelo município.

PALAVRAS-CHAVE: Compostagem, Créditos de Carbono, Gás Metano, Resíduos Sólidos Urbanos.

INTRODUÇÃO

De acordo com Bahr, T. *et al* (2006), as emissões descontroladas de gás provenientes de aterros para resíduos sólidos urbanos contribuem representativamente para o efeito estufa em vista dos seus grandes teores de metano. Como consequência da liberação de CH₄ o teor de metano atmosférico aumentou mais do que o seu dobro desde o início da industrialização. O atual aumento médio é de cerca de 1% ao ano. Em países emergentes e em desenvolvimento, a disposição de resíduos em lixões (sem contenção e coleta de gases e chorume) apresenta-se como uma prática relativamente comum de disposição de resíduos, como é o caso do município em questão.

Embora em países tropicais emergentes e em desenvolvimento exista um grande potencial para a degradação biológica de componentes de resíduos e as condições técnicas sejam de baixo custo, a utilização dessa fração biológica para o aproveitamento de biogás ou para a compostagem não ocorre significativamente.

Dentre as alternativas de tratamento e destinação final dos resíduos sólidos urbanos, a compostagem constitui uma prática comprovada de sustentabilidade ambiental pela possibilidade de retorno de nutrientes ao solo. A compostagem, aliada às técnicas preliminares de triagem de materiais e reciclagem, permitirão a redução drástica da descarga de resíduos no solo.

Além da grande importância da compostagem, para municípios de países em desenvolvimento, a aplicação controlada e monitorada desta prática, possibilita a obtenção de créditos de carbono, por evitar a geração e a



emissão do metano para a atmosfera. Como se sabe o metano apresenta um potencial de contribuição para o efeito estufa da ordem de 21 vezes maior que o gás carbônico.

O presente trabalho descreve a iniciativa de um município localizado no interior do Estado de São Paulo, Brasil, com uma população estimada de 60 mil habitantes, no desenvolvimento de um projeto visando à obtenção de créditos de carbono, pela redução de emissões de metano através da compostagem.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para estimativa do potencial de geração de metano e a concepção do projeto, visando a obtenção dos créditos carbono, empregou-se a metodologia do “Tipo III.F”, que trata da “produção de metano decorrente da decomposição da biomassa, evitada por meio de compostagem”, identificada nas Metodologias Indicativas Simplificadas de Linha de Base e de Monitoramento para Categorias Seleccionadas de Atividades de Projetos de Pequena Escala no Âmbito do MDL (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo) da UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change).

Para aplicação dos procedimentos descritos, efetuou-se um levantamento das características operacionais do sistema de coleta, processamento e destinação final dos resíduos municipais. Elaborou-se um balanço de massa, contemplando o fluxo dos diferentes tipos de resíduos, considerando-se as eficiências e características aferidas em campo.

O potencial anual de geração de metano pode é avaliado para diferentes metodologias. Em função da disponibilidade de dados compatíveis, sejam de campo como aqueles previamente sugeridos pelo IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), adotou-se a metodologia descrita por Oonk et al (1994), por resultar em valores mais consistentes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Linha de Base

Cenário da linha de base é a situação em que a ausência das atividades do projeto, a biomassa e matéria orgânica são degradadas emitindo metano para a atmosfera. Para realização dos cálculos, torna-se necessário obter dados os mais precisos possíveis, que permitam uma estimativa mais próxima da realidade. Para tanto, foi necessário elaborar um balanço de massa que permitisse visualizar o fluxo de resíduos.

A denominada “Usina de Lixo” existente no município em questão existe desde o início da década de 90, sendo que se encontra em funcionamento apenas a triagem, classificação e comercialização dos chamados recicláveis secos. A parte de compostagem praticamente inexistente. A quantidade de RSU - Resíduos sólidos urbanos foi estimada em 30,5 t/dia e sua composição média é mostrada na Tabela 1. Medições efetuadas durante o ano de 2007 fornecem os resultados mostrados Tabela 2 para os recicláveis secos.

Tabela 1: Composição média dos componentes dos RSU.

Componentes	Fração (%)
Recicláveis secos	40
Orgânica compostável	60

Tabela 2: Quantidades mensal de recicláveis secos.

Componentes	Quantidade
Total de recicláveis comercializados (média mensal)	148,06 t/mês
Cavaco de madeira (do picador de galhos)	16,82 t/mês
Total de recicláveis oriundos dos RSUs	131,24 t/mês
Recicláveis dos RSUs comercializados diariamente	4,4 t/dia

Os recicláveis provenientes dos RSUs são coletados de duas maneiras diferentes e passam por triagens em esteiras diferenciadas: coleta seletiva e coleta normal. As quantidades coletadas envolvidas nessas atividades são mostradas na Tabela 3.

**Tabela 3: Quantidades de resíduos coletados, separados e comercializados.**

Coleta	Natureza	Quantidade (t/dia)	Porcentagem em relação ao total
Coleta seletiva	Coletado	1,2	3,9%
	Comercializado	1,1	3,6%
	Rejeitos	0,1	0,3%
Coleta normal	Coletado	29,3	96,1%
	Comercializado	3,3	13,1%
	Rejeito secundário (refino do comercializado)	0,7	2,3%
	Rejeito primário	26,0	85,2%
Total	Rejeitos	26,1	85,6%
	Comercializado	4,4	14,4%

O material que passa pela esteira da coleta normal, é aquele que tem potencial para ser encaminhado para compostagem. Experimentos estão sendo realizados empiricamente na área da usina, visando a implantação da unidade de compostagem. Uma das iniciativas adotadas foi a aquisição de uma peneira rotativa, com o intuito de melhorar as características dos rejeitos advindos da esteira da coleta normal.

Portanto, a quantidade média estimada de resíduos, que estão sendo encaminhados para o aterro de RSU é 26,1 t/dia.

Parâmetros para Estimativa de Emissões de Metano

Para se quantificar os parâmetros da Linha de Base é necessário conhecer melhor os resíduos, essencialmente quanto sua composição em relação às frações orgânicas biodegradáveis. Para tanto, foram realizados ensaios que permitiram caracterizar os resíduos quanto aos seus componentes e enquadrá-los nos respectivos níveis de degradabilidade. Os resultados desses ensaios são mostrados na Tabela 4.

Tabela 4: Caracterização dos resíduos que deverão ser encaminhados para compostagem, a partir de 3 amostragens realizadas (A, B e C).

Materiais	Catego- ria	Massa aferida nas amostragens (kg)				Frações médias (%)
		A	B	C	Média	
Papel	L	19,5	11,0	9,0	13,2	5,00
Vidro	I	2,5	2,0	4,0	2,8	1,08
Metais	I	2,0	0,6	1,1	1,2	0,47
Plásticos	I	41,0	33,0	26,0	33,3	12,65
Tetrapack	L, I	1,5	1,5	3,0	2,0	0,76
Texteis	L	20,0	9,0	18,0	15,7	5,95
Madeira	L	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Isopor	I	0,25	1,0	1,5	0,9	0,35
“Orgânico”	R	152,0	172,0	104,0	142,7	54,15
Rejeitos	L,M,R,I	48,0	52,0	55,0	51,7	19,61
Total		286,8	282,1	221,6	263,5	100

Frações estimadas		
Cat	Espec.	Efetiva
L	50%	0,38%
I	50%	0,38%

L	40%	7,84%
M	20%	3,92%
R	10%	1,96%
I	30%	5,88%

L: Lentamente degradável; M: Moderadamente degradável; R: Rapidamente degradável; I: Inerte

Algumas categorias de materiais analisados nos trabalhos de campo não foram minuciosamente caracterizadas e foram efetuadas estimativas quanto aos percentuais.

A partir dessas informações, empregou-se a Ferramenta Metodológica baseada em Oonk et al (1994). A ferramenta citada fornece procedimentos para determinar o parâmetro denominado $BE_{CH_4,SWDS,y}$. Este representa o metano evitado durante o ano y , impedindo-se a disposição dos resíduos no aterro, durante o



período a partir do início da atividade do projeto até o final do ano y . A unidade é em tCO_2e (toneladas de gás carbônico equivalente).

O cálculo é baseado no modelo de decaimento de primeira ordem. O modelo diferencia os tipos de resíduos “j” pela taxa de decaimento k_j e as diferentes frações de compostos orgânicos biodegradáveis (DOC_j). O modelo calcula a geração de metano baseado no fluxo real de resíduos, $W_{j,x}$, dispostos em cada ano “x”, começando pelo primeiro ano após o início das atividades do projeto até o final do ano “y”, para o qual a linha de base é calculada ($x=1$ até $x=y$).

A quantidade de metano produzida na ausência do projeto ($BE_{CH_4,SWDS,y}$), é calculada por:

$$BE_{CH_4,SWDS,y} = \varphi \cdot (1 - f) \cdot GWP_{CH_4} \cdot (1 - OX) \cdot \frac{16}{12} \cdot F \cdot DOC_f \cdot MCF \cdot \sum_{x=1}^y \sum_j W_{j,x} \cdot DOC_j \cdot e^{-k_j \cdot (y-x)} \cdot (1 - e^{-k_j})$$

Em que:

$BE_{CH_4,SWDS,y}$:	é o metano evitado durante o ano y , impedindo-se a disposição dos resíduos no aterro, durante o período a partir do início da atividade do projeto até o final do ano y (tCO_2e);
φ :	Fator de correção do modelo que leva em conta as incertezas do modelo;
f :	Fração de metano capturado em flares, queimados ou empregados de outra maneira;
GWP_{CH_4} :	Potencial de aquecimento global do metano, válido para o período de comprometimento do projeto (tCO_2e/tCH_4);
OX :	Fator de oxidação que reflete a quantidade de metano dos resíduos sólidos dispostos no aterro, que é oxidada no solo ou outro material de cobertura;
F :	Fração volumétrica de gás metano nos resíduos sólidos que iriam para o aterro;
DOC_f :	Fração de carbono orgânico degradável (DOC), que pode se decompor;
MCF :	Fator de correção para o metano;
$W_{j,x}$:	Quantidade de resíduos orgânicos tipo j impedida de disposição no aterro no ano x (t);
DOC_j :	Fração de carbono orgânico degradável (em peso) nos resíduos tipo j ;
k_j :	Taxa de decaimento para os resíduos tipo j ;
j :	Categoria do tipo de resíduo
x :	Ano durante o período de crédito: x inicia-se no primeiro período de crédito ($x=1$), até o ano y para o qual as emissões evitadas são calculadas ($x=y$);
y :	Ano para o qual as emissões de metano são calculadas.

Os dados e parâmetros não monitorados sugeridos são mostrados na Tabela 5.

As frações biodegradáveis identificadas nos resíduos amostrados foram enquadradas para que fosse possível empregar as taxas de decaimento sugeridas pelo IPCC, considerando-se as condições e leituras locais, como mostrado na Tabela 6.

**Tabela 5: Dados parâmetros sugeridos pelo IPCC para aplicação da ferramenta metodológica.**

Parâmetro	Valor a ser aplicado	Observações
ϕ	0,90	Oonk et al. (1994)
f	0,0	O metano não é queimado ou empregado para qualquer fim
GWP_{CH_4}	21	Decisão do UNFCCC e protocolo de Kioto
OX	0,10	Local de disposição de resíduos, que recebe cobertura com solo
F	0,50	Valor padrão recomendado pelo IPCC
DOC_f	0,50	Valor padrão recomendado pelo IPCC
MCF	0,80	Site sem impermeabilização, com cobertura diária, compactada, camada de resíduos superior a 5 m e nível d'água subterrâneo próximo da superfície.
DOC_{j_1}	0,313*	IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (*) Valor ponderado
DOC_{j_2}	0,200	
DOC_{j_3}	0,150	
k_{j_1}	0,07	
k_{j_2}	0,17	
k_{j_3}	0,40	
y	7	Ano para o qual a emissão de metano é calculada (final)
j_1	Lentamente degradável (papel, papelão, têxteis, madeira)	
j_2	Moderadamente degradável (podas e restos de jardim)	
j_3	Rapidamente degradável (alimento)	

Tabela 6: Taxa de decaimento, k_j (condições tropicais úmidas), massa média estimada de resíduos orgânicos e respectivas frações biodegradáveis.

Categoria	Tipo	k_j	Resíduos		Fração biodegradável ponderada (úmida)
			% Peso	Massa (t/ano)	
Lentamente Degradável	Papel, polpa, papelão, têxteis	0,07	19,17%	1.280	31,3%
	Madeira, derivados e palha	0,035	0,00%	-	-
Moderadamente degradável	Restos de jardim e parques	0,17	3,92%	262	20,0%
Rapidamente degradável	Restos de alimento	0,4	54,15%	3.617	15,0%
			77,23%	5.159	

Cálculo das Emissões

Na Tabela 7 apresenta-se o cálculo das reduções de emissões futuras, relativas ao CO₂ equivalente pelo metano evitado na disposição final que é o aterro sanitário, considerando-se os parâmetros definidos e adotados previamente.



Tabela 7: Cálculo do potencial de metano gerado pelos resíduos na ausência do projeto entre 2009 e 2015.

Parâmetro	Unidade	x	y						
			2.009	2.010	2.011	2.012	2.013	2.014	2.015
BE _{CH4,SWDS,x}	t.CO ₂ e	2009	1.496	1.065	769	566	426	328	259
		2010		1.528	1.085	783	576	433	334
		2011			1.556	1.105	798	587	441
		2012				1.585	1.126	812	598
		2013					1.615	1.147	827
		2014						1.644	1.168
		2015							1.675
BE _{CH4,SWDS,y}	t.CO ₂ e		971	1.679	2.208	2.615	2.939	3.206	3.433

GWP _{CH4}			21	21	21	21	21	21	21
φ			0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
f			0	0	0	0	0	0	0
OX			0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
F			0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
DOC _f			0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
MCF			0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
j ₁									
W _{j,x}	t		1.280	1.304	1.328	1.353	1.378	1.403	1.429
DOC _j			0,313	0,313	0,313	0,313	0,313	0,313	0,313
k _j			0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
j ₂									
W _{j,x}	t		262	267	272	277	282	287	292
DOC _j			0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
k _j			0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
j ₃									
W _{j,x}	t		3.617	3.684	3.752	3.821	3.892	3.964	4.037
DOC _j			0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
k _j			0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4

Contudo, para o cálculo final, deve ser considerado o aumento das emissões provocadas pelos equipamentos associados à implantação do projeto. As emissões da atividade do projeto incluem:

- Emissões de CO₂ devido ao aumento da distância entre:
 - Os pontos de coleta de biomassa e do site de compostagem, comparado com o site de disposição de resíduos sólidos da linha de base;
 - O site de compostagem e o local de aplicação do composto.
- Emissões de CO₂ a partir do uso de energia de combustíveis fósseis empregados nas atividades de projeto, que pode incluir energia gasta na aeração e/ou reviramento de leiras e trituração da biomassa para redução de tamanho, peneiramento e secagem.

Na Tabela 8 apresenta-se a síntese de reduções considerando-se que as atividades envolvidas no projeto que será implantado vão gerar emissões pelo emprego de equipamentos e deslocamento maior de veículos envolvidos. Observe-se que foram subtraídas as emissões efetivas de CO₂, em função do incremento de atividades geradas pela implantação do projeto (equipamentos e veículos).



Tabela 8: Síntese das reduções com implantação da compostagem em t.CO₂ equivalente considerando o primeiro período de crédito de 7 anos.

Parâmetro	Ano						
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Redução eq. metano	971	1.679	2.208	2.615	2.939	3.206	3.433
Emissões do projeto	189	191	193	194	196	198	200
Redução Líquida	782	1.488	2.015	2.421	2.743	3.008	3.233
Equivalente monetário* (€)	11.729	22.320	30.228	36.309	41.141	45.114	48.493

* Estimativa com base no valor comercial de 15 €/t.CO₂ equivalente.

Para efeito comparativo, estimou-se a quantidade de metano que seria gerado na ausência do projeto, considerando-se os respectivos resíduos em diferentes períodos (7 anos cada), como mostrado na Figura 1.

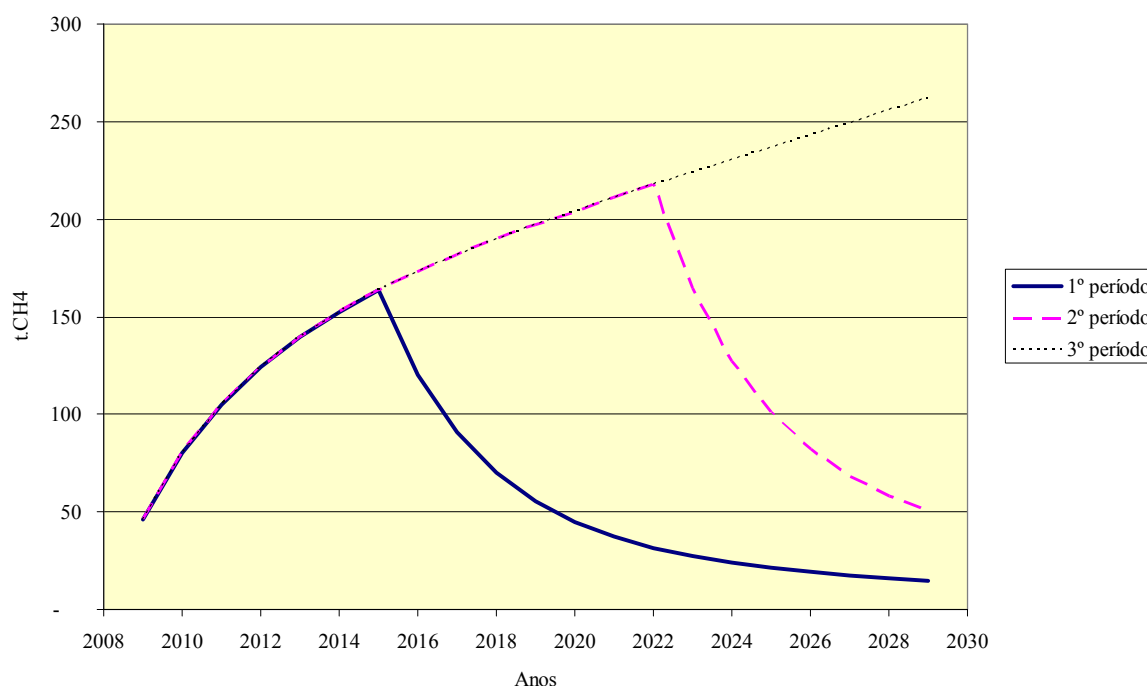


Figura 1: Estimativas do potencial de metano que seria gerado no aterro, para diferentes períodos (1º período = solicitado atual).

CONCLUSÕES

É comum que os empreendedores visualizem um retorno financeiro significativo, na forma de créditos carbono, através da implantação de projetos de MDL. Normalmente tais recursos tornam-se a mola mestra que dispara a implantação de um projeto desta natureza. Também é comum que se coloque a emissão de metano para atmosfera, como a questão mais crítica da destinação dos resíduos sólidos urbanos.

Contudo, constatou-se no desenvolvimento do presente trabalho, que a visão deve ser mais ampla e que a questão ambiental também envolve o meio sócio-econômico. Dentro deste contexto, verificou-se que apesar da emissão evitada, convertida em créditos de carbono, não ser expressiva, os objetivos ambientais da implantação do processo de compostagem, trazem uma complementação fundamental às iniciativas já implementadas no município, para o gerenciamento dos resíduos, que incluem a coleta seletiva. Ainda, a própria triagem e comercialização de materiais recicláveis, que se sucedem, trazem concretamente benefícios sociais e ambientais, uma vez que a reciclagem, na grande maioria das vezes, é uma atividade que poupa não somente recursos naturais, mas também energia, além de ser menos poluente.



A própria compostagem, com aplicação do composto, é um processo ambientalmente sustentável, pelo retorno saudável de nutrientes ao solo. Na análise desse conjunto de ações, têm-se como bônus os créditos de carbono, que são crescentes ao longo dos anos, e cria-se também a possibilidade de comercialização do composto.

Dentro dessa visão holística, conclui-se que a iniciativa de implantação da compostagem é vantajosa e deve ser implementada pelo município.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Bahr,T.; Fricke,K.; Hillebretch,K.; Kölsch,F. e Reinhard,B.; “Clean Development Mechanism – Tratamento de Resíduos Sólidos e Oxidação do Gás Metano para Minimização de Emissões”; in [www.resol.com.br/trabtec 3.asp?id=1589](http://www.resol.com.br/trabtec3.asp?id=1589); 2006.
2. Oonk H., Weenk A., Coops O., Luning L. (1994) Validation of landfill gas formation models; EWAB 9427; NOVEM, Utrecht, The Netherlands. Citado como “Tool to determine methane emissions avoided from dumping waste at a solid waste disposal site” (version 02) EB 35.