

Potencial energético do Resíduo Sólido Urbano Paulista – comparação entre processos anaeróbio e térmico

MAZZONETTO, Alexandre Witier
VIEIRA, Daniel Duarte Santana
MILLER, Leonardo
HARDER, Márcia Nalesso Costa

Resumo

O aumento da população urbana causa, conseqüentemente, uma maior produção de resíduo sólido urbano (RSU), e, quanto melhor a condição socioeconômica, maior a geração de resíduos. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) atua com mudanças no descarte, tratamento e destinação dos resíduos gerados por toda a sociedade, com isto os aterros sanitários recebem uma boa parte desses insumos os quais podem ser um grande gerador de biogás, sendo um dos grandes desafios para a sociedade moderna é a destinação adequada para os resíduos provenientes das atividades humanas. Esses resíduos podem servir de matéria-prima para geração de energia renovável, a partir da geração da matéria orgânica. O objetivo deste trabalho foi avaliar a possibilidade de os municípios e cidades paulista de aproveitar seus resíduos sólidos urbanos para gerarem sua energia elétrica, a ideia foi comparar o potencial energético com processos anaeróbio e térmico a fim de identificar o melhor sistema, analisando a geração de biogás e energia oriunda do resíduo orgânico ou a energia gerada através do processo térmico, retratando dados para estimar pelas equações do IPCC e USEPA a produção de biogás e obtenção de energia por processo térmico pelas equações USEPA e Youg. O processo térmico apresentou maiores vantagens sobre o processo anaeróbio, por ser mais eficiente, rápido e necessitar de área menor para processar o mesmo insumo; também gerando mais energia por massa de RSU. Outra vantagem do processo térmico sobre o anaeróbio é ter um processo muito mais rápido, horas ao invés de dias.

Palavras-chave: lixo, biomassas residuais, energia renovável, tratamento de resíduo, biogás.

Abstract

The increase in the urban population consequently causes a greater production of urban solid waste (MSW), and the better the socioeconomic condition, the greater the generation of waste. The National Solid Waste Policy (PNRS) acts with changes in the disposal, treatment and destination of waste generated by society as a whole, with this the sanitary landfills receive a good part of these inputs which can be a great generator of biogas, being one of the great challenges for modern society is the proper disposal of waste from human activities. These residues can serve as raw material for the generation of renewable energy, from the generation of organic matter. The objective of this work was to evaluate the possibility of municipalities and cities in São Paulo to take advantage of their urban solid waste to generate their electricity, the idea was to compare the energy potential with anaerobic and thermal processes in order to identify the best system, analyzing the generation of biogas and energy from the organic waste or the energy generated through the thermal process, portraying data to estimate the biogas production by the IPCC and USEPA equations and obtaining energy by the thermal process by the USEPA and Youg equations. The thermal process had greater advantages over the anaerobic process, as it is more efficient, faster and requires a smaller area to process the same input; also generating more energy per mass of MSW. Another advantage of the thermal process over the anaerobic.

Keywords: garbage, residual biomass, renewable energy, waste treatment, biogas.

Bioenergía em revista: diálogos, ano/vol. 13, n. 2, jul./dez. 2023. P. 56-76.

Potencial energético do Resíduo Sólido Urbano Paulista – comparação entre processos anaeróbico e térmico

MAZZONETTO, Alexandre Witier; VIEIRA, Daniel Duarte Santana; MILLER, Leonardo; HARDER, Márcia Nalesso Costa

Resumen

El aumento de la población urbana provoca en consecuencia una mayor producción de residuos sólidos urbanos (RSU), y cuanto mejor es la condición socioeconómica, mayor es la generación de residuos. La Política Nacional de Residuos Sólidos (PNRS) actúa con cambios en la disposición, tratamiento y destino de los residuos generados por la sociedad en su conjunto, con esto los rellenos sanitarios reciben buena parte de estos insumos los cuales pueden ser un gran generador de biogás, siendo uno de los grandes desafíos de la sociedad moderna es la eliminación adecuada de los residuos de las actividades humanas. Estos residuos pueden servir como materia prima para la generación de energía renovable, a partir de la generación de materia orgánica. El objetivo de este trabajo fue evaluar la posibilidad de que municipios y ciudades de São Paulo aprovechen sus residuos sólidos urbanos para generar su electricidad, la idea era comparar el potencial energético con procesos anaeróbicos y térmicos para identificar el mejor sistema. , analizando la generación de biogás y energía a partir de los residuos orgánicos o la energía generada mediante el proceso térmico, retratando datos para estimar la producción de biogás mediante las ecuaciones del IPCC y USEPA y obteniendo energía por el proceso térmico mediante las ecuaciones de USEPA y Youg. El proceso térmico tuvo mayores ventajas sobre el proceso anaeróbico, ya que es más eficiente, más rápido y requiere de menor área para procesar el mismo insumo; generando también más energía por masa de RSU. Otra ventaja del proceso térmico sobre el anaeróbico.

Palabras clave: basura, biomasa residual, energías renovables, tratamiento de residuos, biogás.

INTRODUÇÃO

Um dos grandes desafios para a sociedade moderna é a destinação adequada para os resíduos provenientes das atividades humanas, pois o consumo cresce junto com o desenvolvimento econômico e demográfico.

A geração desse tipo de resíduo e as práticas de descarte estabelecidas, resultaram em volumes crescentes de RSU (resíduo sólido urbano) acumulados e, com o passar dos anos, em sérios problemas ambientais e para a saúde pública (Szigethi; Antenor, 2020).

A política nacional de resíduo sólido (PNRS) recomenda diminuir a destinação de resíduos para aterros sanitários. Assim, como é feito no Japão, Áustria, Suécia, entre outros países, o tratamento térmico passa a ser uma opção de tratamento para os resíduos e ainda gerando energia renovável. Existe, também, a possibilidade de gerar energia renovável explorando a produção de biogás dos aterros sanitários já existentes ou usinas com processos térmicos (Loureiro; Zveibil; Dubeux, 2015).

Há constante busca por aumentar a geração de energia renovável e diminuir a dependência de carbono fóssil. A energia, contudo, é essencial para a manutenção da sociedade. Conforme Rosa (2015), 85% da energia consumida no mundo tem suas origens nos combustíveis fósseis, fontes não renováveis e poluentes.

É importante comparar ambos os processos, térmicos e anaeróbio, para avaliar a produção de energia renovável, próximo aos centros de consumo, e também da geração de resíduos.

Para avaliar a melhor maneira de produção de energia renovável e analisar as vantagens sanitárias e ambientais entre as mesmas, foi realizado uma estimativa do potencial energético do resíduo sólido urbano produzido por vários municípios Paulista.

O objetivo deste trabalho foi comparar a estimativa energética dos resíduos sólidos paulista, analisando os processos anaeróbios (produção de biogás) e térmicos – incineração, pirólise e gaseificação, a fim de avaliar qual a melhor rota tecnológica para tratamento e geração de energia; observando juntamente as vantagens e desvantagens de cada processo, de acordo com a política nacional de resíduo sólido (PNRS) e a estimativa de geração de energia renovável.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Resíduo Sólido Urbano

Os resíduos sólidos urbanos são os resultados das atividades humanas que geram substâncias sem mais utilidade e sem valor econômico, denominado como lixo. Esses resíduos são gerados a partir de atividades domésticas, comerciais e industriais, são os resultados das atividades geradas pela cidade (Andreoli; Trindade; Hoppen, 2014).

Estes resíduos são originários de residências domésticas urbanas e da limpeza de vias e logradouros públicos e demais serviços de poda e varrição, e constituem-se de resíduos classificados quanto à origem, em domiciliar e público (BRASIL, 2010).

Desde 2010, o Brasil possui uma Política Nacional de Resíduos Sólidos, que estabeleceu o prazo até 2020 para que o país tenha toda estrutura necessária para destinação adequada dos resíduos sólidos, conhecido como lixo. Com isso será preciso trabalhar nas áreas políticas, econômicas ambientais, culturais e sociais, para que a meta seja alcançada. Com isso, a palavra lixo, não serve mais para definir o material descartado pelas residências, empresas e órgãos públicos, passando a ser chamado atualmente de resíduo sólido (SEBRAE, 2017).

Os municípios ainda encontram uma grande dificuldade para a gestão desses resíduos, tendo em vista que são gerados em grandes escalas e enormes variedades de composições/matérias, e seu descarte inadequado pode provocar enormes consequências socioambientais que afetam a qualidade de vida da população e do meio ambiente a seu redor. A necessidade de encontrar soluções para melhoria dessa gestão surge a partir desse cenário (Alcântara, 2010).

Caracterização do RSU

De acordo com a Norma Brasileira - NBR 1004 (ABNT, 2004), define resíduos sólidos como aqueles, em estado sólido e semissólido resultantes de atividades de origem doméstica, industrial, hospitalar, agrícola, comercial de serviços e varrição, bem como os lodos resultantes do tratamento de água, equipamento e instalações de controle de poluição e alguns líquidos cuja propriedade torne viável o seu lançamento na rede pública de esgoto.

A identificação dos constituintes a serem avaliados na caracterização do resíduo deve ser estabelecida de acordo com as matérias-primas, insumos e o processo que lhe deu origem.

A Lei nº 12.305/2010 (PLANALTO, 2010), que instrui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, classifica os resíduos como:

- a) Resíduos Domiciliares: os originários de atividades domésticas em residências urbanas;
- b) Resíduos de Limpeza Urbana: os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;

- c) Resíduos Sólidos Urbanos: os englobados nas alíneas "a" e "b";
- d) Resíduos de Estabelecimentos Comerciais e Prestadores de Serviços: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos nas alíneas "b", "e", "g", "h" e "j";
- e) Resíduos dos Serviços Públicos de Saneamento Básico: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos na alínea "c";
- f) Resíduos Industriais;
- g) Resíduos De Serviços De Saúde;
- h) Resíduos Da Construção Civil;
- l) Resíduos Agrossilvopastoris;
- j) Resíduos De Serviços De Transportes;
- k) Resíduos De Mineração.

Composição Gravimétrica

A Composição gravimétrica média dos resíduos sólidos produzidos no Brasil podem ser classificados de acordo com a Tabela 1. A Tabela 2 apresenta as principais características das cidades paulistas, que estimaram o potencial energético dos resíduos sólidos urbanos (RSU).

Tabela 1 - Composição gravimétrica média dos resíduos sólidos gerados no Brasil

Material	%
Matéria Orgânica	64
Papelão	5
Papel	8,5
Plástico rígido	2
Plástico maleável	2,7
Metais	1,5
Vidro	1,5
Outros	14,8

Fonte: Adaptado de Alcântara (2010).

Tabela 2 – Cidades que estimaram a energia pelos Resíduos Sólidos Urbanos

Cidades/Município	População	IDH (Índice de Desenvolvimento Humano)	Distância de São Paulo (km)	Produção de RSU por dia (t)
Botucatu	149.718	0,800	271,9	88.954,1
Bragança Paulista	181.556	0,776	87,5	147.863
Cerqueira Cesar	20.191	0,729	293,1	4.304,9
Diadema	429.550	0,757	22,7	211.381,6
Mauá	425.169	0,781	27,1	217.044,5
Piracicaba	407.252	0,785	157,0	310.550,8
Ribeirão Pires	51.43	0,784	49,5	29.056,9
Santo Andre	721.368	0,815	23,7	502.380,9
São Bernardo do Campo	849.874	0,843	29,2	555.290,7
São Caetano do Sul	161.957	0,862	41,1	113.800,7
São Carlos	256.898	0,805	234,0	157.773,9
São Paulo Capital	12.396.772	0,783	-	9.837.879,9

Fonte: Adaptado de IBGE (2018); CETESB (2019); Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais (2021).

PROBLEMAS SANITÁRIOS

No Brasil, existem grandes problemas em relação à disposição final dos resíduos sólidos. A disposição comum, a céu aberto, conhecida como “lixão” é prática antiga e inadequada para o armazenamento do lixo. A deterioração desses resíduos em lixões ou aterros causa a emissão de vários gases, dentre eles dois dos principais causadores do efeito estufa, o gás metano e o dióxido de carbono (Maranho, 2010).

Estudo feito pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2012), os brasileiros geraram em 2010 cerca de 60,9 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU), crescimento de 6,8 % sobre 2009. Desses, quase 23 milhões de toneladas, ou 42,4 %, foram depositadas em locais inadequados: lixões ou aterros controlados — onde o chorume, líquido originado pela decomposição, não é tratado e pode contaminar os lençóis d’água.

Há muitos locais de disposição de resíduos os quais podem provocar danos ambientais e a saúde humana além de serem esteticamente desagradáveis. Estudar técnicas para a disposição,

tempo de degradação desses resíduos e como otimizar processos degradativos devem ser viabilizados no país (Leite *et al*, 2007).

Ao longo dos anos, a disposição irregular de RSU tem causado a contaminação de solos, cursos d'água e lençóis freáticos, e também doenças como dengue, leishmaniose, leptospirose e esquistossomose, entre outras, cujos vetores encontram nos lixões um ambiente propício para sua disseminação (IPEA, 2020).

Aterro Sanitário

Para a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2020), aterro sanitário é um aperfeiçoamento de uma técnica chamada aterramento que antigamente era utilizada pelo homem para descarte de seus resíduos. Atualmente, os aterros sanitários têm como objetivo acondicionar no solo resíduos no menor espaço possível, causando o menor dano possível à saúde pública e ao meio ambiente. Basicamente, essa técnica consiste na compactação dos resíduos no solo, na forma de camadas que são cobertas com terra ou outro material inerte frequentemente.

Antes de começar a distribuição do lixo, o terreno deve ser preparado com o nivelamento de terra e com o selamento da base com argila e mantas de PVC resistentes, fazendo assim a devida impermeabilização do solo para que o chorume não contamine o lençol freático. O aterro sanitário é um tratamento baseado em técnicas sanitárias de impermeabilização do solo, compactação e cobertura diária das células de lixo, coleta e tratamento de gases, tratamento do chorume e outros procedimentos técnico-operacionais responsáveis por evitar os aspectos negativos da deposição final do lixo, tais como, proliferação de ratos, moscas, exalação de mau cheiro, contaminação dos lençóis freáticos, surgimento de doenças e transtorno visual (Albuquerque, 2011).

PROCESSOS ANAERÓBICOS

Biogás

O Biogás é gerado a partir da decomposição de matéria orgânica em relação a bactérias fermentadoras a partir da mistura de dióxido de carbono e metano, essa fermentação precisa de determinados parâmetros, como: umidade, temperatura e o potencial hidrogeniônico da solução (pH) (CETESB, 2020).

O biogás originado da digestão anaeróbica é considerado uma energia alternativa, tanto pelo reaproveitamento dos resíduos quanto pela redução dos impactos ambientais. Sua composição se baseia em uma mistura de gases, na qual metano e gás carbônico se apresentam em maiores proporções. O potencial energético do biogás é obtido em função da proporção e concentração de metano, podendo variar de 40 a 75% dependendo da fonte geradora (Salomon *et al*, 2012).

De acordo com Freitas (2020), o Biogás é um gás incolor e inflamável, é uma fonte de energia renovável e por essa razão é considerado um biocombustível.

PROCESSOS TÉRMICO

Incineração

A incineração transforma os RSU basicamente em cinzas, gases da combustão e calor. O calor gerado pode ser aproveitado para geração de eletricidade (Brito, 2013).

Essa prática é bastante explorada em nível mundial - o aproveitamento do resíduo urbano para a geração de energia via incineração, vista na União Europeia, onde a participação deste tratamento no resíduo doméstico e similar passou de 13,5% em 1996 para 22% em 2010, segundo a agência europeia de estatísticas Eurostat (EUROSTAT, 2014).

Segundo Gonçalves (2007), a incineração é a queima, por um tempo determinado, de materiais em alta temperatura (entre 800° e 1000° C) misturados com uma quantidade de ar apropriada. A energia liberada na queima dos materiais pode ser convertida para geração de vapor utilizado para aquecimento ou produção de energia elétrica.

A incineração é bastante difundida pelo mundo, onde a tecnologia de aproveitamento do resíduo urbano para a geração de energia via incineração, tendo em vista a União Europeia, onde a participação deste tratamento no resíduo doméstico e similar passou de 13,5% em 1996 para 22% em 2010, segundo a agência europeia de estatísticas Eurostat (EUROSTAT, 2014).

Pirólise

A pirólise surge como um processo alternativo de destinar adequadamente materiais com potencial poluidor do meio ambiente bem como uma forma de agregação de valor aos RSU por se tratar de um processo de conversão energética de uma biomassa, onde a degradação térmica dos componentes moleculares ocorre na ausência parcial ou total de oxigênio. Observa-se que os

produtos obtidos apresentam maior potencial energético que daquelas biomassas empregadas no processo (Pedroza *et al*, 2014).

A pirólise também pode ser utilizada como um método de reciclagem, porque permite a conversão de resíduos de plástico em produtos químicos de valor acrescentado, combustíveis de transporte e óleos lubrificantes (Hamidi *et al*, 2013).

Entre todos os processos termoquímicos de conversão da biomassa em energia, a pirólise é um dos mais promissores. A pirólise pode ser definida como a degradação térmica de qualquer material orgânico sólido na ausência total de um agente oxidante, ou em uma quantidade tal que a gaseificação não ocorra totalmente (Figueiredo, 2011).

É um processo físico-químico no qual a biomassa é aquecida a temperaturas de (500 - 800° C) em atmosfera não oxidante, para a formação de três produtos principais: um resíduo sólido rico em carbono (carvão), os licores pirolenhosos ou bio-óleo, e gases voláteis não condensáveis (Souza, Alencar e Mazzonetto, 2016).

Gaseificação

De acordo com Rocha; Oliveira e Silva (2011), as etapas do processo de gaseificação podem ser descritas como: Secagem da biomassa – através do controle da temperatura permitindo-se a secagem da biomassa sem que ocorra a sua decomposição.

A definição de gaseificação vista por Sánchez (2010), diz que a gaseificação seria a conversão de biomassa, ou de qualquer combustível sólido em um gás energético ou de síntese, através da oxidação parcial a temperaturas elevadas (700° C a 1000° C). Esta conversão pode ser realizada em vários tipos de reatores, tais como reatores de leito fixo e de leito fluidizado.

Já para Lora *et al* (2008), a gaseificação é o processo termoquímico de converter um insumo sólido (a biomassa) em um gás apresentando vantagens significativas sobre os demais processos de geração de energia, por que dispensa o ciclo a vapor, podendo o gás ser queimado diretamente em motor de combustão interna.

Gaseificação a plasma

A gaseificação a plasma é um processo térmico, que utiliza temperaturas altas em um ambiente sem oxigênio, no qual o calor extremo decompõe o material de entrada do processo em moléculas simples, com base na sua estrutura molecular original (Dodge, 2009).

GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública – ABRELPE, entre 2017 e 2018, a geração de RSU no Brasil aumentou quase 1% e chegou a 216.629 toneladas diárias. Como a população também cresceu no período (0,40%), a geração per capita teve elevação um pouco menor (0,39%). Isso significa que, em média, cada brasileiro gerou pouco mais de 1 quilo de resíduo por dia, conforme Abrelpe/IBGE estima que 79 milhões de toneladas de resíduos foram geradas em 2018, e 380 kg/ano foi a geração média de RSU por pessoa, isto é, de resíduos sólidos urbanos entre 2017 e 2018. Houve expansão em todas as regiões do Brasil, com exceção do Nordeste, conforme Tabela 3.

Tabela 3 - Quantidade de RSU coletada nas regiões e no Brasil

Regiões	RSU 2017 [ton/dia]	População 2018	RSU 2018 [ton/dia]
Norte	12.705	18.182.253	13.069
Nordeste	43.871	56.760.780	43.763
Centro-Oeste	14.406	16.085.885	14.941
Sudeste	103.741	87.711.946	105.977
Sul	21.327	29.754.036	21.561
BRASIL	196.050	208.494.900	199.311

Fonte: Abrelpe/IBGE (2018).

Conforme ABRELPE (2018/2019), a destinação adequada em aterros sanitários recebeu 59,5% dos resíduos sólidos urbanos coletados: 43,3 milhões de toneladas, um pequeno avanço em relação ao cenário do ano anterior de 2017 para 2018. O restante (40,5%) foi despejado em locais inadequados por 3.001 municípios.

METODOLOGIA

Este trabalho levantou na bibliografia, trabalhos que caracterizaram o RSU (resíduo sólido urbano) da grande São Paulo e de municípios do interior do Estado. Os municípios foram levantados pela população e por aqueles que se encontraram estudos sobre RSU e potencial energético; alguns municípios que tinham estudos não foram considerados pela pequena população. Assim, compararam-se o potencial energético pelos processos anaeróbios e térmicos. Também foram coletadas informações referentes aos resíduos sólidos urbanos de Piracicaba/SP,

disponibilizados pela Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente de Piracicaba (SIMAP) e do Município de São Paulo (CETESB).

Assim foi possível estimar o potencial energético por processos térmicos e pela produção de biogás, utilizando-se para isso as equações do IPCC (International Panel on Climate Change, 2014) e da Agência de Controle Ambiental dos Estados Unidos (United States Environmental Protection Agency – USEPA, 2002).

Para estimar-se o potencial de produção de energia elétrica por processos térmicos foram usadas as taxas de Youg (2010).

Estimativas da produção de biogás

Para estimar a porcentagem de metano gerado pela degradação anaeróbica dos resíduos, utilizou-se uma Equação (1) de acordo com alguns métodos do IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (IPCC, 2014).

$$E = \text{Popurb} * \text{taxa RSU} * \text{RSUf} * \text{FCM} * \text{COU} * \text{COUF} * F * 16/12 \quad (1)$$

Popurb = população urbana;

Taxa RSU = taxa de geração de resíduos sólidos urbanos por habitante, por dia [kg/dia.pessoa];

RSUf = fração de resíduos sólidos urbanos depositada em locais de disposição de resíduos sólidos (%);

FCM= fator de correção de metano (% - fração adimensional);

COD = carbono orgânico degradável no resíduo sólido urbano (gC g⁻¹ RSU);

CODF = fração de COU que realmente degrada (%);

F = fração de CH₄ no gás de aterro;

16/12 = taxa de conversão de carbono em metano.

Como o IPCC, a Agência de Controle Ambiental dos Estados Unidos (United States Environmental Protection Agency – USEPA) também desenvolveu uma Equação (2) recomendada para a elaboração de inventários de produção de biogás, e esta é conhecida como equação de Inventário da USEPA (EPA, 2002).

$$Q = \text{População} * \text{Taxa de RSD} * \text{RSDf} * 0,45 * F \quad (2)$$

Sendo:

Q = metano gerado [m^3/dia];

População = número de habitantes atendidos pelo aterro [habitantes];

Taxa RSD = taxa de geração de resíduos sólidos por habitante por dia [kg RSD/habitante.dia];

RSDf = fração de resíduos sólidos coletados que é depositada nos LDRS [%];

0,45 = volume de biogás gerado por 1 kg de resíduo sólido [m^3 biogás/kg RSD];

F = fração de metano no biogás [%].

A Estimativa por método do Inventário, proposta pelo IPCC, calcula a quantidade de carbono orgânico degradável, estimando a quantidade de metano produzida por certa quantidade de resíduo em suas diferentes categorias. Segundo Erler (2010), os cálculos são limitados para estimar a geração em aterros, já que foram desenvolvidos para estimar a emissão de gases do efeito estufa nas cidades. Os cálculos são feitos de acordo com as equações (IPCC, 1996).

Equação 3. Emissão anual de gás metano

$$ECH_4 = (PU * RSD * RSDf * Lo) / \rho_{CH_4} \quad (3)$$

Sendo: ECH_4 : emissão de gás metano, em toneladas de gás metano por ano;

PU: população urbana, em número de habitantes;

RSD: taxa de geração de RSU, em toneladas de RSU por habitante por ano;

RSDf: taxa de resíduos coletados e dispostos no aterro, em porcentagem;

Lo: potencial de geração de metano, em toneladas de CH_4 por toneladas de RSU;

ρ_{CH_4} : massa específica do metano, em kg por m^3 .

O potencial de geração de metano (Lo) é estimado conforme a Equação 4 (IPCC, 1996).

Equação 4. Potencial de geração de metano

$$Lo = MCF * COD * CODf * F * (16/12) \quad (4)$$

Sendo: Lo: potencial de geração de metano, em toneladas de CH_4 por toneladas de RSU; MCF: fator de correção de metano (Tabela 3);

COD: carbono orgânico degradável, em toneladas de carbono por toneladas de RSU; CODf: fração de COD disponível, em porcentagem;

F: fração de metano contido no biogás, em porcentagem;

(16/12): fator de conversão do carbono em metano.

A quantidade de carbono orgânico degradável (COD) e de carbono disponível para decomposição química (COD_f) foram obtidas do SIMAP (2019) e Mazzonetto *et al* (2016). O COD é baseado na composição do resíduo e na quantidade de carbono presente em cada componente (IPCC, 1996).

RESULTADOS e DISCUSSÃO

A partir dos resultados obtidos de resíduos sólidos dos municípios, notou-se a predominância absoluta de matéria orgânica sobre os demais tipos de resíduos. Tendo em vista que esse resíduo orgânico quando destinado de maneira correta, pode fornecer energia pela produção de biogás que conseqüentemente se transforma em energia, os demais produtos coletados: papel, plástico, vidro, lata, alumínio podem ser reaproveitados, tanto na reciclagem como reutilização.

A Tabela 4 mostra os municípios estudados do Estado de São Paulo, inclusive a capital paulista, com a população, frações (composição) do RSU e a taxa de geração de resíduo, estimada pelos dados levantados. As informações das Tabelas 2 e 4, permitiram alimentar as Tabelas 5 e 6, nestas estimaram – respectivamente, a produção de biogás pelas equações do IPCC e da USEPA (Tab. 5) e por processos térmicos (Tab. 6).

Tabela 4 - Produção e caracterização RSU – Estado de São Paulo

Cidades/Município	População	Materia organica (%)	Papel e papelão (%)	Metal (%)	Plástico (%)	Vidros (%)	Outros (%)	Taxa RSU/hab. dia [kg/hab. Dia]
Botucatu	149.718	74,11	7,61	3,86	8,41	1,99	4,02	0,72
Bragança Paulista	181.556	38,29	17,5	2,7	23,28	2,26	15,06	1,03
Campinas	1.223.237							0,91
Cerqueira Cesar	20.191	86,3	3	1,2	3,4	1,2	4,9	0,23
Diadema	429.550	47,5	15,4	-	7,4	-	1,3	0,7
Mauá	425.169	49,9	16,2	-	5,8	-	1,2	0,71
Piracicaba	407.252	62,61	6,81	1,7	5,34	10,66	12,7	1,02
Ribeirão Pires	51.43	46,9	16,2	-	5,8	-	1,2	0,82
Ribeirão Preto	720.116							0,91

Santo Andre	721.368	59,8	7,52	1,42	13,66	2,94	14,55	0,86
Santos	433.991							1,23
São Bernardo do Campo	849.874	45,8	20,4	-	5,6	-	1,7	0,91
São Caetano do Sul	161.957	49,7	16,2	-	5,8	-	1,2	0,98
São Carlos	256.898	56,7	21,3	5,4	8,5	1,1	7	0,71
São José do Campos	737.310							0,77
Sorocaba	695.328							0,9
Médias [%]		56,18	14,35	3,30	8,20	3,08	5,43	0,83
Estado de SP	46.649.132							0,94
São Paulo Capital	12.396.772	51,16	7,55	0,58	31,47	0,98	8,26	0,88

Fonte: Autores, adaptado de Instituto de água e Saneamento (2023).

A produção de biogás pode ser estimada pelas equações da USEPA e IPCC. A Tabela 5 apresenta a estimativa de produção de biogás (em m³) e conversão de produção de biogás para energia elétrica – considerando-se um motorizador com eficiência de 1,7 kW.h por m³ de biogás. Para efeito de estimativa consideraram-se uma coleta padrão média de 95% para o Estado todo, assim como COUf (CODf) de 0,5 e fração de metano no biogás de 50%. A receita possível, pela energia estimada, foi calculada com os valores praticados pela Câmara de Comércio de Energia Elétrica (CCEE).

Tabela 5 – Potencial de geração de biogás (USEPA e IPCC) e energia elétrica

Cidades/Município	População	Orgâni	Taxa	USEPA Biogás [m ³]	IPCC Biogás [m ³]	MW.h/ dia USEPA	MW.h/ dia IPCC	R\$ USEPA A	R\$ IPCC
		ca Total COU (%)	RSU/h ab. dia [kg/hab . Dia]						
Botucatu	149.718	81,7	0,72	23.041	37.696	39,17	64,085	2.704	4.424
Bragança Paulista	181.556	55,8	1,03	39.971	44.645	67,95	75,897	4.691	5.239
Campinas	1.223.237	70,0	0,91	237.934	333.489	404,49	566,933	27.925	39.141
Cerqueira Cesar	20.191	89,3	0,23	992,64	1.774	1,69	3,017	116	208,28
Diadema	429.550	62,9	0,7	64.271	80.934	109,26	137,588	7.543	9.499
Mauá	425.169	66,1	0,71	64.524	85.387	109,69	145,158	7.573	10.021
Piracicaba	407.252	69,4	1,02	88.791	123.400	150,95	209,782	10.421	14.483

Ribeirão Pires	51.43	63,1	0,82	9.014	11.387	15,324	19,359	1.058	1.336
Ribeirão Preto	720.116	70,0	0,91	140.071	196.324	238,12	333,752	16.439	23.042
Santo Andre	721.368	67,3	0,86	132.605	178.718	225,43	303,822	15.563	20.975
Santos	433.991	70,1	1,23	114.101	159.925	193,97	271,873	13.391	18.770
São Bernardo do Campo	849.874	66,2	0,91	165.311	219.091	281,03	372,455	19.402	25.714
São Caetano do Sul	161.957	65,9	0,98	33.925	44.759	57,67	76,091	3.981	5.253
São Carlos	256.898	78,0	0,71	38.987	60.881	66,28	103,498	4.575	7.145
São José do Campos	737.310	70,0	0,77	121.352	170.087	206,30	289,148	14.242	19.962
Sorocaba	695.328	70,0	0,9	133.763	187.483	227,40	318,722	15.699	22.004
Médias [%]		70,01	0,83						
Estado de SP	46.649.132	70,01	0,94	9.372.976	13.137.179	15934,06	22.333,2	1.100.09	1.541.884
São Paulo Capital	12.396.772	58,71	0,88	2.331.832	2.740.778	3964,12	4.659,3	273.68	321.679

Fonte: Autores, baseado nas taxas de Youg (2010) e do USEPA (2002), adaptado de instituto de água e saneamento (2023); Valor da energia elétrica R\$ 69,04 MW.h (CCEE, 21/05/2023).

O Potencial energético de ambos os processos são possíveis de serem obtidos, porém para se usar os processos anaeróbios necessitam-se de grandes áreas e mais de 30 dias. Esse processo não trata o RSU, não diminui o risco de proliferação de insetos e roedores, além de manter a necessidade de grandes áreas – cada vez mais difícil próximo a grandes centros urbanos.

A Tabela 6 apresenta o potencial de geração energética do RSU utilizando-se processos térmicos. Youg (2010) encontrou taxas para conversões térmicas de RSU, incineração 493 kW.h/t; pirólise 518 kW.h/t e Gaseificação Convencional 621 kW.h/t; estas taxas foram utilizadas na conversão de RSU para energia elétrica do RSU (Tab. 6). Do RSU produzido por cada município diariamente, foram consideradas as frações de material orgânico, papéis e papelão, e polímeros, especificadas na coluna 3.

Considerando-se que toda energia elétrica gerada no Brasil, é comercializada pela CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica, as receitas estimadas nas Tabelas 5 e 6, foram estimadas com base nos valores operados no período (indicado em cada Tabela) pela CCEE. Assim tem-se uma estimativa do montante da receita, possível, gerada em cada processo. Na Tabela 5 foram estimados os valores da produção de biogás (por cada método – IPCC e USEPA) e da receita – diários, para cada município; e na Tabela 6, estimaram-se as produções de energia elétrica e

receita, pelos processos térmicos dos mesmos municípios. Sempre se considerando os valores para os cálculos operados pela CCEE e o mesmo valor para todos os processos.

Tabela 6 – Estimativa de geração de energia elétrica por processos térmicos

Cidades/Município	População	Total RSU [t]	Incineração [MW.h/d]	Pirólise [MW.h/d]	Gaseificação Conv. [MW.h/d]	Receita [R\$/MW.h.dia] da Gaseificação
Botucatu	149.718	88.954,1	43.854,3	46.078,2	55.240,5	3.813.802
Bragança Paulista	181.556	147.863,0	72.896,5	76.593,0	91.822,9	6.339.455
Campinas	1.223.237	876.379,6	432.055,1	453.964,6	544.231,7	37.573.758
Cerqueira Cesar	20.191	4.304,9	2.122,3	2.230,0	2.673,4	184.569
Diadema	429.550	211.381,6	104.211,1	109.495,6	131.267,9	9.062.739
Mauá	425.169	217.044,5	107.002,9	112.429,1	134.784,6	9.305.532
Piracicaba	407.252	310.550,8	153.101,6	160.865,3	192.852,1	13.314.506
Ribeirão Pires	51.43	29.056,9	14.325,1	15.051,5	18.044,3	1.245.782
Ribeirão Preto	720.116	515.922,1	254.349,6	267.247,6	320.387,6	22.119.560
Rio Grande da Serra	124.159	46.523,6	22.936,1	24.099,2	28.891,2	1.994.646
Santo Andre	721.368	502.380,9	247.673,8	260.233,3	311.978,5	21.538.997
Santos	433.991	420.267,8	207.192,0	217.698,7	260.986,3	18.018.493
São Bernardo do Campo	849.874	555.290,7	273.758,3	287.640,6	344.835,5	23.807.444
São Caetano do Sul	161.957	113.800,7	56.103,7	58.948,8	70.670,2	4.879.073
São Carlos	256.898	157.773,9	77.782,5	81.726,9	97.977,6	6.764.373
São José do Campos	737.310	446.972,8	220.357,6	231.531,9	277.570,1	19.163.441
São Lourenço da Serra	16.127	13.234,1	6.524,4	6.855,3	8.218,4	567.398
Sorocaba	695.328	492.688,6	242.895,5	255.212,7	305.959,6	21.123.451
Estado de SP	46.649.132	34.523.249,9	17.019.962,2	17.883.043,5	21.438.938,2	1.480.144.294
São Paulo Capital	12.396.772	9.837.879,9	4.850.074,8	5.096.021,8	6.109.323,4	421.787.689

Fonte: Autores, baseado nas taxas de Youg (2010); 1 – Valor da energia elétrica R\$ 69,04 MW.h (CCEE, 21/05/2023).

Processo térmico é melhor, pois além de tratar o RSU, elimina a necessidade de grandes áreas para Aterros. Uma fração muito pequena precisará ir ao Aterro, da massa de resíduo processada pelos processos térmicos, de 4 a 9% serão transformadas em cinzas - que podem ser usadas em adubos. Outra vantagem do processo térmico sobre o anaeróbio é ter um processo muito mais rápido - horas ao invés de dias, em questões de horas todo RSU é processado, ao passo que o processo anaeróbio precisa de dias para a produção de biogás.

Ambos os processos, anaeróbio e térmico, são benéficos ao meio ambiente, principalmente por impedir que o biogás ($\text{CH}_4 + \text{CO}_2$) seja liberado para a atmosfera – no caso do anaeróbio, mas não evita a produção de chorume – líquido contaminante. O processo térmico, não libera metano (CH_4) e não gera chorume.

CONCLUSÃO

Diante dos cálculos realizados estabeleceu-se o potencial energético do resíduo sólido provido pelos principais municípios e alguns que foram encontrados na revisão, pertencentes ao Estado paulista, incluindo a capital, mostrando um potencial energético para a geração de energia e apresentando uma alternativa para ampliar a disponibilidade de energia elétrica utilizada para as populações desses municípios.

Tendo em vista a geração de biogás, é uma alternativa para o aproveitamento de resíduos sólidos. Tem de se examinar com atenção a área, descarte dos resíduos gerados e tempo necessário para produção de biogás.

Com relação aos tratamentos térmicos previstos, a ênfase está relacionada a um gerenciamento mais completo aos resíduos sólidos urbanos, tendo em vista, que produz energia e seu diferencial é o tratamento sanitário dos resíduos, diminuindo drasticamente a quantidade de resíduo, descartado nos centros de tratamentos e sem ter problemas de rejeito, já que as cinzas podem ser reaproveitadas como adubo ou destinadas a outros fins aplicáveis.

É possível concluir que os processos térmicos têm um aproveitamento maior na geração de energia, dependendo de uma área física menor que a biodigestão anaeróbia e um processo mais otimizado, em questão de horas ao invés de dias. Ambos os processos ofereceriam um ponto sustentável em relação a energia, provendo suas áreas comuns com energia gerada por eles mesmos. Porém, o processo térmico apresenta maior produção de energia elétrica, conseqüentemente maior possibilidade de receita para os municípios; sendo o processo mais rápido que o anaeróbio e necessitando de áreas menores.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR, *Resíduos Sólidos- Classificação*. 3 Ed., 2004. Disponível em <http://www.unaerp.br/documentos/2234-abnt-nbr-10004/file>. Consultado em 23/Maio/2023.

Bioenergia em revista: diálogos, ano/vol. 13, n. 2, jul./dez. 2023. P. 56-76.
Potencial energético do Resíduo Sólido Urbano Paulista – comparação entre processos anaeróbio e térmico
MAZZONETTO, Alexandre Witier; VIEIRA, Daniel Duarte Santana; MILLER, Leonardo;
HARDER, Márcia Nalesso Costa

ABRELPE. *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil, 2017*. Edição Especial. Disponível em
abrelpe.org.br. Consultado em 25/Maio/2023.

AGÊNCIA SENADO. *Aumento da Produção de Lixo no Brasil Requer Ação Coordenada Entre Governos E Cooperativas De Catadores*. Disponível em:
<https://www12.senado.leg.br/noticias/infomaterias/2021/06/aumento-da-producao-de-lixo-no-brasil-requer-acao-coordenada-entre-governos-e-cooperativas-de-catadores>. Consultado em 12/Maio/2023.

ALCANTARA, A. O. *Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos e caracterização química do solo da área de disposição final do município de Cáceres-MT*, 2010 Disponível em:
<http://www.saude.mt.gov.br/upload/documento/104/composicao-gravimetrica-dos-residuos-solidos-urbanos-e-caracterizacao-quimica-do-solo>. Consultado em 22/Maio/2023.

AMBIENTAL, Serviços. *Coleta de Resíduos Sólidos*. Disponível em:
<http://www.ambiental.sc/servicos/limpeza-urbana/coleta-de-residuos-solidos>. Consultado em 23/Maio/2023.

CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. Disponível em:
<https://www.ccee.org.br/> Consultado em 21/Maio/2023.

CETESB. *Resíduos Sólidos*. Disponível em: <http://residuossolidos.cetesb.sp.gov.br/>. Consultado em 23/Maio/2023.

DODGE, Ed. Plasma gasification: clean renewable fuel through vaporization of waste. *Waste Management World*, v. 10, n. 4, 2009. Disponível em: <https://waste-management-world.com/a/plasma-gasificationclean-renewable-fuel-through-vaporization-of-waste>. Consultado em 22/Maio/2023.

EUROSTAT (2014). European Commission. *Waste Statistics*. Disponível em:
http://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php/Waste_statistics#Further_Eurostat_information. Consultado em 20/Maio/2023.

GONÇALVES, A. T. T. *Potencialidade energética dos resíduos sólidos domiciliares e comerciais do município de Itajubá – MG*. 2007. 177 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia) – Universidade Federal de Itajubá (UFEI), Itajubá, 2007.

GOUVEIA, N. (2012). Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. *Ciência e Saúde Coletiva*. Universidade de São Paulo. p. 1503-1510.

INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. *Guidelines for National Greenhouse Inventories: Reference Manual*. Vol. 3, 1996. Disponível em: [ch6ref1.pdf](#) (iges.or.jp) Consultado em 20/Maio/2023.

LEITE, H. E, A. S. *et al. Estudo do comportamento de aterros de RSU em um biorreator em escala experimental na cidade de Campina Grande-PB*. 2008.

- Bioenergia em revista: diálogos, ano/vol. 13, n. 2, jul./dez. 2023. P. 56-76.
Potencial energético do Resíduo Sólido Urbano Paulista – comparação entre processos anaeróbio e térmico
MAZZONETTO, Alexandre Witier; VIEIRA, Daniel Duarte Santana; MILLER, Leonardo; HARDER, Márcia Nalesso Costa
- LOUREIRO, S. M.; ZVEIBIL, V.; DUBEUX, C. B. S. Cenários do Setor de Resíduos. In: LA ROVERE, E. L. *et al.* – *Implicações Econômicas e Sociais de Cenários de Mitigação de Gases de Efeito Estufa no Brasil até 2030: Projeto IES-Brasil*, Forum, 2015.
- MAGALHÃES, G. V. V.. *Avaliação da biodigestão anaeróbia de resíduos orgânicos: Ensaios de potencial bioquímico de metano (bmp) e projeto piloto de um biodigestor em escala real*. Universidade Federal do Ceará, 2018.
- MAIA, H. J. L. *et al.* Política nacional de resíduos sólidos: um marco na legislação ambiental brasileira. *Polêmica*, v. 13, n. 1, 18 jan. 2014.
- MARANA, K. *Caracterização da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos do município de Santo André (SP) para avaliação do potencial de produção de biometano*. Universidade Federal do ABC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas – CECS, [S. l.], p. 1-113, 24 fev. 2017.
- MAZZONETTO, A. W.; ROCHA, D. C.; OLIVEIRA, D. F. G. de; SILVA, P. L. da. Avaliação do potencial energético do resíduo sólido urbano de Piracicaba para produção de biogás. *Bioenergia em revista: diálogos*, ano 6, n. 1, p. 47-75, jan./jun. 2016.
- MOTA, J. C. *et al.* Características e Impactos Ambientais Causados pelos Resíduos Sólidos: OECD/IEA. *Electricity Information*. IEA Statistic 2014.
- PEDROZA, M. M.; GOMES, M. C. F. de A.; PAZ, E. C. da S.; PEDROSA, A. L.; VIEIRA, G. E. G.; SOARES, J. E. M.. APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM PROCESSO DE PIRÓLISE. *Revista brasileira de energias renováveis*, 2017. Disponível em: file:///C:/Users/larissa.pasqualini/Downloads/46577-204540-1-PB.pdf. Consultado em 25/Maio/2023.
- PEREIRA NETO, J. T. *Gerenciamento do lixo urbano: aspectos técnicos e operacionais*. Viçosa: Ed. UFV, 2007.
- PONTES, G. A *Política Nacional de Resíduos Sólidos: Como o Brasil Lida Com o Lixo*, 2018. Disponível em: <https://www.politize.com.br/politica-nacional-de-residuos-solidos/>. Consultado em 24/Maio/2023.
- PORTELLA, M. O; RIBEIRO, J. C. J. Aterros sanitários: aspectos gerais e destino final dos resíduos. *Revista Direito Ambiental e Sociedade*, v. 4, n. 1, 2014 (p. 115- 134).
- PRADO FILHO, J. F.; SOBREIRA, F. G. Desempenho operacional e ambiental de unidades de reciclagem e disposição final de resíduos sólidos domésticos financiados pelo ICMS Ecológico de Minas Gerais. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 12, n. 1, p. 52-61, 2007.
- SALOMON, K. R.; LORA, E. E. S.; ROCHA, M. H.; LEME, M. Capítulo 4 - Biocombustíveis de primeira geração: biogás. Em: Lora E. S, Venturini, O. J. (Org.). *Biocombustíveis*. 1. Ed. Rio de Janeiro, *Interciência*. 2012.v. 1, p. 311 - 357.
- SÁNCHEZ, C. G. *Tecnologia da Gaseificação*. Departamento de Engenharia Térmica e de Fluidos, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas – Unicamp. Campinas, 2003.

Bioenergia em revista: diálogos, ano/vol. 13, n. 2, jul./dez. 2023. P. 56-76.

Potencial energético do Resíduo Sólido Urbano Paulista – comparação entre processos anaeróbio e térmico
MAZZONETTO, Alexandre Witier; VIEIRA, Daniel Duarte Santana; MILLER, Leonardo;
HARDER, Márcia Nalesso Costa

SEBRAE. *Gestão de Resíduos Sólidos*. Disponível em:

<https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/bis/gestao-de-residuos-solidos>. Consultado em 18/Maio/2023.

SIMAP – Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente de Piracicaba. *Destinação de Resíduos 2019 - Potencial energético aterro, parceria público privado; coleta de resíduos domésticos*. Disponível em <http://www.sedema.piracicaba.sp.gov.br/>. Consultado em 21/Maio/2023.

SZIGETHY, L.; ANTENOR, S. (2020). *Resíduos sólidos urbanos no Brasil: desafios tecnológicos, políticos e econômicos*. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/artigos/artigos/217-residuos-solidos-urbanos-no-brasil-desafios-tecnologicos-politicos-e-economicos>. Consultado em 24/Maio/2023.

USEPA Environmental Protection Agency – *Solid Waste Management and Green House Gases – A Life-Cycle Assessment of Emissions and Sinks*. US.EPA. 2002. Disponível em <https://www.epa.gov/>. Consultado em 26/Maio/2023.

VESSALLI, B. A.; NETO, H. F.; OLIVEIRA, L. H. A. *Caracterização do Potencial Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos do Município De Piracicaba*. TCC (Graduação – Tecnologia) - Faculdade de Tecnologia de Piracicaba, Tecnologia em Biocombustíveis, junho de 2013.

VIEIRA, L. C.; CANDIANI, G. Potencial energético de resíduos sólidos urbanos na Região do Grande ABC Paulista. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v. 12, n. 2, p. 328-342, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.002.0030>. Consultado em 26/Maio/2023.

YOUNG, G. C. *Municipal Solid Waste to energy conversion processes: economic, technical and renewable comparison*. John Wiley & Sons. Hoboken, New Jersey, 304 p., 2010.

1 MAZZONETTO, Alexandre Witier. Possui graduação em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual de Campinas - FEAGRI/UNICAMP. Mestrado em Engenharia Agrônômica - Máquinas Agrícolas/Biomassa - Colheita Integral de Cana Crua, pela Universidade de São Paulo - ESALQ/USP. Doutorando pela Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas - Departamento de Energia - FEM/UNICAMP (Caracterização e potencial energético de biomassas residuais da região de Piracicaba - SP). Na Graduação envolveu-se em Pesquisa/Desenvolvimento de processos térmicos, desenvolvendo um secador rotativo de sementes e outro de leite fluidizado. Desde o Mestrado vem trabalhando com fontes renováveis de energia e biomassas residuais (tratamento e geração de energia); levando-o a cursar Química na Universidade Mackenzie (Bacharel, Licenciatura e Industrial). Processos térmicos para obtenção de biocombustíveis, gaseificação, pirólise e combustão/incineração, e combustíveis sustentáveis, gás de síntese (Syngas), produção e uso do biogás - biodigestão anaeróbia de diversas biomassas residuais. Professor na FATEC Piracicaba (Biocombustíveis e Gestão Empresarial).

2 VIEIRA, Daniel Duarte Santana é graduado em Tecnologia em Biocombustíveis pela Faculdade de Tecnologia de Piracicaba – FATEC – Dep. “Roque Trevisan”

3 MILLER, Leonardo é graduado em Tecnologia em Biocombustíveis pela Faculdade de Tecnologia de Piracicaba – FATEC – Dep. “Roque Trevisan”

4 HARDER, Márcia Nalesso Costa. Possui graduação em Engenharia Agrônômica pelo Centro Regional Universitário de Espírito Santo do Pinhal (2002), mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade de São Paulo (2005) e doutorado em Ciências (Energia Nuclear na Agricultura) pela Universidade de São Paulo (2009). Atualmente é coordenadora da Faculdade de Tecnologia de Piracicaba e professor de ensino superior PIII do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza. Tem experiência na área de Agronomia, Ciência e Tecnologia de Alimentos, Análise Sensorial, Técnicas de Conservação e Processamento de Alimentos, Operações Unitárias, Aplicações Industriais de Radioisótopos, Biocombustíveis, atuando principalmente nos seguintes temas: biocombustíveis, bioetanol/açúcar, análise sensorial e suas aplicações, irradiação de alimentos, processamento e conservação de alimentos, operações unitárias, plantas medicinais e alimentos funcionais, ecossustentabilidade, aplicação do uso de energias ionizantes e não ionizantes. Atua também como mentora de programas de mentorias de incubadora.