



# 7º CONRESOL

7º Congresso Sul-Americano  
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade

CURITIBA/PR - 14 a 16 de Maio de 2024

## POTENCIAL DE GERAÇÃO DE BIOGÁS E ENERGIA NO ATERRO SANITÁRIO DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS/SP

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.7.24.IV-001>

**José Francisco dos Santos Junior, Elaine Virmond (\*)**

\* Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá - Centro de Ciências, Tecnologias e Saúde, Departamento de Energia e Sustentabilidade, Núcleo de Desenvolvimento de Processos de Produção de Energia (NUDAPE), elaine.virmond@ufsc.br

### RESUMO

A redução de consumo e o emprego de processos para redução da geração, reutilização, reciclagem, recuperação de materiais e de energia de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) podem minimizar despesas com transporte e destinação de RSU, e constituem oportunidades de geração de emprego e renda no contexto da economia circular e da emergente indústria de resíduos. Neste trabalho realizou-se uma análise de práticas e oportunidades em gerenciamento de RSU em São José dos Campos/SP, tomando-se como base dados coletados em visitas à Urbanizadora Municipal S.A. - URBAM, que gerencia o aterro sanitário do município, e à Prefeitura de São José dos Campos/SP, além de dados da literatura relacionada. Atualmente a URBAM, contemplada com a nota 10 no IQR- Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos no Estado de São Paulo em análise feita pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB em 2020, possui um complexo sistema de limpeza urbana em operação, no entanto, tem buscado expandir suas operações. Novas soluções estão sendo adotadas para aumento da eficiência da coleta junto ao gerenciamento dos RSU integrado à recuperação energética em busca de benefícios econômicos, ambientais e sociais para a população local. No aterro sanitário da URBAM são depositadas, em média, 550 t/dia de resíduos. No período analisado, 2020 até 2060, os dados demonstraram a possibilidade de se captar 553.345.000 m<sup>3</sup> de gás metano. A partir dessa vazão, foram estimados 10 MW de potência e 1.712,1 GWh de energia em 2040, ano de máxima produção. Nos 40 anos de produção de energia elétrica a partir da conversão térmica do biogás captado do aterro sanitário da URBAM, seria possível abastecer por volta de 23.436 residências com consumo médio de 152,2 kWh. A instalação de um sistema de geração elétrica a partir do biogás do aterro está sendo feita atualmente, com potencial de gerar 1,6 MW de potência, energia renovável. Essa iniciativa tem previsão de economizar R\$15 milhões no custeio de energia, ou seja, 36,7% nas contas públicas.

**PALAVRAS-CHAVE:** aterro sanitário, recuperação energética, biogás de aterro, bioeletricidade, emissões evitadas.

### ABSTRACT

Reducing consumption and using processes to reduce the generation, reuse, recycle, recover materials and energy from Municipal Solid Waste (MSW) can minimize expenditure on transporting and disposing of MSW, and are opportunities for generating employment and income in the context of the circular economy and the emerging waste industry. This study analyzed MSW management practices and opportunities in São José dos Campos/SP, based on data collected during visits to Urbanizadora Municipal S.A. - URBAM, which manages the municipality's landfill, and the São José dos Campos/SP City Hall, as well as data from related literature. URBAM, which was awarded a score of 10 in the IQR - Waste Landfill Quality Index in the state of São Paulo in an analysis carried out by the São Paulo State Environmental Company - CETESB in 2020, currently has a complex urban cleaning system in operation, but has sought to expand its operations. New solutions are being adopted to increase collection efficiency along with MSW management integrated with energy recovery in search of economic, environmental and social benefits for the local population. URBAM's landfill dumps an average of 550 tons of waste per day. In the period analyzed, 2020 to 2060, the data showed the possibility of capturing 553,345,000 m<sup>3</sup> of methane gas. Based on this flow, 10 MW of power and 1,712.1 GWh of energy were estimated for 2040, the year of maximum production. In the 40 years of electricity production from the thermal conversion of biogas captured from URBAM's landfill, it would be possible to supply around 23,436 homes with an average consumption of 152.2 kWh. The installation of an electricity generation system using biogas from the landfill is currently underway, with the potential to generate 1.6 MW of renewable energy. This initiative is expected to save R\$15 million on energy costs, or 36.7% on public bills.

**KEY WORDS:** *landfill, energy recovery, landfill biogas, bioelectricity, avoided emissions.*



## INTRODUÇÃO

Este trabalho trata de um assunto essencialmente atual em uma problemática nacional relacionada a práticas e oportunidades na gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) na cidade de São José dos Campos/SP. A escolha dessa temática se justifica pelo aumento exponencial da produção de RSU no Brasil e em todo mundo em decorrência do crescimento urbano somado a alterações no modo de vida e no padrão de consumo exagerado da população.

Em sua grande maioria os produtos consumidos são provenientes de materiais virgens que impactam diretamente os ciclos de reposição do planeta Terra em sua totalidade. Dessa forma a utilização de processos como redução de consumo, reutilização, reciclagem e utilização energética do RSU podem minimizar a produção de 2 bilhões de t/ano de RSU em todo mundo, destacando-se que no Brasil a produção de RSU em 2022 foi de 77 milhões de t/ano, com massa coletada *per capita* de 1,04 kg/(hab.dia), totalizando 211.000 t/dia. A previsão é de se chegar a 100.000.000 t/ano em 2033 e a 120.900.000 t/ano em 2050 (ABRELPE, 2020). A disposição inadequada de RSU aumentou mais de 16% entre 2010 e 2019 (ABRELPE, 2020). Em 2022, apenas 61,1% dos RSU coletados foram destinados a aterros sanitários, prática considerada ambientalmente correta pela Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS (BRASIL, 2010), e 38,9% (27.917.624 t) tiveram destinação inadequada (aterros controlados e lixões) (ABREMA, 2023).

No Estado de São Paulo são produzidas cerca de 40 mil toneladas diárias de resíduos sólidos domiciliares. A falta de tratamento ou a disposição final precária desses resíduos podem causar problemas envolvendo aspectos sanitários, ambientais e sociais, tais como a disseminação de doenças, a contaminação do solo e das águas subterrâneas e superficiais, a poluição do ar pelo gás metano ( $CH_4$ ) junto ao risco da insalubridade desse local em relação aos coletores de materiais recicláveis (SÃO PAULO, 2021).

O cenário atualizado sobre as mudanças climáticas torna urgente a necessidade de autoridades nacionais colocarem a questão ambiental no centro dos debates de suas economias, buscando, dessa maneira, soluções ambientalmente adequadas que visem diminuir a dependência da utilização de combustíveis fósseis e não renováveis como fontes de energia.

A demanda por energia elétrica acompanha e se apresenta como pilar do crescimento e desenvolvimento social, sendo constantemente moldada e projetada para atuar de maneira limpa e renovável. Unindo essas necessidades e demandas à de um destino correto para os RSU e à de geração de energia limpa, tem-se como alternativa a geração de energia elétrica a partir do biogás gerado na biodigestão dos RSU dispostos nos aterros sanitários (SANTOS et al., 2019).

Nesse contexto, incentivos públicos para a elaboração e implantação de projetos de recuperação e queima de biogás são justificáveis sob a ótica do desenvolvimento sustentável. Para a viabilização de tais projetos, a municipalidade a quem compete prestar o serviço de limpeza urbana, coleta e destinação dos resíduos sólidos urbanos, pode explorar diretamente a utilização desses resíduos na atividade de geração de eletricidade a partir da queima do biogás, assumindo o papel de empreendedor.

O papel da municipalidade nesse caso restringe-se ao conceder o direito de exploração, por terceiros, dos resíduos sólidos ou da fração orgânica desses resíduos, uma vez que a concessão, autorização ou permissão dos serviços de eletricidade, entre os quais se inclui a geração de energia elétrica, é de competência federal (União). Para a produção de eletricidade em uma usina térmica movida a biogás, tanto a municipalidade, como o terceiro, no caso de se fazer a concessão do direito de explorar os resíduos sólidos urbanos, podem se organizar como autoprodutores ou como produtores independentes de energia (PNUD, 2010).

A utilização do metano, importante Gás de Efeito Estufa (GEE) presente na composição do biogás gerado a partir da biodigestão da fração de matéria orgânica que compõe o RSU, é destacada neste presente trabalho, pois além de representar uma importante fonte alternativa de geração de energia, deixa de ser lançado na atmosfera. Quando comparado ao dióxido de carbono ( $CO_2$ ), o metano possui potencial de efeito estufa 28 vezes superior no período de 100 anos (IPCC, 2014).

O presente estudo foi realizado no município de São José dos Campos, uma cidade do interior do estado de São Paulo, localizada no Vale do Paraíba, entre as duas maiores cidades do Brasil, São Paulo e Rio de Janeiro, ligadas pela Rodovia Presidente Dutra. Sua posição geográfica é muito privilegiada, ficando a apenas 90 km do litoral norte do estado e fazendo divisa com nove cidades.



São José dos Campos possui 729.737 habitantes (IBGE, 2020) sendo um verdadeiro pólo tecnológico, com 98% da população na área urbana atualmente, é sede de importantes empresas, tais como Embraer, Petrobras, Johnson & Johnson, General Motors (GM), entre tantas outras. Conta com importantes centros de ensino Johnson, General Motors (GM), entre tantas outras. Conta com importantes centros de ensino e pesquisa, como o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), o Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA), o Instituto de Estudos Avançados (IEAv), o Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE) e o Instituto de Pesquisa & Desenvolvimento (IP&D), além do maior complexo aeroespacial da América Latina.

Para acompanhar seu crescimento, o município fundou em 1973 a Urbanizadora Municipal S.A. - URBAM empresa controlada pela Prefeitura de São José dos Campos/SP como sócia majoritária e com foco no gerenciamento do RSU, dentre outros serviços de infraestrutura. A URBAM é responsável por diversos serviços de gestão integrada e gerenciamento de resíduos sólidos da cidade, tais como: coleta convencional e coleta seletiva de resíduos, operação do aterro sanitário, operação do centro de triagem, coleta e destinação de resíduos de serviços de saúde, varrição de sarjetas e guias das vias e logradouros públicos,

## **OBJETIVOS**

O objetivo deste trabalho foi estimar o potencial de geração de energia e as emissões de dióxido de carbono equivalente ( $CO_{2eq}$ ) a partir da conversão do biogás produzido no aterro sanitário da URBAM em São José dos Campos/SP.

## **METODOLOGIA**

### **Objeto de estudo**

O aterro sanitário da Urbanizadora Municipal S.A. - URBAM está localizado em São José dos Campos, região do Vale do Paraíba, estado de São Paulo, às margens da via Dutra. A URBAM é uma empresa de economia mista de capital fechado, criada pela Lei Municipal 1.682, de 10 de outubro de 1973 e tem como maior acionista a Prefeitura Municipal de São José dos Campos - PMSJC (CÂMARA MUNICIPAL SJC, 2020). Foi realizada uma visita à URBAM no mês de agosto de 2021 para conhecimento das operações e coleta de dados para realização deste trabalho. O aterro sanitário funciona desde 1985 e possui aproximadamente 490.036 m<sup>2</sup> de área física. É composto atualmente por três centrais de monitoramento de biogás e uma central administrativa; uma central de biogás, onde ocorre a queima do biogás (Figura 1a e Figura 1b); duas lagoas para armazenamento de chorume (Figura 1c), que é diariamente transportado e tratado adequadamente na Estação de Tratamento de Efluentes Lava-pés, SABESP – SJC); e cinco células para disposição de resíduos (Figura 1d) em uso e duas novas células começando a receber os resíduos do município de São José dos Campos/SP.

O clima de São José dos Campos/SP é tropical de altitude, com diminuição de chuvas no inverno e temperatura média anual de 19,3 °C. A precipitação média anual é de 1155 mm, sendo julho o mês mais seco, quando ocorrem apenas 26,6 mm. Em dezembro, o mês mais chuvoso, a média fica em 202,1 mm (INMET, 2021).

A coleta seletiva é realizada em São José dos Campos/SP desde 1990 e ocorre no formato porta a porta em 100% da área urbanizada da cidade. Os resíduos oriundos da coleta seletiva são destinados ao Centro de Triagem da Estação de Tratamento de Resíduos Sólidos da URBAM, localizada no bairro Jardim Torrão de Ouro, o qual é operado pela Central de Cooperativas de Catadores, responsável pela triagem manual dos resíduos provenientes da coleta seletiva e pela comercialização dos materiais recicláveis, o que gera inclusão social e renda para cerca de 100 famílias de cooperados.

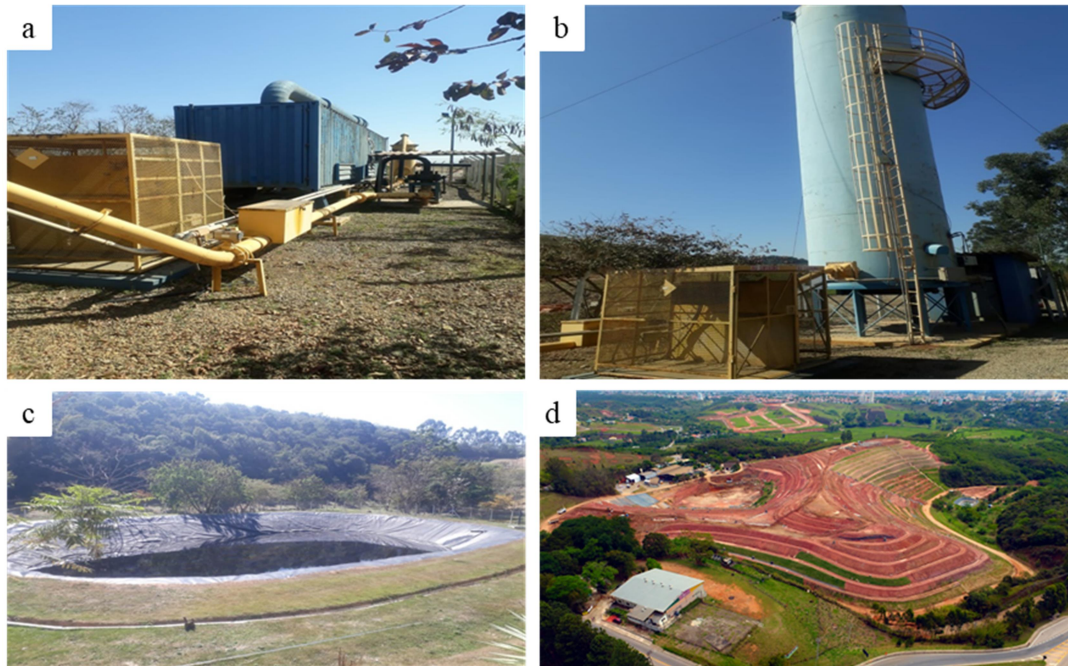
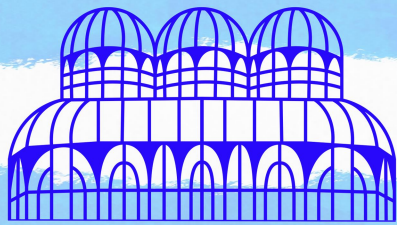


Figura 1: Central do biogás (a); queimador de biogás (b); lagoa de chorume do aterro (c); imagem aérea do aterro da URBAM (d). Fonte: Autor do Trabalho e URBAM (2021).

### Estimativa do potencial energético do biogás

Para a estimativa do potencial energético dos RSU, utilizou-se o software “Biogás”, geração e uso energético – aterros CETESB - versão 1.0”. O software Microsoft Excel também foi empregado nos cálculos e na compilação de dados. Os dados de entrada do software “Biogás” são as datas de operação do aterro e a quantidade de resíduos aterrada. Inicialmente foi estimada a vazão de  $\text{CH}_4$  gerada ao longo do tempo de deposição de resíduos no aterro projetando-se vida útil de vinte anos, ou seja, previsão de duração das células de 2020 até 2040. Também se estimou a geração nos anos subsequentes ao fim da deposição, até que a atividade metanogênica se aproximasse de zero (de 2040 até 2060). Por fim, a potência elétrica e a energia disponível pelo aterro foi calculada. A vazão de  $\text{CH}_4$  foi estimada utilizando-se o modelo matemático baseado em reações cinéticas de decaimento de primeira ordem por meio da Equação 1:

$$Q_x = k \cdot R_x \cdot L_0 \cdot e^{-k(x-t)} \quad (\text{Equação 1})$$

onde  $Q_x$  é a vazão de metano gerado no ano  $x$  pelo RSU depositado no ano  $t$  ( $\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{ano}$ );  $k$  é a constante de decaimento ( $1/\text{ano}$ );  $L_0$  é o potencial de geração de metano ( $\text{m}^3/\text{kg}$ );  $R_x$  é o fluxo de resíduos no ano  $x$  ( $\text{kg}_{\text{RSU}}$ );  $x$  é o ano atual;  $t$  é o ano de início da deposição de RSU no aterro sanitário.

De acordo com esse modelo, a estimativa de geração de metano é feita para cada porção de resíduo depositada no aterro. A geração de gases começa a partir de um ano após os RSU terem sido depositados, atinge seu pico depois de um certo período, reduzindo com o passar dos anos, com a sua intensidade variando em função da composição do resíduo e da umidade do local. Essas emissões serão maiores quanto maiores forem os valores de  $k$ ,  $R_x$  e  $L_0$ . A taxa de crescimento populacional do município de 1,07% (IBGE, 2020) foi considerada para projetar o fluxo de resíduos ( $R_x$ ) a serem dispostos no período entre a abertura e o fechamento do aterro, considerando-se que a geração de resíduos *per capita* não se altera com relação à registrada em 2020, a fração da população que é atendida pelo serviço de coleta de resíduo e a população do município no ano de 2020. Os valores de  $k$  e  $L_0$  adotados constam na Figura 2.

Variável	variação	valores sugeridos		
		clima úmido	clima de umidade média	clima seco
$L_0$ [ $\text{m}^3\text{CH}_4/\text{kg}_{\text{RSD}}$ ]	0 – 0,312	0,14 – 0,18	0,14 – 0,18	0,14 – 0,18
$k$ [1/ano]	0,003 – 0,4	0,10 – 0,35	0,05 – 0,15	0,02 – 0,10

Figura 2 - Valores adotados neste trabalho para  $k$  e  $L_0$ . Fonte: São Paulo (2006).



O decaimento será mais acentuado quanto maiores forem  $k$  e  $t$ . O valor de  $k$  é uma função do teor de umidade residual, disponibilidade de nutrientes para bactérias geradoras de metano, pH e temperatura. A taxa de decaimento de resíduos tende a ser mais elevada em locais de climas mais úmidos. O município de São José dos Campos/SP está localizado em uma região classificada como clima tropical de altitude, assim, considerou-se nos cálculos o valor para constante de decaimento  $k$  para umidade média, portanto, de 0,11/ano, e potencial de produção de metano  $L_0$  de 0,16 m<sup>3</sup>/kg, sendo esses, os valores intermediários sugeridos no manual do software Biogás para climas mais úmidos.

A partir da vazão de metano foi possível estimar a potência disponível anualmente por meio da Equação 2, conforme o manual do software “Biogás” (SÃO PAULO, 2006):

$$P_x = \left( \frac{Q_x * P_{c(\text{metano})}}{31536000} \right) * E_c * \frac{k}{1000} \quad (\text{Equação 2})$$

onde  $P_x$  é a potência disponível a cada ano (kW);  $Q_x$  é a vazão de metano em cada ano (m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/ano);  $P_{c(\text{metano})}$  é o Poder Calorífico Inferior do metano (J/m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>);  $E_c$  é a eficiência de coleta de gases (%); 31.536.000 é a quantidade de segundos em um ano (s/ano);  $k$  é igual a 1 (adimensional).

Foram adotados os parâmetros de eficiência sugeridos pelo software “Biogás”, sendo eles: 75% para eficiência de coleta de biometano por meio das tubulações conectadas aos sistemas de drenagem do aterro, eficiência de 95% na combustão do biogás, 33% de eficiência na conversão elétrica do motogerador e 35.530,00 kJ/m<sup>3</sup> para o Poder Calorífico Inferior do CH<sub>4</sub> (SÃO PAULO, 2006). Os cálculos foram feitos descontando o percentual de CO<sub>2</sub> e de outros componentes do biogás.

Segundo o manual do “Biogás”, a disponibilidade de biogás no aterro implica na disponibilidade de energia. A estimativa da energia disponível foi feita a partir da Equação 3:

$$E_{\text{disponível}} = P_x * (365 * 24) \quad (\text{Equação 3})$$

onde  $E_{\text{disponível}}$  é a energia disponível (kWh);  $P_x$  é a potência disponível (kW); 365 é o número de dias por ano (dia/ano); 24 é o número de horas por dia (h/dia). Para o cálculo da energia elétrica disponível, não foi considerado o tempo de parada da planta para manutenção (10%), assim o tempo de operação adotado foi de 8760 h/ano (DE BRITO, 2021).

### Estimativa das emissões de CO<sub>2eq</sub>

A partir dos resultados obtidos no software “Biogás” em relação à vazão de metano foi possível estimar as emissões de CO<sub>2eq</sub> na conversão da energia térmica obtida da queima do biogás em eletricidade. A equivalência desses gases se dá pela Equação 4:

$$CO_{2eq} = Q_{xCH_4} * 28 * \rho_{CH_4} \quad (\text{Equação 4})$$

onde  $CO_{2eq}$  é a vazão de dióxido de carbono equivalente (t/ano);  $Q_{xCH_4}$  é a vazão de metano (m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/ano); 28 é o potencial de aquecimento global do CH<sub>4</sub> comparado com o dióxido de carbono (GONÇALVES et al., 2019; AYODELE et al., 2020);  $\rho_{CH_4}$  é a massa específica do metano (kg/m<sup>3</sup>).

## RESULTADOS

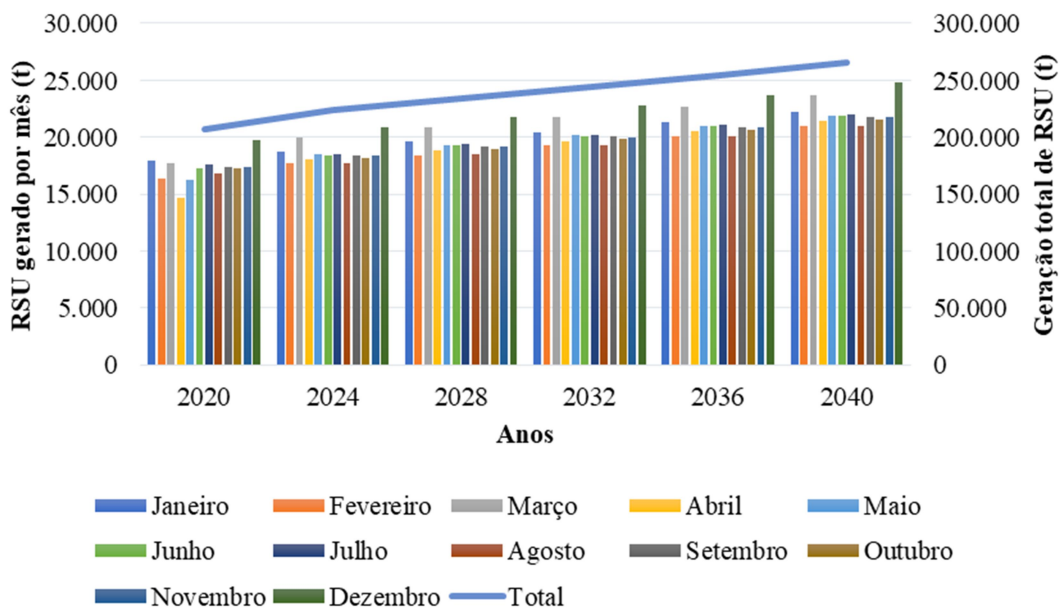
### Composição e projeção da deposição de RSU no aterro sanitário de São José dos Campos/SP

Em 2018 foram coletadas 175.256 t de RSU na coleta comum (80,4%), 14.789 t na coleta seletiva (6,8%) e 29.646 t na limpeza urbana (12,8%), totalizando 219.691 t. A análise da composição gravimétrica indicou que a maior fração dos RSU resultantes da coleta comum do município foi de matéria orgânica (57,1%). Das 1232,4 t/mês oriundas da coleta seletiva, 27,4% não são passíveis de reciclagem (outros resíduos e matéria orgânica) e ainda restaram 12,5% de plástico, 5,8% de papel, 1,6% de metal e 1,5% de vidro nos RSU da coleta comum.

Da coleta seletiva, 29,8% foram de papel, 25,2% plásticos diversos, 4,3% metal, 13,3% vidro aproveitados pelos coletores. Mas foi evidente a presença de 11,9% de matéria orgânica e 15,5% de outros resíduos, sugerindo a necessidade de

intensificação de políticas públicas, campanhas educativas, divulgação em mídias sociais dos projetos realizados pela administração municipal e a URBAM em prol da separação correta dos resíduos, pois isso acarreta perda de renda para os coletadores de materiais recicláveis e gastos com destinação em aterro ao município. Adicionalmente, a reciclagem aumenta a vida útil do aterro e a economia circular da região.

A PMSJC promove em todo o município os Pontos de Entrega Voluntária (PEVs) de resíduos, que possuem um papel primordial na reciclagem de material no município. Os 15 PEVs instalados receberam 456 toneladas de plásticos e vidros recicláveis em 2020, volume 56% maior que o coletado em 2019. Comparando-se a composição gravimétrica do RSU de São José dos Campos/SP com a média do Brasil (ABRELPE, 2020), verificou-se menor percentual de plástico e papel/papelão e certa conformidade de valores quando se trata dos demais resíduos, a exemplo da matéria orgânica. A Figura 3 ilustra o crescimento projetado da produção de RSU (t) mês a mês a cada quatro anos englobando os 20 anos de operação do aterro.



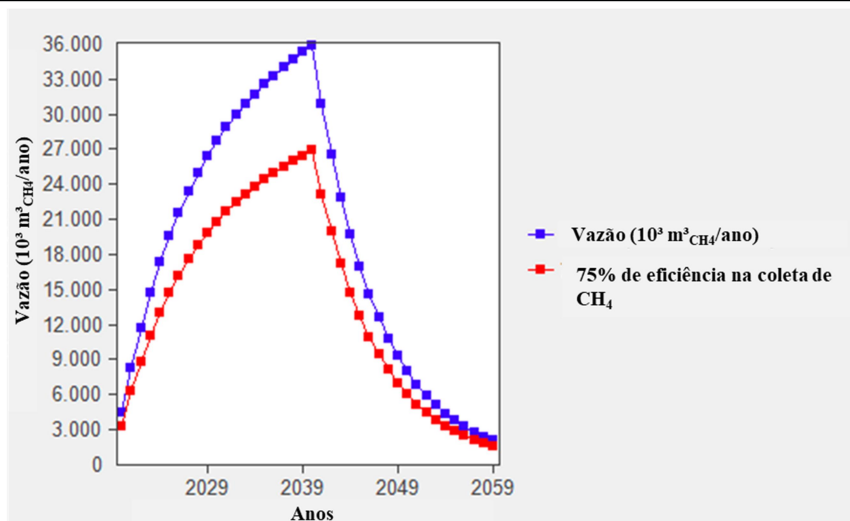
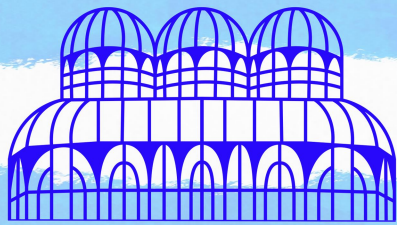
**Figura 3 - Geração estimada de RSU mensal e anual em São José dos Campos para o período de 2020 a 2040.**  
**Fonte: Autores do Trabalho.**

Ficou evidente o comportamento do município em relação aos meses de dezembro e janeiro, que são meses de férias para grande parte dos municípios, acarretando uma alta geração de resíduos. Destaca-se também o período entre março e maio no período entre 2020 e 2021, no qual foi observado aumento exponencial atípico devido ao isolamento social proveniente da pandemia de Covid-19, gerando aumento da produção de RSU.

Em contrapartida, os órgãos públicos deixaram de produzir RSU em grande parte do ano de 2020 até o início de 2021, voltando à atividade a partir de março desse ano. Destaca-se também que os resíduos provenientes da limpeza urbana aumentaram consideravelmente do ano de 2020 para o primeiro semestre de 2021, sendo essa quantia gerada no primeiro semestre maior que a quantia total de 2020, evidenciando uma volta gradativa da população ao comércio ao final das restrições de horário e do distanciamento social.

### Potencial de produção e captação de biogás

A Figura 4 apresenta a produção estimada de biogás e metano pela decomposição dos resíduos depositados em uma das células do aterro sanitário da URBAM para o período de 2020 a 2060.



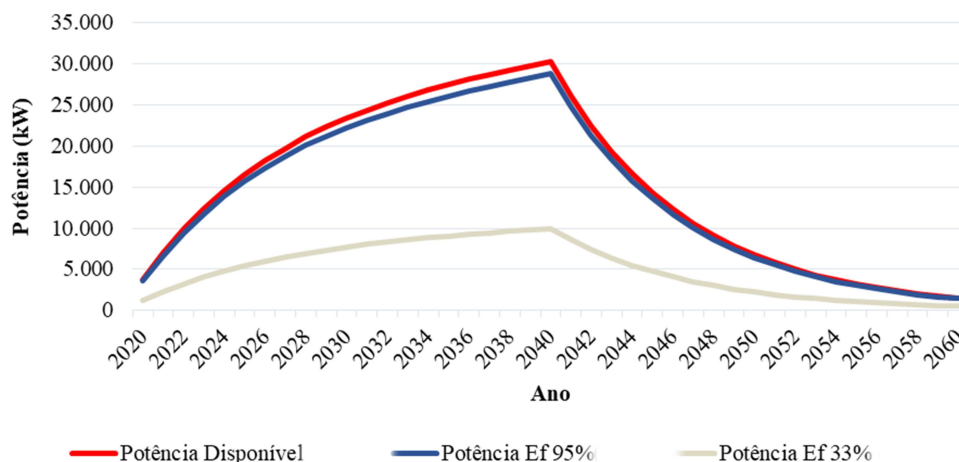
**Figura 4 - Vazão de gás metano produzida no aterro sanitário da URBAM no período de 2020 a 2060. Fonte: Autores do Trabalho.**

A curva da vazão do metano em coloração azul começa em 2020 e cresce com o passar dos anos, tendo seu pico em 2040 com uma vazão de 35.877.000 m³. A quantidade total estimada de metano gerado nos 40 anos de operação considerados foi de 733.788.000 m³. A curva vermelha demonstra a situação que considera a perda de 25% da vazão em razão das emissões fugitivas na superfície do aterro, perdas nos equipamentos de coleta e porções oxidadas nas camadas de cobertura da célula do aterro, totalizando 553.345.000 m³ de metano captado.

### Potencial de aproveitamento energético do biogás produzido pelo aterro

Assim como observado para a vazão de biometano, os resultados da estimativa de produção de energia elétrica a partir da conversão térmica do biogás indicaram um comportamento assintoto nos primeiros 20 anos. Utilizando a Equação 2 com o valor de eficiência na conversão térmica do biogás sendo de 95%, como sugere o software de referência, e 33% para a conversão elétrica, foram obtidos os resultados ilustrados na Figura 5.

O valor teórico de potência total disponível estimado para o período de referência, que é a quantidade de potência que o aterro é capaz de gerar no entre 2020 e 2026, foi de 623,424 MW, e 5.461,2 GWh de energia. Levando-se em consideração somente o ano de pico de geração de metano, previsto para 2040, estimou-se a geração de 30,316 MW de potência e 265,568 GWh de energia, valores consideráveis. Contudo, descontando-se as perdas de eficiência na conversão térmica (5%) e na conversão elétrica (33%), obteve-se 10,004 MW de potência disponível e 83,255 GWh de energia, com sua totalidade de produção nos 40 anos de 205,730 MW e 1.712,1 GWh, evidenciando o potencial energético do aterro estudado.

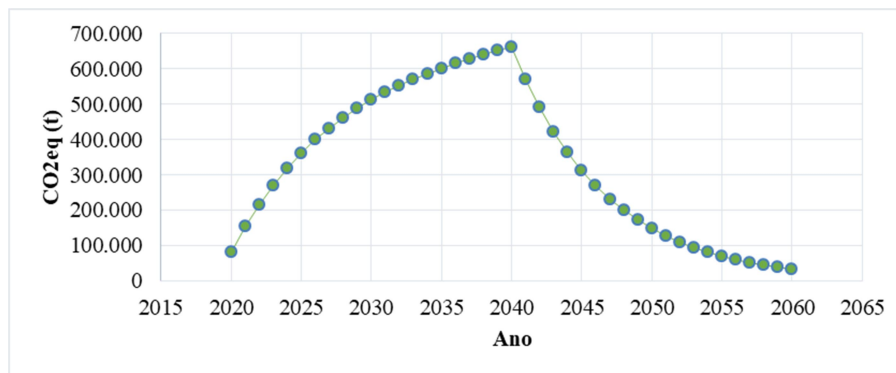


**Figura 5 - Potência teórica estimada para a conversão do biogás do aterro sanitário da URBAM em energia elétrica no período de 2020 a 2060. Fonte: Autores do Trabalho.**

O consumo médio de energia elétrica nas residências brasileiras segundo o LABEE-UFSC, em 2019, foi de aproximadamente 152,2 kWh, portanto, nos 40 anos de produção de energia elétrica, o aterro sanitário da URBAM abasteceria por volta de 23.436 residências. A partir dos dados da Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente de São Paulo, o consumo no ano de 2019 foi de aproximadamente 580,434 GWh no setor residencial, tendo-se possibilidade de suprir 14% desse consumo elétrico no ano de maior produção de energia elétrica no aterro da URBAM. Em comparação com a usina hidrelétrica de ITAIPU, com 20 unidades geradoras e 14 GW de potência instalada, que em 2020 produziu 76.382 GWh (ITAIPU, 2020), a produção elétrica do aterro da URBAM geraria 0,1% da hidrelétrica no seu ano de máxima geração.

### Emissões de CO<sub>2eq</sub> no aproveitamento energético do biogás

Durante o período de 40 anos considerado (2020 a 2060), seriam emitidas aproximadamente 13.634.322,24 t de CO<sub>2eq</sub> com o aproveitamento energético do biogás gerado pela decomposição do RSU depositado no aterro sanitário da URBAM (Figura 6).



**Figura 6 – Emissões evitadas de CO<sub>2eq</sub> com a conversão do biogás do aterro sanitário da URBAM em energia elétrica no período de 2020 a 2060. Fonte: Autores do Trabalho.**

O gás metano, principal componente do biogás, é nocivo à atmosfera, sendo um dos principais causadores do efeito estufa e atingindo diretamente os ciclos terrestres. No ano de máxima geração (2040), ter-se-ia uma prevenção de 663.007 t de CO<sub>2eq</sub>.

### CONCLUSÕES

Atualmente a URBAM, contemplada com a nota 10 no Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos (IQR) no Estado de São Paulo em análise feita pela CETESB - Companhia ambiental do Estado de São Paulo em 2020, possui um complexo sistema de limpeza urbana em operação que, no entanto, não tem sido significado de total eficácia no tratamento adequado dos RSU produzidos pela população de São José dos Campos/SP. Em decorrência disso, novas soluções estão sendo adotadas pela administração municipal para aumento da eficiência da coleta junto ao gerenciamento correto dos RSU, em busca de benefícios para a população local e para a administração municipal. No aterro sanitário são depositadas, em média, 550 t/dia de RSU. Este estudo estimou que nos 40 anos de geração, o aterro sanitário da URBAM abasteceria por volta de 23.436 residências com consumo médio de 152,2 kWh. No início de 2024, a URBAM iniciou a geração de energia. A Unidade de Geração de Energia Elétrica a partir do Biogás (UGEEB) é composta por seis motores com capacidade de 1,6 MWh para suprir o equivalente a 30% da energia consumida pelos prédios da PMSJC (hospitais, escolas e outros). Serão 974 instalações que obterão créditos, ou seja, abatimento nas contas de energia dos prédios públicos pelo período de 60 meses. O valor do contrato é R\$ 20,168 milhões. A iniciativa com o biogás tem previsão de economizar R\$ 15 milhões no custeio de energia, ou seja, 36,7% nas contas públicas.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABRELPE. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. 2020. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama/>. Acesso: 10 maio 2021.
2. AYODELE, T. R.; ALAO, M.A.; OGUNJUYIGBE, A.S. O. Effect of collection efficiency and oxidation factor on greenhouse gas emission and life cycle cost of landfill distributed energy generation. Sustainable Cities and Society, v. 52, n. September 2019, 2020.
3. CÂMARA MUNICIPAL DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS. Lei nº 1682, de 10 de outubro de 1973. Disponível em: <https://camarasempapel.camarasjc.sp.gov.br/Arquivo/Documents/legislacao/html/L16821973.html>. Acesso: 11 maio de 2021.





4. DE BRITO, R.C. et al. Municipal solid waste management and economic feasibility for electricity generation from landfill gas and anaerobic reactors in a Brazilian state. *Environmental Technology and Innovation*, v. 22, p. 101453, 2021.
5. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?edicao=28674>. Acesso: 12 de maio de 2021.
6. INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso: 07 de maio de 2021.
7. IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2014 Mitigation of Climate Change*. Cambridge University Press. United States of America, 2014.
8. ITAIPU BINACIONAL. Produção ano a ano. 2020. Disponível em: <https://www.itaipu.gov.br/energia/producao-ano-ano>. Acesso: 15 de maio de 2021
9. PMSJC – Prefeitura do Município de São José dos Campos. Urban conclui estudo sobre o lixo em São José. 2018. Disponível em: <https://www.sjc.sp.gov.br/noticias/2018/setembro/27/urban-conclui-estudo-sobre-o-lixo-em-sao-jose/>. Acesso: 13 de maio 2021.
10. SANTOS, R.E.; SANTOS, I.F.S., BARROS, R.M.; BERNAL, A.P.; FILHO, G.L.T.; SILVA, F.G.B. Generating electrical energy through urban solid waste in Brazil: An economic and energy comparative analysis. *Journal of Environmental Management*, v. 231, 1 February, p. 198-206, 2019.
11. SÃO PAULO (Estado). Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Manual do usuário do programa de computador Biogás: geração e uso energético, aterros, versão 1.0. CETESB/SMA, 2006.
12. SÃO PAULO (Estado). CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/residuossolidos/wp-content/uploads/sites/26/2022/07/Inventario-Estadual-de-Residuos-Solidos-Urbanos-2021.pdf>. Acesso: 15 de maio 2021.
13. URBAM - Urbanizadora Municipal. São José dos Campos. Disponível em: <http://www.urbam.com.br/SiteNovo/Empresa/Urbam.aspx>. Acesso: 12 de agosto de 2021.