

INCINERAÇÃO COM RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA, UMA ALTERNATIVA PARA DESTINAÇÃO CORRETA DO RESÍDUO SÓLIDO URBANO

José Antonio Poletto Filho¹

Gustavo Cassettari Poletto²

RESUMO

A exploração abusiva da energia originada de fontes não renováveis e a dependência do Brasil dos derivados do petróleo e das hidroelétricas podem acarretar prejuízos ao ambiente e ao homem. Assim sendo estudar fontes alternativas para geração de energia é necessário. Conciliar a geração de energia com possibilidade de mitigar o impacto da geração de resíduo pela sociedade seria resolver dois problemas de uma só vez. O objetivo do presente trabalho é analisar a recuperação de energia do Resíduo Sólido Urbano (RSU) através do Processo de Incineração. Leva em consideração a tendência atual de segregação (separação) de plásticos, papel e papelão, vidro e metais, e sua influência nos fluxos de massa e energia no Sistema de Incineração de RSU.

PALAVRAS CHAVE: Energia alternativa; Incineração de RSU; Geração de energia; Poder Calorífico; Segregação.

ABSTRACT

Abusive exploitation of energy from non-renewable sources and Brazil's dependence on petroleum derivatives and hydroelectric plants can cause harm to the environment and to man. So studying alternative sources for power generation is necessary. Reconciling power generation with the possibility of mitigating the impact of waste generation on society would solve two problems at once. The objective of the present work is to analyze the energy recovery of the Urban Solid Waste through the Incineration Process. It takes into account the current trend of segregation (separation) of plastics, paper and paperboard, glass and metals, and its influence on mass and energy flows in the MSW Incineration System.

Keywords: Alternative Energy; Incineration of MSW; Generation of Energy; Calorific Power; Segregation.

¹ Possui graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade São Francisco, Mestrado e Doutorado em Engenharia pela Universidade Estadual Paulista - UNESP. Especialização em Segurança do Trabalho - Unicamp, Especialização em Meio Ambiente - Unicamp, Especialização em Higiene Ocupacional - USP, Especialização em Tecnologias de Informação e Comunicação, Educação Ambiental e Gerenciamento de Recursos Hídricos - UNESP, Especialização em Ergonomia - SENAC, Licenciatura - Mecânica - Fatec, Licenciatura - Segurança do Trabalho - Fatec.

² Graduando em Engenharia de Produção pelo Centro Universitário Eurípides de Marília - UNIVEM

1. INTRODUÇÃO

A palavra **lixo**, derivada do termo latim *lix*, significa "cinza". Segundo o dicionário Aurélio (2010), lixo é definido como sujeira, aquilo que se varre de casa, do jardim, da rua, se joga fora; entulho, sujidade, imundice, coisa inútil, sem valor.

Lixo, em uma linguagem técnica, pode ser descrito como resíduos sólidos representados por materiais inservíveis e descartados pelas atividades humanas. Até meados do século XVIII o lixo era essencialmente de sobras de alimentos e produzido em pequena quantidade. Com a Revolução Industrial, e a produção em massa, início se uma nova fase, o consumo em larga escala e o surgimento das embalagens, o que fez com que a quantidade e diversidade dos resíduos gerados aumentassem muito (MENIN, 2000).

O homem passou a viver a era dos descartáveis em que a maior parte dos produtos, desde guardanapos de papel, latas de refrigerante, até computadores são inutilizados e jogados fora com enorme rapidez. A cultura do descarte, o consumo exagerado e a obsolescência programada têm gerado toneladas de lixo que, na maioria das vezes, não têm destinação adequada.

A sustentabilidade do planeta está diretamente ligada à mudança de padrões de consumo e a diminuição da produção de resíduos faz parte deste cenário. A solução para este problema não é simples, nem única. Reduzir, reciclar, reutilizar, compostagem, incineração, aterros, geração de energia, entre outros meios, podem ser usados para diminuir a quantidade de lixo.

Por outro lado, além do problema com a disposição final dos resíduos sólidos, também existe a preocupação com o esgotamento das reservas de petróleo, cujos suprimentos se formaram em unidades de tempo geológico de milênio ou eras, mas são consumidos em unidades de tempo humano – décadas ou anos.

2. OBJETIVOS

Entender a formação e a composição média do Resíduo Sólido Urbano (RSU) em um município de porte médio com aproximadamente 370.000 habitantes. De posse destes dados fazer um estudo sobre a possibilidade de gerar energia a partir destes

materiais, estimando aproximadamente a quantidade de energia que poderia ser obtida na combustão dos RSU.

O estudo irá considerar duas alternativas: na primeira considerando-se a energia gerada pela totalidade do RSU e na segunda considerando a reciclagem de parte do resíduo retirando-se os materiais passíveis de reciclagem (papel, papelão, plástico, etc.).

2.1 Justificativa

A Política Nacional de Resíduo Sólido (BRASIL, 2010) propõe práticas ambientalmente corretas para a destinação adequada do RSU, que quando analisada de uma forma global, deve considerar a geração de energia elétrica a partir do RSU que é um dos componentes da Gestão Integrada de Resíduos, apresentando outro aspecto importante, pois contribui para a mitigação dos impactos gerados pelo descarte inadequado e contribui para o aumento da oferta de energia elétrica. Neste contexto a biomassa presente no RSU pode ser utilizada como combustível para sistemas de geração de energia elétrica (REIS, 2003).

A construção de modelos de desenvolvimento sustentável, o tratamento do resíduo de qualquer tipo e procedência, devem ser um dos principais desafios dos gestores municipais, pois devido capacidade de dispersão que os metais pesados apresentam, podem contaminar o lençol freático. (CUNHA, AUGUSTIN,2014).

Desta forma este trabalho teve como proposta realizar um diagnóstico e análise da implantação de sistema de tratamento térmico dos RSU, com recuperação energética, gerados em um município de porte médio no interior do estado de São Paulo, com aproximadamente 370.000 habitantes.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Mudanças nos hábitos de consumo da população trazem como consequência alterações composição e quantidade dos Resíduos Sólidos Urbanos - RSU, que tem se mostrado superior ao crescimento populacional impactando diretamente os aterros sanitários (GUARDABASSIO, 2014).

Segundo Menezes, Gerlach, Mendes (2000) pode-se afirmar que mil quilogramas de RSU equivalem a 200 kg de carvão ou 250 kg de combustível, 30.000

kg de água quente ou ainda 500 kWh de energia elétrica. O calor recuperado pela incineração pode representar cerca de 6 a 7 % da energia consumida pela população que gera o RSU, desta forma não é concebível, nos dias atuais um projeto de tratamento de RSU sem a reciclagem de energia.

A sociedade moderna pode ser caracterizada por jogar as coisas fora, mais de 10 % do custo dos alimentos é causado pelas embalagens, que representam 50% do volume e 30% da massa do lixo, concomitantemente o grande crescimento das regiões metropolitanas fez com que as áreas disponíveis para a destinação dos RSU se tornassem escassas e como consequência os resíduos descartados acabam acumulados no ambiente aumentando a poluição do solo, águas e prejudicando a saúde das populações do entorno, especialmente nas regiões menos desenvolvidas (POLETTO e SILVA, 2007).

Resíduos Sólidos Urbanos mais conhecidos como lixo, são provenientes de restos de atividades humanas consideradas pelos geradores como inúteis ou indesejáveis, podendo apresentar-se na forma sólida, semi-sólida ou semi-líquida (IPT, 1998; ABNT NBR 10004, 2004).

Segundo Mucelin e Bellini (2008) a destinação incorreta do lixo urbano compromete o meio ambiente, causando poluição do solo, do ar e dos recursos hídricos, sendo que a redução da quantidade de resíduos sólidos urbanos a ser depositado em aterros sanitários amplia suas vidas úteis e soluciona um dos grandes problemas da atualidade, a escassez de áreas para novos depósitos de RSU. Em alguns casos são disponibilizados subprodutos, como adubo e cinzas, que podem ser utilizados em outras aplicações.

É importante lembrar que com objetivo de construir um modelo de desenvolvimento sustentável, a questão do tratamento do resíduo de qualquer tipo e proveniência, é hoje um dos principais desafios da humanidade. Analisando de uma forma global, a geração de energia elétrica a partir do RSU é um dos componentes da Gestão Integrada de Resíduos.

No Brasil, a cidade de Manaus, Amazonas, foi a primeira a implantar um incinerador, no ano de 1896 e desativado em 1958, por não atender mais as necessidades locais. Em Belém - PA, no início do século XIX, foi também instalado um incinerador semelhante ao de Manaus, sendo desativado em 1978, por problemas de manutenção. Em São Paulo - SP, em 1913 foi instalado um incinerador com capacidade

de processar 40 toneladas de lixo por dia, provido de sistema de recuperação de energia, que consistia de caldeira e alternador.

A incineração é o processo físico-químico pelo qual se transforma a matéria por efeito do aumento da temperatura. Entre os processos de incineração, podem-se distinguir: cremação que é a transformação da matéria direta por aplicação da chama e pirólise que consiste na decomposição térmica dos resíduos (AURELIO, 2010).

Segundo o Ministério de Meio Ambiente (BRASIL, 2017) as principais vantagens do RSU para geração de energia são:

- Os equipamentos e insumos necessários para sua produção são de origem nacional e, por este motivo, cotados em moeda brasileira;
- São intensivos em mão-de-obra, uma vez que requerem triagem do lixo, para obter biomassa residual e reciclável;
- Está disponível, normalmente, junto aos consumidores, o que reduz o custo de transporte, seja da energia ou do combustível;
- Contribuem para a redução da poluição.

Segundo Casques (2013) o RSU pode ser caracterizado através do seu peso específico, volume gerado, composição química, umidade e poder calorífico. Esta caracterização é importante para dimensionar o sistema de coleta como um todo, o peso específico é importante para dimensionamento das características da frota de veículos coletores, o número de estações de transbordo e os incineradores, o volume gerado é determinante para previsão do número de veículos coletores, sua capacidade e características técnicas assim como o pessoal. Da composição química se têm informações quanto ao teor de oxigênio, hidrogênio, carbono e enxofre, determinando assim a quantidade de ar necessária nos incineradores, câmaras, e demais componentes do sistema, determinando assim o **Poder Calorífico** do resíduo que é a energia liberada pela combustão total à pressão constante de um quilograma de combustível.

Poder Calorífico Superior é a quantidade de calor liberada para queimar completamente um quilograma de combustível, resultando gás carbônico e água no estado líquido.

Poder Calorífico Inferior o resultado da combustão é gás carbônico e vapor d'água. A diferença entre o PCS e o PCI é a entalpia de vaporização da água originada na combustão.

De acordo com Silva (1998), o poder calorífico do RSU pode ser determinado experimentalmente ou a partir das porcentagens em massa dos diferentes componentes (papel, matéria orgânica, tecidos, etc.).

A partir da análise elementar (% em massa de C, H, O, S e umidade) utilizam-se equações empíricas válidas para unidades no Sistema Internacional, tais como:

Fórmula de Mendeleev:

$$PCI = 340 * C + 1030 * H - 110 * (O - S) - 25 * W \quad (1)$$

Fórmula de Dulong para combustíveis sólidos:

$$PCS = 339,6 * C + 1418,9 * (H - \frac{O}{8}) + 94,2 * S \quad (2)$$

Segundo o manual de Gerenciamento Integrado dos Resíduos Sólidos (BRASIL, 2017) o poder calorífico médio de o lixo domiciliar se situa na faixa de 5.000 kcal/kg, sendo que a composição média dos resíduos gerados no Brasil é: matéria orgânica:

65%; vidro: 3,0 %; metal: 4,0 %; plástico: 3,0 %; papel: 25,0 %; destes, 10% são destinados a aterros sanitários; 13 % aterros controlados; 75 % a lixões e apenas 2 % a reciclagem. Outro dado importante segundo a Associação Empresarial para Reciclagem (2016), um em cada 1000 brasileiros é catador de lixo.

Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública (ABRELPE, 2016) toda vez que o PIB cresce o consumo aumenta geram-se mais resíduos, mas não foi o que ocorreu em 2016 quando a geração de resíduo cresceu em 1,07 % e o PIB diminuiu em 3,8 %, fato que pode ser explicado quando se leva em consideração que a crise não freiou o consumo de produtos descartáveis, mas fez os consumidores optarem por produtos de menor custo. Já Lenharo (2016) comenta que o aumento da geração de RSU, nos últimos 11 anos, foi maior que o crescimento populacional, a geração de RSU aumentou em 29%, contra um crescimento populacional de 6%, nem mesmo a retração econômica no ano de 2014 fez com que a geração de RSU diminuísse.

Ainda segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2010) a população brasileira gerou aproximadamente 61 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos no ano de 2010, um acréscimo de 6,8% sobre o ano anterior, em contrapartida de acordo com o IBGE, a população cresceu apenas 1%.

Comenta Maciel (2016) que das 250 mil toneladas de RSU gerados no Brasil em 2014, 41 % tiveram como destinação aterros controlados ou lixões, que de acordo com a ABRELPE são locais inadequados para a destinação final destes resíduos, pois oferecem risco de contaminação ao meio ambiente.

Comentam Santos, Oliveira e Correa (2013) que o potencial de recuperação de energia tendo como combustível o RSU, no Brasil, é alto. Quando se considera os 90 milhões de habitantes das regiões metropolitanas que geram 1,2 Kg/dia de resíduo e deste total 45% poderia ser destinado para usinas térmicas, ter-se-iam um potencial de gerar 8,7 milhões de MWh.

Na **Tabela 1** têm-se a composição do RSU no Brasil, segundo dados da Abrelpe (2011). Este parâmetro é importante uma vez que a quantidade de cada componente e a umidade tem influência direta no Poder Calorífico do RSU. Os valores demonstrados nesta tabela são compatíveis com a composição observada em alguns municípios brasileiros.

A composição do RSU é influenciada por vários fatores: número de habitantes, poder aquisitivo, nível educacional, hábitos e costumes da população, condições climáticas e sazonais, e mudanças na política econômica de um país.

Tabela 1: Composição do RSU no Brasil

Componente	Porcentagem em Peso (base úmida)
Matéria Orgânica	51,4
Papel e Papelão	13,1
Material Ferroso	2,9
Trapos, Couro, Borracha.	2,2
Plástico	13,0
Vidro	2,9
Madeira	0,8
Diversos	13,7

Com base nas porcentagens de Carbono, Hidrogênio, Oxigênio, Nitrogênio, Enxofre, Cinzas indicadas na tabela acima pode se determinar o PCI do RSU com utilização de software apropriado.

Conforme relatório do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (BRASIL, 2009) no ano de 2009 a massa coletada de Resíduos Sólidos Urbanos variou

de 0,77 kg*habitante⁻¹*dia⁻¹ a 1,19 kg*habitante⁻¹*dia⁻¹, média de 0,96 kg*habitante⁻¹*dia⁻¹.

A **Tabela 2** mostra a porcentagem dos componentes encontrados nos resíduos urbanos (KENJI IWAI, 2005)

Tabela 2: Porcentagem dos componentes encontrados nos resíduos urbanos

Porcentagem em massa base seca (%)						
Resíduos	Carbono	Hidrogênio	Oxigênio	Nitrogênio	Enxofre	Cinzas
Resto de alimentos	48,0	6,4	37,6	2,6	0,4	5,0
Papelão	43,0	5,9	44,8	0,3	0,2	5,0
Plásticos	60,0	7,2	22,8	-	-	10,0
Polietileno	85,2	14,2	-	< 0,1	< 0,1	0,4
PVC	45,2	5,6	1,6	0,1	0,1	2,0
Têxteis	48,0	6,4	40,0	2,2	0,2	3,2
Borrachas	69,7	8,7	-	-	1,6	20,0

Na Tabela 3 tem-se registrado a variação da geração de RSU em função do porte do município.

Tabela 3: Massa coletada de resíduos domiciliares e públicos *per capita* em áreas urbanas, segundo o porte dos municípios (2009)

Faixa populacional [1.000 habitantes]	Massa coletada “per capita” [kg*habitante ⁻¹ *dia ⁻¹]		
	Mínimo	Máximo	Médio
Até 30	0,10	2,96	0,81
De 30 a 100	0,15	2,08	0,77
De 100 a 250	0,41	2,36	0,81
De 250 a 1.000	0,49	1,19	0,97
De 1.000 a 3.000	0,73	2,43	1,19
Acima de 3.000	0,89	0,99	0,95

Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, 2009.

Segundo Oliveira e Rosa (2003) a reciclagem é o reaproveitamento dos materiais pós consumo com a finalidade transformá-los em insumos para novos objetos, envolvendo a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas (BRASIL, 2010). Como exemplo, os resíduos de papéis, plásticos, vidros e metais encontrados no RSU podem ser utilizados como matéria-prima reciclada, voltando desta

forma ao ciclo de consumo, reduzindo-se, então, a quantidade de matéria prima virgem necessária no processo produtivo (EPA, 2012).

A geração de energia é uma forma de reciclagem e pode fazer uso da grande quantidade de biomassa residual, presentes nos centros urbanos (resíduos públicos ou oriundos das atividades domésticas) quanto no meio rural (ONAISSI, 2006).

Ainda segundo o mesmo autor, merecem destaques os resíduos derivados de processos industriais, principalmente da indústria alimentícia, que apresentam potencial químico para transformação em biocombustível, tais como: óleos vegetais, ácidos graxos encontrados na gordura animal e no esgoto sanitário. A isto se somam o fato de estarem disponíveis imediatamente, pois, não é necessário planejar sua produção, e considerando ainda que a sua localização é a mesma dos consumidores de energia, sinalizando para a prioridade de seu aproveitamento (CASTELLANELLI, 2007).

Assim, ao contrário da energia eólica e das Pequenas Centrais Hidroelétricas, cuja exploração depende da disponibilidade do recurso natural e cujas áreas para instalação de empreendimentos ficam distantes dos centros urbanos consumidores, a biomassa residual pode ser utilizada em usinas instaladas nas áreas de vazadouro de lixo, o que exige menos investimento em linhas de transmissão, ou nas fazendas de cultivo (CASTELLANELLI, 2008).

A incineração de RSU é uma maneira eficiente de reduzir o volume de lixo e, portanto, a demanda de espaço para aterramento, principalmente, se cinzas residuais provenientes do processo, forem utilizadas como matéria-prima na construção civil. Assim sendo as usinas de incineração podem ser instaladas próximo aos centros de produção de lixo, reduzindo os custos sociais e financeiros do transporte, entregando a energia a custos mais baixos (HAUSER, 2006).

De acordo com Bueno (2008) o lixo pode se tornar uma fonte de energia, transformando o que é hoje um problema em solução, pois, a combustão do lixo representa o método mais eficiente para eliminar as emissões de metano que ocorreriam se os RSU fossem destinados aos aterros e a recuperação de energia a partir da queima controlada do lixo pode gerar energia.

Segundo Almeida e Ferreira (2009) a incineração de RSU é uma alternativa atrativa, haja vista que a destinação final dos resíduos em aterros sanitários é cada vez menos viável, devido aos altos custos de investimento e operação.

Países em desenvolvimento as usinas WtE (Waste to Energy) representam dificuldades devido ao alto custo de implantação e escassez de mão-de-obra especializada. Desta forma, sendo a incineração de RSU significativamente mais cara do que o aterramento, estes custos devem ser compensados mediante a venda de energia recuperada. Portanto, as características do setor de energia são importantes na consideração das usinas WtE e são desejáveis acordos sobre preços de longo prazo (BRITO e SILVA, 2012).

4. METODOLOGIA

Para elaboração deste trabalho foi realizada uma pesquisa bibliográfica que incluiu a legislação pertinente e levantamento dos dados sobre produção e caracterização do RSU no município em questão e posteriormente avaliação técnica do tratamento térmico de Resíduo Sólido Urbano com recuperação de energia, através da utilização de incineradores e geradores de vapor.

Conforme já citado anteriormente a determinação da quantidade e composição de RSU produzido em uma cidade, para fins de geração de energia, não é tarefa simples, depende de uma série de fatores, tais como: o número de habitantes, a qualidade de vida da população, o tipo de coleta e até das condições atmosféricas locais. No caso em tela a cidade escolhida tem população estimada em 370.000 habitantes (IBGE, 2016), o que representa 8,4% dos municípios do estado de São Paulo e 3,5% no Brasil, gerando 360.000 kg de lixo por dia dos quais apenas 39.000 Kg/mês são recicladas pela cooperativa de catadores (SMA, 2016).

Para realização dos cálculos foi utilizado um software que permite analisar o processo de combustão, compreendendo o balanço de massa, composição dos gases liberados, a quantidade de ar necessária, o balanço energético e o poder calorífico do combustível, devendo-se saber antecipadamente a fração mássica de cada constituinte do combustível (% em massa de C, H, S, O, N, H₂O, cinzas). Outro parâmetro importante é a quantidade de água, pois, será utilizado para os cálculos o Poder Calorífico Inferior, ou seja, o poder calorífico do RSU úmido.

Com estes dados foi elaborada a **Tabela 4** onde se encontram os valores do poder calorífico de cada componente do RSU considerando a totalidade dos resíduos coletados, portanto incinerado 100% do RSU, (alternativa I) menos os materiais inertes.

Tabela 4: Contribuição energética de cada componente do RSU (Alternativa I)

Componente	Contribuição (kcal/kg)
Res. de Comida	738
Papel e Papelão	758
Têxtil e Couro	237
Madeira	38
Plástico	521
Total PCI	2.292

Os valores demonstrados na **Tabela 4**, concluindo-se que a combustão de um quilograma do RSU com as características descritas, poderia teoricamente gerar aproximadamente 2.292kcal de energia calorífica.

Na alternativa II em que foi retirada a totalidade da parcela de papel/papelão, plástico que correspondem, conforme a **Tabela 1** a 13,1 % e 13,0 % respectivamente, além do vidro e metal, o poder calorífico esta demonstrado na **Tabela 5**.

Tabela 5: Contribuição energética de cada componente do RSU(Alternativa II)

Componente	Contribuição (kcal/kg)
Res. de Comida	738
Papel e Papelão	0
Têxtil e Couro	237
Madeira	38
Plástico	0
Total PCI	1.013

5. RESULTADOS E ANÁLISES

Como já destacado na revisão bibliográfica, ainda é usual o tratamento tradicional para coleta e disposição final do RSU, gerando problemas de higiene, poluição das águas subterrâneas pela lixiviação, contaminação pelo resíduo biológico, entre outros.

Examinando de uma forma integrada, a queima controlada dos RSU quando realizada em instalações com dispositivos adequados de controle da poluição do ar, é um dos componentes da Gestão Integrada de Resíduos, permitindo uma solução adequada ao problema, com baixo impacto ambiental.

Com a atual tendência da segregação de materiais que tem algum valor de mercado, encontrados no RSU, surge a questão da variação no Poder Calorífico em

função do tipo e qualidade do material segregado. Este procedimento pode influenciar o rendimento de uma usina de recuperação de energia, por exemplo, a redução na quantidade de plásticos presentes no RSU pode elevar o custo da produção de energia, pois diminui o seu poder calorífico.

Como já era esperada, a redução nas quantidades de materiais bons combustíveis, tais como papel/papelão e plástico, reduzem o Poder Calorífico do RSU, implicando em menor quantidade de energia que pode ser recuperada.

Para a determinação do total teórico (T_{te}) de energia gerada a partir do RSU utilizou-se a expressão (3), onde K é fator de conversão de kcal para kWh e vale 0,001163:

$$T_{te} = PCI * K * \eta * m_{RSU} \quad (3)$$

Desta forma, considerando uma produção de RSU em torno de 360.000 quilogramas/dia (m_{RSU}) e eficiência (η) global de uma planta incineradora em torno de 28% (SILVA, 1998), o potencial teórico de geração de energia está demonstrado na **Tabela 6**.

Tabela 6: Potencial teórico de geração de energia

Alternativa	PCI (kcal/kg)	kWh	Massa de RSU (kg/dia)	Total de energia	
				kWh/dia	kWh/t
I	2.292	2,67	360.000	268.692	746,4
II	1.013	1,17	234.000	77.190	21,4

Considerando ainda as estações do ano e hábitos da população o consumo médio de energia elétrica (BEN, 2017) nas residências brasileiras foi de 180,0kWh/mês no ano de 2016, mas pode haver grande variação nas diversas regiões do país, considerando as estações do ano e hábitos da população. Desta forma se tendo como parâmetros as contingências de cada uma das alternativas a quantidade de energia gerada seria suficiente para abastecer: 44.782 e 12.865 residências, de acordo com as alternativas I e II, respectivamente.

6. CONCLUSÕES

- Dentro do quadro atual de aumento da demanda por energia, qualquer sistema alternativo de geração de energia deve ser mais bem pesquisado. A proposta de

incineração do Resíduo Sólido Urbano vem de encontro aos ideais de sustentabilidade e diminuição da poluição. Todavia, pode tornar-se inviável com a adoção de sistemática de separação e segregação na origem de materiais com maior valor de mercado, principalmente daqueles que são melhores combustíveis, contribuindo para a redução da quantidade de energia que pode ser recuperada através do processo de incineração controlada.

- O aproveitamento dos resíduos urbanos como fonte energética, tem como vantagem a eliminação física de parcela significativa dos resíduos que são enviados aos aterros sanitários. Os aterros têm um alto custo, tanto do ponto de vista do uso de áreas economicamente rentáveis, quanto pelas doenças que os mesmos podem causar à população, além dos problemas sociais e ambientais dele decorrentes.

- O Poder Calorífico do resíduo sólido urbano é gradualmente reduzido na medida em que se reduzem previamente as quantidades de papel/papelão e plásticos, proporcionando temperaturas e eficiência do processo de combustão menores consequentemente diminuindo a rentabilidade da usina de incineração. Os valores encontrados pra o PCI foram: 2.292 kcal e 1.013 kcal, para as alternativas I eII, respectivamente, influenciando diretamente o resultado financeiro, concluindo-se que não é interessante do ponto de vista econômico a segregação de papel/papelão e plástico, pois a retirada destes materiais diminui o PCI do RSU.

- A quantidade teórica de energia que se poderia obter a partir do RSU gerado na situação em estudo, de acordo com a alternativa escolhida e considerando demanda de energia elétrica de unidades domésticas brasileiras padrão é aproximadamente 180kwh ao mês, conforme os dados do Boletim Energético Nacional (2017) estão demonstrados na Tabela 7.

Tabela 7: energia produzida e residências atendidas

Alternativa	Energia produzida (kWh/dia)	Residências atendidas
I	268.692	44.782
II	77.190	12.865

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AURÉLIO, **Dicionário**, 2010;

FILHO, José Antonio P.; POLETTO, Gustavo C. INCINERAÇÃO COM RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA, UMA ALTERNATIVA PARA DESTINAÇÃO CORRETA DO RESÍDUO SÓLIDO URBANO.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004, **Resíduo Sólido – Classificação, NBR 10.004**, 2004.

ABRELPE, Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, 2011, **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil** 2011.

ABRELPE, **Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública**, 2016, disponível em <<http://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2016/10/quantidade-de-lixo-produzida-no-brasil-aumenta-mesmo-com-crise.html>>, acesso em março 2017.

Associação Empresarial para Reciclagem, 2016, **Infográfico: A Produção de lixo no Brasil**, disponível em www.innovarepesquisa.com.br/blog/infografico-producao-de-lixo-brasil/, acesso em março 2017.

ALMEIDA, M., C., e FERREIRA, E., F., 2009, **Aproveitamento de Resíduos Sólidos Urbanos e outros Rejeitos, para Conversão de Energia Elétrica**, disponível em <http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2009/anais/arquivos/RE_1038_1270_01.pdf>, Universidade do Vale do Paraíba – Univap, FEAU- Faculdade de Engenharia e Arquitetura, São José dos Campos – SP, acesso março 2017.

BRASIL, 2010, Lei 12.305, **Política Nacional de Resíduos Sólidos**, disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>, acesso em janeiro de 2017.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento**, 2009, **Diagnóstico do Manejo dos Resíduos Sólidos Urbanos**, 2009. Brasília. Disponível em: www.snis.gov.br. Acesso em: março 2017.

BRASIL, 2017, Ministério do Meio Ambiente, **Manual de Gerenciamento Integrado dos Resíduos Sólidos**, disponível em <<http://www.mma.gov.br/legislacao/item/9338>>, acesso em: março 2017.

BRITO A., P., E SILVA, C., L., **Estudo da Viabilidade Econômica da Implantação de Incinerador de Resíduos Sólidos Urbanos na Região de Bauru**, 2012, VII Seminário da Pós-graduação em Engenharia Mecânica, disponível em <<<http://www2.feb.unesp.br/pos/seminario/VIIseminario/anais/TC-ADAILTON-PEREIRA-DE-BRITO.pdf>>> acesso em janeiro 2017.

BUENO, C. **O lixo da energia**. 2008. Disponível em <<http://cidadesustentavel.gabeira.com/?p=34>>, acesso em março 2017.

CASTELLANELLI, C. A., ROOS, C, CASTELLANELLI, M., ROSA, L, C., **Biodiesel Como Fonte De Energia Em Praças De Pedágio: Uma Análise Econômica E Ambiental**, 2007, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC – Brasil, Artigo selecionado dos anais - XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, disponível em < www.producaoonline.ufsc.br> , acesso em fevereiro 2017.

CASTELLANELLI, C., **A Estudo da Viabilidade de Produção do Biodiesel Obtido Através do Óleo de Fritura Usado na Cidade de Santa Maria – RS**, 2008, Universidade Federal de Santa Maria, disponível em <

FILHO, José Antonio P.; POLETTO, Gustavo C. INCINERAÇÃO COM RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA, UMA ALTERNATIVA PARA DESTINAÇÃO CORRETA DO RESÍDUO SÓLIDO URBANO.

http://www.livrosgratis.com.br/arquivos_livros/cp083788.pdf>, acesso em fevereiro 2017.

GASQUES, A., C., F., **Caracterização Quantitativa E Gravimétrica Dos Resíduos Sólidos Urbanos Do Município De Campo Mourão** – PR, 2013, disponível em <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2236/1/CM_COEAM_2012_2_03.pdf> acesso em 02/2017.

CUNHA, B. P. , AUGUSTIN, S. **Sustentabilidade ambiental: estudos jurídicos e sociais**, FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL, 2014, disponível em <https://www.uces.br/site/midia/arquivos/Sustentabilidade_ambiental_ebook.pdf>, acesso em fevereiro de 2017.

EPA, United States Environmental Protection Agency, 2012, "**Resource Conservation and Recovery: A Guide to Developing and Implementing Greenhouse Gas Reduction Programs**". Disponível em <<https://www.epa.gov/statelocalclimate/documents/pdf/ResourceConservGuide.pdf>>. Acesso em março de 2017.

GUARDABASSIO, E. V.; **Gestão Pública de Resíduos Sólidos Urbanos na Região do Grande ABC**, 2014, disponível em <http://www.uscs.edu.br/posstricto/administracao/dissertacoes/2014/pdf/DISSERTACA_O_ELIANA_VILEIDE_GUARDABASSIO.pdf>, acesso em fevereiro de 2017.

HAUSER, P. D.; **Criação de Valor e Desenvolvimento Sustentável: uma Avaliação da Incineração de Resíduos Sólidos Municipais em Projetos Enquadráveis no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo do Protocolo de Kyoto**, 2006, Instituto COPPEAD de Administração, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro,

IBGE, **PESQUISA NACIONAL DE SANEAMENTO BÁSICO**, Rio de Janeiro, IBGE, 2016. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf>, acesso em março 2017.

IPT, INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO, **Lixo Municipal – Manual de Gerenciamento Integrado**, 1998, São Paulo.
KENJI IWAI, C., Tratamento de Chorume através de Percolação em Solos Empregados como Material de Cobertura de Aterros para Resíduos Sólidos Urbanos, 2005.

LENHARO, M. **A produção de lixo**, 2016 disponível em <<http://g1.globo.com/natureza/noticia/2015/07/mesmo-com-politica-de-residuos-416-do-lixo-tem-destino-inadequado.html>>, acesso em março 2017.

MACIEL, C. , disponível em <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2015-07/producao-de-lixo-no-pais-cresce-29-em-11-anos-mostra-pesquisa-da-abrelpe>>, acesso em março 2016.

MENEZES, R. A. A., GERLACH, J. L., e MENEZES, M. A., **Estágio Atual da Incineração no Brasil**, ABLP – Associação Brasileira de Limpeza Pública VII, **FILHO, José Antonio P.; POLETTO, Gustavo C. INCINERAÇÃO COM RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA, UMA ALTERNATIVA PARA DESTINAÇÃO CORRETA DO RESÍDUO SÓLIDO URBANO.**

Seminário Nacional de Resíduos Sólidos e Limpeza Pública, 2000. Disponível em <<http://www.luftech.com.br/arquivos/art07.htm>>, acesso em janeiro 2017.

MENIN, F., D., 2000, Ecologia de A a Z - **Pequeno dicionário de Ecologia** - Ed LP&M, disponível em http://www.lixo.com.br/index.php?option=com_content&task=view&id=143&Itemid=146, acesso em dezembro 2016.

MUCELIN, A, A., BELLINI, M., **Lixo e Impactos Ambientais Perceptíveis no Ecosistema Urbano**, 2008, disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/sn/v20n1/a08v20n1.pdf>>, acesso em fevereiro de 2017.

OLIVEIRA, L. B.; ROSA, L.P., **Brazilian Waste Potential: Energy, Environmental, Social and Economic Benefits. Energy Policy**, 2003.

ONAISSI, N., **Lixo pode ser revertido em energia e créditos de carbono, em projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo**, 2006, disponível em <<http://www.institutocarbonobrasil.org.br/?id=118859>>, acesso em janeiro 2017.

POLETTO, J.A.; SILVA, C.L.; “**Influencia da Separação de Resíduos Sólidos Urbanos para Fins de Reciclagem no Processo de Incineração com Geração de Energia**” Artigo publicado no 8º Congresso Ibero Americano de Engenharia Mecânica, Cusco –Perú, 2007.

REIS, L.B., **Geração de Energia Elétrica**, Ed. Manole, 2003.

SILVA, C.L., **Tratamento Térmico de Resíduos**, FEB - DEM UNESP, 1998.

SMA, **SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE**, Bauru, 2016, SP