

III-015 - RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: AVALIAÇÃO BASEADA NOS CONSÓRCIOS PÚBLICOS DO ESTADO DE SÃO PAULO

Nathalia Machado Simão⁽¹⁾

Doutora em Energia pela Universidade Federal do ABC (UFABC).

Francisco César Dalmo⁽²⁾

Doutorando em Energia pela Universidade Federal do ABC (UFABC). Professor da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM).

Silvia Azucena Nebra⁽³⁾

Professora Visitante do Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas da Universidade Federal do ABC (UFABC).

Paulo Henrique de Mello Sant'Ana⁽⁴⁾

Professor da Engenharia de Energia e do Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas da Universidade Federal do ABC (UFABC).

Endereço⁽¹⁾: Avenida dos Estados, 5001 - Santa Terezinha - Santo André - SP - CEP: 09210-580 - Brasil - Tel: (11) 4996-0000 - e-mail: nathalia.simao@ufabc.edu.br.

RESUMO

A principal fundamentação na qual se baseia esta pesquisa é evidenciada pela necessidade de coordenação técnica, política, econômica e socioambiental para a gestão de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) no Brasil e no Estado de São Paulo. Considerando que esta gestão é de incumbência dos municípios, e que a maior parte destes não tem dimensão adequada para realizar esta tarefa, sendo por tanto necessária a consumação de consórcios para encarar-la adequadamente, decidiu-se realizar um levantamento da situação atual dos arranjos consorciais paulistas vigentes na área ambiental (incluindo saneamento, resíduos, recursos hídricos, entre outros), considerando também a escala de geração de resíduos e a população total envolvida nos referidos consórcios. Foi também avaliado o potencial energético dos RSU que compõem tais consórcios considerando a possível aplicação de duas tecnologias diferentes: a de aproveitamento do gás de aterro em motor de combustão interna e de incineração com produção de energia elétrica num ciclo a vapor. Pretende-se que tais resultados disponibilizem informações significativas e incentivem a interação entre os diferentes agentes envolvidos nos arranjos intermunicipais. Espera-se que a caracterização e o cálculo do potencial energético estimulem estudos futuros acerca de novas abordagens consorciais que considerem a recuperação energética em seus projetos.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos Sólidos Urbanos, Recuperação Energética, Consórcios Públicos.

INTRODUÇÃO

O arcabouço legal do manejo e da gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil foi amparado pela instituição da Lei nº 12.305/2010, que estabeleceu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Dentre os objetivos da Lei (Art. 7º- item II), criou-se uma hierarquia para gestão dos RSU, que compreende a não geração, a redução, a reutilização, a reciclagem e o tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (1).

O relatório anual intitulado Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos - 2014 do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) mostra que 52,4% dos resíduos sólidos domiciliares coletados no país têm como destino final os aterros sanitários. O restante está dividido entre aterros controlados (13,1%), em lixões (12,3%), unidades de triagem e de compostagem (3,9%) e por fim a "massa sem informação" (18,3%) (SNSA, 2016). A amostragem de municípios pesquisados pelo SNIS representa 67,6% do total dos municípios brasileiros, ou seja, 3.765 dos 5.570 responderam à pesquisa (2).

De acordo com a Lei Nº 12.305/2010 e o Decreto Federal Nº 7.404/2010 que a regulamentação, ficou determinado no artigo 55, que a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos deveria ter sido implantada até 2014. No entanto “o objetivo – referindo-se à PNRS - não foi alcançado, fazendo com que ainda seja registrada a utilização de lixões em todas as regiões do país” (3, p.13).

De acordo com PNRS (1, p.4) ao Estado cabe, dentre outras funções, “promover a integração da organização, do planejamento e da execução das funções públicas de interesse comum relacionadas à gestão dos resíduos sólidos nas regiões metropolitanas, aglomerações urbanas e microrregiões”. Aponta também a necessidade de apresentar “medidas para incentivar e viabilizar a gestão consorciada ou compartilhada dos resíduos sólidos”, além de “apoiar e priorizar as iniciativas do município de soluções consorciadas ou compartilhadas entre dois ou mais municípios” (1, p. 4).

Em relação aos instrumentos (Art. 8º) da Lei Nº 12.305/2010, o inciso XIX incentiva a criação de consórcios entre os entes federados – municípios e estados – com objetivos de ganhar escala, reduzir custos e obter prioridade no recebimento de recursos da união para a gestão dos resíduos (1).

Cezar et al (4) realizaram um estudo sobre a participação de gestores municipais na PNRS onde concluíram que o envolvimento atendeu somente a demandas mínimas, específicas e convencionais. Segundo os autores, a falta de participação dos gestores públicos municipais em decisões a nível federal (como a PNRS), considerados neste contexto como agentes-chave, dificulta a compreensão por parte deles dos elementos necessários para a criação e incorporação à lei e por tanto sua participação ativa na sua implementação.

Em relação à destinação final ambientalmente correta, a PNRS também prevê a recuperação energética de RSU. Para tanto, as tecnologias empregadas devem ser viáveis técnica e ambientalmente, sendo que tanto o aproveitamento energético a partir do biogás de aterro sanitário quanto a partir da incineração dos RSU, tecnologias estudadas neste artigo, são exemplos de tecnologias adequadas a este fim.

Cabe destacar que para a implantação de tais tecnologias é necessário considerar o volume de resíduos que é produzido, pois, a viabilidade técnica e econômica destas plantas só será assegurada com uma quantidade mínima de resíduos, o que é determinante para a escala da planta e sua implantação.

Assim, considerando a importância da gestão consorciada e da geração de energia a partir dos RSU, o principal objetivo desta pesquisa é avaliar o potencial energético dos RSU que compõem os consórcios relacionados a meio ambiente que foram identificados no Estado de São Paulo.

CONTEXTUALIZAÇÃO

Formação de Consórcios Intermunicipais

Para a formação dos consórcios públicos os municípios devem se adequar a Lei Nº 11.107/2005, que dentre outras exigências, indica que o consórcio público deverá ser constituído por “contrato cuja celebração dependerá da prévia subscrição de protocolo de intenções” (5, p.1) e onde os objetivos são determinados pelos entes federativos, de forma horizontal entre município/município ou estado/estado ou de forma vertical entre município/estado ou município, estado e União (5 e 6).

Antes da publicação da Lei Nº 11.107/2005 havia certo consenso de que os consórcios públicos, assim como os convênios de cooperação, não adquiriam personalidade jurídica, mas sim que se configuravam como figura estratégica e se concentravam em discutir a melhor forma de administrar e potencializar a capacidade do setor público na execução de políticas relacionadas ao consórcio. Tratava-se de “acordos de vontades para a consecução de bens comuns” onde a melhor solução seria a de criar-se uma comissão executiva no intuito de assumir direitos e obrigações da gestão em nome de uma das pessoas jurídicas que compunham o consórcio (7, p.2).

O IBGE (8, p.37) considera que os consórcios públicos exercem “papel proeminente como instrumento de articulação para o desenvolvimento de políticas públicas”.

Neto e Moreira (9) destacam que a formação dos consórcios trazem benefícios para os municípios dentre os quais:

[...] alinhamento do planejamento local e regional; auxílio da organização de planos, avaliações e indicadores; superação de problemas locais, possibilitado ganhos de escala; modernização de procedimentos administrativos; aumento da capacidade de cooperação técnica; implementação e regulação de políticas públicas regionalizadas; racionalização no uso de recursos financeiros, humanos e tecnológicos (9, p.258).

Dentre os municípios brasileiros que declararam participar de consórcio público, houve aumento de 88,1% (2.903 municípios) em 2011 para 96,7% (3.571 municípios) em 2015 dos envolvidos em cooperação horizontal, isto é, consórcio intermunicipal (8).

De acordo com o IBGE (10), no ano de 2011 85,6% dos municípios do Estado de São Paulo possuíam alguma articulação interinstitucional. Nas publicações posteriores do IBGE entre 2013 e 2015, os dados por unidades da federação não são apresentados.

Segundo a série histórica publicada em 2015 (ano base 2013) pelo SNIS, dos 3.572 municípios brasileiros pesquisados, apenas 639 faziam parte de algum consórcio, o que representa um percentual de 18% dos municípios (11). Nota-se que este valor é baixo, considerando que o Brasil possui 5.570 municípios.

No caso do Estado de São Paulo esses valores representam 97 municípios de um total de 645, ou seja, foi verificado que somente 15,03% dos municípios estavam envolvidos em algum tipo de consórcio (11).

Corroborando o que indica a PNRS, a formação de consórcios municipais aumenta a capacidade de diálogo e negociação para a resolução de problemas, e em municípios de pequeno porte estas vantagens acentuam-se (12). Além disso, a opção pela gestão de RSU a partir dos consórcios públicos é mais indicada devido aos ganhos de escala e minimização dos custos. A gestão dos RSU por consórcios garante também maior racionalização de recursos tecnológicos, otimização na contratação de serviços, agilidade na execução da operação e demais ganhos técnicos, gerenciais e financeiros. Traz também outras vantagens como o desenvolvimento de políticas regionalizadas.

Por outro lado, Anjos (13) comenta a existência de algumas barreiras para a formação de consórcios públicos de resíduos sólidos. Cita a influência de questões político-partidárias além de conflitos e interesses municipais, bem como a necessidade de avaliar viabilidades técnica e econômica. Como no geral os municípios apresentam sistemas heterogêneos, indica também como alternativa mais viável para implementação dos consórcios, tratar inicialmente da disposição final, para somente depois avaliar outras atividades a serem incorporadas (13).

METODOLOGIA

Para a avaliação do potencial energético dos RSU dos consórcios selecionamos, na primeira etapa da pesquisa, os dados dos consórcios da área ambiental identificados no Estado de São Paulo em 2016. Esses dados atualizados foram obtidos por meio de pesquisas na internet e de contato telefônico com os municípios que integravam os consórcios identificados no Plano de Resíduos Sólidos do Estado de São Paulo (14). Foram também levantados os dados que compõem a soma da população (15) dos municípios envolvidos em cada um dos consórcios bem como o total de resíduos gerados por eles (16), conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Consórcios da área ambiental no Estado de São Paulo.

#	CONSÓRCIO	POPULAÇÃO (hab.)	RSU (t/dia)	RSU (t/ano)
1	CISBRA	309.340	188,49	68.799
2	CEDEPAR	167.174	136,89	49.965
3	CONDEMAT	2.930.311	2.779,07	1.014.361
4	CIAS	796.839	662,02	241.637
5	CONSAB	255.774	177,79	64.893
6	CONSIMARES	864.396	736,57	268.848
7	CIVAP	381.721	266,87	97.408
8	ABC	2.736.683	2.733,18	997.611
9	CIMA	157.222	110,73	40.416
10	CODIVAR	540.181	324,22	118.340
11	CIPP	67.607	44,75	16.334
12	CODIVAP	3.024.096	2.547,81	929.951
13	CIRL	73.763	53,95	19.692
14	CONISUD	1.106.685	954,07	348.236
15	CERISO	2.026.175	1.643,55	599.896
16	CIOESTE	2.083.317	1.994,31	727.923
17	CONIRPI	566.413	480,20	175.273
18	COMAN	969.578	745,61	272.148
19	AMVAPA	339.722	207,41	75.705
20	CIPAS	48.276	28,83	10.523
21	CONDERSUL	322.316	186,21	67.967
22	CIGA	308.943	257,00	93.805
23	CIMBAJU	581.464	467,50	170.638
-	TOTAL	20.657.996	17.727	6.470.366

Para avaliar comparativamente o potencial energético dos RSU desses consórcios considerando as tecnologias de recuperação energética a partir do biogás de aterro sanitário e de incineração, foi utilizada a composição gravimétrica e a medição do poder calorífico inferior (PCI) dos RSU do município de Santo André - SP identificada no estudo realizado por Gutierrez (17).

O levantamento da composição gravimétrica dos RSU é essencial na definição da estimativa do potencial energético contido nos resíduos. A Tabela 2 apresenta os dados da composição gravimétrica e do PCI médio do aterro sanitário do município de Santo André em 2015. Esses valores foram utilizados como referência para a o cálculo do potencial energético dos consórcios levantados.

Tabela 2 – Composição gravimétrica do município de Santo André.

FRAÇÃO	PARTICIPAÇÃO DO RSU (%)	PCI (MJ/kg)
Matéria Orgânica	44,30	3,16
Resíduos Sanitários	11,90	7,67
Plásticos	13,80	23,04
Papel/papelão/tetrapak	9,90	9,16
Têxteis	8,80	12,9
Inertes (vidro, metal e outros)	11,30	0,00

Fonte: 17

A partir da gravimetria e do PCI foram calculadas as estimativas dos potenciais energéticos utilizando as tecnologias de recuperação do gás de aterro e a da incineração do RSU para os 23 consórcios identificados.

GÁS DE ATERRO

O gás de aterro ou biogás de aterro é uma mistura gasosa composta principalmente por gás metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂). Nos aterros sanitários, a geração do biogás ocorre em quatro fases distintas ao longo de sua vida útil, e de acordo com a EPE (18, p.17) essas fases são:

Fase aeróbica: é produzido o gás CO₂, porém é alto o conteúdo de N₂, que sofre declínio nas passagens para as 2^a e 3^a fases; ii) Esgotamento de O₂: resulta em um ambiente anaeróbico com grandes quantidades de CO₂ e um pouco de H₂ produzido; iii) Fase anaeróbica: começa a produção de CH₄, com redução na quantidade de CO₂ produzido; e iv) Fase final: produção quase estável de CH₄, CO₂ e N₂.

O aproveitamento energético do gás de aterro se dá através da utilização de motores de combustão interna ou microturbinas.

O potencial energético do gás de aterro foi obtido a partir do modelo teórico de estimativa do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (19), que calcula o total de CH₄ emitido pela degradação anaeróbica dos resíduos. A Equação 1 do modelo é descrita a seguir e se refere a emissão total de metano disponível no aterro:

$$Q_{CH_4} = \frac{Pop_{urb} \cdot TaxaRSU \cdot RSUf \cdot L_0}{pCH_4} \quad \text{equação 1}$$

Onde: Q_{CH_4} = metano gerado (m³CH₄/ano); Pop_{urb} = população urbana (habitantes); $TaxaRSU$ = taxa de geração de resíduos sólidos domiciliares por habitante por ano (kg de RSU/habitante.ano); $RSUf$ = fração de resíduos sólidos urbanos depositado em locais de disposição de resíduos sólidos (%); L_0 = potencial de geração de metano do lixo (kg de CH₄/kg de RSU); pCH_4 = massa específica do metano (kg/m³).

A Equação 2 se refere ao potencial de geração de metano dos RSU:

$$L_0 = FMC \cdot COD \cdot CODf \cdot F \cdot \left(\frac{16}{12}\right) \quad \text{equação 2}$$

Onde: L_0 = potencial de geração de metano do lixo (kg de CH₄/kg de RSU); FCM = fator de correção de metano (%); COD = carbono orgânico degradável (kg de C/kg de RSU); $CODf$ = fração de COD dissociada (%); F = fração em volume de metano no biogás em aterro sanitário (o padrão é 50%); $(16/12)$ = fator de conversão de carbono em metano (kg de CH₄/kg de C).

O valor adotado para a massa específica do metano foi de 0,715 kg/Nm³ (20) e a fração de $RSUf$ considerada foi de 100%.

Para o fator de correção do metano (FCM), o IPCC (19) define quatro categorias de locais de disposição final conforme tabela 3: i) aterros Inadequados ou lixões, ii) aterros Controlados, iii) aterros adequados ou sanitários, e iv) aterros sem classificação. Para este estudo adotou-se a categoria de aterro sanitário com valor de FCM igual 1,0.

Tabela 3 - Valores para o FCM para cada categoria de local.

TIPO DE LOCAL DE DISPOSIÇÃO FINAL	FCM
Lixão	0,4
Aterro controlado	0,8
Aterro sanitário	1,0
Locais sem categoria	0,6

Fonte: 19

Outro parâmetro do modelo do IPCC está relacionado com a quantidade de carbono orgânico degradável (COD), que foi calculado pela Equação 3 com base na composição dos RSU (Tabela 2) e na quantidade de carbono em cada fração da massa de resíduo (21) conforme tabela 4.

$$COD = \sum(COD_i \times W_i) \quad \text{equação 3}$$

Onde: COD = Fração de carbono orgânico degradável no lixo; COD_i = Fração de carbono orgânico degradável no tipo de resíduo i ; W_i = Fração do tipo de resíduo i por categoria do resíduo.

Tabela 4 – Teor de carbono orgânico degradável.

PARÂMETRO	TIPO DE RESÍDUOS	COD EM MASSA
A	Matéria Orgânica	15%
B	Resíduos Sanitários	24%
C	Plásticos	0%
D	Papel/papelão/tetrapak	40%
E	Têxteis	24%
F	Inertes (vidro, metal e outros)	0%

Fonte: 21 e 16

Para a fração de resíduos sanitários, adotou-se o valor de COD de 24% referente a fraldas conforme IPCC (21).

A fração de COD dissociada (COD_f), segundo Bingemer & Crutzen (22 apud 19), indica a fração de carbono que é disponível para a decomposição bioquímica, e pode ser obtida pela Equação 4.

$$COD_f = 0,014 \cdot T + 0,28 \quad \text{equação 4}$$

Onde: COD_f = fração de COD dissociada (%); T = temperatura na zona anaeróbia ($^{\circ}\text{C}$).

A temperatura média adotada para este estudo foi de 35° para o local de disposição final (23).

De posse do levantamento da estimativa do metano e dos outros parâmetros procedeu-se ao cálculo da geração de energia elétrica que seria obtida utilizando um motor de combustão interna.

As equações 5, 6 e 7 foram utilizadas para o cálculo da potência térmica disponível, da potência elétrica disponível e da energia elétrica.

$$P_x = \left(\frac{Q_x \times P_c(\text{metano})}{31.536.000} \right) \cdot E_c \quad \text{equação 5}$$

$$P_{el} = P_x \cdot E_M \quad \text{equação 6}$$

$$E_{disponível} = P_{el} \cdot 8000 \quad \text{equação 7}$$

Onde: P_x = potência disponível (kW); Q_x = vazão do metano a cada ano ($\text{m}^3\text{CH}_4/\text{ano}$); P_c = poder calorífico do metano, equivalente a 35.530 KJ/Nm^3 de CH_4 ; E_c = eficiência de coleta dos gases, valor de 65% obtido pela ficha técnica da UTE Guatapar (2014); P_{el} = potência térmica, E_M = eficiência de 39,6% do motogerador (24), $E_{disponível}$ = energia disponível (kWh); Disponibilidade anual do motogerador = 8.000 horas, considerando os tempos de parada de manutenção.

INCINERAÇÃO

A incineração, combustão ou queima de RSU é um dos processos termoquímicos de transformação que objetiva diminuir o volume e a massa dos resíduos, já que seria necessário dispor em aterros somente as cinzas do processo de combustão. A geração de energia a partir da incineração ocorre depois da geração de vapor em caldeiras que é enviada para turbinas com a consequente geração de energia elétrica.

Para a estimativa do potencial teórico de geração de energia a partir de incineração considerou-se o PCI da fração dos resíduos disponíveis no aterro multiplicado por suas respectivas frações em relação à composição total conforme dados Tabela 2. A Equação 8 apresenta o cálculo do PCI_{total} , conforme Mamede (25).

$$PCI_{total} = \sum [Fração (\%) \times PCI_{in natura}] \quad \text{equação 8}$$

Para obter a energia gerada em um ano, Equação 9, de acordo com Mamede (2013), de posse do PCI_{total} , multiplica-se pela soma da fração de materiais combustíveis presentes na composição dos resíduos, neste caso, desconsideramos a fração de materiais inertes que não possuem energia.

$$E_g = \sum RSU_{comb.} \times PCI_{total} \times E_e \times 0,28 \left(\frac{MWh}{ano} \right) \quad \text{equação 9}$$

Onde: $\sum RSU_{comb.}$ = Somatória da fração dos resíduos combustíveis (t/ano), $\sum PCI_{total}$ = somatória dos poderes caloríficos de cada fração de material que é incinerada (GJ/t), E_g - Energia gerada (MWh/ano), E_e = Eficiência de transformação de energia térmica para elétrica (%), 0,28 = constante de conversão MWh/GJ,

Fórmula para o cálculo da potência total:

$$P = \frac{E_g}{8.760} (MW) \quad \text{equação 10}$$

Onde: E_g - Energia gerada (MWh/ano), Horas de operação em um ano: 8.760 horas, $E_e = 25\%$ e P é a potencia total gerada (MW)

A energia gerada e potência total instalada foram calculadas para um quantitativo de resíduos gerados ao longo de um ano, no entanto, para o cálculo final da energia, considerou-se 8.000 horas de operação da planta, o que representa uma redução de cerca 8,7% na energia final gerada, considerando a potência total instalada.

Dessa maneira, a energia final foi calculada pela Equação 11:

$$E_{gfinal} = P \times 8.000 (MWh) \quad \text{equação 11}$$

Onde: P - Potência total (MW), Horas de operação em um ano considerando as paradas para manutenção: 8.000 horas.

RESULTADOS

A tabela 6 apresenta os valores dos parâmetros obtidos no cálculo.

Tabela 6 – Parâmetros da estimativa de geração de metano.

PARÂMETRO	RESULTADO	UNIDADE
$COD_f =$	0,77	
$COD =$	0,156	
$L_0 =$	0,112	$m^3CH_4/kgRSU$
$Densidade CH_4 =$	0,715	kg/Nm^3

O valor do PCI_{total} correspondente a cada fração combustível do resíduos é de 7,53 MJ/kg, conforme Equação 8. Este valor foi adotado para o cálculo da energia em relação à quantidade total de RSU produzido pelos consórcios.

A Tabela 7 apresenta os valores da quantidade de metano anual disponível no aterro, a energia gerada considerando as duas tecnologias analisadas, a capacidade de potência a ser instalada em cada consórcio, bem como o consumo total de energia no ano de 2014.

Tabela 7 – Teor de carbono orgânico degradável.

CONSÓRCIO	CH₄ (Nm³/ano)	ENER. GA (MWh/ano)	POT. GA (MW)	ENER. INC. (MWh/ano)	POT. INC. (MW)	CONSUMO E.E. (MWh/ano)
CISBRA	7.692.135	17.846	2,23	33.136	4,14	1.032.775
CEDEPAR	5.586.378	12.960	1,62	24.065	3,01	641.544
CONDEMAT	113.411.752	263.115	32,89	488.553	61,07	7.915.002
CIAS	27.016.537	62.678	7,83	116.381	14,55	3.798.020
CONSAB	7.255.476	16.833	2,10	31.255	3,91	1.106.378
CONSIMARES	30.058.866	69.736	8,72	129.487	16,19	2.389.628
CIVAP	10.890.764	25.267	3,16	46.915	5,86	829.822
ABC	111.539.015	258.770	32,35	480.486	60,06	9.977.662
CIMA	4.518.808	10.484	1,31	19.466	2,43	312.984
CODIVAR	13.231.174	30.696	3,84	56.997	7,12	1.247.011
CIPP	1.826.214	4.237	0,53	7.867	0,98	130.454
CODIVAP	103.974.205	241.220	30,15	447.898	55,99	10.014.741
CIRL	2.201.659	5.108	0,64	9.484	1,19	171.142
CONISUD	38.934.877	90.329	11,29	167.723	20,97	2.335.178
CERISO	67.072.037	155.607	19,45	288.932	36,12	7.764.195
CIOESTE	81.386.288	188.816	23,60	350.594	43,82	5.578.649
CONIRPI	19.596.600	45.464	5,68	84.418	10,55	2.429.133
COMAN	30.427.782	70.592	8,82	131.076	16,38	2.156.158
AMVAPA	8.464.246	19.637	2,45	36.462	4,56	787.145
CIPAS	1.176.531	2.730	0,34	5.068	0,63	88.926
CONDERSUL	7.599.090	17.630	2,20	32.735	4,09	948.049
CIGA	10.487.976	24.332	3,04	45.180	5,65	1.137.979
CIMBAJU	19.078.323	44.262	5,53	82.185	10,27	1.703.027
TOTAL	723.426.731	1.678.347	210	3.116.364	390	64.495.603

CH₄ – quantidade de gás anual disponível em relação a quantidade total de RSU, Ener. GA – Energia Gás de Aterro, Pot. GA – Potência Gás de Aterro, Energ. Inc. – Energia Incineração, Pot. Inc. – Potência Incineração, Consumo E.E. – Consumo Energia Elétrica (26).

Como esperado, a quantidade de metano produzida, de energia gerada e de potência teórica disponível são maiores nos consórcios que apresentam maior população e geração de RSU.

CONCLUSÕES

Conforme apresentado na introdução, a destinação final dos RSU ambientalmente adequada não é realizada por grande parte dos municípios brasileiros e paulistas, em muitos casos por um problema de escala que leva à falta de recursos.

Considerando que a formação dos consórcios públicos é reconhecidamente uma forma de solução mais efetiva para lidar com a gestão de RSU dos municípios (considerando a escala e os custos envolvidos), o levantamento realizado nesta pesquisa pôde esclarecer em que ponto se situa a gestão pública municipal relacionada a esta temática.

Foram identificados ao todo 23 consórcios envolvidos com a questão ambiental, que englobam 263 municípios do Estado de São Paulo - o que representa 40% do total. Dos 23 identificados 11 estão envolvidos com o tema de gestão de resíduos e somam 80 (12,4%) municípios dos 645 paulistas. A Região Noroeste do Estado apresentou maior ausência de sinergias intermunicipais enquanto que as Regiões Sul, Sudeste e Leste representaram o maior número de municípios envolvidos em consórcios intermunicipais.

Aponta-se, portanto, a necessidade de efetivação de agrupamentos intermunicipais para a realização de estudos referente as diversas formas de tratamento e destinação final dos RSU, como a reciclagem e a compostagem, considerando principalmente a instalação de plantas de recuperação energética como forma de tratamento e

destinação final dos RSU no Brasil e no Estado de São Paulo. Os aterros já existentes podem considerar inclusive a implantação do projeto de geração de energia a partir do biogás, avaliar a possibilidade da implantação de plantas de incineração ou ainda outra tecnologia que considerar mais adequada.

Identificou-se que a somatória do potencial energético dos consórcios, se considerada a tecnologia de aproveitamento do gás de aterro foi de 1.678.347 MWh/ano enquanto que na incineração foi de 3.116.364 MWh/ano. Isso demonstra que parte do consumo total energético da população dos municípios participantes dos consórcios poderia ser suprida por estas opções tecnológicas. No caso da geração de energia a partir do biogás de aterro sanitário representa em média 2,6% da energia total consumida pelos municípios do consórcio, enquanto que no caso da incineração representa em média 4,8%.

Sugere-se assim, que os consórcios possam avaliar a viabilidade de instalação de uma das tecnologias sugeridas como forma de disposição final ambiental adequada dos RSU, incluindo também a geração de receitas advindas de venda da energia elétrica.

O avanço referente à instalação de plantas de geração de energia a partir dos RSU contribui para com os progressos necessários da gestão de RSU e a inserção desta fonte alternativa e renovável na matriz elétrica do Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL. Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei Nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 03 de ago. de 2010. Seção 1, p. 3, 2010.
2. SNSA - SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos - 2014. Brasília - DF, 2016. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-residuos-solidos/diagnostico-rs-2014>>. Acesso em: 01 mar. 2016.
3. ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2014. São Paulo, SP, 2014. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2014.pdf>>. Acesso em: 14 jan. 16.
4. CEZAR, L.C.; BARBOSA, T.R.C.G.; REIS, M.C.T.; JÚNIOR, F.F. Por uma esfera pública efetivamente publicizada: reflexões sobre a participação de gestores municipais na Política Nacional de Resíduos Sólidos. Revista Pretexto, v. 17, n. 1, p. 83-98, 2016.
5. BRASIL. Lei Nº 11.107, de 6 de abril de 2005. Dispõe sobre normas gerais de contratação de consórcios públicos e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 07 de abr. de 2005. Seção 1, p. 1, 2005.
6. SILVA, W.M.F. Consórcios públicos na gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil. Brasília, 2015. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade - Universidade de Brasília, 2015.
7. DI PIETRO, M.S.Z. O Consórcio Público na Lei 11.107, de 6.4.2005. Revista Eletrônica de Direito do Estado. Salvador, Instituto de Direito Público da Bahia, n. 3, jul./ago./set. 2005. Disponível em: <<http://www.direitodoestado.com/revista/REDE-3-JULHO-2005-MARIA%20SYLVIA.pdf>>. Acesso em: 12 set. 2016
8. IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa de Informações Básicas. Perfil dos Municípios Brasileiros. Brasília, 2015. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv95942.pdf>>. Acesso em: 14 set. 2016.
9. NETO, P.N.; MOREIRA, T.A. Consórcio intermunicipal como instrumento de gestão de resíduos sólidos urbanos em regiões metropolitanas: reflexões teórico-conceituais. Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional, v. 8, n. 3, 2012.
10. IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa de Informações Básicas. Perfil dos Municípios Brasileiros. Brasília, 2012. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Perfil_Municipios/2011/munic2011.pdf>. Acesso em: 14 set. 2016.
11. SNSA - SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos - 2013. Brasília - DF,

2015. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-residuos-solidos/diagnostico-rs-2013>>. Acesso em: 01 mar. 2016.
12. SUZUKI, J.A.N.; GOMES, J. Consórcios intermunicipais para a destinação de RSU em aterros regionais: estudo prospectivo para os municípios no Estado do Paraná. Eng. Sanit. Ambient., Rio de Janeiro, v. 14, n. 2, p. 155-158, jun. 2009.
 13. ANJOS, P.A. Consórcios Públicos de Resíduos Sólidos Urbanos: Estudo de Caso no Estado do Paraná. Curitiba, 2014. Dissertação de Mestrado. Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, em parceria com o SENAI/PR e a Universität Stuttgart, 2014.
 14. SMA - SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO, Coordenadoria de Planejamento Ambiental, CETESB. Plano de resíduos sólidos do estado de São Paulo. Organizadores André Luiz Fernandes Simas, Zuleica Maria de Lisboa Perez. – 1a ed. – São Paulo: SMA, 2014.
 15. IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Estimativas populacionais para os municípios e para as Unidades da Federação brasileiros em 01.07.2016. Disponível em http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2016/estimativa_dou.shtm. Acesso em: 13 set. 2016.
 16. CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Inventário estadual de resíduos sólidos urbanos – 2015. São Paulo: CETESB, 2016. Disponível em: <<http://residuossolidos.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/36/2013/11/inventario-RSD-2015.pdf>>. Acesso em: 06 set. 2016.
 17. GUTIERREZ, A.C.G. Caracterização da fração combustível de resíduos sólidos urbanos úmidos do município de Santo André visando seu aproveitamento energético por processos termoquímicos. Santo André, 2016. Dissertação de Mestrado. CECS - Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas da Universidade Federal do ABC. 2016.
 18. EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Nota Técnica DEA 18/2014 - Inventário Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos. Rio de Janeiro - RJ, 2014. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/DEA%2018%20-%20Invent%C3%A1rio%20Energ%C3%A9tico%20de%20Res%C3%ADuos%20S%C3%B3lidos%20Urbanos.pdf>>. Acesso em: 05 abr. 2017
 19. IPCC - INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Module 6 - WASTE. In: Guidelines for National Greenhouse Inventories: Reference Manual*, (Vol.3), 1996.
 20. FANTOZZI, F.; BURATTI, C. *Biogas production from different substrates in an experimental continuously stirred tank reactor anaerobic digester*. Bioresource technology, v. 100, n. 23, p. 5783-5789, 2009.
 21. IPCC - INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Chapter 2: Waste Generation, Composition and Management Data. In: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (Vol.5)*, 2006.
 22. BINGEMER, H.Q., CRUTZEN, P.J., 1987. *Production of methane from solid waste*. Journal of Geophysical Research 87 (D2), 2181–2187.
 23. MENDES, L.G.G. Proposta de um sistema para aproveitamento energético de um aterro sanitário regional na cidade de Guaratinguetá. Guaratinguetá, 2005. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá - Universidade Estadual Paulista, 2005.
 24. UTE Guatapará. Ficha técnica da UTE Guatapará. (2014). Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/consulta-processual>>. Acesso em: 01 fev. 2017.
 25. MAMEDE, M.C.S. Avaliação econômica e ambiental do aproveitamento energético de resíduos sólidos no Brasil. Campinas, 2013. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Mecânica - Universidade Estadual de Campinas, 2013.
 26. SÃO PAULO (ESTADO). Anuário de Energéticos por Município no Estado de São Paulo - 2015 ano base 2014. SECRETARIA DE ENERGIA E MINERAÇÃO: São Paulo, 2015.