

Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos do município de Nova Iguaçu-RJ - Uma visão sobre a nova política nacional de resíduos sólidos

Energy utilization of municipal solid waste in the city of Nova Iguaçu-RJ - Insight into the new national policy on solid waste

Diego Macedo Veneu^{1,4}, Felipe Sombra dos Santos², Vinícius Maciel Pinto³, Jonas dos Santos Pacheco⁴, Rodrigo da Silva Tavares⁵.

Resumo

Como citar esse artigo. Veneu DM, Santos FS, Pinto VM, Pacheco JS, Tavares RS. Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos do município de Nova Iguaçu-RJ - Uma visão sobre a nova política nacional de resíduos sólidos. Revista Teccen. 2014 Jan./Dez.; 07 (1/2): 11-19.

O presente estudo apresenta dois diferentes cenários de aproveitamento energético dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), para o Município de Nova Iguaçu. O “Cenário I” contempla o ganho energético, proveniente do metano gerado do aterramento de 100% dos RSU, gerado na localidade. Já o “Cenário II” estima o ganho energético com a reciclagem de materiais como papel/papelão, plástico, metal e vidro, que geralmente, são depositados no aterro, e do metano gerado proveniente da fração orgânica do RSU, deste município. A quantidade de energia elétrica gerada do metano proveniente do aterro, mais a energia elétrica conservada levando em conta os índices de Morris proveniente da reciclagem, ambos do Cenário II corresponderam a um ganho energético de 5.633 MWh dia-1, aproximadamente 64%, maior que a quantidade de energia elétrica gerada, somente do metano proveniente do aterro no Cenário I, que corresponde a 2.034 MWh dia-1.

Palavras-Chave: Resíduo sólido urbano. Energia. Aterro sanitário. Reciclagem. Aproveitamento energético.

Abstract

This study presents two scenarios of energy use of MSW for the city of Nova Iguaçu. The “Scenario I” includes gain energy from the methane generated from landfill of 100% of MSW generated in the city (current scenario). The “Scenario II” estimates the energy gain with recycled materials such as paper/cardboard, plastic, metal and glass which are usually placed in the landfill and the methane generated from the organic fraction of MSW in the city. The amount of electricity generated from methane from the landfill, plus the energy stored taking into account the rates of recycling from Morris, both of Scenario II corresponded to an energy gain of 5633 MWh/day, approximately 64% greater than the amount only electricity generated from methane from the landfill in Scenario I, which corresponds to 2034 MWh/day.

Keywords: Municipal solid waste. Energy. Landfill. Recycling. Energy utilization.

Introdução

O modelo de desenvolvimento escolhido pela sociedade humana até atingir seu atual estágio representa um sistema aberto, que depende de um suprimento contínuo e inesgotável de matéria e energia, que depois de utilizada é devolvida ao ambiente. Esse desenvolvimento traz a necessidade de quantidades cada vez maiores de materiais e energia, e isso por sua vez, resulta em uma quantidade significativa de resíduos, tanto em termos de matéria, como em termos de energia (Braga et al., 2002).

A Lei nº 12.305/10, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos descreve, nitidamente, seus princípios, objetivos, instrumentos e diretrizes relativas à busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar não somente as dimensões política, social e ambiental, mas também, a econômica. Segundo Almeida e Ferreira (2009), ao se analisar resíduos e

energia, pode-se perceber, que tais assuntos apresentam mais pontos em comum, do que poderia se imaginar, além de serem problemas atuais, pois quando se aumenta a atividade industrial, há aumento na geração de resíduo. E isso está associado a crescente produção, podendo assim, gerar uma escassez energética para atender a demanda.

O uso adequado da energia requer que se leve em consideração, tanto as questões sociais, como as tecnológicas. De fato, o crescimento econômico sustentável neste século, juntamente com o incremento da qualidade de vida de todos os habitantes do Planeta, apenas pode ser possível, através do uso bem planejado e eficiente dos limitados recursos energéticos, e pelo desenvolvimento de novas tecnologias, voltados para o suprimento de energia (Hinrichs et al., 2010).

Aproveitar, tratar ou destinar o que é chamado de RSU, se torna um problema ambiental cada vez mais sério. Sendo assim, torna-se uma questão de cidadania,

1. Universidade Severino Sombra, Me. em Engenharia de Materiais, Processos Químicos e Metalúrgicos, docente do curso de Engenharia Ambiental, Vassouras-RJ, Brasil.

2. Universidade Federal do Rio de Janeiro - Escola de Química - Me. em Engenharia de Materiais, Processos Químicos e Metalúrgicos, doutorando do Programa de Tecnologia em Processos Químicos e Bioquímicos Laboratório de Tratamento de Águas e Reuso de Efluentes, Rio de Janeiro-RJ, Brasil.

3. Universidade Severino Sombra, Me. em Engenharia Elétrica, docente do curso de Engenharia Elétrica, Vassouras-RJ, Brasil.

4. Universidade Severino Sombra, docente do curso de Engenharia Ambiental, Vassouras-RJ, Brasil.

5. Centro Universitário Geraldo Di Biase - ICETE - Engenheiro Civil, Volta Redonda-RJ, Brasil.

para toda a população e governo, propor fontes alternativas de destinação adequada, para que a sociedade possa tratar de maneira menos impactante o ambiente e a si mesma, o que, atualmente é considerado como rejeito sob, a ótica de matéria-prima e fonte de recursos, dentre eles a energia, para um desenvolvimento social e econômico mais harmônico entre a natureza e o homem (Henriques, 2004).

Os brasileiros geram aproximadamente 1,2 kg de RSU (hab-1 dia-1), ou seja, aproximadamente 61 milhões de t de RSU ano-1 (ABRELPE, 2010). Diminuir a dependência de combustíveis fósseis e não renováveis e buscar soluções ambientalmente corretas, a exemplo da utilização da biomassa, como uma fonte de energia, não apenas reduzirá os impactos globais pela queima de combustíveis fósseis, mas contribuirá também, com a matriz energética dos países, e além disso um aumento na vida útil dos aterros sanitários.

O presente estudo apresenta dois cenários de aproveitamento energético dos RSU para o município de Nova Iguaçu. A elaboração dos cenários tem como finalidade, a comparação do atual modelo com um futuro modelo, que poderá ser implantado, após o término das atividades do atual aterro de Nova Iguaçu (CTR-Nova Iguaçu), no ano de 2020. Este futuro cenário possibilitaria um ganho energético adicional com a reciclagem, de parte dos materiais que hoje são destinados diretamente ao aterro, além do atual ganho energético que provém da queima do gás.

Materiais e Métodos

Um levantamento da quantidade e composição do RSU de Nova Iguaçu, partindo do ano-base de 2020 até o ano de 2045 é necessário, para gerar os dados iniciais que possam elucidar melhor, como seriam os ganhos energéticos frente à reciclagem, com aplicação e aproveitamento do gás metano, proveniente do aterro bioenergético. Posteriormente, serão apresentadas as metodologias para estimar as emissões de gás metano (CH₄) dos aterros, e da energia elétrica conservada, a partir do uso de material reciclável, possibilitando assim, a construção do “Cenário I”, proveniente do ganho energético, do metano gerado do aterramento de 100% do RSU gerado, no município citado (atual cenário) e do “Cenário II”, proveniente do ganho energético com a reciclagem de materiais como papel/papelão, plástico, metal e vidro que, geralmente, são depositados no aterro e, do metano gerado da fração orgânica do RSU do município.

Determinação da População e Quantidade de RSU

Segundo IBGE (2010), a população de Nova Iguaçu é de 796.257 habitantes, apresentando uma taxa de crescimento populacional médio de 1,531% a.a. (CEPERJ, 2010). Com base nos dados censitários apresentados, podemos calcular a projeção populacional

para o horizonte de projeto proposto (2020 a 2045), utilizando o método matemático de projeção geométrica de acordo com a equação 1:

$$P_t = P_0 \cdot e^{K_g(t-t_0)} \quad (1)$$

Onde:

P_t – população no ano t (hab.)

P_0 – população no ano t_0 (hab.)

K_g – taxa de crescimento

t e t_0 – tempo (ano)

A quantidade de RSU gerado a cada ano é determinada pelo produto da população em cada ano t, pela geração per capita de RSU do município de Nova Iguaçu. Segundo Soares (2010), a Central de Tratamento de Resíduos de Nova Iguaçu recebe cerca de 750 t dia-1 (ano de 2010) de resíduos sólidos provenientes dos domicílios do município de Nova Iguaçu e, de outras fontes, o que representa uma média per capita de 0,98 kg (hab-1 dia-1).

Composição Gravimétrica do RSU

A quantidade de RSU é função do tamanho da renda das famílias e, das características socioculturais de uma cidade. Contudo, não são claras ou evidentes as relações, entre a quantidade de RSU produzida, e estes parâmetros mencionados. Talvez, mais claramente do que a produção, a composição média do RSU produzido, guarda uma maior relação com o nível de vida ou com a renda média da população. A Tabela 1 apresenta a composição gravimétrica do RSU de Nova Iguaçu, que será adotada para a construção dos Cenários I e II.

Tabela 1. Composição Gravimétrica do RSU de Nova Iguaçu.

Fração	Componente	Composição Gravimétrica (%)
Orgânica	Matéria Orgânica	38,42
	Papel/Papelão	18,12
	Plástico Macio	9,84
	Plástico Duro	7,84
	Trapos	3,78
	Couro	1,46
	Espuma	1,54
	Fraldas	0,99
	Borracha	0,93
	Isopor	0,89
	Coco	0,81
	Outros	15,38
	Inorgânica	Metal
Vidro		26,31

Fonte. Soares, (2011)

Estimativas de produção de metano

A metodologia do IPCC para estimar as emissões de CH₄ de aterros é baseada no método de Degradação de Primeira Ordem (FOD). Este método assume que o componente orgânico degradável (carbono orgânico degradável, DOC) dos resíduos, decai lentamente ao longo de algumas décadas, durante as quais quantidades de CH₄ e CO₂ são formados. Se as condições são constantes, a taxa de produção de CH₄ depende, unicamente, da quantidade de carbono remanescente nos resíduos. Como as emissões de CH₄ são resultantes dos resíduos sólidos depositados nos aterros, nos primeiros anos após a deposição, a geração é alta, com o declínio de carbono degradável no lixo ao longo dos anos pelas bactérias, as emissões de CH₄ decaem gradativamente. Ao longo do tempo de acumulação do lixo, a produção de biogás é crescente. Porém, uma vez cessada a deposição, a produção entra em declínio, mais ou menos acentuado, dependendo da composição do lixo depositado.

Para o cálculo do potencial de geração de biogás no aterro foi utilizada a metodologia sugerida pelo Intergovernmental Panel on Climate Change- IPCC (2006), a partir de dados obtidos e estimados dos RSU. Portanto, há as seguintes equações:

$$DDOCm = W \cdot DOC \cdot DOCf \cdot MCF \quad (2)$$

Onde:

DDOCm = massa de DOC decomposto depositado (t)

W = massa de resíduos depositados (t)

DOC = carbono orgânico degradável no ano de deposição (fração)

DOCf = fração de DOC que pode se decompor (fração)

MCF = fator de correção de CH₄ para a decomposição aeróbia no ano de deposição (1,0 para aterros bem gerenciados)

$$DOC = 0,4A + 0,17B + 0,15C + 0,3D \quad (3)$$

Em função das grandes quantidades de alimentos e resíduos orgânicos que são depositados juntos, a equação 3 foi modificada para:

$$DOC = 0,4A + 0,16(B + C) + 0,3D \quad (4)$$

Onde:

A = percentual de papel/papelão e tecidos

B+C = alimentos e outros resíduos orgânicos

D = resíduos de madeira

$$DOCf = 0,014T + 0,28 \quad (5)$$

Onde:

T : temperatura (°C) na zona anaeróbia dos resíduos (estimada em 35° C)

$$DDOCma_T = DDOCm + (DDOCma_{T-1} \cdot e^{-k}) \quad (6)$$

$$DDOCm_{decomp_T} = DDOCma_{T-1} \cdot (1 - e^{-k}) \quad (7)$$

Onde:

T = ano do inventário

DDOCma_T = DDOCm acumulado no aterro no final do ano T (t)

DDOCma_{T-1} = DDOCm acumulado no aterro no final do ano (T-1) (t)

DDOCm = DDOCm depositados no aterro no ano T (t)

DDOCm_{decomp_T} = DDOCm decomposto no aterro no ano T (t)

k = constante de reação (ano⁻¹) sendo

t_{1/2} = tempo de meia-vida (9 anos)

$$CH_4gerado_T = DDOCm_{decomp_T} \cdot F \cdot \frac{16}{12} - R(1 - OX) \quad (8)$$

Onde:

CH₄gerado_T = quantidade de CH₄ gerado a partir do material decomposto (t) DDOCm_{decomp_T} = DDOCm decomposto no ano T (t)

F = fração de CH₄ em volume no gás de aterro gerado (estimado em 50%)

16/12 = relação peso molecular CH₄/C

R = quantidade de metano recuperado (estimado em 60%).

OX = Fator de oxidação (estimado em 0,0).

Para a determinação da potência e energia disponível foram utilizadas as seguintes equações:

(9)

$$P = \frac{Q \cdot PCI}{860000} \quad (10)$$

$$E = P \cdot Rend \cdot Tempo \text{ de Operação}$$

Onde:

P = potência disponível (MW)

PCI = Poder Calorífico Inferior do metano (estimado 5.500 kcal/m³CH₄)

η = eficiência de motores (estimado em 28%)

860.000 = conversão de kcal para MW

E = energia disponível (MWh/dia)

Rend = rendimento de motores operando a plena carga (estimado em 87%)

Tempo de operação do motor = 24 horas/dia

Estimativas de energia conservada

Em maior ou menor grau, a reciclagem permite acumular uma conservação de energia por vezes expressiva e, neste sentido, deve ser considerada parte de uma estratégia de aproveitamento energético de RSU. A estimativa da energia elétrica conservada a partir do uso de material reciclável como matéria-prima, requer a definição de fatores de conversão, geralmente expressos em MWh t⁻¹ ou kWh kg⁻¹, cuja a determinação pode ser realizada por diferentes critérios e abordagens metodológicas. No Brasil, uma referência importante para esta estimativa é encontrada em Calderoni (1996). Nos Estados Unidos, duas referências clássicas são Morris (1996) e a EPA (2007). Digno de registro também é o recente trabalho de Warnken ISE (2007).

As quatro referências citadas permitem estimar índices de economia de energia no caso do uso, como matéria-prima, dos principais materiais recicláveis. A Tabela 2 apresenta estes índices mencionados.

Tabela 2. Potencial de conservação de energia elétrica a partir da

Material	Índice de Energia Elétrica Conservada (kWh/kg)			
	Calderoni	Morris	EPA	Warnken ISE
Papel/ Papelo	3,51	1,75	2,95	1,37
Plástico	5,06	5,55	15,39	5,91
Metal	5,3	3,25	5,85	2,67
Vidro	0,64	0,08	0,62	1,25

Fonte. Fonte: Adaptado de Calderoni, (1996); Morris, (1996); EPA, (2007); Warnken ISE, (2007)

Resultados e Discussão

Quantidade e Composição do RSU

A geração de RSU no Brasil registra alta a cada ano que se passa, e um crescimento de 6,8% foi observado durante o ano de 2009 para 2010. Esse valor superou a taxa de crescimento populacional urbano, que foi de cerca de 1% para o mesmo período. No ano de 2010 foram produzidos 60.868.080 t de RSU/ano, isto representa uma geração per capita de 378,4 kg RSU (hab-1 ano-1) (ABRELPE, 2010). Na Tabela 3 é possível de se observar a evolução da geração de RSU, para o município de Nova Iguaçu, levando em consideração um horizonte de projeção de 25 anos, a partir do ano de 2020.

O valor médio de 0,98 kg (hab-1 dia-1) de geração per capita adotado para os resíduos sólidos provenientes do município de Nova Iguaçu, está bastante próxima do valor apresentado pelo Panorama da ABRELPE (2010), que foi de 0,923 kg (hab-1 dia-1), e dos valores preconizados por Monteiro et al. (2001), para cidades

grandes, que apresentam uma população média de 500 mil a 5 milhões de habitantes que é de 0,8 a 1,0 kg (hab-1 dia-1). Porém, é algo em torno de 24% menor que a média de RSU produzido na região Sudeste (1,288 kg (hab-1 dia-1) (ABRELPE, 2010).

Tabela 3. Evolução da geração de RSU de Nova Iguaçu.

Ano	População (hab)	Quantidade RSU (t)	Ano	População (hab)	Quantidade RSU (t)
2010	796257	284821	2028	818505	292779
2011	797477	285258	2029	819759	293228
2012	798699	285695	2030	821016	293677
2013	799923	286132	2031	822273	294127
2014	801148	286571	2032	823533	294578
2015	802376	287010	2033	824795	295029
2016	803605	287450	2034	826059	295481
2017	804836	287890	2035	827324	295934
2018	806070	288331	2036	828592	296387
2019	807305	288773	2037	829862	296842
2020	808541	289215	2038	831133	297296
2021	809780	289658	2039	832407	297752
2022	811021	290102	2040	833682	298208
2023	812264	290547	2041	834959	298665
2024	813508	290992	2042	836239	299123
2025	814755	291438	2043	837520	299581
2026	816003	291884	2044	838803	300040
2027	817253	292331	2045	840088	300500

Fonte. Arquivo pessoal

No Brasil, do total de RSU gerado, aproximadamente, 57,6% que correspondem, a pouco mais de 31 milhões de toneladas de RSU têm um destino final adequado, os outros 42,4%, quase 23 milhões de toneladas de RSU, que estão dispersos em 61% dos municípios brasileiros, seguiram para lixões ou aterros controlados, trazendo consideráveis danos ao ambiente (ABRELPE, 2010).

Diante desses dados fica claro que a gestão de resíduos sólidos no Brasil ainda encontra diversos obstáculos, principalmente, nos grandes centros urbanos. O crescimento desenfreado na geração, e a destinação final dos RSU são os principais problemas na gestão dos resíduos sólidos urbanos e, que demandarão grande parte da atenção nos próximos anos, para os demais governantes. Tal fato se justifica, pois a Política Nacional de Resíduos Sólidos em seu Art 7.º, incisos 2 e 14, traz como principais objetivos:

- “II - não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos” e;
- “XIV - incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, incluídos a recuperação e o aproveitamento energético”.

Sendo assim, a PNRS, exige por parte dos municípios,

uma postura muito diferente da qual vem sendo adotada atualmente. A modernização do setor por meio de novos sistemas e tecnologias se faz necessária, para que os objetivos desta lei sejam alcançados.

De acordo com a Tabela 1 que apresenta a composição gravimétrica do RSU de Nova Iguaçu, é possível notar que os RSU do município em questão, quando divididos em orgânicos e inorgânicos, apresentam a seguinte percentagem: 97% provenientes dos resíduos orgânicos, e somente 3% dos compostos inorgânicos. Da parte orgânica, a maior parcela é relativa à matéria orgânica, que representa aproximadamente 38%, seguidos pela parcela de papel/papelão que era de 18%. De uma forma geral, a proporção de matéria orgânica é tanto maior, quanto menor o nível de renda da população da localidade.

Segundo Oliveira (1999), em comunidades de baixa renda, a produção de material orgânico é maior, e nas de poder aquisitivo elevado, as proporções de papel são maiores, concluindo-se que a quantidade de matéria orgânica contida nos resíduos, é inversamente proporcional ao desenvolvimento e evolução das cidades. A fração inorgânica contribui apenas com 3% do total de RSU, e desse total, algo em torno de 74%, são metais e 26% vidros.

Segundo Soares (2011), a fração proveniente dos metais encontrada nos RSU de Nova Iguaçu, é composta principalmente por latas de bebidas, papel alumínio de cozinha e latas de aerossóis de inseticidas. Já a fração papel/papelão é constituída por sobras de jornais, revistas e fragmentos de papel. Na fração plástico é observada a presença de garrafas de refrigerantes, embalagens de alimentos e por sacolas de supermercado. A fração de trapo contém sobras de tecidos usados para limpeza, e por roupas antigas. A composição oriunda de vidro é composta basicamente por garrafas de bebidas, lâmpadas e potes de conservas. O percentual de isopor é composto por embalagem de alimentos. A fração outros apresenta os resíduos de pequena granulometria, predominantemente, oriundos de materiais orgânicos já em degradação. A quantidade de borracha é composta principalmente por calçados. E, a fração de matéria orgânica, constituída por sobras de alimentos, folhas e sementes.

Cenários de Aproveitamento Energético dos RSU

AA Lei Federal n.º 12.305/2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, já citada no presente estudo, trouxe a coleta seletiva, em um dos seus artigos, como um de seus instrumentos, especificando-a como a coleta de resíduos sólidos previamente separados, de acordo com sua constituição e composição. Segundo APRELPE (2010), 1326 municípios da região Sudeste apresentam iniciativas de coleta seletiva, e 342 municípios não apresentam nenhum tipo de iniciativa. Desse modo, grande parte do material que poderia ser reciclado, acaba sendo disposto junto à fração correspondente à matéria orgânica putrescível, que

geralmente são os restos de alimentos.

Em grande parte dos aterros sanitários, não existe nenhum tipo de coleta e/ou separação destes materiais, o que representa uma perda em termos energéticos, visto que estes poderiam voltar para a cadeia produtiva. E, haveria uma perda de vida útil dos aterros, uma vez que estes materiais ocupariam um grande volume físico nas células dos aterros sanitários. Na Tabela 4 é apresentada a quantidade de metano gerado no Cenário I, a partir do ano de 2020 até o ano de 2075.

Tabela 4. Quantidade de metano gerado no Cenário I.

Ano	t C H ⁴ Gerada	m ³ C H ⁴ Gerado	Ano	t C H ⁴ Gerada	m ³ C H ⁴ Gerado
2020	-	-	2048	17107,24	23866128,95
2021	1666,88	2325449,11	2049	15839,42	22097406,64
2022	3212,83	4482185,76	2050	14665,56	20459764,60
2023	4646,77	6482654,88	2051	13578,69	18943488,45
2024	5977,00	8338442,95	2052	12572,37	17539583,75
2025	7211,21	10060277,79	2053	11640,63	16239722,63
2026	8356,52	11658092,18	2054	10777,94	15036194,41
2027	9419,53	13141082,77	2055	9979,19	13921859,84
2028	10406,33	14517764,68	2056	9239,63	12890108,77
2029	11322,59	15796021,97	2057	8554,88	11934820,92
2030	12173,53	16983154,42	2058	7920,88	11050329,59
2031	12963,99	18085920,84	2059	7333,86	10231388,05
2032	13698,46	19110579,13	2060	6790,35	9473138,38
2033	14381,10	20062923,45	2061	6287,11	8771082,71
2034	15015,75	20948318,54	2062	5821,17	8121056,49
2035	15605,98	21771731,59	2063	5389,77	7519203,80
2036	16155,07	22537761,66	2064	4990,33	6961954,51
2037	16666,08	23250666,98	2065	4620,49	6446003,04
2038	17141,83	23914390,24	2066	4278,07	5968288,81
2039	17584,95	24532581,91	2067	3961,02	5525978,05
2040	17997,86	25108621,95	2068	3667,47	5116447,01
2041	18382,79	25645639,83	2069	3395,67	4737266,37
2042	18741,83	26146533,12	2070	3144,02	4386186,87
2043	19076,90	26613984,63	2071	2911,02	4061125,92
2044	19389,78	27050478,39	2072	2695,28	3760155,28
2045	19682,12	27458314,32	2073	2495,53	3481489,62
2046	19955,44	27839621,92	2074	2310,59	3223475,92
2047	18476,54	25776423,46	2075	2139,35	2984583,65

Fonte. Arquivo pessoal

É possível de se observar que, a massa e o volume total de metano gerado a partir de 100% dos RSU aterrados é estimada em 569.417 tCH₄ ou 794.387.851 m³CH₄, respectivamente. Já a Tabela 5 apresenta a quantidade de metano gerado no Cenário II, sem a fração de papel/papelão. A massa e o volume total de metano gerado, conforme já era esperado, diminuiu atingindo os valores de 297.002 tCH₄ ou 414.344.730 m³CH₄, respectivamente. Sendo assim, é possível notar que ocorreu uma redução significativa de metano gerado, em aproximadamente, 52%.

Tabela 5. Quantidade de metano gerado no Cenário II.

Ano	t C H ⁴ Gerada	m ³ C H ⁴ Gerado	Ano	t C H ⁴ Gerada	m ³ C H ⁴ Gerado
2020	0	0	2048	8922,97	12448341,69
2021	869,41	1212901,57	2049	8261,69	11525793,27
2022	1675,76	2337837,12	2050	7649,41	10671615,04
2023	2423,69	3381264,86	2051	7082,51	9880740,09
2024	3117,53	4349228,18	2052	6557,63	9148476,99
2025	3761,28	5247322,63	2053	6071,64	8470482,03
2026	4358,67	6080729,05	2054	5621,67	7842733,36
2027	4913,12	6854244,35	2055	5205,05	7261507,24
2028	5427,83	7572309,95	2056	4819,30	6723355,88
2029	5905,74	8239038,10	2057	4462,14	6225086,99
2030	6349,58	8858236,30	2058	4131,45	5763744,88
2031	6761,88	9433429,89	2059	3825,27	5336592,91
2032	7144,98	9967882,94	2060	3541,78	4941097,22
2033	7501,04	10464617,63	2061	3279,30	4574911,79
2034	7832,07	10926432,18	2062	3036,27	4235864,40
2035	8139,92	11355917,41	2063	2811,25	3921943,87
2036	8426,32	11755472,17	2064	2602,91	3631288,04
2037	8692,86	12127317,51	2065	2410,01	3362172,75
2038	8941,01	12473509,90	2066	2231,40	3113001,64
2039	9172,14	12795953,39	2067	2066,03	2882296,63
2040	9387,51	13096410,96	2068	1912,92	2668689,20
2041	9588,29	13376514,89	2069	1771,15	2470912,26
2042	9775,56	13637776,54	2070	1639,89	2287792,59
2043	9950,33	13881595,25	2071	1518,36	2118243,94

Fonte. Arquivo pessoal

A Figura 1 apresenta a vazão de metano captado, que está realmente disponível para gerar energia ao longo dos anos, assim como a diferença entre os dois cenários. Pode-se constatar que a vazão de metano tem um comportamento crescente, correspondente ao período em que o aterro recebe o RSU, pois a cada tonelada de lixo, soma-se um novo potencial. O último ano de deposição de resíduos no aterro é dado pelo ponto máximo da curva (ano 2045/2046), no qual corresponde, a uma vazão de aproximadamente, 1.907 m³CH₄ h⁻¹ para o Cenário I, e 994,5 m³CH₄ h⁻¹ para o Cenário II. Na etapa de decaimento, a curva é dirigida pela constante “k”, referente à degradação da matéria orgânica (Carbono Orgânico Degradável – DOC) no tempo.

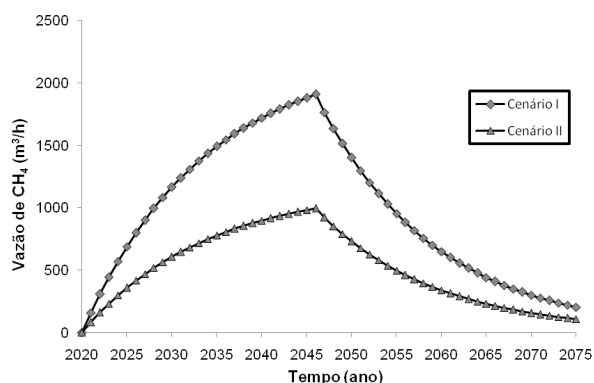


Figura 1. Vazão de metano disponível ao longo do tempo para os Cenários I e II

O comportamento da curva de disponibilidade de potência e energia a cada ano no aterro, em função da vazão de metano, pode ser observado nas Figuras 2 e 3, respectivamente. No ano de 2046, os valores de potência e energia atingem seus valores máximos de 3,41 MW e 71,3 MWh dia⁻¹, para o Cenário I e 1,78 MW e 37,19 MWh dia⁻¹, para o Cenário II, respectivamente.

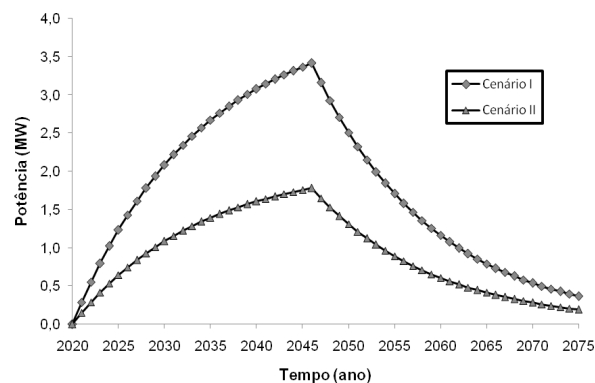


Figura 2. Potência disponível ao longo do tempo para os Cenários I e II

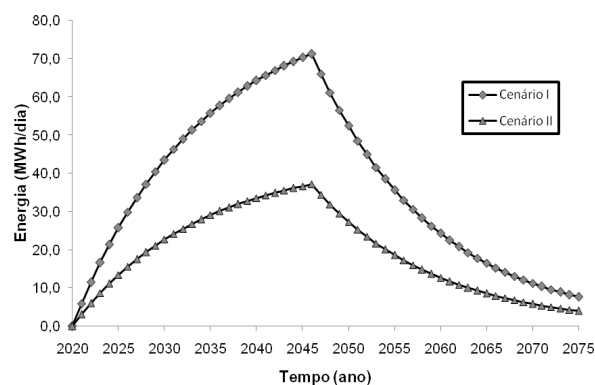


Figura 3. Energia disponível ao longo do tempo para os Cenários I e II

Analisando os dois Cenários, fica evidente que há uma redução expressiva na energia quando se opta pelo Cenário II. Tal fato se deve à exclusão da fração papel/papelão. Contudo, deve-se observar que a reciclagem não é incompatível com outros usos ou destinos de RSU. Em outras palavras, embora afete o dimensionamento de projetos de outros usos dos resíduos, como a recuperação energética (geração de energia elétrica), ou a disposição final, a reciclagem não constitui, necessariamente, como uma rota excludente. A própria Política Nacional de Resíduos Sólidos cita em seu Art 6.º, inciso 7, como um de seus principais princípios:

- “VIII - o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania”

Utilizando os índices citados de economia de energia elétrica, mostrados na Tabela 2, é possível obter os índices teóricos de energia elétrica conservada, levando em conta a composição média dos materiais recicláveis, contidos no RSU de Nova Iguaçu. Na Tabela 6, observa-se que o potencial teórico de conservação de energia elétrica para Nova Iguaçu, situa-se entre 1,326 e 3,295 MWh t⁻¹ de RSU.

Tabela 6. Índice de energia elétrica conservada (MWh/t).

Material	Fração dos RSU (%)	Calderoni	Morris	EPA	Warnken ISE
Papel / Papelão	17,51	0,615	0,306	0,517	0,240
Plástico	17,09	0,865	0,948	2,630	1,010
Metal	2,45	0,130	0,080	0,143	0,065
Vidro	0,87	0,006	0,001	0,005	0,011
Total	37,92	1,615	1,335	3,295	1,326

Fonte. Arquivo pessoal

São valores expressivos, mesmo que se abstraíam os índices extremos (o maior, de 3,295 MWh t-1 de RSU, calculado a partir dos parâmetros da EPA e o menor, de 1,326 MWh t-1, calculado a partir dos parâmetros do relatório Warnken ISE, aplicados sobre a composição do RSU de Nova Iguaçu. Na Tabela 7 são apresentados os valores estimados de potencial de conservação de energia elétrica, contido na reciclagem dos RSU de Nova Iguaçu entre 2020 e 2045, período em que o aterro estará operando.

Tabela 7. Potencial de Energia Elétrica Conservada na Reciclagem (MWh/dia)

Ano	Calderoni	Morris	EPA	Warnken ISE
2021	204,93	172,51	430,65	171,40
2022	205,25	172,77	431,31	171,66
2023	205,56	173,04	431,97	171,93
2024	205,88	173,30	432,63	172,19
2025	206,19	173,57	433,30	172,45
2026	206,51	173,83	433,96	172,72
2027	206,82	174,10	434,63	172,98
2028	207,14	174,37	435,29	173,25
2029	207,46	174,63	435,96	173,51
2030	207,78	174,90	436,63	173,78
2031	208,09	175,17	437,30	174,04
2032	208,41	175,44	437,97	174,31
2033	208,73	175,71	438,64	174,58
2034	209,05	175,97	439,31	174,85
2035	209,37	176,24	439,98	175,11
2036	209,69	176,51	440,66	175,38
2037	210,02	176,78	441,33	175,65
2038	210,34	177,06	442,01	175,92
2039	210,66	177,33	442,68	176,19
2040	210,98	177,60	443,36	176,46
2041	211,31	177,87	444,04	176,73
2042	211,63	178,14	444,72	177,00
2043	211,95	178,42	445,40	177,27
2044	212,28	178,69	446,09	177,54
2045	212,60	178,96	446,77	177,82
2046	212,93	179,24	447,45	178,09

Fonte. Arquivo pessoal

Por motivos óbvios, estes números são valores teóricos, que na prática e por diferentes razões não deverão ser atingidos. Entre essas razões encontram-se as perdas naturais no processo de coleta e seleção, e as variações sazonais das proporções destes materiais ao longo dos anos, que tende a reduzir, ou aumentar estes números apresentados.

De qualquer modo, esses números indicam que não se deve deixar de lado a implementação de programas de reciclagem. E, não por acaso, a despeito de outros fatores de natureza socioeconômica, o índice de reciclagem no Brasil já é bastante alto para alguns dos materiais, em que o índice de conservação por peso do material é mais elevado, como por exemplo, as latas de alumínio (metal), e as embalagens plásticas de PET (plásticos).

De qualquer modo, esses números indicam que não se deve deixar de lado a implementação de programas de reciclagem. E, não por acaso, a despeito de outros fatores de natureza socioeconômica, o índice de reciclagem no Brasil já é bastante alto para alguns dos materiais, em que o índice de conservação por peso do material é mais elevado, como por exemplo, as latas de alumínio (metal), e as embalagens plásticas de PET (plásticos).

Os quatro setores industriais que abrigam as principais atividades de reciclagem pós-consumo no País, são o de alumínio, que em 2009 atingiu a posição de destaque mundial em eficiência no ciclo de reciclagem, com uma relação de 35,3%, entre a quantidade de sucata recuperada, e a quantidade de alumínio consumido pelo mercado interno. O Brasil conseguiu consolidar sua liderança mundial, atingindo a marca de 98,2 % de latas de alumínio recicladas (ABAL, 2010). Em 2009, o Brasil registrou uma taxa de recuperação de 46% dos materiais coletados. Este valor indica que o percentual de reciclagem dos papéis são passíveis de reciclagem (BRACELPA, 2010). Os dados disponíveis sobre a reciclagem de plásticos no Brasil retratam o universo da indústria de reciclagem mecânica dos plásticos, que em 2007 teve 962 mil toneladas de plásticos reciclados, sendo o plástico tipo PET, o mais reciclado no País, apresentando um índice de reciclagem em 2009 de 55,6%. Tal valor corresponde a uma quantidade de 292 milhões de toneladas de PET recicladas (Plastivida, 2010). A reciclagem de vidros no Brasil apresenta um dado interessante, apenas 20% do vidro utilizado em embalagens teve como destinação os aterros sanitários ou alguma outra forma ignorada. A parcela reciclada atingiu a casa dos 47%. A parcela reutilizada totalizou 33%, sendo que 24% correspondem a reutilizações consideradas indevidas, de uma forma geral (ABIVIDRO, 2010). Um dos objetivos claros que a Política Nacional de Resíduos Sólidos em seu Art 7º, inciso 6 menciona é:

- “VI - incentivo à indústria da reciclagem, tendo em vista fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados”.

Conforme já salientado, a reciclagem contribui para reduzir a demanda por fontes naturais de matéria-prima. Em outras palavras, a transformação de material reciclado, consome menos energia que a transformação da matéria-prima na sua forma primária. Dessa forma, pode-se dizer que a reciclagem é um dos elementos da estratégia de conservação da energia e de recursos naturais.

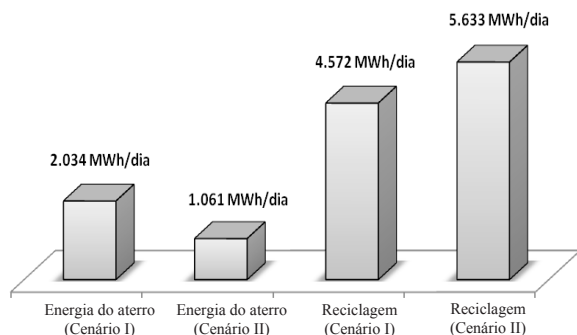


Figura 4. Energia disponível nos Cenários I e II.

Na Figura 4, é possível de se comparar a energia disponível no Cenário I, proveniente do aterro, com a energia disponível no Cenário II, provenientes do aterro e da reciclagem. A quantidade de energia elétrica gerada do metano proveniente do aterro, acrescidos da energia elétrica conservada, levando em conta os índices de Morris (índices intermediários), proveniente da reciclagem, ambos do Cenário II (5.633 MWh dia-1), correspondem a um percentual de aproximadamente 64% maior, do que a quantidade de energia elétrica gerada, somente do metano proveniente do aterro no Cenário I (2.034 MWh dia-1).

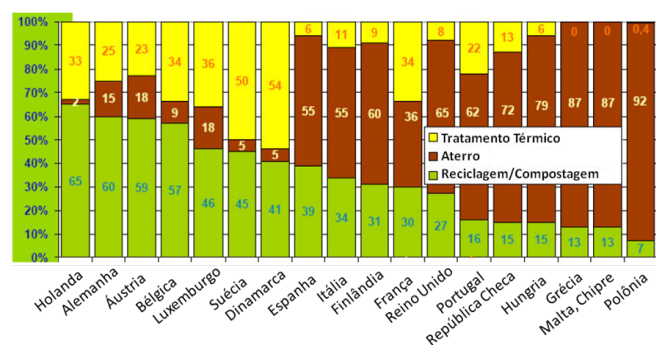


Figura 5. Tratamento de Resíduos Sólidos na Europa em 2005
Fonte: Eurostat.

O valor correspondente à energia elétrica conservada de 4.572 MWh dia-1, proveniente da reciclagem demonstra por si só a importância da inserção desta prática no modal de gestão de RSU. A Figura 5 apresenta uma distribuição em termos percentuais do tratamento dado aos resíduos em países da Europa. Pode-se constatar que os países que apresentam os maiores percentuais de reciclagem, são também aqueles, com os maiores aproveitamentos energéticos de resíduos.

Segundo ABRELPE (2010), o que se constatou nos últimos anos ser uma política mais eficiente para a gestão de resíduos, foi justamente a integração de ações conectadas entre si, como a redução dos resíduos gerados; uma melhor utilização dos produtos, tendo a possibilidade de reutilizar sempre que possível; a separação das frações dos resíduos e o encaminhamento para processos de reciclagem; a adoção de ações para recuperar a energia contida nos resíduos, cuja reciclagem não foi viabilizada; e a implementação de solução de tratamento e destinação final, que traga consigo a melhor tecnologia disponível, com custo acessível para a população servida por estes tipos de atividades. A própria Política Nacional de Resíduos Sólidos em seu Art 9.º, diz que a gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos, devem ser observados nas seguintes ordens de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos resíduos.

De uma forma geral, as duas rotas para aproveitamento do RSU, como a reciclagem e a transformação acabam por aumentar a oferta de energia e reduzir o consumo de combustíveis fósseis. Isso está associado à expansão da oferta do setor elétrico brasileiro está prevista, que ainda não tem conseguido concretizar de forma ideal a disponibilizar de forma ideal energia para a população, sendo então necessário, o acionamento de usinas termelétricas movidas a gás natural, sobretudo o gás importado, visto que em 2010, a geração através de fontes não renováveis aumentou em 48,2% comparados, com relação ao ano anterior, com destaque para o gás natural (139,4%) e os derivados de petróleo (17,0%) (BEN, 2011).

Diante disto fica evidente que, é necessário um incremento na oferta de energia para uma redução no risco de déficit da mesma. Outro ganho que poderá ser observado é com relação à redução da quantidade de RSU a ser depositado em aterros sanitários, o que amplia sua vida útil, e soluciona um dos grandes problemas da atualidade, a escassez de áreas para novos depósitos de RSU.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos em seus Arts 15.º, 17.º e 18.º, descreve claramente que a União, o Estado e o Município devem elaborar planos que propiciem: (i) proposição de cenários, (ii) metas de redução, reutilização, reciclagem, entre outras, com vistas a reduzir a quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada e (iii) metas para o aproveitamento energético dos gases gerados nas unidades de disposição final de resíduos sólidos.

É certo que os Cenários abordados neste estudo não levam em consideração os crescentes problemas de resíduos sólidos em complexos regionais densamente urbanizados, mas servem como exemplos a serem considerados, sob um ponto de vista multimodal, a partir do reconhecimento de que nenhuma opção tecnológica terá a capacidade de resolver isoladamente os desafios atuais. Porém, as dificuldades de custo e

a necessidade de mudanças de comportamento dos cidadãos, em relação aos resíduos, indicam que este estágio é somente atingível, como o resultado de um aperfeiçoamento gradual e constante dos sistemas municipais, e não como um conjunto de metas de curto prazo e de aplicação simultânea.

Conclusão

O valor médio de 0,98 kg (hab-1dia-1) de contribuição per capita, mostrou-se coerente com a média brasileira. A produção de RSU no período de 2020 a 2045 situa-se na faixa de 808.500 a 840.000 t ano-1. Foi possível verificar que a maior parcela da composição do RSU (97%), corresponde aos resíduos orgânicos, o que conferiu elevados valores de geração de metano. Quando comparado à quantidade de metano gerado nos dois Cenários, foi possível observar que houve uma perda significativa de 52%, em termos de volume no Cenário II, uma vez que a fração papel/papelão não foi considerada. No ano de 2046 os valores de potência e energia atingem seus valores máximos de 3,41 MW e 71,3 MWh dia-1 para o Cenário I e 1,78 MW e 37,19 MWh dia-1 para o Cenário II, respectivamente. O potencial teórico de conservação de energia elétrica, proveniente da reciclagem, situa-se entre 1,326 a 3,295 MWh t-1 de RSU. A quantidade de energia elétrica gerada no Cenário II de 5.633 MWh dia-1, corresponde a um percentual de aproximadamente 64% maior, quando comparado ao Cenário I que correspondeu a 2.034 MWh dia-1.

Referências

- ABAL. Associação Brasileira de Alumínio, (2010). Disponível em: <<http://www.abal.org.br>>
- ABIVIDRO. Associação Brasileira da Indústria de Vidro, (2010). Disponível em: <<http://www.abividro.org.br>>
- ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (2010), Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil.
- Almeida, M.G.; Ferreira, E.M. (2009). Aproveitamento de Resíduos Sólidos Urbanos e Outros Rejeitos, Para Conversão de Energia Elétrica, In: XIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e IX Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba.
- BRACELPA. Associação Brasileira de Celulose e Papel, (2010). Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br>>
- Braga, B.; Hespagnol, I.; Conejo, J.G.L.; Mierzwa, J.C.; de Barros, M.T.L.; Spencer, M.; Porto, M.; Nucci, N.; Juliano, N.; Eiger, S. (2002). Introdução à Engenharia Ambiental. São Paulo: Prentice Hall.
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente, (2010). Lei 12.305, de agosto de 2010, que Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, Brasília.
- Brasil. Ministério de Minas e Energia, Balanço Nacional Energético, (2011). Disponível em: <<http://www.ben.epe.gov.br>>
- Calderoni, S. (1996). Os bilhões perdidos no lixo, 1a ed. São Paulo: Humanitas Editora.

CEPERJ. Fundação Centro Estadual de Estatísticas, Pesquisas e Formação de Servidores Públicos do Rio de Janeiro, (2010). Anuário Estatístico do Estado do Rio de Janeiro - Versão On-Line.

EPA. U. S. Environmental Protection Agency, (2007). Waste Reduction Model. Washington, DC: EPA. Disponível em: <<http://www.epa.gov>>

Henriques, R.M. (2004). Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos: Uma Abordagem Tecnológica, Dissertação de Mestrado em Ciências em Planejamento Energético-UFRJ, Rio de Janeiro, 204 p.

Hinrichs, R.A.; Kleinbach, M.; dos Reis, L.B. (2010). Energia e Meio Ambiente. Ed. Cengage Learning: São Paulo.

IBGE. Censo Demográfico (2010). Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>

IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima, (2006). Guia para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa, Capítulo 3 – Disposição de Resíduo Sólido.

Monteiro, J.H.P. et al. (2001). Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro: IBAM.

Morris, J. (1996). Recycling Versus Incineration: An Energy Conservation Analysis, Journal of Hazardous Materials, vol. 47, pp. 277-293.

Oliveira, S. (1999). Caracterização Física dos Resíduos Sólidos Domésticos (RSD) da Cidade de Botucatu, SP. In: Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 4, n.o 4. São Paulo: ABES.

Plastivida. Instituto Sócio Ambiental dos Plásticos, (2010). Disponível em: <<http://www.plastivida.org.br>>

Soares, E.L.S.F. (2010). Estudo da caracterização gravimétrica e poder calorífico dos resíduos sólidos urbanos, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Warnken ISE. (2007). Potential for Greenhouse Gas Abatement from Waste Management and Resource Recovery Activities in Australia. Final Report, 54p. Sydney, NSW: Warnken ISE/SITA.