



# PROJEÇÃO DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM POÇOS DE CALDAS ATÉ 2040 POR MEIO DE MODELOS MATEMÁTICOS POPULACIONAIS

Leandro Henrique Pereira<sup>1</sup>  
Cássius Anderson M. de Melo<sup>2</sup>

## Desenvolvimento Urbano e Rural

### *Resumo*

A geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) é diretamente proporcional ao tamanho de uma população, dessa maneira torna-se importante o estudo do crescimento populacional para um eficiente planejamento de RSU em qualquer município. Poços de Caldas, com uma população de 152 mil habitantes em 2010 e uma geração *per capita* de 0,960 kg de resíduos sólidos domiciliares por dia, vem enfrentando problemas atualmente relacionados ao descarte dos resíduos domiciliares, já que até o ano de 2019 eram descartados em Mogi Mirim. O presente trabalho objetiva a utilização de 4 modelos matemáticos para que possa ser projetada a geração de RSU até o ano de 2040 em Poços de Caldas. A metodologia utilizada foi baseada nos modelos matemáticos de crescimento populacional, no qual foram relacionados com a geração *per capita*. Após a modelagem de geração dos resíduos, foi possível obter a parcela que seria destinada ao aterro sanitário, realizando o cálculo do acúmulo dos RSU e também realizada uma simulação com o potencial energético referente àquele acúmulo. Com as projeções obtidas referentes a cada modelo matemático foi possível compará-los com um dado disponibilizado pelo SNIS, de tal maneira que as projeções foram satisfatórias para o ano de 2019. Os valores obtidos referente ao acúmulo dos RSU para o horizonte de projeto estabelecido de 2022 até 2040 foi, em média, de 639 mil toneladas, com um potencial energético de pico de 6000 kW/mês.

**Palavras-chave:** Resíduos Sólidos Urbanos; Poços de Caldas; Aterro Sanitário; Projeção Populacional; Modelos Matemáticos.

---

<sup>1</sup>Estudante de Engenharia Ambiental. UNIFAL/MG – Instituto de Ciência e Tecnologia, leandropereira.unifal@gmail.com;

<sup>2</sup>Prof. Dr. da UNIFAL/MG – Instituto de Ciência e Tecnologia, cassius@unifal-mg.edu.br.



## INTRODUÇÃO

A geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) é diretamente proporcional ao tamanho de uma população. Portanto, estudar a taxa de crescimento populacional em uma dada cidade, possui impacto direto no planejamento e manejo de RSU, auxiliando a prevenir problemas ambientais, sociais e econômicos. Como planejamento existem resoluções específicas que devem ser seguidas. Uma delas é plano municipal de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos (PGRS), no qual, a destinação correta dos resíduos se encaixa neste gerenciamento, porém a realidade brasileira é que nem todo PGRS é cumprido em sua totalidade, já que apenas 59,5 % dos resíduos são descartados corretamente no Brasil, em locais como aterros sanitários (ABRELPE, 2020).

Poços de Caldas, em 2010 com uma população de 152 mil habitantes e geração *per capita* de cerca de 0,960 kg de resíduos sólidos domiciliares por dia. Atualmente vem enfrentando problemas relacionados ao gerenciamento dos RSU gerados no município, já que a cidade até 2019, por exemplo, os resíduos eram destinados a um aterro sanitário localizado na cidade de Mogi Mirim - SP, cerca de 110 km de distância, o que encarece o custo por quilograma para o descarte correto dos resíduos (SNIS, 2019).

O presente estudo objetiva a utilização e comparação dos modelos matemáticos de crescimento populacional que possuem uma população limite de saturação, tais como os modelos Logístico, de Smith, de Goel e de Ayala, relacionados com a geração *per capita* de resíduos para aplicação na projeção de RSU até o ano de 2040 na cidade de Poços de Caldas, para que possa ser utilizado como subsídio no planejamento e gerenciamento de RSU.

## METODOLOGIA

Os dados utilizados para a realização da projeção de RSU na cidade de Poços de Caldas foram baseados em um estudo prévio, no qual foi realizada a projeção populacional até o ano de 2040 com aplicação de 4 modelos matemáticos cujos parâmetros foram ajustados pelo métodos da máxima verossimilhança, com resolução de equações diferenciais através do método de Runge-Kutta (PEREIRA; de MELO, 2021).

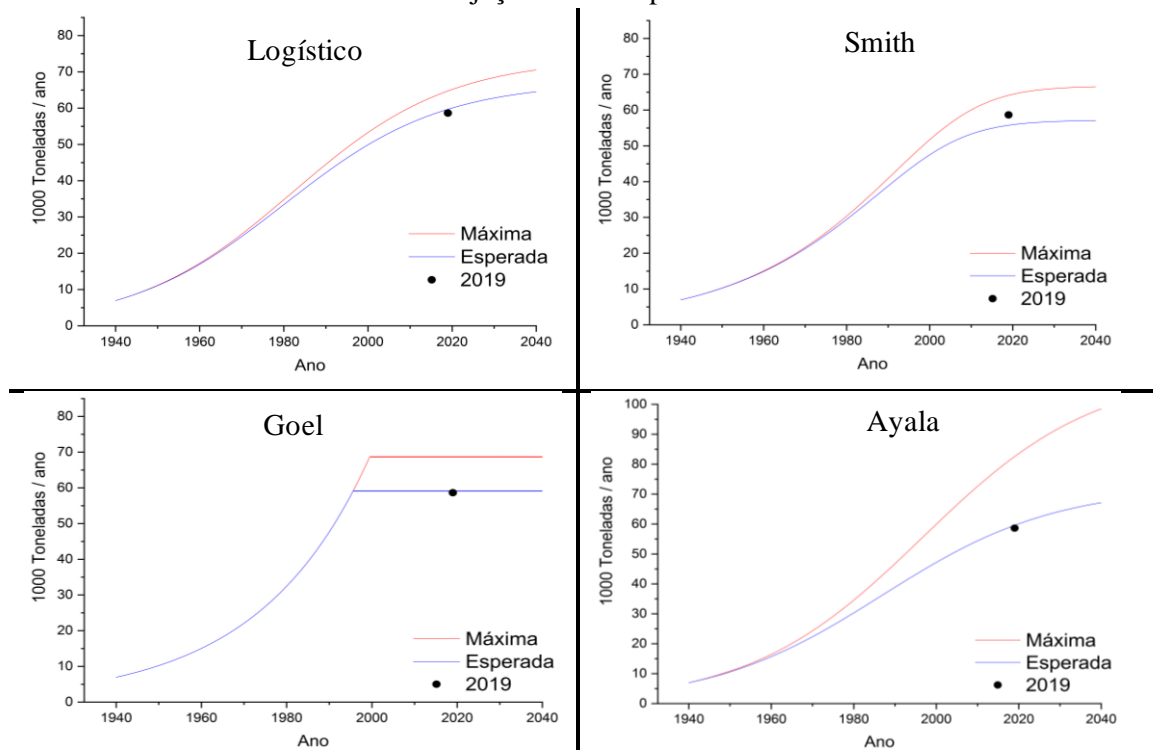
Neste trabalho, a partir da projeção populacional para a cidade de Poços de Caldas até o ano de 2040, utilizaremos as projeções máxima e média de habitantes para estimar a geração de resíduos da cidade. Então relacionando com a geração *per capita* até 2040, obtendo-se duas curvas, a geração esperada e a máxima de RSU, aplicada aos 4 modelos matemáticos.

Com a geração de RSU até o ano de 2040, foi realizado um cálculo de acúmulo dos resíduos que seriam destinados ao aterro sanitário, a fim de inserir um fator de segurança para o projeto foi considera a média entre as duas gerações, e então o somatória dos anos de 2022 até 2040 dos resíduos sólidos com um produto de 50%, para obter a parcela que deveria ser destinada ao aterro sanitário (USSIER, 2014). Com o intuito de verificar o potencial energético dos RSU realizou-se 4 simulações no *software* Biogás - Geração e Uso com a parcela de RSU do aterro sanitário (CETESB, 2006).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1, constam os gráficos com as projeções de RSU no município, projetadas em duas curvas, a esperada e a máxima geração de resíduos para cada modelo.

Tabela 1: Projeção de RSU para cada modelo





Segundo o SNIS, em Poços de Caldas no ano de 2019, foram gerados cerca de 58 mil toneladas de resíduos. Com esta informação, pode-se confrontar com as projeções realizadas deste estudo. Já que no mesmo ano, os modelos Logístico, Goel e Ayala projetaram cerca de 59 mil toneladas e o modelo de Smith de 55 mil toneladas.

Após a modelagem da geração de RSU para os 4 modelos matemáticos aplicados na cidade de Poços de Caldas, foi realizado o cálculo de acúmulo de resíduos sólidos que seriam destinados ao possível aterro sanitário dos anos de 2022 até 2040. Na figura 1 são apresentados os valores obtidos das parcelas de RSU.

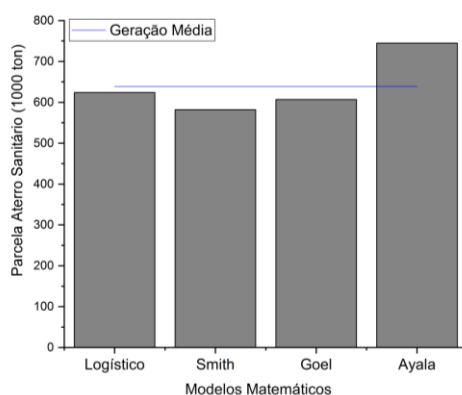


Figura 1: Parcela acumulada de RSU para cada modelo até 2040.

O modelo de Ayala apresentou o maior acúmulo, devido possuir a maior geração máxima de RSU. O modelo de Smith apresentou o menor acúmulo e os modelos Logístico e de Goel apresentaram valores aproximadamente iguais. Na média com o acúmulo dos 4 modelos para o aterro seriam depositados 639 mil toneladas de RSU.

Na figura 2 é possível verificar a estimativa do potencial energético oriundo do volume acumulado no aterro sanitário obtido das projeções anteriores.

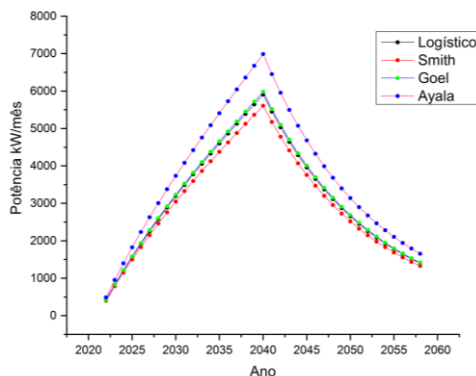


Figura 2: Potencial energético por biogás para cada modelo.

Como de se esperar, em função do acúmulo de resíduos ao longo do tempo foi maior para o modelo matemático de Ayala, com um pico de geração mensal de energia para o ano de fechamento do aterro (2040) de 7000 kW/mês. Para os modelos Logístico e Goel que apresentaram similaridade no acúmulo total de resíduos, com potencial máximo de 6000 kW/mês. E no modelo de Smith de 5500 kW/mês.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, utilizamos dados demográficos do IBGE de 1940 a 2010 para realizar a modelagem de crescimento populacional de Poços de Caldas e correlacionamos esses dados com a geração *per capita* de RSU para o dimensionamento de um novo aterro sanitário projetado para ter vida útil até o ano de 2040. Foram analisados 4 modelos populacionais, todos com uma população máxima de saturação. Os resultados do volume integrado de resíduos foram então utilizados para estimar a capacidade máxima de geração de energia pelo aterro na forma de biogás.

Nossos resultados indicam que um novo aterro para a cidade deve ser projetado com capacidade máxima de acúmulo de 639 mil toneladas a ser atingida em 2040, com potencial máximo de geração de energia de cerca de 6000 kW/mês.

## REFERÊNCIAS

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**: 2020. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/panorama/>>. Acesso em 20 jun. 2021.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Biogás: geração e uso energético** – versão 1.0/Cetesb. São Paulo, 2006. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/biogas/software/>>. Acesso em: 02 jul. 2021.

PEREIRA, Leandro Henrique; de MELO, Cássius Anderson Miquele. Modelos Populacionais Aplicados ao Sul de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2021. **Anais do II Congresso Brasileiro Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia**. Even3, 2021.

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico do Manejo dos Resíduos Sólidos**. 2019. Disponível em: <<http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/>>. Acesso em: 20 jun. 2021.

USSIER, Ana Carolina Mendes. **Avaliação dos resíduos domiciliares do município de Poços de Caldas (MG), visando adequação junto à Política Nacional**. 2014. 103 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.