

## II-349 - INFLUÊNCIA ECONÔMICA DA EFICIÊNCIA DA SECAGEM TÉRMICA SOBRE A DISPOSIÇÃO FINAL DO LODO DE ESGOTOS EM ATERRO SANITÁRIO

**Patricia Schroeder<sup>(1)</sup>**

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Mestranda em Recursos Hídricos na COPPE/UFRJ.

**Isaac Volschan Junior**

D.Sc., Professor Adjunto do Departamento de Recursos Hídricos e Meio Ambiente da Escola Politécnica da UFRJ.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Getúlio Vargas, 130/301 – Centro – Rio Bonito – RJ – CEP: 28800-000 – Brasil – Tel: +55 (21) 2734-1093 – e-mail: [schroeder@poli.ufrj.br](mailto:schroeder@poli.ufrj.br)

### RESUMO

O trabalho tem como objetivo apresentar um modelo de avaliação econômica da influência que o emprego da secagem térmica, em função da eficiência que promova em termos do teor de sólidos do lodo seco, exerce sobre os custos de disposição final em aterros sanitários. O trabalho tem como referência um estudo de caso hipotético para a população de 1.000.000 de habitantes. O emprego da secagem térmica mostrou-se viável economicamente, exceto para o teor de sólidos de 50%.

**PALAVRAS-CHAVE:** Secagem térmica, Lodo, Transporte, Aterro sanitário, Biogás.

### INTRODUÇÃO

Perante o inevitável crescimento da população atendida por sistemas de esgotamento sanitário e do consequente aumento da geração de lodo pelas estações de tratamento de esgotos, o setor de saneamento se encontra diante do desafio de otimizar técnica e economicamente o processamento e a destinação final deste resíduo.

No Brasil, o tratamento da fase sólida consiste usualmente de adensamento, digestão anaeróbia, desaguamento e produção de tortas para disposição em aterros sanitários. Entretanto, com a redução da vida útil dos aterros em operação e da disponibilidade de áreas livres para receber o lodo, torna-se imperativo buscar alternativas ao gerenciamento do lodo atualmente realizado no país. Entre elas incluem-se as melhorias no tratamento do lodo, de forma a reduzir volumetricamente a quantidade a ser disposta nos aterros, e as novas opções de destinação final.

Entre as possíveis soluções para o destino final do lodo, citam-se:

- Disposição em aterros sanitários ou exclusivos;
- Incineração;
- Co-incineração;
- Lançamento no oceano;
- Uso agrícola;
- Uso florestal;
- Produção de composto ou fertilizante;
- Recuperação de áreas degradadas;
- Incorporação à fabricação de cimento e produtos cerâmicos;
- Recuperação de materiais (agregado leve, fósforo, nitrogênio, ácidos voláteis, biopesticidas e biopolímeros).

Existem ainda tecnologias estabelecidas de conversão do lodo em gás e óleos combustíveis. Estas têm como objetivo principal a geração de energia, mas também transformam o lodo em cinzas. Alemanha, Japão e França são países que atualmente fazem uso dessas tecnologias de conversão.

A decisão da melhor opção de destino final do lodo gerado em uma estação de tratamento de esgotos deve considerar aspectos técnicos, ambientais, econômicos e legais. Quantidade e qualidade do lodo produzido; tecnologias disponíveis; legislação pertinente; custos de investimento, operação, manutenção e transporte e impactos ambientais associados são exemplos de aspectos a serem considerados nos estudos de avaliação.

Diante disso, este trabalho procurou analisar o impacto econômico da inclusão da secagem térmica nas etapas de gerenciamento do lodo. Atualmente, esse processo tem se mostrado como tecnologia bem-sucedida na redução do volume do lodo, através da maximização da remoção por evaporação da água presente no lodo. A essa redução volumétrica, estão associados menores demandas por área nos aterros sanitários e, também, menores custos com transporte e disposição final.

Os principais benefícios da secagem térmica do lodo são:

- Redução significativa no volume do lodo;
- Redução no custo de transporte e estocagem (quando for o caso);
- Produto estabilizado facilmente estocado, manuseado e transportado;
- Produto final praticamente livre de patógenos;
- Preservação das propriedades agrícolas do lodo;
- Não há necessidade de equipamento especial para uso na agricultura;
- Produto pode ser incinerado ou disposto em aterro sanitário;
- Produto pode ser ensacado e distribuído pelo comércio varejista.

Outra vantagem é a possibilidade de uso do lodo seco como bio-sólido e condicionador de solos agrícolas e florestais, ou como material combustível para incineradores de resíduos ou de fornos da indústria cimenteira devido ao alto poder calorífico.

## METODOLOGIA

Tendo como objetivo principal deste trabalho a avaliação do impacto econômico da implantação da secagem térmica nos custos de disposição em aterros sanitários do lodo proveniente de ETE's, foram desenvolvidos diferentes cenários para o gerenciamento do lodo.

Inicialmente, analisou-se a manutenção do procedimento atualmente empregado pela maioria das companhias de saneamento, produção de tortas para a destinação final, e as consequências de sua manutenção ao longo dos próximos vinte anos. Em seguida, passou-se à análise das consequências da implantação da secagem térmica distintamente, de modo a atingir diferentes teores de sólidos, a fim de identificar o melhor cenário técnico-econômico.

O modelo econômico é constituído por parcelas relativas aos custos de capital (CAPEX) e de operação e manutenção (OPEX) das rotas de processamento e de disposição final do lodo, assim como por parcela relativa à receita advinda da geração de energia elétrica a partir do aproveitamento do biogás excedente à demanda exercida pela unidade de secagem térmica, como indica a Equação 1 seguinte.

O balanço de energia implícito ao modelo considera que, prioritariamente, o biogás venha ser utilizado para manutenção de condições mesofílicas das próprias unidades de digestão anaeróbia (mistura e aquecimento do lodo), e que a parcela excedente seja utilizada como combustível para secagem térmica.

$$C_{\text{total}} = C_{\text{CAPEX}} + (C_{\text{OPEX}} - R_{\text{eletricidade}}) \text{ valor presente} \dots \dots \dots \text{Equação 1}$$

Assim, enquanto o  $C_{\text{APEX}}$  é somente devido a aquisição da(s) unidade(s) de secagem térmica, o OPEX incorpora custos relativos a pessoal, operação, manutenção, insumos, transporte do lodo, e disposição final em aterro sanitário, como indica a Equação 2 seguinte.

$$C_{\text{CAPEX}} = C_{\text{pessoal}} + C_{\text{operação}} + C_{\text{manutenção}} + C_{\text{insumos}} + C_{\text{depreciação}} + C_{\text{transporte}} + C_{\text{aterro sanitário}} \dots \dots \dots \text{Equação 2}$$

A formulação do modelo também incorpora as seguintes premissas:

- A quantidade de unidades de secagem térmica necessária é determinada com base na especificação de módulo com capacidade de 3.000 kgH<sub>2</sub>O evaporada/h, para o caso de equipamentos baseados em transferência de calor por contato (massa de lodo em contato com a superfície aquecida do secador), dos tipos disco ou tambor rotativo indireto, para a secagem do lodo segundo valores desde até 40% de TS; seu custo de capital para aquisição e montagem é de R\$ 6.000.000,00;
- O custo específico relativo a equipe de pessoal ( $C_{\text{pessoal}}$ ) para operação e manutenção da unidade de secagem térmica obedece ao valor mensal de R\$ 20.754,38, incluindo encargos, e equivale a equipe de 1 engenheiro supervisor e 4 operadores (encarregado geral, processo, eletricitista, mecânico), independente da quantidade de unidades de secagem;
- Outros custos anuais específicos de operação da unidade de secagem térmica ( $C_{\text{operação}}$ ) têm como referência o valor de 2% do custo de capital relativo às partes eletromecânicas da unidade, da ordem de 45% do custo de aquisição da unidade no modelo “turn key”;
- Os custos anuais específicos de manutenção ( $C_{\text{manutenção}}$ ) da unidade de secagem térmica têm como referência o valor de 10% do custo de capital relativo às partes eletromecânicas da unidade, da ordem de 45% do custo de aquisição da unidade de secagem térmica no modelo “turn key”;
- Os custos relativos aos insumos necessários ao processo ( $C_{\text{insumos}}$ ) resumem-se no custo de energia elétrica (R\$ 0,20/kWh) e de água potável (R\$ 0,80/m<sup>3</sup>);
- A demanda de energia elétrica exercida pela secagem térmica é prioritariamente suprida pela energia gerada através de turbinas; no caso, somente a energia elétrica gerada em excesso encontra-se contabilizada para fim de geração de receita ( $R_{\text{eletricidade}}$ : venda no mercado), sendo atribuída receita específica de R\$ 30/MWh;
- O custo anual relativo à depreciação das instalações da unidade de secagem térmica ( $C_{\text{depreciação}}$ ) tem como referência para cálculo exclusivo da depreciação o período de 15 anos;
- Os custos de transporte para o aterro sanitário ( $C_{\text{transporte}}$ ), têm como referência o valor médio de R\$ 0,47/tonelada úmida.km;
- O custo específico de disposição final do lodo no aterro sanitário ( $C_{\text{aterro sanitário}}$ ) tem como referência o valor de R\$ 80,00 por tonelada úmida;
- O estudo econômico tem como referência o horizonte de projeto de 20 anos e, para conversão do OPEX ao valor presente, foi adotada a taxa de desconto de 12%.

O exemplo de aplicação do modelo estabelece como estudo de caso, a geração de 35 tSST/d (massa seca de lodo), equivalente ao lodo desidratado (teor de sólidos de 30%) gerado por uma população equivalente de 1.000.000 de habitantes.

Quanto ao aproveitamento de biogás, não se propôs aqui qualquer modificação física nas etapas de digestão anaeróbia mesofílica. O que se pretendeu foi dar duas opções de uso para o biogás que, normalmente, é liberado diretamente para a atmosfera: a produção de eletricidade por meio de turbinas e a utilização nos processos subsequentes do gerenciamento do lodo das ETE's.

As hipóteses de emprego de etapa de secagem térmica do lodo fazem referência ao alcance de 50, 75 e 90% de teor de sólidos, em contraponto a hipótese de não empregar a tecnologia, e dispor o lodo desidratado contendo somente 30% de teor de sólidos. Em todos os casos, para efeito de cotejamento, foram simulados cenários de distâncias de 10, 25 e 50 km, compreendidas entre a unidade de secagem térmica e o aterro sanitário.

Todo o modelo encontra-se desenvolvido em planilha eletrônica Excel®, sendo as principais equações utilizadas para sua formulação apresentadas na Tabela 1.

A Tabelas 2 e 3 indicam, respectivamente, parâmetros operacionais das unidades de digestão anaeróbia e secagem térmica, adotados para a execução dos balanços de massa e de energia de cada um dos cenários sugeridos.

**Tabela 1: Equações utilizadas no modelo de avaliação econômica.**

Parâmetro	Equação	Terminologia
Produção de biogás (Nm³)	$P_{\text{biogás}} = p_{\text{biogás}} \cdot \text{MSV}_{\text{dest}}$	$p_{\text{biogás}}$ é a produção específica de biogás (m³/kgSVd)
		$\text{MSV}_{\text{dest}}$ é a massa de sólidos voláteis destruída (kgSVd)
Energia (+) por biogás (70% de CH <sub>4</sub> ) (MJ)	$E_{\text{biogás}} = \text{PC}_{\text{biogás}} \cdot P_{\text{biogás}}$	$\text{PC}_{\text{biogás}}$ é o poder calorífico do biogás em (MJ/Nm³)
Perda (-) de calor do lodo (MJ)	$C_{\text{lodo}} = \text{MS}_{\text{dig}} \cdot \varphi \cdot \Delta T_1$	$\text{MS}_{\text{dig}}$ é a massa seca afluyente ao digestor (kgSST)
		$\varphi$ é o calor específico da água (MJ/kg.°C)
		$\Delta T_1$ é a diferença entre as temperaturas interna ao digestor e do lodo bruto
Perda (-) de calor paredes do digestor (MJ)	$C_{\text{parede}} = \eta \cdot A \cdot \Delta T_2$	$\eta$ é o coeficiente de transferência de calor (MJ/s.m².°C)
		$A$ é a área das paredes do digestor (m²)
		$\Delta T_2$ é a diferença entre as temperaturas interna e externa ao digestor (°C).
Energia (-) bombeamento e mistura do lodo (MJ)	$E_{\text{bomb+mist}} = V_{\text{lodo}} \cdot E_{\text{bombeamento}} + V_{\text{digestor}} \cdot E_{\text{mistura}}$	$V_{\text{lodo}}$ é o volume de lodo afluyente ao digestor (m³)
		$E_{\text{bombeamento}}$ é a energia específica para bombeamento do lodo (MJ/m³)
		$V_{\text{digestor}}$ é o volume do digestor (m³)
		$E_{\text{mistura}}$ é a energia específica para mistura do lodo (MJ/m³)
Energia (-) secador térmico (Gcal/d)	$E_{\text{st}} = \text{MS}_{\text{st}} \cdot \beta \cdot \Delta T_3 + M_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \lambda$	$\text{MS}_{\text{st}}$ é a massa seca afluyente ao secador térmico (kgSST)
		$\beta$ é o calor específico do lodo seco (Mcal/t.°C)
		$\Delta T_3$ é a diferença entre as temperaturas do lodo seco e desidratado (°C)
		$M_{\text{H}_2\text{O}}$ é a massa de água a ser evaporada no secador
Biogás (-) secador térmico (Nm³)	$L_{\text{biogás}} = \frac{E_{\text{st}}}{\text{PC}_{\text{biogás}}}$	$\lambda$ é o calor latente de evaporação da água
Gás natural (-) secador térmico (Nm³)	$L_{\text{gás nat}} = L_{\text{biogás}} - P_{\text{biogás}}$	Já indicado
Gás quente (+) turbina (t)	$Q_{\text{gás quente}} = \text{GE}_{\text{gás quente}} \cdot P$	$\text{GE}_{\text{gás quente}}$ é a geração específica de gás quente (t/MWh)
		$P$ é a quantidade de energia elétrica gerada pela turbina (MWh)
Calor (+) turbina (Mcal)	$C_{\text{turbina}} = Q_{\text{gás quente}} \cdot \varphi \cdot \Delta T_4$	$Q_{\text{gás quente}}$ corresponde a quantidade de gás quente gerada na turbina (t)
		$\varphi$ é o coeficiente de geração de calor (Mcal/t.°C)
		$\Delta T_4$ é a diferença de temperatura entre o gás quente e o gás efluente
Geração de energia na turbina (Mcal/d)	$E_{\text{turbina}} = \text{BS} \cdot \eta$	$\text{BS}$ é o biogás excedente (diferença entre $P_{\text{biogás}}$ e $L_{\text{biogás}}$ ) (N/m³d)
		$\eta$ é o rendimento da turbina a gás (%)

**Tabela 2: Parâmetros Operacionais da Unidade de Digestão Anaeróbia**

Parâmetro	Valores Usuais <sup>a</sup>	Unidade	Valor Adotado
TS lodo bruto	3,0-5,0 <sup>b</sup>	%	3,0
Massa específica lodo bruto	1.005-1.010 <sup>b</sup>	kg/m <sup>3</sup>	1.009
Conversão de SV	40-55 <sup>a</sup>	%	50
Produção específica de biogás	0,8-1,1 <sup>a</sup>	m <sup>3</sup> /kgSV destruídos	1,1
Produção específica de biogás	0,4-0,7	m <sup>3</sup> /kgSV afluente	-
Produção específica de biogás	0,3-0,4	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> lodo afluente	-
CH <sub>4</sub> /biogás <sup>a</sup>	65-70 <sup>a</sup>	%	-
Poder calorífico específico do biogás (70% CH <sub>4</sub> )	22,5-25,0 <sup>b</sup>	MJ/m <sup>3</sup> biogás	20,93 <sup>d</sup>
Poder calorífico específico do biogás (70% CH <sub>4</sub> )	5.370-5.970 <sup>b</sup>	kcal/m <sup>3</sup> biogás	5.000 <sup>d</sup>
Poder calorífico específico do biogás (70% CH <sub>4</sub> )	6,25-10 <sup>a</sup>	kW/m <sup>3</sup> biogás	5,86 <sup>d</sup>
Poder calorífico específico CH <sub>4</sub>	35,8 <sup>b</sup>	MJ/m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>	-
Poder calorífico específico do gás natural	37,3	MJ/m <sup>3</sup> gás natural	-
Poder calorífico específico do gás natural	10,4	kW/m <sup>3</sup> gas natural	-
Produção de gás específica lodo primário	20 <sup>b</sup>	L/hab.d	-
Produção de gás específica lodo misto	30 <sup>b</sup>	L/hab.d	-
Poder calorífico específico do lodo bruto	15-25 <sup>a</sup>	MJ/kgSTbruto	-
Poder calorífico específico do lodo digerido	8,0-15,0 <sup>a</sup>	MJ/kgST lodo digerido	13
Poder calorífico específico do lodo digerido	5500 <sup>b</sup>	kcal/kgSV lodo dig.	5.500
Energia específica bombeamento lodo	-	MJ/m <sup>3</sup> lodo	1,8
Energia específica mistura lodo	-	MJ/m <sup>3</sup> digestor	0,3
Temperatura lodo bruto	-	°C	25
Temperatura digestor	-	°C	35
Coeficiente transferência de calor	2-5 <sup>a</sup>	J/s.m <sup>2</sup> .°C	3,0
Calor específico da água	4,2 <sup>a</sup>	kJ/kg.°C	4,2
Eficiência da CHP calor&eletricidade: calor	-	%	55
Eficiência da CHP calor&eletricidade: eletricidade	-	%	35

**Notas:**

<sup>a</sup> ANDREOLI, C. V., VON SPERLING, M., FERNANDES, F. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol. 6. Lodo de esgotos. Tratamento e disposição final. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG. Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR. 484 p. 2001

<sup>b</sup> JORDÃO, E. P; PESSÔA, C. A.. Tratamento de esgotos domésticos. Rio de Janeiro, SEGRAC. 4. Ed, 932p. 2005

<sup>c</sup> METCALF & EDDY. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. 4th ed. New York: McGraw-Hill Inc., 2003.

<sup>d</sup> Projeto Tietê/SABESP (ETEP/ESTÁTICA/JNS). Relatório R4 - Gestão dos Lodos, Relatório de Suporte à Decisão - Novas Tecnologias. 2002.

**Tabela 3: Parâmetros Operacionais da Unidade de Secagem Térmica**

Parâmetro	Valores Usuais <sup>a</sup>	Unidade	Valor Adotado
Teor de sólidos lodo desidratado	25-30	%	30
Calor específico lodo seco	-	Mcal/t.°C	0,40 <sup>b</sup>
Temperatura lodo desidratado	-	°C	20 <sup>b</sup>
Temperatura lodo seco	-	°C	110 <sup>b</sup>
Calor latente evaporação água	-	-	560 <sup>b</sup>
Consumo específico de energia elétrica	-	kWh/t H <sub>2</sub> O evaporada	65 <sup>c</sup>
Consumo específico de água potável	-	m <sup>3</sup> /t H <sub>2</sub> O evaporada	0,04 <sup>c</sup>
Eficiência do secador térmico	-	%	65 <sup>b</sup>
Poder calorífico inferior Gás Natural	-	kcal/Nm <sup>3</sup>	9.060 <sup>b</sup>
Geração específica de gás quente	-	t/MWh	15 <sup>b</sup>
Coeficiente geração calor	-	Mcal/t.°C	0,24 <sup>b</sup>
Temperatura gás afluente	-	°C	200 <sup>b</sup>
Temperatura gás quente	-	°C	500 <sup>b</sup>

**Notas:**

<sup>a</sup> ANDREOLI, C.V., VON SPERLING, M., FERNANDES, F. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol. 6. Lodo de esgotos. Tratamento e disposição final. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG. Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR. 484 p. 2001

<sup>b</sup> Projeto Tietê/SABESP (ETEP/ESTÁTICA/JNS). Relatório R4 - Gestão dos Lodos, Relatório de Suporte à Decisão - Novas Tecnologias. 2002.

<sup>c</sup> ANDRITZ. Informação técnica concedida mediante solicitação.

## RESULTADOS

A Tabela 4 resume os resultados do modelo de avaliação econômica da disposição final do lodo em aterro sanitário distante 10 km, para a condição de 30% de teor de sólidos – mediante somente a desidratação mecânica, e para 50, 75 e 90% de teor de sólidos – mediante emprego da secagem térmica.

**Tabela 4: Avaliação econômica das rotas de processamento e de destinação final do lodo – Cenário de 10 km (10<sup>6</sup> R\$).**

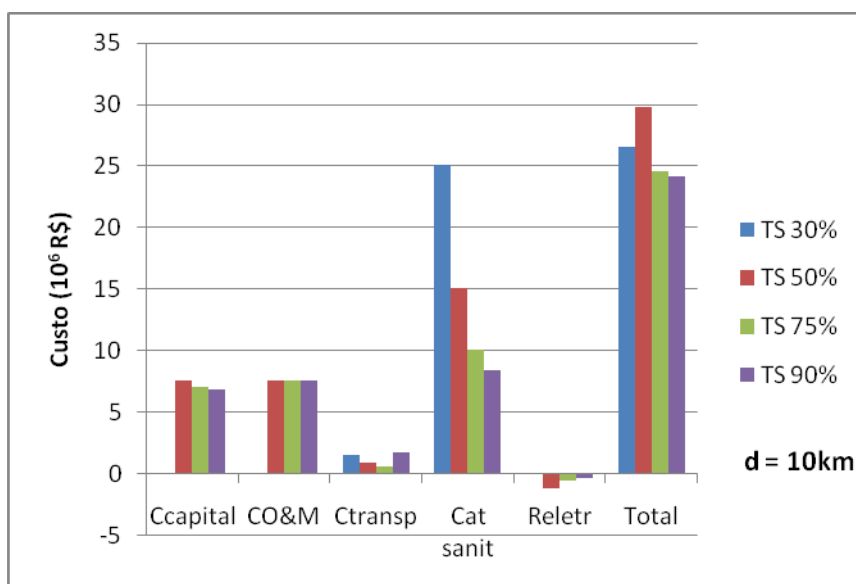
TS (%)	C <sub>capital</sub>	C <sub>peçoal</sub>	C <sub>operação</sub>	C <sub>manuten.</sub>	C <sub>insumos</sub>	C <sub>depreciação</sub>	C <sub>transp.</sub>	C <sub>at. sanitário</sub>	R <sub>eletricidade</sub>	Total
30	0	0	0	0	0	0	1,48	25,10	0,00	26,58
50	7,54	2,02	0,43	2,13	0,00	2,99	0,89	15,06	-1,25	29,80
75	6,99	2,02	0,43	2,13	0,01	2,99	0,59	10,04	-0,60	24,59
90	6,81	2,02	0,43	2,13	0,01	2,99	0,49	8,37	-0,38	22,86

Nota: valores negativos referem-se à receita advinda da comercialização da energia elétrica.

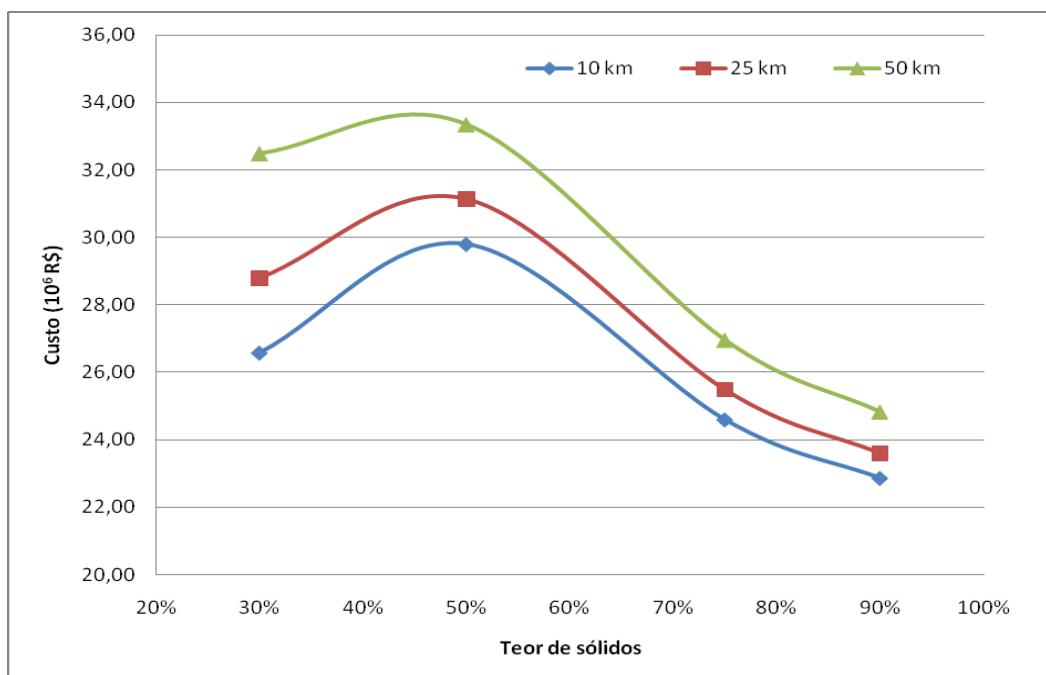
O gráfico da Figura 1 melhor ilustra os resultados apresentados na Tabela 2, podendo-se perceber que:

- A secagem térmica para 50% de teor de sólidos é o cenário mais desfavorável;
- Apesar de CAPEX/OPEX contribuírem para o incremento do custo total, há o benefício econômico advindo dos menores custos de transporte e de disposição final do lodo alcançados a partir do incremento do teor de sólidos para o caso de 75% e 90%;

- Não há custos com energia elétrica e com gás natural em todos os cenários que contemplam a secagem térmica, porque o biogás gerado na etapa de digestão supre toda a demanda de calor requerido e a geração de energia elétrica pelas turbinas com o excesso do biogás supre a demanda por energia elétrica;
- Contabilizados todos os custos, observa-se que o menor CAPEX/OPEX influencia o custo total relativamente menor da solução que envolve a maior eficiência de secagem térmica (90% de teor de sólidos);
- Porém, quando consideradas maiores distâncias de transporte, observa-se a influência que a secagem térmica exerce sobre o custo total da disposição final. Como ilustra o gráfico da Figura 2 e com base nos resultados dos balanços de massa e de energia aplicados, quanto maior a distância de transporte, maior é o seu custo relativo frente ao custo total da disposição final.



**Figura 1: Resumo dos custos relativos aos diferentes cenários para d = 10 km.**



**Figura 2: Custos totais x distâncias de transporte.**



## CONCLUSÕES

O modelo de avaliação econômica apresentado serve como importante ferramenta para o planejamento da destinação final do lodo de ETE's. Sua formulação contempla intervenções desde a unidade de digestão anaeróbia até a disposição final no aterro sanitário, explicitando que a concepção da fase sólida de uma ETE não deve ser dissociada da solução a ser empreendida para destinação final do lodo. Para o estudo de caso, objeto de aplicação do modelo, o emprego da secagem térmica mostrou-se viável economicamente, exceto para um teor de sólidos de 50%.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDREOLI, C.V., VON SPERLING, M., FERNANDES, F. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol. 6. Lodo de esgotos. Tratamento e disposição final. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG. Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR. 484 p. 2001.
2. JORDÃO, E. P; PESSÔA, C. A.. Tratamento de esgotos domésticos. Rio de Janeiro, SEGRAC. 4. Ed, 932p. 2005.
3. METCALF & EDDY. Wastewater Engineering: treatment and reuse. New York, McGraw-Hill Inc., 4. Ed, 1815p. 2003.
4. VON SPERLING, M.; GONÇALVES, R. F. Lodo de esgotos: características e produção. In: Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. Belo Horizonte, DESA/UFMG. 484p. 2001.
5. GONÇALVES, R. F.; LUDUVIC, M.; VON SPERLING, M. Avaliação de alternativas e gerenciamento do lodo na ETE. In: Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. Belo Horizonte, DESA/UFMG. 484p. 2001.
6. GWRC, Global Water Research Coalition. State of Science Report: Energy and Resource Recovery from Sludge. USA. WERF. 236p. 2008.
7. Projeto Tietê/SABESP (ETEP/ESTÁTICA/JNS). Relatório R4 - Gestão dos Lodos, Relatório de Suporte à Decisão – Novas Tecnologias. 2002.