

TRATAMENTO TÉRMICO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DA MAIOR REGIÃO METROPOLITANA BRASILEIRA BENEFICIANDO A DESPOLUIÇÃO, A SUSTENTABILIDADE ENERGÉTICA E RECEITAS FINANCEIRAS.

Rodrigo Chimenti Cabral

Bacharel em Engenharia Civil e Pós-graduado em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Presbiteriana Mackenzie. Pós-graduado em Gestão Ambiental e Negócios do Setor Energético pela Universidade de São Paulo (USP).

Endereço: Rua Conselheiro Saraiva, 519 - Santana – São Paulo – S.P. - CEP: 02037-020 - País - Tel: +55 (11) 9-7455-0870 - Fax: +55 (11) 2971-4099 - e-mail: rccabral@sabesp.com.br.

RESUMO

Uma das vertentes do saneamento básico brasileiro é a destinação final dos resíduos sólidos que apresenta um grande desafio, pois o país é o terceiro maior produtor de resíduos no mundo e ainda 40,5% destes são destinados de forma incorreta no meio ambiente. Para evitar a poluição ambiental, a técnica correta de destinação atualmente disponível são os aterros sanitários que estão alcançando o limite da capacidade para recebimento de resíduos. Diante destas problemáticas, desde 2010 foi criada a Política Nacional de Resíduos Sólidos a qual prevê a erradicação de lixões e aterros controlados, propõe como alternativas a disposição em aterro sanitário e destinações finais para recuperação e aproveitamento energético dos resíduos devendo obedecer a normas operacionais específicas para evitar danos ou riscos à segurança, saúde pública e minimizar impactos ambientais adversos. Uma forma para o aproveitamento energético proposto é o tratamento térmico que reduz o volume dos resíduos possibilitando gerar energia durante sua combustão. Este trabalho estima a geração de energia elétrica provida da combustão dos resíduos produzidos nos municípios operados por uma empresa atuante em duas outras vertentes do saneamento básico prevendo a redução de poluentes, receitas financeiras e a sustentabilidade energética do saneamento na maior região metropolitana brasileira.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos Sólidos Urbanos, Tratamento Térmico, Geração de Energia.

INTRODUÇÃO

No Brasil a lei federal 11.445/2007 estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico sendo um direito de todos e apresenta quatro vertentes abrangendo o abastecimento de água, esgotamento sanitário, manejo de águas pluviais e resíduos sólidos. Esta última vertente apresenta um grande desafio para a destinação final correta dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) produzidos diariamente pela população brasileira que gerou um montante de 79 milhões de toneladas no ano de 2018 estando entre os três maiores países geradores de resíduos no mundo conforme estimativa do Banco Mundial. De acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, destes resíduos produzidos no país, 29,4 milhões de toneladas (40,5%) foram destinados de forma incorreta em lixões e aterros controlados gerando impactos sociais e ambientais negativos como a emissão dos gases de efeito estufa, contaminação de lençol freático e a proliferação de vetores endêmicos.

A lei federal 12.305/10 a qual estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) visa a erradicação de lixões e aterros controlados apresenta no capítulo II as definições; no artigo 3 os entendimentos além da logística reversa demonstrada no parágrafo XII e da disposição final no parágrafo VIII, descreve no parágrafo VII a destinação final ambientalmente adequada dos resíduos devendo incluir a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético sendo observado as normas operacionais específicas para evitar danos ou riscos à saúde pública, à segurança e minimizar os impactos ambientais adversos. O processo de tratamento térmico é uma das formas de destinação final dos resíduos sólidos urbanos que possibilita o aproveitamento energético e a redução de massa e volume. As principais tecnologias para este processo é a incineração; pirólise; gaseificação; plasma e o coprocessamento.

O processo de tratamento térmico associado à recuperação energética que utiliza como matéria prima resíduos sólidos urbanos é vastamente utilizado no mundo a mais de cinco décadas. No Brasil, apesar de serem

apresentados alguns projetos de unidades que utilizam este processo, ainda não é observada na sua matriz energética a geração de energia elétrica provida desta matéria prima. A energia elétrica produzida com o tratamento térmico dos resíduos sólidos gerados nos municípios da maior região metropolitana brasileira poderia beneficiar a sustentabilidade energética das operações de captação, tratamento e distribuição de água, coleta e tratamento do esgoto e receitas financeiras com a comercialização da energia excedente, com a redução dos resíduos sólidos e a obtenção de créditos de carbono com a redução de emissão de gases de efeito estufa.

1 OBJETIVOS

1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral do trabalho é apresentar os benefícios do Tratamento Térmico dos Resíduos Sólidos Urbanos.

1.2 Objetivos Específicos

O objetivo específico deste trabalho é estimar a produção de energia elétrica e quantificar as receitas financeiras aliada a obtenção de créditos de carbono com o processo de Tratamento Térmico dos Resíduos Sólidos Urbanos visando à sustentabilidade energética do saneamento básico dos municípios na maior região metropolitana brasileira.

2 METODOLOGIA

Este trabalho descreve pesquisas bibliográficas encontradas sobre as produções de resíduos sólidos urbanos, as quantidades e a composição média dos resíduos nos municípios da maior região metropolitana operados pela maior empresa de saneamento do Brasil; as tecnologias de aproveitamento energético com o tratamento térmico dos resíduos sólidos urbanos; o sistema elétrico brasileiro e o mercado de energia elétrica, e as emissões dos gases poluentes que colaboram com o efeito estufa.

Baseada nestas pesquisas foi possível realizar as estimativas de reduções de emissões dos poluentes e a geração de energia elétrica anual para cada município operado pela empresa de saneamento citada supondo que todo resíduo sólido produzido seja destinado para tratamento térmico com aproveitamento energético.

Com as estimativas mensuradas foi possível valorar as possíveis receitas financeiras anuais consultando as cotações unitárias disponíveis da Tonelada de Carbono Equivalente para comercializações de redução de emissões e do valor do Watt Hora contratado para comercialização de energia elétrica no saneamento.

3 RESÍDUOS SÓLIDOS

De acordo com a norma ABNT NBR 10.004/2004 a qual trata sobre classificação de Resíduos Sólidos é apresentada sua definição sendo aqueles que se encontram no estado sólido e semissólido os quais são originados pelas atividades industriais; doméstica; hospitalar; comercial; agrícola; de serviços e de varrição; tratamento de água; resíduos gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviáveis o seu lançamento na rede pública de esgoto ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia.

3.1 Classificação dos Resíduos Sólidos

O Plano Nacional de Resíduos Sólidos que é apresentado na lei federal 12.305/10 a qual propõe o agrupamento dos resíduos sólidos considera para classificação a origem ou atividade em que a produção ocorre tais como: Resíduos da Construção Civil; Resíduos com Logística Reversa Obrigatória; Resíduos Industriais; Resíduos Sólidos do Transporte Aéreo e Aquaviário; Resíduos Sólidos do Transporte Rodoviário e Ferroviário; Resíduos de Serviços de Saúde; Resíduos Sólidos de Mineração; Resíduos Sólidos Agrossilvopastoris (orgânicos e inorgânicos) e os Resíduos Sólidos Urbanos os quais serão estudados neste trabalho sendo divididos em materiais recicláveis (metais, aço, papel, plástico, vidro, etc.) e matéria orgânica.

3.1.1 Produção de Resíduo Sólido Urbano no mundo

Segundo pesquisa do banco mundial, na última década foram produzidos anualmente mais de 1,3 Bilhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos no mundo e em 2025 deve ser produzido 2,2 Bilhões de toneladas por ano mundialmente. No mesmo período foi observado que o Brasil participou na pesquisa como o terceiro maior produtor de Resíduos Sólidos sendo estimado que seja o quarto maior produzindo 331 mil toneladas de resíduos por dia ficando atrás da Índia que deve produzir 377 mil toneladas, Estados Unidos 702 mil toneladas e China produzindo 1,4 milhões de toneladas diariamente em 2025.(WORLD BANK, 2012).

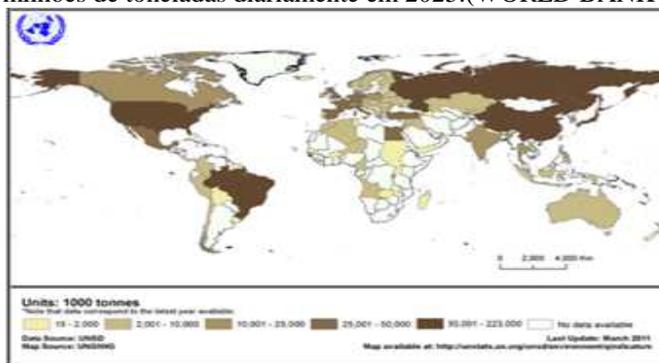


Figura 1 : Resíduo Sólido Municipal Coletado – UN, 2011

A ilustração acima apresenta por faixas as quantidades de resíduos sólidos coletados por país no mundo (UN, 2011).

3.1.2 Destinações finais Resíduos Sólidos Urbanos produzidos no Brasil

Dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais em 2018 foram produzidos 79 milhões de toneladas de resíduos sólidos, porém foram coletados 72,7 milhões de resíduos apresentando um déficit de 6,3 milhões que não foram coletados junto ao local de geração. Destes coletados 29,4 milhões (40,5%) foram destinados de forma inadequada, 16,7 milhões (23%) foram depositados em aterros controlados e 12,7 milhões (17,5%) foram depositados em lixões diariamente conforme ilustrado abaixo (ABRELPE, 2019).

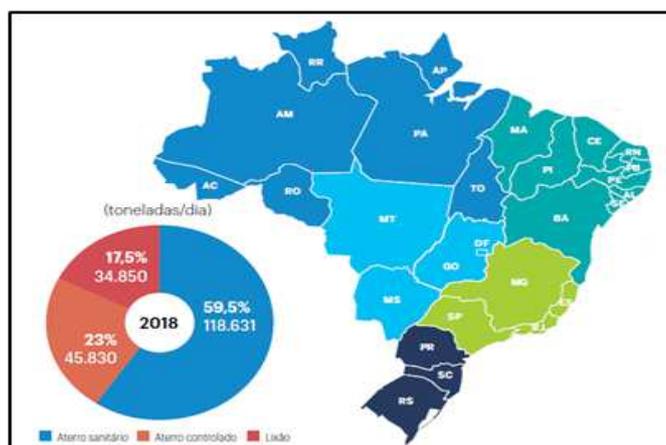


Figura 2 : Disposição Final dos Resíduos Sólidos no Brasil – ABRELPE, 2019

Estes resíduos que são depositados em aterros controlados não são considerados como uma forma adequada de disposição porque os problemas ambientais de contaminação da água, do ar e do solo não são evitados, já que não são utilizados todos os recursos de engenharia e saneamento que evitariam a contaminação do ambiente. No entanto, esta forma de deposição, mesmo inadequada representa uma alternativa melhor do que os lixões, também uma forma inadequada, não apresenta nenhum recurso de engenharia, e se diferenciam destes por possuírem a cobertura diária dos resíduos com solo e o controle de entrada e saída de pessoas (MMA, 2020).

3.1.3 Destinações finais de Resíduo Sólidos Urbanos produzidos no Estado de São Paulo

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo informou no inventário estadual de resíduos sólidos que em 2018, foram produzidos 40.773 toneladas de resíduos sólidos urbanos diariamente pelos 645 municípios paulistas que é equivalente a 14,8 milhões de toneladas no mesmo ano representando 18,7 % da produção anual brasileira. Deste montante estadual, em média 39.859 Toneladas (97,8%) foram destinadas de forma adequada na grande maioria para aterros sanitários todos os dias (CETESB, 2019).

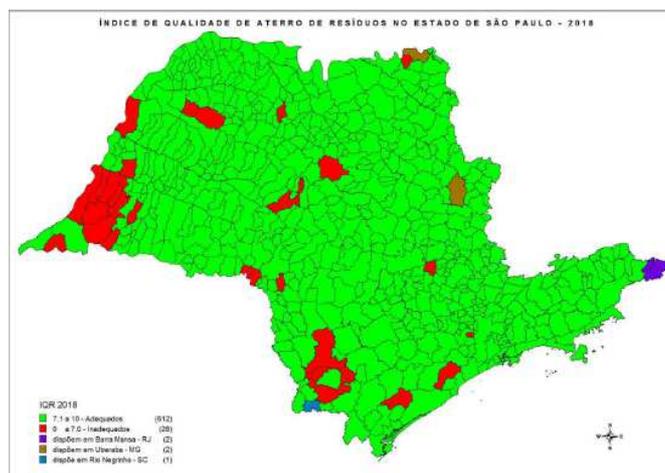


Figura 3: Indicadores de destinações final dos Resíduos Sólidos nos municípios do estado de São Paulo – CETESB, 2019

De acordo com a empresa paulista de planejamento metropolitano S/A a região metropolitana do estado de São Paulo é composta por 39 municípios que inclui a capital do estado (EMPLASA, 2020). Analisando os dados do inventário estadual de resíduos sólidos urbanos apresentado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo estes municípios produziram diariamente 21.293 Toneladas diariamente em 2018 representando cerca de 10% da produção de resíduos do terceiro país maior produtor do mundo de resíduos (CETESB, 2019).

3.1.4 Produção dos Resíduos Sólido Urbano na região da Diretoria Metropolitana da SABESP

A companhia de saneamento básico de São Paulo, SABESP, opera em duas das quatro vertentes do saneamento básico brasileiro atendendo o suprimento de água tratada e coleta de esgoto em 371 municípios do estado. Dentre estes municípios, 32 dos 39 municípios da região metropolitana, incluindo a capital, são administrados por uma das diretoras da companhia abrangendo mais 8 municípios da região bragantina totalizando 40 municípios conforme ilustrado em mapa abaixo (SABESP, 2020).

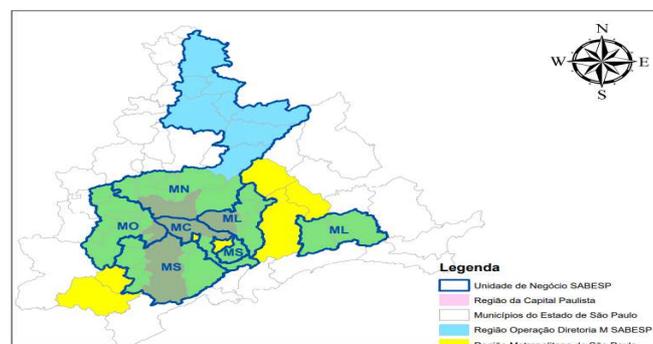


Figura 4: Municípios da região metropolitana do estado de São Paulo e os municípios operados pelas Unidades de Negócio da Diretoria Metropolitana da SABESP

Nomeada como Diretoria Metropolitana da Sabesp (M), esta diretoria é dividida em 7 Unidades de Negócios: Unidade de Negócio Centro (MC) que atende 2 municípios da região metropolitana atendendo 1.005.147

imóveis para 3.765.847 habitantes; Unidade de Negócio Leste (ML) que atende 8 municípios da região metropolitana atendendo 992.252 imóveis para 3.739.053 habitantes; Unidade de negócio Norte (MN) que atende 15 municípios da região metropolitana atendendo 1.367.590 imóveis para 4.966.523 habitantes; Unidade de negócio Oeste (MO) que atende 11 municípios da região metropolitana atendendo 929.471 imóveis para 3.409.344 habitantes; Unidade de negócio Sul (MS) que atende 8 municípios da região metropolitana atendendo 1.246.829 imóveis para 4.788.734 habitantes; Unidade de Negócio de produção de Água (MA) e Tratamento de Esgoto (MT) para o atendimento de toda região operada pela diretoria metropolitana que totaliza 20.669.501 habitantes (EMPLASA & IBGE, 2020). Todas as cinco primeiras unidades de negócio citadas (MC, ML, MN, MO e MS) contemplam uma parte o município de São Paulo da Diretoria Metropolitana de São Paulo totalizando 5.541.289 imóveis. (SIGNOS, 2020).

Paralelamente ao atendimento de duas das vertentes do saneamento pela SABESP na região operada pela diretoria M, em 2018, foram produzidos e coletados 20.519 Toneladas de resíduos sólidos urbanos por dia sendo atendida a terceira vertente do saneamento básico por outras empresas do ramo de resíduos sólidos sendo responsáveis por 96,4% da produção de toda Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) conforme dados apresentados no inventário estadual de resíduos sólidos urbanos apresentado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2019). Esta quantidade foi consultada em tabela de produção de resíduos diária de cada município apresentado neste inventário. Baseada na consulta da produção diária municipal foi possível totalizar para cada unidade de negócio da SABESP a produções de resíduos correspondentes às regiões de atendimento, somando a produção diária proporcionalizada da capital com a quantidade de imóveis atendidos pela companhia conforme planilha demonstrada abaixo.

Tabela 1: Quantidades de resíduos produzidos nos municípios operados pelas unidades de negócio da Diretoria Metropolitana da SABESP

MN: Ton. RSU/dia (**)		MS: Ton. RSU/dia (**)		MC: Ton. RSU/dia (**)		ML: Ton. RSU/dia (**)		MO: Ton. RSU/dia (**)	
São Paulo (*)	2.736	São Paulo (*)	2.887	São Paulo (*)	3.091	São Paulo (*)	2.667	São Paulo (*)	960
Guarulhos	1.502	S. B. Camp	901	Sto André	788	Itaquaque.	330	Osasco	767
F. Morato	156	Diadema	379			Suzano	256	Carap	359
Brag. Paul.	145	Emb Artes	244			Ferr de V.	165	Tab. Serr	257
F. d Rocha	126	Itap Serra	155			Poá	103	Barueri	244
Caieiras	78	Rib.Pires	110			Arujá	68	Cotia	220
Mairiporã	69	Em-Guaç	54			Bir. Mir.	22	Itapevi	211
Cajamar	59	R G Serra	40			Salesóp.	8	San. Par.	123
Socorro	22							Jandira	111
Piracaia	22							V. G Paul.	41
Naz. Paul.	11							Pir. B Jes.	13
Joanópolis	9								
Pinhalzinho	5								
Vargem	4								
Pedra Bela	1								
Total	4.946	Total	4.770	Total	3.878	Total	3.619	Total	3.306
RSU PRODUZIDO NA REGIÃO DA DIRETORIA METROPOLITANA SABESP = 20.519 Ton./dia									
(*) Valores proporcionalizados pela quantidade de imóveis operados na capital pelas unidades de negócio									
(**) Valores extraídos do Inventário Estadual de Resíduos Sólidos de 2018 (CETESB, 2019)									

De acordo com o Inventário Estadual de Resíduos sólidos apresentado pela CETESB a totalidade destes resíduos, quando não reutilizado ou reciclado, é destinada a aterros sanitários disponíveis na região. Segundo Lima Filho estes aterros sanitários estão esgotando a capacidade de recebimento de resíduos (JORNAL FOLHA DE SÃO PAULO, 2019).

3.2 Características dos Resíduos Sólidos

A caracterização de resíduos sólidos consiste nas das características físico-química, qualitativa e quantitativa devendo ser seguidos os procedimentos de coleta, transporte e análises laboratoriais para que sejam feitos testes específicos. As análises são baseadas nas NBR 10.004, 10.005 e 10.006. Os resultados analíticos são utilizados para a classificação do resíduo e auxiliam na melhor destinação do mesmo. Segundo a ABNT NBR 10.004/2004 os resíduos sólidos podem ser classificados pela geração per capita; Peso específico; Teor de umidade e a Composição Gravimétrica. Esta última traduz o percentual de cada componente em relação ao peso total da amostra de lixo analisada. Os componentes mais utilizados na determinação da composição dos resíduos sólidos urbanos são percentuais de papel/papelão; plásticos; vidros; metais; matéria orgânica e outros. Esse tipo de composição simplificada auxilia no dimensionamento do aproveitamento energético.

3.2.1 Composição Gravimétrica dos Resíduos Sólidos brasileiro

De acordo com o Manual de Gerenciamento Integrado do Lixo Municipal apresentado pelo compromisso empresarial de reciclagem, o resíduo sólido brasileiro é composto por 51,4% de matéria orgânica; 13,5 % de plástico; 13,1% de papel e papelão; 2,4% de Vidro; 2,3 % de Aço; 0,6% Alumínio e 16,7% outros (CEMPRE, 2018).

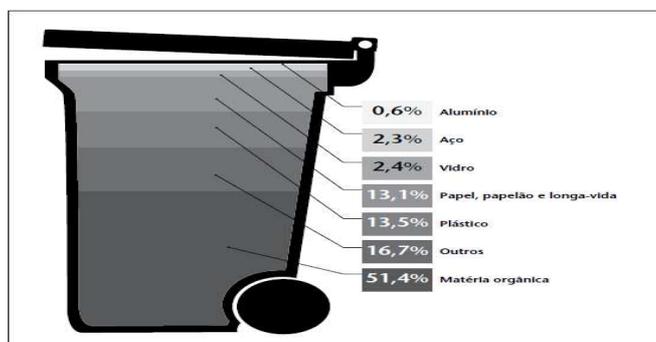


Figura 5: Composição Gravimétrica Média do Resíduo Sólido Brasileiro – CEMPRE, 2018

3.2.2 Composição Gravimétrica dos Resíduos Sólidos da RMSP

Para Região Metropolitana de São Paulo foi adotada a composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos do município de São Paulo demonstrada no Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Estado de São Paulo que apresentou 62,9 % de matéria orgânica; 1,7% de vidro; 10,6 % de papel/papelão; 1,2 % de madeira; 2,6% de borracha; 13,6 % de plástico; 1,8 % de metais; 1,50% de pedra e 4,10% outros (LEITE, 2016).

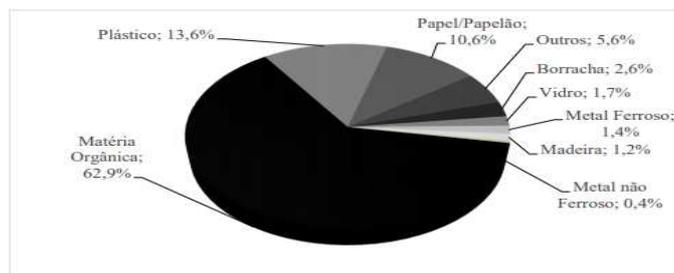


Figura 6: Composição Gravimétrica dos Resíduos no município de São Paulo– LEITE, 2016

4 TRATAMENTO TÉRMICO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Visto que a capacidade dos aterros sanitários na RMSP está se esgotando, outra alternativa para destinação final de resíduos urbanos que é apresentada pela lei federal 12.305/10 a qual estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) descrita no capítulo II, artigo 3 no parágrafo VII é o aproveitamento energético dos resíduos que deve ser ambientalmente adequado observando normas operacionais específicas para evitar danos ou riscos à saúde pública. Atualmente uma das formas para o aproveitamento energético é o processo de

tratamento térmico que utilizam o calor como forma de recuperar, separar ou neutralizar determinadas substâncias presentes nos resíduos, reduzir massa e volume e produzir energia térmica, elétrica ou mecânica.

O processo de tratamento térmico pode ser aplicado a qualquer resíduo que tenha em sua composição química os elementos carbono e hidrogênio, podendo ser originários de atividades industriais, domésticas, comerciais e rurais. Em uma planta dedicada aos Resíduos Sólidos Urbanos qualquer resíduo compatível à composição química mencionada podendo ser tratado independente de sua origem, desde que sejam contemplados e aprovados no processo de regularização ambiental. Em relação aos diversos grupos de Resíduos de Serviço de Saúde, estes apresentam, além de seu potencial de patogenicidade, teores de elementos tóxicos, como cloro e metais pesados, exigindo cuidados adicionais nos sistemas de limpeza de gases (FEAM, 2012). Conforme a tabela abaixo apresentado por Santos são demonstrados os limites de emissões máximas dos elementos presentes nos gases de emissões para usinas de aproveitamento térmico comparando os limites dos Estados Unidos com referencia a Environ Protect Agency (EPA), da Europa (EU) e Brasileiras da Secretaria do Meio Ambiente (SMA) e do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (SANTOS, 2016).

Tabela 2 – Comparativo do limite das emissões de Plantas de Recuperação Energética – SANTOS, 2016

Parâmetro	Unidade	EPA (i)	EU (ii)	SMA (iii)	CONAMA (iv)
M.P.	mg/Nm ³	20	10	10	70
Nox	mg/Nm ³	210	200	200	560
Sox	mg/Nm ³	90	50	50	280
HCL	mg/Nm ³	20	10	10	80
CO	mg/Nm ³	130	50	50	125
Hg	mg/Nm ³	0,05	0,05	0,05	-
Cd+Ti	mg/Nm ³	0,01	0,05	0,05	-
HF	mg/Nm ³	-	1	1	5
Dioxinas e Furanos	mg/Nm ³	0,26	0,1	0,1	0,5

(i) EPA 40 CFR Part 40; (ii) EU 2007/07/07/CE; (iii) SMA 079/2009; (iv) CONAMA 316/2002

O Japão foi o primeiro país a recuperar energia com o processo de tratamento térmico dos resíduos urbanos na década de 60. Atualmente no mundo mais de 130 milhões de toneladas são destinados para tratamento térmico anualmente em 35 países com capacidade instalada de 10 mil MW de energia elétrica ou térmica beneficiando a matriz energética nas regiões da União Europeia, Japão e Estados Unidos (LEITE, 2016). No Brasil, apesar de serem apresentados alguns projetos de unidades que utilizam processos de tratamento térmico de resíduos sólidos urbanos, ainda não é observada na matriz energética a geração de energia elétrica provida deste processo no país.

4.1 Tecnologias de aproveitamento energético com tratamento térmico de resíduos sólidos urbanos

Atualmente, as principais tecnologias de tratamento térmico de resíduos, com aproveitamento energético, são a incineração, a pirólise, a gaseificação, o plasma e o coprocessamento. As tecnologias de pirólise são aplicáveis para carbonização da madeira (fabricação de carvão) e o coprocessamento para utilização em forno de clínquer (Fabricação de Cimento). Já a tecnologia de plasma não é vastamente utilizada para produção de energia pois a energia dispendida para formação do plasma é muito alta resultando em oferta energética do processo quando comparada a incineração e gaseificação de Resíduos Sólidos Urbanos. Os processos de tratamento térmico a baixa temperatura, como fornos de micro-ondas e autoclaves, não possuem o objetivo de aproveitamento energético. Comumente esses processos destinam-se à desinfecção de resíduos de serviços de saúde antes de sua destinação a aterros sanitários (FEAM, 2012). Contudo, as tecnologias de aproveitamento energético com tratamento térmico de resíduos sólidos para geração de energia elétrica que serão apresentados serão a Incineração e a Gaseificação.

4.1.1 Incineração

A incineração é um processo de combustão controlada, que tem como princípio básico a reação do oxigênio com componentes combustíveis presentes no resíduo (como carbono, hidrogênio e enxofre), em temperatura superior a 800 °C, convertendo sua energia química em calor. Como uma combustão não é totalmente

completa, realiza-se a elevadas temperaturas e os Resíduos Sólidos Urbanos têm composições diversas, são gerados como produtos da combustão, além de vapor d'água, CO₂ e SO_x, HCl, HF, CO, NO_x, material particulado (partículas finas quase sempre com sílica), metais em particular Cd, Hg, As, V, Cr, Co, Cu, Pb, Mn, Ni e Tl, entre outros e substâncias orgânicas (como dioxinas) na forma gasosa ou aderidas também ao material particulado. Também são gerados rejeitos (cinzas volantes e escórias) de materiais inorgânicos nos RSU que não participam das reações de combustão. Na combustão, a formação de dioxinas (substâncias comprovadamente cancerígenas) ocorre por mecanismos complexos, envolvendo matéria orgânica, oxigênio e cloro. Estas são destruídas a temperaturas acima de 600 °C, mas sintetizadas novamente entre 500 °C e 250 °C na presença de cloro e carbono. A maior parte das dioxinas fica retida nas cinzas volantes (FEAM, 2012).

O processo de combustão ocorre em forno de incineração que é composto basicamente de câmara de combustão onde os resíduos são inseridos a uma taxa de alimentação pré-definida e ocorre o processo de queima controlada e câmara de pós-combustão onde se completa a queima controlada de CO e substâncias orgânicas contidas nos gases procedentes da câmara de combustão. (FEAM, 2012). Este forno de incineração podem ter diversas configurações como a combustão em leitos fluidizados tipos circulante ou borbulhante que são mais utilizados para lodo de esgoto onde os resíduos devem ser triturados e apresentar diâmetros igual ou inferior a 2,5 cm; Câmaras múltiplas que são adotadas geralmente para capacidades pequenas (0,2 a 200 t/dia); Forno rotativo que é o mais utilizado para resíduos industriais para quantidade de resíduos superior a 24 t/dia e em grelha que é a mais empregada para RSU no estado bruto (*mass burn*) conforme ilustrado abaixo:

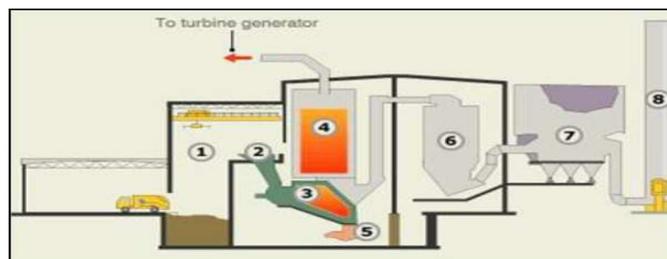


Figura 7: Diagrama de Fluxo do Processo de Incineração – FEAM, 2012

Em plantas de incineração de RSU com geração de energia elétrica, por exemplo, do tipo combustão em grelha conforme ilustrado acima, o resíduo é descarregado no silo da usina (1) de onde é tomado por agarradores mecânicos e jogado em moegas (2). Das moegas o lixo é empurrado gradualmente para o interior do incinerador (3). O calor produzido pela queima do lixo é utilizado na caldeira (4) para aquecimento de água e o vapor gerado nesta é conduzido por tubulações para um sistema de turbina e gerador, para a produção de energia elétrica. Depois de o resíduo ser incinerado restam, sobre as grelhas, as escórias, que são drenadas para sistemas coletores situados abaixo das grelhas (5), resfriadas com água, passando posteriormente por separadores eletromagnéticos que promovem a extração de metais para reciclagem. Os gases de combustão são enviados para os sistemas de tratamento e remoção de poluentes (6) passam por filtros para retenção de partículas finas (poeiras) (7) e são lançados ao meio ambiente através da chaminé (8). Segue abaixo a ilustração de uma planta de incineração de resíduos sólidos urbanos em Dublin, capital da Irlanda.



Figura 8: Unidade de Incineração de Resíduos Sólidos Urbanos em Dublin – COVANTA, 2020

De acordo com o Inventário Energético de Resíduos Sólidos Urbanos, apresentado pela Empresa de Pesquisa Energética, as principais tecnologias disponíveis com plantas em funcionamento sugerem a escala de 150 t/d e normalmente é esperado 25% da eficiência energética para geração de energia elétrica ofertando entre 350 e 600 KW por tonelada de resíduo sólido urbano reduzindo entre 85 e 95% do volume durante sua combustão.

Se aplicado o Ciclo Combinado Otimizado (CCO) é possível aumentar a oferta de energia por tonelada de resíduo podendo chegar a 900 KW por tonelada incluindo no processo o abastecimento de gás natural ou biogás (EPE, 2014). Segundo a Covanta Environmental Solutions a planta de aproveitamento energético de Dublin, a usina de incineração ilustrada acima, recebe 1.644 Toneladas por dia, equivalente a 68,5 Ton/hora a capacidade de geração de 61 MWh, corroborando a estimativa da oferta de energia de 900 Kw/ Tonelada de resíduo como verificada na literatura da EPE (COVANTA, 2020). Segundo COVANTA, 2020, para implantação desta planta foram necessários € 600 milhões que seria equivalente a aproximadamente R\$ 4,2 bilhões representando custo estimado de R\$470,00 /Tonelada de resíduo durante 180 meses para amortização do investimento.

4.1.2 Gaseificação

A gaseificação é um processo termoquímico de decomposição da matéria orgânica, de fluxo contínuo ou batelada, sendo a técnica mais comum a oxidação parcial utilizando um agente de gaseificação (oxigênio, ar ou vapor quente) que em quantidades inferiores à estequiométrica (mínimo teórico para combustão) produz um gás de síntese conhecido como *syngas*. Os principais componentes deste gás são monóxido de carbono e hidrogênio contendo também dióxido de carbono e, dependendo das condições, metano, hidrocarbonetos leves, nitrogênio e vapor de água em diferentes proporções. Este gás produzido a partir da gaseificação de biomassa tem muitas aplicações práticas, tais como a geração de energia mecânica e elétrica, a geração direta de calor, ou como matéria-prima na obtenção de combustíveis líquidos como hidrocarbonetos combustíveis sintéticos (diesel e gasolina), metanol, etanol e outros produtos químicos através de processos de síntese química catalítica. No processo de gaseificação ocorrem complexas reações ainda não bem conhecidas em sua totalidade. O atual estágio de seu desenvolvimento, porém, permite que ocorra a subdivisão destas reações em quatro etapas físico-químicas distintas, com temperaturas de reação diferentes: secagem, pirólise, redução e combustão (FEAM, 2012).

A composição dos gases e a produção concomitante de combustíveis sólidos (carvão) e líquidos condensáveis (pirolenhosos) dependem dos seguintes fatores: tipo de forno de gaseificação, forma de fornecimento de energia ao processo, introdução ou não de vapor de água junto com o comburente (ar, O₂), tempo de retenção da carga, sistema de retirada de gases e outros produtos, da matéria orgânica utilizada. A obtenção econômica de *syngas* de poder calorífico alto ou médio só é possível utilizando-se oxigênio puro, pois a eliminação do nitrogênio inerte do ar aumenta o poder calorífico, ou misturas de gases, oxigênio e vapor de água ou ar enriquecido com oxigênio e vapor de água. Os gaseificadores são recipientes revestidos com material refratário e o processo ocorre a temperaturas de aproximadamente 850 °C sob condições de pressão atmosférica ou sob elevada pressão. Estes gaseificadores para a produção de *syngas* têm maior custo, pois o gás deve ser mais limpo, com baixos teores de alcatrão e pirolenhosos, exigindo unidades especiais de limpeza. Os gaseificadores em comercialização ou em fase de desenvolvimento atualmente podem ser enquadrados segundo o tipo de leito utilizado sendo como leito fixo ou fluidizado conforme ilustrado abaixo. (FEAM, 2012)

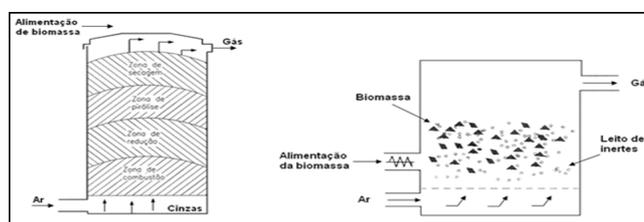


Figura 9: Desenhos esquemáticos dos gaseificadores contracorrentes e de leito fluidizado - FEAM, 2012

O tipo leito fixo pode ser de corrente paralela (onde o sólido e o gás se movem no mesmo sentido, normalmente descendente), ou contracorrente (se movem em sentido opostos) sendo a tecnologia mais difundida, conhecida e dominada operacionalmente, a qual vem sendo implementada principalmente em pequenas escalas. O tipo leito fluidizado podem ser do tipo borbulhante ou circulante, conforme a velocidade com que o material atravessa o leito. O fluidizado borbulhante, a velocidade é em torno de 1 m/s, e no fluidizado circulante o material atravessa em velocidade mais alta (7 m/s a 10 m/s) permitindo melhor mistura do ar com o combustível a ser gaseificado. Neste ultimo tipo mencionado as bolhas se tornam maiores

formando grandes lacunas no leito e arrastando uma quantidade substancial de sólidos que são coletados, separados do gás e levados de volta ao leito sendo majoritariamente empregados em grandes instalações sendo mais complicados de operar. (FEAM, 2012). A ilustração abaixo demonstra a proposta de uma planta de recuperação energética por tratamento térmico de Resíduos Sólidos Urbanos com a tecnologia de Gaseificação elaborada pela WEG S.A. (BRASIL ENERGIA, 2020).



Figura 10: Unidade de Gaseificação de Resíduos Sólidos Urbanos proposta – BRASIL ENERGIA, 2020

Avaliando a apresentação da WEG, é proposto módulos de gaseificação com capacidade de 6 toneladas/ hora para recebimento de Resíduos Sólidos Urbanos (aproximadamente 150 Toneladas/ dia) com capacidade de ofertar 2,5 MW por módulo (cerca de 420 Kw/ Tonelada de resíduo). Um projeto no estado do Pará, Brasil, que deverá tratar 25 Toneladas de resíduos por dia foi orçado em R\$ 15 milhões representando custo estimado de R\$100,00 /Tonelada de resíduo durante 180 meses (BRASIL ENERGIA, 2020).

4.2 Geração de energia elétrica por tratamento térmico dos resíduos na região da diretoria M da SABESP

Para estimativa da energia que será produzida por tratamento térmico de resíduos sólidos, é necessário conhecer a composição gravimétrica e relacionar cada fração de cada material com seu poder calorífico inferior. A tabela abaixo apresenta a estimativa da Carga térmica do RSU gerado nos municípios da diretoria metropolitana M da SABESP para cada tonelada em base úmida multiplicando a fração da composição gravimétrica mencionada para a região com o poder calorífico inferior em base úmida de cada material (FEAM, 2012).

Tabela 3 – Carga Térmica dos Resíduos Sólidos Produzidos nos Municípios da Diretoria M da SABESP

Material	PCI (*) Base Úmida sem cinzas (Kcal/Kg) (**)	Composição Gravimétrica R.M.S.P. (%)	Quantidade (Kg por Tonelada)	Carga Térmica (Kcal)	Carga Térmica (MW)
Fração Orgânica	712	62,00%	620	441.440	0,51
Papel	2.729	10,60%	106	289.274	0,33
Madeira	2.490	1,20%	12	29.880	0,03
Borracha	8.633	2,60%	26	224.458	0,26
Plástico	8.193	13,60%	136	1.114.248	1,29
Metal	-	1,80%	18	-	-
Vidro	-	1,70%	17	-	-
Pedra	-	1,50%	15	-	-
Outros	-	4,10%	41	-	-
Totais:		100%	1.000	2.099.300	2,40

(*) Poder Calorífico Inferior; (**) FEAM, 2012

Avaliando a carga térmica unitária total demonstrada na tabela acima (2,4 MW) foi possível estimar a geração de energia elétrica por tonelada de RSU da RMSPP considerando a eficiência de geração de energia elétrica por tratamento térmico em 25% conforme pesquisa apresentada resultando assim em valor de 600 KW ou 0,6 MW por tonelada de RSU. Este valor estimado para geração de energia elétrica por tonelada de RSU é aderente ao referencial bibliográfico pesquisado que varia entre 350 e 600 KW apresentado no inventário da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2014). Abaixo a tabela relaciona a quantidade de RSU gerada anualmente na região

com a possível geração de energia por município, unidade de negócio e diretoria metropolitana da Sabesp. Para esta estimativa será adotada a carga térmica de 2,4 MW e 25 % de eficiência de aproveitamento energético do processo de tratamento térmico. Na mesma tabela estão sinalizados os municípios com capacidade inferior ao mínimo do processo necessitando agrupamento com outros municípios para alcançar o valor mínimo de 150 Ton/dia mencionado no mesmo inventário.

Tabela 4 – Estimativa de produção de Energia Elétrica por Unidade de Negócio - Diretoria M SABESP

REGIÕES OPERADAS POR UNIDADES DA DIRETORIA M SABESP	Produção (Tonelada RSU/dia)	Produção (Tonelada RSU/h)	Carga Térmica (MW/Ton RSU)	Eficiência Transform. (Elétrica /Elétrica)	Geração Energia Elétrica (MW/hora)	Produção de Energia Elétrica (GW/ano)	
MN	São Paulo	2.736	113,99	2,4	25%	68,39	590,90
	Guarulhos	1.502	62,60	2,4	25%	37,56	324,54
	F. Morato	156	6,51	2,4	25%	3,91	33,76
	Brag.Paul.(*)	145	6,06	2,4	25%	3,64	31,43
	F. Rocha (*)	126	5,27	2,4	25%	3,16	27,30
	Caieiras (*)	78	3,26	2,4	25%	1,95	16,87
	Mairiporã (*)	69	2,87	2,4	25%	1,72	14,86
	Cajamar (*)	59	2,47	2,4	25%	1,48	12,81
	Socorro (*)	22	0,92	2,4	25%	0,55	4,78
	Piracaia (*)	22	0,90	2,4	25%	0,54	4,69
	Naz. Paul. (*)	11	0,45	2,4	25%	0,27	2,35
	Joanópolis (*)	9	0,38	2,4	25%	0,23	1,98
	Pinhalzinho(*)	5	0,22	2,4	25%	0,13	1,12
	Vargem (*)	4	0,15	2,4	25%	0,09	0,79
	Pedra Bela (*)	1	0,04	2,4	25%	0,03	0,23
Total MN	4.946	206,09	2,4	25%	123,66	1.068,39	
MS	São Paulo	2.887	120,27	2,4	25%	72,16	623,48
	S. B. Campo	901	37,55	2,4	25%	22,53	194,67
	Diadema	379	15,79	2,4	25%	9,47	81,83
	Emb. Artes	244	10,16	2,4	25%	6,09	52,65
	Itap. Serra	155	6,46	2,4	25%	3,88	33,48
	Rib.Pires(*)	110	4,60	2,4	25%	2,76	23,84
	Emb-Guaç (*)	54	2,23	2,4	25%	1,34	11,58
	R G Serra (*)	40	1,67	2,4	25%	1,00	8,68
Total MS	4.770	198,73	2,4	25%	119,24	1.030,21	
MC	São Paulo	3.091	128,77	2,4	25%	77,26	667,57
	Sto André	788	32,82	2,4	25%	19,69	170,15
	Total MC	3.878	161,60	2,4	25%	96,96	837,72
ML	São Paulo	2.667	111,12	2,4	25%	66,67	576,05
	Itaquaque.	330	13,74	2,4	25%	8,25	71,25
	Suzano	256	10,66	2,4	25%	6,40	55,26
	Ferraz V.	165	6,88	2,4	25%	4,13	35,65
	Poá (*)	103	4,30	2,4	25%	2,58	22,30
	Arujá (*)	68	2,83	2,4	25%	1,70	14,68
	Biritiba M (*)	22	0,92	2,4	25%	0,55	4,78
	Salesópolis(*)	8	0,32	2,4	25%	0,19	1,64
Total ML	3.619	150,77	2,4	25%	90,46	781,60	
MO	São Paulo	960	40,01	2,4	25%	24,01	207,44
	Osasco	767	31,94	2,4	25%	19,16	165,57
	Carapicuíba	359	14,95	2,4	25%	8,97	77,49

Tab. da Serra	257	10,71	2,4	25%	6,43	55,51
Barueri	244	10,17	2,4	25%	6,10	52,74
Cotia	220	9,18	2,4	25%	5,51	47,57
Itapevi	211	8,79	2,4	25%	5,27	45,56
Sant. Parn. (*)	123	5,12	2,4	25%	3,07	26,54
Jandira (*)	111	4,63	2,4	25%	2,78	24,00
V. G Paul. (*)	41	1,72	2,4	25%	1,03	8,93
Pir. B Jesus(*)	13	0,54	2,4	25%	0,33	2,81
Total MO	3.306	137,76	2,4	25%	82,66	714,17
DIRETORIA M	20.519	854,96	2,4	25%	512,97	4.432,10

(*) Municípios com menos da capacidade mínima para tratamento térmico de 150t/dia

O aproveitamento energético estimado com processo de tratamento térmico dos resíduos sólidos gerados em todos os municípios operados pela Diretoria da Região Metropolitana de São Paulo resultará em 513 MW/h ou 4.232 GW/h Ano desde que todo resíduo sólido seja encaminhado constantemente a este processo como demonstrado em tabela acima. No ultimo ano, conforme discriminado no relatório do Sistema de Gestão de Energia Elétrica da Sabesp, todas as Unidades de negócio da diretoria metropolitana consumiram durante todo ano 1.743 GW/h/Ano resultando uma energia excedente de 2.689 GW/h (GEL, 2020)

Tabela 5: Geração, Consumo e Excedente de Energia Elétrica por U.N. da Diretoria M SABESP

UNIDADES NEGÓCIO DIRETORIA M SABESP	População (Habitantes)	Produção Resíduos (Toneladas /Ano)	Geração Eletr. RSU Estimada Região SABESP M (GWh/Ano)	Consumo SABESP Operação Água Esgoto (GWh/Ano)	Excedente = Geração Eletr. - Consumo (GWh/Ano)	Demanda Distribuição Total Região SABESP M (GWh/Ano)
MC	3.765.847	1.396.194	838	29	2.689	9.619
ML	3.739.053	1.302.675	782	43		8.655
MN	4.966.523	1.780.654	1.068	88		11.753
MO	3.409.344	1.190.287	714	47		8.280
MS	4.788.734	1.717.020	1.030	75		11.174
MA				1.222		
MT				239		
Total	20.669.501	7.386.829	4.432	1.743		49.481

Paralelamente a Energia elétrica consumida pela Sabesp as Distribuidoras de Energia Elétrica dos municípios demandaram, ao todo, 49.481 GW/h no ultimo ano para o suprimento energético elétrico total das atividades Industrial, domiciliar, comercial, utilidades públicas e outros. A representatividade do consumo de energia elétrica para o atendimento das duas vertentes (Captação, tratamento e distribuição de água e coleta e tratamento de esgoto) nos municípios operados pela diretoria da região metropolitana da SABESP chegou a 3,5%. Esta energia poderia ser produzida integralmente e excedente energético elétrico estimado em 2.689 GW se houvesse coleta dos resíduos sólidos com respectivo aproveitamento energético oriundo do tratamento térmico dos mesmos na região. A participação na matriz elétrica de toda produção da energia elétrica estimada (4.432 GW) oriunda do tratamento beneficiaria 9% de toda demanda necessária para o suprimento total da região (49.481 GW).

5 SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO (SEB)

A energia elétrica é um insumo essencial à sociedade, indispensável ao desenvolvimento socioeconômico das nações. Segundo a Agencia Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) no Brasil a principal fonte de geração é a hidrelétrica (água corrente dos rios), que responde por 62% da capacidade instalada em operação no país, seguida das termelétricas (gás natural, carvão mineral, combustíveis fósseis, biomassa e nuclear), com 28%. O restante é proveniente de usinas eólicas (energia dos ventos), painéis fotovoltaicos (energia solar) e importação da energia de outros países (ANEEL, 2020).

O sistema elétrico brasileiro (SEB) permite o intercâmbio da energia produzida em nos quatro subsistemas que abrange as regiões sul; sudeste – centro oeste; norte e nordeste, exceto nos sistemas isolados, localizados principalmente na região Norte. O trânsito da energia é possível graças ao Sistema Interligado Nacional (SIN), uma grande rede de transmissão com mais de 100 mil quilômetros (km) de extensão que é operado e controlado pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). As localidades do sistema isolado vêm sendo gradativamente interligadas ao longo dos anos, hoje somente cerca de 2% do mercado nacional permanece no sistema isolado (ANEEL, 2020).

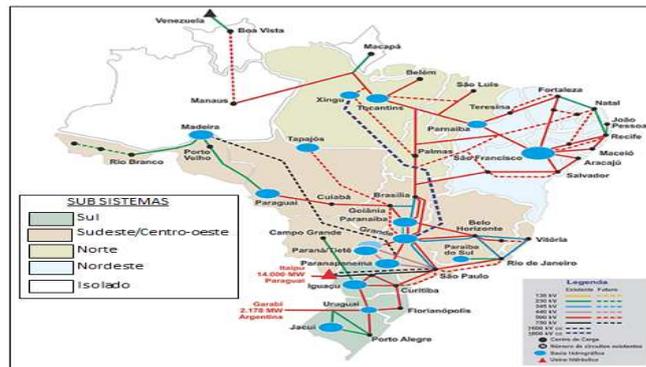


Figura 11: Integração Eletroenergética – BANCO DO NORDESTE, 2017

No sistema apresentado acima a responsabilidade das geradoras é produzir a energia, das transmissoras é transportar do ponto de geração até os centros consumidores e das distribuidoras são de conduzir a energia dos centros até a casa dos cidadãos. Há ainda empresas autorizadas pela ANEEL, as comercializadoras, que compram e vendem energia para os consumidores. (ANEEL, 2020). No último ano aproximadamente 600.000 GW/h/ano foram distribuídos nos 4 subsistemas (MME, 2020). No mesmo período, o estado maior consumidor de energia elétrica do Brasil, São Paulo, consumiu para suprir toda sua demanda cerca de 130.000 GW/h (em média 10.800 GW/h/mês) de energia elétrica conforme dados apresentados pela Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SIMA, 2020).

5.1 Comercializações de Energia Elétrica no Brasil

No Sistema Integrado Nacional ocorrem as negociações de compra e venda de energia permitindo que um agente de mercado (distribuidor, gerador, comercializador, consumidor livre ou especial) pode negociar energia com qualquer outro agente, independentemente das restrições físicas de geração e transmissão. Cada subsistema corresponde a um submercado que concentra regiões onde a energia circula livremente. A linha que divide cada submercado é determinada por limites de intercâmbio presentes no sistema de transmissão, ou seja, restrições elétricas no fluxo de energia entre as diversas regiões do país. A estrutura brasileira de transmissão de energia possui linhas com tensão de 230 kV a 750 kV, porém os agentes de transmissão não participam da comercialização da energia (CCEE, 2020).

Neste sistema a transmissão e distribuição constituem monopólios naturais, haja vista ser antieconômica a instalação de dois ou mais sistemas paralelos para atender o mesmo conjunto de consumidores. Por meio da rede básica de transmissão, a energia chega às redes de distribuição, operadas por uma ou mais empresas concessionárias ou permissionárias privadas ou estatais em cada estado. A remuneração do serviço de transmissão é realizada por meio da Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão – TUST, enquanto a remuneração do serviço de distribuição é efetuada mediante pagamento de Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição – TUSD, ambas reguladas pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Por outro lado, a geração ocorre em ambiente concorrencial, realizada por meio de leilões caracterizando como ambiente de contratação regulada ou de livre negociação caracterizando ambiente de contratação livre (BANCO DO NORDESTE, 2017).

5.1.1 Ambiente de Contratação Regulada (ACR):

Os participantes deste ambiente de contratação são as Geradoras, distribuidoras e comercializadoras que somente negociam energia existente. O preço é estabelecido em leilão e a contratação é realizada por meio de leilões de Energia promovida pela CCEE sob delegação da Aneel onde são comercializadas existente (A1); Energia disponível no segundo ano (A2); energia disponível no terceiro ano (A3) e assim sucessivamente. O tipo de contrato regulado pela Aneel é denominado de Contrato de Energia no Ambiente Regulado (CCEAR) seguindo características específicas por contratação entre os participantes. (CCEE, 2020).

O contrato de geração Distribuída é destinado para concessionários, permissionários ou autorizados conectados diretamente no sistema elétrico de distribuição do próprio comprador (Resolução 482 & 687 Aneel); Os Contratos Leilão Ajuste são realizados para complementar a carga do consumidor das distribuidoras, até 5% dessa carga, prazo de suprimento até dois anos; Os Contratos do Proinfa (Programa de Incentivo de Fontes Alternativas) que foram elaborados junto ao Ministério de Minas e Energia e é gerenciado pela Eletrobrás para diversificação da matriz energética como: (PCHs), usinas eólicas e usinas de biomassa apresentando garantia de contratação pela Eletrobrás por 20 anos; Os Contratos de Itaipu são estinados para (distribuidoras) para comercialização no âmbito da CCEE pela Eletrobrás; O Contrato de Energia de Reserva (CER e Conuer) é realizado para contratação de Usinas Especiais para maior segurança do SIN sendo de curto prazo podendo ser comercializada tanto no ACR quanto no ACL; e o Contrato de Comercialização de Energia Elétrica no Ambiente Regulado (CCEAR) onde é acordado entre as geradoras os riscos hidrológicos sendo regulado ANEEL (CCEE, 2020).

Em 2018, 66 % de toda energia comercializada no Brasil foi realizada em ambiente de contratação regulada (ACR) que vem diminuindo a proporção em relação ao ambiente de contratação Livre. Em São Paulo dos 132.000 GW comercializados, aproximadamente 85.000 foram em ambiente regulado, representando 64% da comercialização estadual. (EPE, 2018).

5.1.2 Ambiente de Contratação Livre (ACL):

Os participantes deste ambiente de contratação são geradores, comercializadoras, consumidores livres e especiais. O preço da energia é acordado entre o comprador e vendedor. O tipo de contrato e a contratação é livre para negociações entre compradores e vendedores seguindo as seguintes características do consumidor. (CCEE, 2020)

O Consumidor Especial é aquele consumidor com demanda entre 500 kW e 3.000 kW, de fonte especial (PCH, CGH, solar, eólica ou biomassa) e também com comunhão de carga sendo um agrupamento de consumidores com mesma raiz de CNPJ ou área contígua (sem separação por vias públicas) possibilitando agregar suas cargas > 500 kW (tornando um consumidor especial). Já o Consumidor Livre é aquele consumidor com demanda acima de 3.000 kW, tem opção de comprar energia especial ou não especial. (CCEE, 2020)

Em 2018, 34 % de toda energia comercializada no Brasil foi realizada em ambiente de contratação regulada (ACL) que vem aumentando a proporção em relação ao ambiente de contratação Regulada. Em São Paulo 132.000 GW comercializados, aproximadamente 48.000 foram em ambiente livre, representando 36% da comercialização estadual (EPE, 2019).

5.1.3 Mercado de curto prazo:

É um mercado destinado a equalização de diferenças entre Montante de geração contratado e consumo tanto no ACL quanto no ACR que são comercializadas somente em curto prazo e a contratação é multilateral seguindo as regras de comercialização vigente. O preço de liquidação das diferenças (PLD), apuradas tanto positivas quanto negativas é valorado e apresentado semanalmente pela CCEE (Também chamado de preço “Spot”).

5.2 Valores financeiros do mercado de Energia.

No ano de 2018, a tarifa média de energia elétrica foi de R\$ 475,20/MWh. Na região sudeste a tarifa média foi de R\$456,47/MWh (EPE, 2019). Conforme apresentado pela Agencia Nacional de Energia Elétrica o valor total da tarifa de energia, como estes valores médios apresentados, contem Tributos, Tarifas e encargos que incidem sobre valor comercializado da energia, seja no ambiente de contratação regulada, livre ou de curto

prazo representando a 46,5% do valor total, ou mais quando incidido impostos como ICMS, PIS/COFINS, TUSD, TUST e encargos setoriais conforme apresentado em ilustração abaixo:



Figura 12: Valor Final da Energia Elétrica -ANEEL, 2020

No caso da composição da tarifa dos consumidores caracterizados como especiais em ambiente livre a resolução 77/2004 da ANEEL assegura o direito a 100% (cem por cento) de redução, a ser aplicado às tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição, incidindo na produção e no consumo da energia comercializada pelos empreendimentos, desde que atenda a uma das seguintes condições: aqueles que utilizem como insumo energético, no mínimo, 50% (cinquenta por cento) de biomassa composta de resíduos sólidos urbanos e/ou de biogás de aterro sanitário ou biodigestores de resíduos vegetais ou animais, assim como lodos de estações de tratamento de esgoto.

Os leilões praticados em 2018 o preço médio ao final das negociações de energia foi de R\$ 140,87 por MWh, com deságio de 46,89% em relação aos preços-tetos estabelecidos no início do leilão resultando para fontes como as hidrelétricas o valor de R\$ 151,68 por MWh; Pequenas Centrais hidrelétricas R\$ 193,99 por MWh ; Centrais Geradoras Hidrelétricas R\$ 195,00 por MWh; Eólica R\$ 90,45 por MWh; Térmica a Biomassa R\$ 175,59 por MWh e Térmica a Gás Natural R\$ 179,98 por MWh (ANEEL, 2020).

Durante o mesmo ano o Preço Líquido das Diferenças apresentou valor médio de R\$ 273,06 por MWh no Brasil na região Sudeste 289,74 por MW variando valores semanalmente em todas as regiões desde 40,16 a 505,18 por MWh tanto nos períodos que apresenta avit de potencia para suprimento considerado como leves quanto a médios a pesados quando a deficit de necessidade de suprimento (Normalmente em período de estiagem) CCEE, 2020.

5.2.1 Valores de energia elétrica comercializada para o saneamento básico pela SABESP

Conforme demonstrado no congresso brasileiro de eficiência energética a SABESP no ano de 2018 consumiu aproximadamente 283 MW h médios (2.479 GW h ano) os quais 129 foram comercializados em ambiente de contratação regulada (ACR), 129 comercializados em ambiente de contratação livre especial convencional (ACL - EC) e 25 comercializados em ambiente de contratação livre especial incentivado (ACL - EI). Estas comercializações resultaram em R\$ 577 milhões no ACR, R\$ 277 milhões no ACL EC e R\$ 90 milhões no ACL EI totalizando 944 milhões com gasto em energia elétrica da empresa sendo um dos principais custos operacionais de todas as diretorias da SABESP (COBEE, 2019).



Figura 13: Consumos e Gastos da SABESP com Energia Elétrica por mercado em 2018 – COBEE, 2019

De acordo com dados apresentados pela SABESP no ano de 2018 o preço específico negociado foi de R\$ 272 / MW h no ambiente de contratação livre (ACL) e R\$ 510 / MW h no ambiente de contratação regulada (ACR) revelando um custo 47% inferior em contratos ACL em relação ao ACR (COBEE, 2019).

6 CREDITOS DE CARBONO OBTIDOS PELO TRATAMENTO TÉRMICO DE RSU

Atualmente os resíduos sólidos urbanos no Brasil quando não reutilizados ou reciclados são dispostos em aterros sanitários, aterros controlados ou mesmo lixão. Após dispostos em qualquer uma destas formas, os resíduos sólidos urbanos, que contém significativa parcela de matéria orgânica biodegradável, passam por um processo de digestão anaeróbia. O processo de digestão anaeróbia dos resíduos ocorre pela ação de micro-organismos que transformam a matéria orgânica em um gás conhecido no Brasil como Biogás. Este gás é composto basicamente pelos seguintes gases: metano (CH₄); Dióxido de Carbono (CO₂); Nitrogênio (N₂), Hidrogênio (H₂); Oxigênio (O₂) e gás sulfídrico (H₂S). Pela característica dos resíduos sólidos no Brasil, o biogás gerado pela decomposição apresenta elevada concentração de metano, acima de 55%, e de dióxido de carbono acima de 30%. O gás metano que é um potente gás de efeito estufa, apresenta potencial de aquecimento global 21 vezes superior ao CO₂ em um período de 100 anos conforme apresentado em tabela baixo (FARIA, 2010).

Tabela 6: Gases de Efeito Estufa e seu potencial de aquecimento global – FARIA, 2010

Espécie	Fórmula Química	Tempo de Vida (Anos)	Potencial de aquecimento global		
			(horizontal de tempo)		
			20 anos	100 anos	500 anos
Dióxido de Carbono	CO₂	Variável	1	1	-
Metano	CH₄	12 +/-3	56	21	6,5
Óxido Nitroso	N₂O	120	280	310	170
Ozônio	O₃	0,1 -0,3	n.d.	n.d.	n.d.
HFC -23	CHF₃	264	9	11.700	9.800
Hexafluorido de Enxofre	SF₆	3.200	16.300	23.900	34.900
Perfluoroetano	C₂F₆	10.000	6.200	9.200	14.000

A preocupação com o meio ambiente levou alguns países a assinarem um acordo que estipulasse controle sobre as intervenções humanas quanto as mudanças climáticas. Este acordo realizado em dezembro de 1997 denomina-se Protocolo de Quioto. Desta forma, o Protocolo de Quioto determina que países desenvolvidos signatários reduzam suas emissões de gases de efeito estufa (GEE). Para não comprometer as economias desses países, o protocolo estabeleceu que parte desta redução de GEE pode ser feita através de negociação com países não desenvolvidos através dos mecanismos de flexibilização. Um dos mecanismos de flexibilização é o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). O crédito de carbono do MDL é denominado Redução Certificada de Emissão (RCE) - ou em inglês, Certified Emission Reductions (CERs). Cada RCE corresponde a uma tonelada de Dióxido de carbono equivalente (CO₂). O CO₂ equivalente é o resultado da multiplicação das toneladas emitidas do GEE pelo seu potencial de aquecimento global em 100 anos. O potencial de aquecimento global do CO₂ foi estipulado como 1 e o gás metano 21. Quando queimado o gás metano (um gás inflamável) para produção de energia em aterro sanitário, como ilustrado abaixo, este é transformado em gás carbônico CO₂ reduzindo assim o potencial de aquecimento global em 21 vezes gerando Créditos de Carbonos. Os créditos de carbono gerados podem ser comercializados com empresas privadas ou através de bolsas de valores como a de São Paulo, Chicago e Europa. (FARIA, 2010).



Figura 14 – Como funciona a geração de créditos de carbono - FARIA, 2010

Para cada tonelada de resíduo que é depositada em lixão, aterros controlados ou sanitário uma das estimativas da decomposição anaeróbia é a geração de 100 m³ de gás metano (CH₄) por tonelada de resíduo sólido ao longo do tempo quando depositado em locais com pluviometria superior a 25 polegadas (625 mm) conforme apresentado na modelagem de emissão de gases de aterro sanitário apresentadas pela agencia de proteção do meio ambiente dos Estados Unidos (USEPA, 2005).

Como a produção de gás metano é inexistente com o tratamento térmico porque não há decomposição anaeróbica dos resíduos sólidos é possível prever o CH₄ que seria evitado com o processo de tratamento térmico se baseado nas estimativas de gás metano que seria gerado em lixões, aterros controlados ou sanitários. De acordo com Jauregui et al, para cada tonelada de resíduo sólidos urbano é possível obter 1,3 Tonelada de CO₂ equivalente com o tratamento térmico (ENESEP, 2017). Atualmente cada tonelada de CO₂ equivalente está cotada em € 19,49 no último dia do mês de abril de 2020 para mercados futuros conforme consulta realizada pela Investing. (INVESTING, 2020). Contudo, cada Tonelada CO₂ equivalente foi cotada a € 19,49 e para cada Euro a moeda foi valorada R\$ 693 no mesmo período sendo possível obter receita de R\$ 135,06 para cada tonelada de CO₂ equivalente.

7 VIABILIDADE ECONOMICA COM O TRATAMENTO DOS RESIDUOS NA REGIÃO SABESP M

Com base em valores do menor custo da energia comercializada pela SABESP de R\$ 272,00 / MW h, com menor investimento para implantação do sistema de tratamento R\$ 100,00 /Tonelada de resíduo sólido e com o valor mercado estimado em R\$135,06 obtidos pelos créditos de carbono para cada tonelada de CO₂ equivalentes demonstrados neste estudo, a tabela abaixo apresenta as receitas financeiras para cada município e Unidades de Negócios operadas pela diretoria da região metropolitana da SABESP.

Tabela 7: Receitas e custos anuais no tratamento dos resíduos na região da diretoria M SABESP

REGIÕES OPERADAS POR UNIDADES DA DIRETORIA M SABESP	Geração de Resíduo Sólido Urbano RSU (Toneladas RSU/ano)	Reduções de emissões = 1,3 Ton.CO2 /Ton. Ano RSU (TonCO ₂ equivalente)	Receita anual Geração dos Créditos de Carbono = R\$ 135,06 / Ton. CO ₂ (x 1.000 R\$)	Produção de Energia Elétrica Anual Tabela 4 (GW/ano)	Receita anual Geração Energia Elétrica = R\$ 272,00 /MWh (x 1000 R\$)	Custo anual p/ Implantação de Planta para Tratamento de RSU = R\$ 100 /Ton. ano RSU (x 1.000 R\$)	
MN	São Paulo	984.900	1.280.370	172.928,74	590,9	160.724,80	98.490,00
	Guarulhos	540.879	703.143	94.967,53	324,54	88.274,88	54.087,90
	F. Morato	56.247	73.121	9.875,85	33,76	9.182,72	5.624,70
	Brag.Paul.	52.359	68.067	9.193,19	31,43	8.548,96	5.235,90
	F.Rocha	45.534	59.194	7.994,86	27,3	7.425,60	4.553,40
	Caieiras	28.167	36.617	4.945,56	16,87	4.588,64	2.816,70
	Mairiporã	24.797	32.236	4.353,86	14,86	4.041,92	2.479,70
	Cajamar	21.341	27.743	3.747,05	12,81	3.484,32	2.134,10
	Socorro	7.949	10.334	1.395,69	4,78	1.300,16	794,90
	Piracaia	7.776	10.109	1.365,31	4,69	1.275,68	777,60
	Naz.Paul.	3.888	5.054	682,66	2,35	639,2	388,80
	Joanópolis	3.283	4.268	576,43	1,98	538,56	328,30
	Pinhalzinho	1.900	2.470	333,6	1,12	304,64	190,00
	Vargem	1.296	1.685	227,55	0,79	214,88	129,60
	Pedra Bela	345	449	60,58	0,23	62,56	34,50
Total MN	1.780.654	2.314.850	312.647,15	1.068,39	290.602,08	178.065,40	
MS	São Paulo	1.039.218	1.350.983	182.465,90	623,48	169.586,56	103.921,80
	S.B. Campo	324.328	421.626	56.945,51	194,67	52.950,24	32.432,80
	Diadema	136.426	177.354	23.953,68	81,83	22.257,76	13.642,60
	Emb. Artes	87.831	114.180	15.421,37	52,65	14.320,80	8.783,10
	Itap Serra	55.794	72.532	9.796,31	33,48	9.106,56	5.579,40
	Rib.Pires	39.596	51.475	6.952,27	23,84	6.484,48	3.959,60
	Emb-Guaç	19.438	25.269	3.412,92	11,58	3.149,76	1.943,80
	R G Serra	14.398	18.717	2.528,00	8,68	2.360,96	1.439,80
Total MS	1.717.020	2.232.126	301.474,41	1.030,21	280.217,12	171.702,00	

MC	São Paulo	1.112.619	1.446.405	195.353,64	667,57	181.579,04	111.261,90
	Sto André	283.576	368.649	49.790,27	170,15	46.280,80	28.357,60
	Total MC	1.396.194	1.815.052	245.143,67	837,72	227.859,84	139.619,40
ML	São Paulo	960.092	1.248.120	168.572,95	576,05	156.685,60	96.009,20
	Itaquaque.	118.715	154.330	20.843,98	71,25	19.380,00	11.871,50
	Suzano	92.103	119.734	16.171,44	55,26	15.030,72	9.210,30
	Ferraz V.	59.444	77.277	10.437,18	35,65	9.696,80	5.944,40
	Poá	37.152	48.298	6.523,15	22,3	6.065,60	3.715,20
	Arujá	24.451	31.786	4.293,11	14,68	3.992,96	2.445,10
	Biritiba M	7.948	10.332	1.395,51	4,78	1.300,16	794,80
	Salesópolis	2.764	3.593	485,3	1,64	446,08	276,40
	Total ML	1.302.675	1.693.477	228.723,65	781,6	212.595,20	130.267,50
MO	São Paulo	345.698	449.407	60.697,65	207,44	56.423,68	34.569,80
	Osasco	275.971	358.762	48.454,99	165,57	45.035,04	27.597,10
	Carapicuíba	129.172	167.924	22.680,02	77,49	21.077,28	12.917,20
	Tab. d Serra	92.537	120.298	16.247,65	55,51	15.098,72	9.253,70
	Barueri	87.871	114.232	15.428,39	52,74	14.345,28	8.787,10
	Cotia	79.318	103.113	13.926,65	47,57	12.939,04	7.931,80
	Itapevi	75.948	98.732	13.334,95	45,56	12.392,32	7.594,80
	Sant. Parn.	44.238	57.509	7.767,31	26,54	7.218,88	4.423,80
	Jandira	40.004	52.005	7.023,90	24	6.528,00	4.000,40
	V. G Paul.	14.861	19.319	2.609,29	8,93	2.428,96	1.486,10
	Pir. B Jesus	4.665	6.065	819,08	2,81	764,32	466,50
	Total MO	1.190.287	1.547.373	208.990,58	714,17	194.254,24	119.028,70
DIRETORIA M	7.386.829	9.602.878	1.296.979,47	4.432,10	1.205.528,48	738.682,90	

Analisando a tabela acima, é possível verificar que se todo resíduo sólido for destinado para o tratamento térmico com aproveitamento energético o custo estimado para implantação de sistemas de tratamento térmico seria de em R\$ 738,68 Milhões ao ano durante 15 anos na região operada pela Diretoria M da SABESP. A implantação deste sistema é possibilitaria obtenção de receita financeiras estimadas em R\$ 1,3 Bilhões com obtenção de créditos de carbono e mais R\$ 1,2 Bilhões com comercialização de energia elétrica, totalizando receita de R\$ 2,5 Bilhões anualmente.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposta do tratamento térmico como forma de destinação final dos resíduos sólidos urbanos gerados nas regiões operadas pela diretoria da região metropolitana da companhia de saneamento básico do estado de São Paulo, beneficiaria a sustentabilidade energética do saneamento, pois os resíduos sólidos que são uma das suas vertentes, supriria o consumo total anual de energia elétrica da companhia (2.626,3 GW h) necessária para outras duas vertentes, água e esgoto. Além da sustentabilidade energética no saneamento, o estudo revela um excedente energético de 1.805,8 GW h anual que pode suprir outras demandas elétricas necessárias à sociedade. Também beneficiaria meio ambiente, pois além de reduzir 90% o volume de resíduo sólido que aumentaria dez vezes a vida útil dos aterros sanitários operantes atuais, haveria a redução de emissão de poluentes sendo estimada a obtenção de 9,6 milhões de toneladas de gás carbônico equivalente anualmente, evitando assim o agravamento do Efeito Estufa.

O processo de tratamento térmico dos resíduos sólidos urbanos produzidos na região estudada aliado a geração de energia elétrica e obtenção de créditos de carbono beneficiam receitas financeiras atuais estimadas em R\$ 2,5 Bilhões anualmente com custo estimado para implantação em 0,7 Bilhões ao ano durante 15 anos.

Para a força de trabalho este trabalho é uma forma de enriquecer o capital intelectual com a apresentação de tecnologia para destinação final dos resíduos sólidos urbanos, muitas vezes desconhecida entre os técnicos,

tecnólogos e engenheiros que trabalham no saneamento. Também é possível incentivar maiores estudos na região avaliada e em outras regiões brasileiras sobre processo de tratamento térmico ainda não aplicado como destinação final dos resíduos sólidos urbanos aliado a produção de energia elétrica no Brasil em futuras concessões municipais relativas à vertente de resíduos sólidos do saneamento básico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT NBR 10.004/2004, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Resíduos Sólidos – Classificação, Rio de Janeiro, 2004
2. ABRELPE, Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2018/2019 - <<http://abrelpe.org.br/download-panorama-2018-2019/>> - Acesso em 10 mai. 2020.
3. ANEEL, 2018, Agência Nacional de Energia Elétrica, Leilão de Geração N° 03/2018, 31 ago. 2018 <https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/leilao-de-geracao-n-03-2018-tem-desagio-de-46-89-e-contrata-168-twh/656877?inheritRedirect=false> - Acesso em 10 mai. 2020.
4. ANEEL, 2020, Agência Nacional de Energia Elétrica, Saiba Mais Sobre o Setor Elétrico Brasileiro <https://www.aneel.gov.br/home?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_returnToFullPageURL=%2F&_101_assetEntryId=14476909&_101_type=content&_101_groupId=654800&_101_urlTitle=faq&inheritRedirect=true> Acesso em 10 mai. 2020.
5. BANCO DO NORDESTE, Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste, Potencialidades da Energia Eólica no Nordeste, Caderno Setorial ETENE, Ano 2, 5 de maio de 2017 <<https://www.bnb.gov.br/documents/80223/1910830/Eolica.pdf/9d7251e0-4c94-4570-b223-df7820b50d4d>> Acesso em 10 mai. 2020.
6. BRASIL ENERGIA, Novas soluções para recuperar a energia do lixo das cidades, Editora Brasil Energia, 16 de maio de 2020 - <<https://editorabrasilenergia.com.br/novas-solucoes-para-recuperar-a-energia-do-lixo-das-cidades/>> - Acesso em 18 mai. 2020.
7. CCEE, Câmara de Comercialização de Energia Elétrica, Comercialização, <https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/onde-atuamos/comercializacao?_afLoop=106373489667282&_adf.ctrl-state=x511g26fu_99#!%40%40%3F_afLoop%3D106373489667282%26_adf.ctrl-state%3Dx511g26fu_103> - Consulta em 18 mai. 2020.
8. CEMPRE, Compromisso Empresarial de Reciclagem, Lixo Municipal – Manual de Gerenciamento Integrado 4ª edição – 2018 - <http://cempre.org.br/upload/Lixo_Municipal_2018.pdf> - Acesso em 10 mai. 2020.
9. CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos, 2018 - <<https://cetesb.sp.gov.br/residuossolidos/wp-content/uploads/sites/26/2019/06/Invent%C3%A1rio-Estadual-de-Res%C3%ADuos-S%C3%B3lidos-Urbanos-2018.pdf>> - Acesso em 10 mai. 2020.
10. COBEE, Congresso Brasileiro de Eficiência Energética, Gestão de Energia Elétrica na SABESP, Companhia de Saneamento Básico do estado de São Paulo, 2019, <http://www.cobee.com.br/wp-content/uploads/2019/08/Gisele_Abreu.pdf>- Acesso em 18 mai. 2020.
11. COVANTA, *Covanta Environmental Solutions, Homepage , Dublin Waste to Energy , Our Facilities, Dublin Waste to Energy – Dublin - Irlanda* <<https://www.covanta.com/Our-Facilities/Dublin-Waste-to-Energy>> - Acesso em 10 mai. 2020.
12. EMPLASA, Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S/A, Planejamento Regional, Região Metropolitana de São Paulo - <<https://emplasa.sp.gov.br/RMSP>> - Acesso em 10 mai.
13. ENEGEP, XXXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Análise da Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental da produção de energia elétrica a partir da incineração dos resíduos sólidos urbanos da cidade de São Paulo, 2017, <http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STP_246_424_34486.pdf> - Acesso em 10 mai. 2020.
14. EPE, 2014, Empresa de Pesquisa Energética, Economicidade e Competitividade do Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos, 2014, <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-251/topico-311/DEA%2016%20-%20%20Economicidade%20e%20Competitividade%20do%20Aproveitamento%20Energetico%20d%5B1%5D.pdf>> - Acesso em 10 mai. 2020.

15. EPE, 2019, Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2019, ano base 2018 <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anu%C3%A1rio_2019_WEB_alterado.pdf> - Acesso em 10 mai. 2020.
16. FARIA, Mario - Biogás produzido em Aterros Sanitários, Aspectos Ambientais – Aspectos Ambientais e Aproveitamento do Potencial Energético, Universidade de São Paulo, 2010, <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/bibliotecaDigital/20926_arquivo.pdf> Acesso em 10 mai. 2010
17. FEAM, Fundação Estadual do Meio Ambiente - Sustentabilidade, Energia e Meio Ambiente – Publicações - 2014 - <<http://www.feam.br/component/content/article/995>> - Acesso em 10 mai. 2020.
18. GEL, Sistema de Gestão de Energia Elétrica da Sabesp, Companhia de Saneamento Básico do estado de São Paulo, - Consulta em 19 de abril de 2020.
19. IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, cidades e estados - <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados.html?view=municipio>> - Acesso em 10 mai.
20. ICLEI, Governos Locais pela Sustentabilidade – Resíduos Sólidos - <http://www.iclei.org.br/residuos/site/?page_id=349> Acesso em 10 mai. 2020.
21. INVESTING, Portal financeiro Investing.com , Portfólio, Commodities, Créditos Carbono Futuros - <<https://br.investing.com/commodities/carbon-emissions>> - Consulta em 10 mai 2020.
22. JESCO, *Japan Environmental Sanitation Center – Solid Waste Management and Recycling Technology– Toward a Sustainable Society –Tokyo - Japão* - <<https://www.env.go.jp/en/recycle/smcs/attach/swmrt.pdf>> - Acesso em 10 mai. 2020.
23. JORNAL FOLHA DE SÃO PAULO, Caderno Cotidiano, Aterros no limite e baixa coleta de recicláveis desafiam limpeza de São Paulo, 23 abr. 2019, <<https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2019/04/aterros-no-limite-e-baixa-coleta-de-reciclaveis-desafiam-limpeza-de-sao-paulo.shtml>> - Acesso em 10 mai 2019
24. LEITE, Clauber Barão - Tratamento dos Resíduos Sólidos Urbanos com Aproveitamento Energético: Avaliação econômica entre as tecnologias de digestão anaeróbia e incineração, Instituto de Energia e Ambiente, Programa de Pós Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, 2016 <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/106/106131/tde-28032017-134502/publico/Mestrado_Clauber_corrigida.pdf> - Acesso em 10 mai.
25. MMA, Ministério do Meio Ambiente – Informações institucionais – Acesso a informação – Diferença entre lixão e aterro sanitário - <<https://www.mma.gov.br/informma/item/15708-diferenca-entre-lixao-e-aterro-sanitario.html>> Acesso em 10 mai. 2020.
26. MME, Ministério de Minas e Energia, Boletim do Monitoramento do Sistema Elétrico, <<http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/energia-eletrica/publicacoes/boletim-de-monitoramento-do-sistema-eletrico>> - Acesso em 10 mai.
27. SABESP, Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, Transparência, sobre a sabesp, Relação dos municípios atendidos, <http://site.sabesp.com.br/site/uploads/file/asabesp_doctos/municipios_atendidos_sabesp.pdf> - Acesso em 10 mai. 2020.
28. SANTOS, Paulo Ernani Bergamo, *Legal Aspects of Introducing Waste-To-Energy (WTE) Technology in Sao Paulo State of Brazil: The case studies of URE Barueri and city of Sao Paulo* Department of Earth and Environmental Engineering Fu Foundation School of Engineering & Applied Science - Columbia University, 2016 - <http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/sofos/Paulo%20thesis_NJT_June25.pdf> - Acesso em 10 mai. 2020.
29. SIGNOS, Sistema de Informação Geográfica no Saneamento, Companhia de Saneamento Básico do estado de São Paulo, - Consulta em 19 de abril de 2020.
30. SIMA, Secretaria da Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo, Dados Energéticos, Energia Elétrica <<http://dadosenergeticos.energia.sp.gov.br/portalecv2/intranet/Eletricidade/index.html>> Consulta em 19 abr. 2020.
31. UN, *United Nations – Environmental Indicators Waste, 2011* <<https://unstats.un.org/unsd/environment/wastetreatment.htm>> Acesso em 10 mai. 2020.
32. USEPA – *United States Environ Protect Agency , Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) Version 3.02, User's Guide, United States of America - California - 2005* <<https://www3.epa.gov/ttnca1/dir1/landgem-v302-guide.pdf>> - Acesso em 10 mai. 2020.
33. WORLD BANK, *The World Bank - What a Waste a Global Review of Solid Waste Management – Urban Development Series Knowledge papers – United States of America - Washington – 2012* <<http://documents.worldbank.org/curated/pt/302341468126264791/pdf/68135-REVISED-What-a-Waste-2012-Final-updated.pdf>> Acesso em 10 mai. 2020.