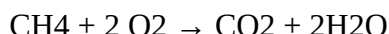


CONVERSAO MASSICA

$$1 \text{ ton} = 907.1847 \text{ kg}$$

$$1 \text{ kg} = 0.001102311 \text{ ton}$$

COMBUSTAO DE METANO



$$H_{\text{CH}_4} = -74.85 \text{ kJ/mol}$$

$$H_{\text{O}_2} = 0 \text{ kJ/mol}$$

$$H_{\text{CO}_2} = -393.50 \text{ kJ/mol}$$

$$H_{\text{H}_2\text{O}} = -241.81 \text{ kJ/mol}$$

$$-74,85 + 2 * 0 \rightarrow -393,50 + 2 * -241,81$$

$$-74,85 \rightarrow -393,50 - 483,62$$

$$-74,85 \rightarrow -877,12$$

$$\Delta H = -877,12 - (-74,85)$$

$$\Delta H = -802,27 \text{ kJ/mol}$$

MASSA MOLAR DE METANO

$$MM_{\text{CH}_4} = 16,04246 \text{ g/mol}$$

$$MM_{\text{CH}_4} = 16,04246 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$$

DENSIDADE DO METANO

$$d = 0.668 \text{ kg/m}^3$$

https://www.engineeringtoolbox.com/gas-density-d_158.html

POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS(METANO) NACIONAL

Segundo o panorama feito pela Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente(ABREMA), o Brasil possui 19 municípios que geram mais de 640 toneladas diárias de lixo, gerando juntos mais de 22 mil toneladas de resíduo sólido diariamente, correspondendo a aproximadamente 662,3 mil Nm^3/dia de biometano de resíduo sólido urbano (RSU).

<https://www.abrema.org.br/panorama/>

Convertendo toneladas para quilogramas:

$$22 \cdot 10^3 \text{ ton} = 22 \cdot 10^3 \cdot 907,1847 \text{ kg}$$

$$22 \cdot 10^3 \text{ ton} = 19958,06 \cdot 10^3 \text{ kg}$$

Usando uma relação do lixo gerado e do biometano do resíduo sólido urbano, eu acho quanto biometano é produzido em 1 kg de lixo e em 1 ton:

$$19958,06 \cdot 10^3 \text{ kg/dia} = 662,3 \cdot 10^3 \text{ Nm}^3/\text{dia}$$

$$1 \text{ kg/dia} = 0,033184588 \text{ Nm}^3/\text{dia}$$

$$22 \cdot 10^3 \text{ ton/dia} = 662,3 \cdot 10^3 \text{ Nm}^3/\text{dia}$$

$$1 \cdot \text{ton/dia} = 30,1045 \text{ Nm}^3/\text{dia}$$

Nm^3 (Volume Normal) é diferente de N/m^3 (Newtons em Metro Cubico)

MASSA DE METANO PRESENTE NO BIOMETANO PRODUZIDO

Para encontrar a massa de metano no biometano, eu uso do volume de biometano produzido e dividido pela densidade do metano.

$$d = \frac{m}{v} \quad v = \frac{m}{d} \quad m = \frac{v}{d}$$

$$m = \frac{30,1045 \text{ m}^3}{0,668 \text{ kg/m}^3}$$

$$m = 45,0666 \text{ kg}$$

$$m = 4,967740891 \cdot 10^{-2} \text{ ton}$$

Entretanto, assumindo que o biometano seja composto de 90% de metano, então a massa de metano presente no gás produzido deve ser

$$m = 45,0666 \text{ kg} \cdot 0,9$$

$$m = 40,55994 \text{ kg}$$

$$m = 4,470966802 \cdot 10^{-2} \text{ ton}$$

MOLS DE METANO PRESENTE NO BIOMETANO PRODUZIDO

Para encontrar a molaridade do metano no biometano produzido, eu divido a massa do metano pela massa molar de metano.

Mols de metano (n)

$$n = \frac{m}{MM}$$

$$n = \frac{40,55994 \text{ kg}}{16,04246 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}}$$

$$n = 2,528286809 \cdot 10^3$$

Ou seja, para 30,1045 Nm³ de biometano produzido a partir de 1 tonelada de lixo, temos 2,528286809 mil mols de metano.

ENERGIA DO METANO PRESENTE NO BIOMETANO

Sabendo da entalpia da combustão de 1 mol de metano, eu multiplico o número de mols obtido anteriormente com o valor da entalpia de 1 mol de metano

$$E = n \cdot \Delta H$$

$$E = 2,528286809 \cdot 10^3 \text{ mol} \cdot (-802,27) \text{ kJ/mol}$$

$$E = -2,028368658 \cdot 10^6 \text{ kJ}$$

Com isso, temos a energia do metano presente no biometano gerado por 1 tonelada de lixo é de $-2,028368658 \text{ GJ}$ (a razão da energia ser negativa é porque a combustão do metano é um processo exotérmico, ou seja, ele libera energia).

VELOCIDADE DA COMBUSTÃO DE METANO

Segundo um estudo realizado por Ian Fells e por A.G. Rutherford (<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0010218069900431#:~:text=The%20maximum%20burning%20velocity%20of,06%20per%20cent%20by%20volume.>), a combustão de metano em condições normais (25 °C, 1 atm ou 760 mm Mercurio) é de no máximo $39.6 \pm 0.5 \text{ cm/sec}$ numa concentração de metano de 10.16 ± 0.06 de volume. Assumindo que a relação da velocidade da queima e da concentração de volume sejam proporcionais, então temos:

Porcentagem da Concentração de Metano	Velocidade(cm/s)
10,16%	39,6
90%	350.787401575
100%	389,763779528

Sabendo da velocidade da queima de biometano, e assumindo uma área de 6 mm (tirei da wikipedia, [https://en.wikipedia.org/wiki/Burn_rate_\(chemistry\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Burn_rate_(chemistry))), eu calculo a energia liberada por segundo da queima de biometano. Para isso, eu calculo a vazão do biometano:

$$Q = v \cdot A$$

$$Q = 350,787401575 \text{ cm/s} \cdot 0,6 \text{ cm}^2$$

$$Q = 210,472440945 \text{ cm}^3/\text{s}$$

Depois, fazendo uma relação com a vazão mássica:

$$Q = \frac{\dot{m}}{\rho} = 210,472440945 \text{ cm}^3/\text{s}$$

$$Q = \frac{\dot{m}}{0,668 \text{ kg/m}^3} = 210,472440945 \text{ cm}^3/\text{s}$$

Convertendo cm^3 para m^3

$$Q = \frac{\dot{m}}{0,668 \text{ kg/m}^3} = 210,472440945 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\dot{m} = 210,472440945 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 0,668 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\dot{m} = 210,472440945 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 0,668 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\dot{m} = 1,405955906 \cdot 10^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Sabendo da vazão mássica do metano em um área de 6 mm, é possível descobrir a energia liberada por segundo por meio da relação da massa molar do metano e a entalpia da queima de um mol de metano.

Massa (kg)	Mol (n)	Entalpia (kJ)
$16,04246 \cdot 10^{-3}$	1	-802,27
$14,05955906 \cdot 10^{-5}$	0,008763967035	-7,031067833

Com a energia que é liberada por segundo da vazão mássica de metano em uma área de 6 mm, é possível calcular a energia necessária para evaporar um tanque de água para que o vapor dessa evaporação comece a girar as turbinas.

Para isso, eu uso da termodinâmica e do calor específico da água (expresso pela letra c)

$$c = 4,184 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K}$$

https://en.wikipedia.org/wiki/Specific_heat_capacity

$$Q = mc \Delta T$$

$$\frac{Q}{mc} = \Delta T$$

$$\frac{7,031067833 \text{ kJ/s}}{m \cdot 4,1484 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K}} = \Delta T$$

$$\frac{1,694886663/s}{\frac{m}{\text{kg}^\circ\text{K}}} = \Delta T$$

Assumindo que o tanque tenha 1 kg de água, temos:

$$\frac{1,694886663/s}{\frac{1 \text{ kg}}{\text{kg}^\circ\text{K}}} = \Delta T$$

$$169,4886663^\circ\text{K/s} = \Delta T$$

A temperatura de 1 kg de água aumenta 1,694886663 graus Kelvin por segundo. Para água começar a evaporar é necessário de uma temperatura de 100 °C, que equivale a 373,15 °K, mais calor latente (energia térmica necessária para mudar o estado da água de líquido para gasoso).

Assumindo que a água esteja numa temperatura ambiente de 20 °C (293,15 °K), a variação de temperatura da água tem que ser igual a 80 °C (353,15 °K).

$$353,15^\circ\text{K} = 1,694886663^\circ\text{K} \cdot x$$

$$x = \frac{353,15^\circ\text{K}}{1,694886663^\circ\text{K/s}}$$

$$x = 208,3620148 \text{ segundos}$$

Para que 1 kg de água atinja 100 °C, é preciso de 208,3620148 segundos. Sabendo que o coeficiente de latência da vaporização da água é 2264,705 $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ (https://en.wikipedia.org/wiki/Latent_heat), então é preciso de 2264,705 kJ a mais para evaporar 1 kg de água.

$$2264,705 \text{ kJ} = 7,031067833 \text{ kJ/s} \cdot x$$

$$x = \frac{2264,705 \text{ kJ}}{7,031067833 \text{ kJ/s}}$$

$$x = 322,0997228 \text{ segundos}$$

Com isso, o tempo total para a água virar vapor é a soma dos dois tempos, resultando em 530,4617376 segundos para 1 kg de água evaporar.

Se leva 530,4617376 segundos para que a água evapore, e conseqüentemente mova as turbinas, eu calculo a energia “perdida” por todo esse processo (a energia não é resgatada quando o vapor começa a movimentar as turbinas).

$$E = 7,031067833 \text{ kJ/s} \cdot 530,4617376 \text{ s}$$

$$E = 3,72971246 \cdot 10^3 \text{ kJ}$$

ENERGIA DA TURBINA

Sabendo da perda de energia da vaporização da água, eu calculo a perda de energia do vapor d’água (que seria a Energia do metano menos a energia perdida) ao passar por uma turbina.

A energia usável pela turbina seria então o restante da energia que não foi usada para transformar a água em vapor, sendo expressa por:

$$\text{Energia Usável} = \text{Energia Metano} - \text{Energia Perdida}$$

$$\text{Energia Usável} = 2,028368658 \cdot 10^6 \text{ kJ} - 3,72971246 \cdot 10^3 \text{ kJ}$$

$$\text{Energia Usável} = 2,024638946 \cdot 10^6 \text{ kJ}$$

Uma turbina não consegue puxar 100% da energia cinética de um fluído, então, usando o coeficiente de Betz (percentual máximo que uma turbina consegue extrair da energia de um fluído), eu tenho:

$$\text{Energia Turbina} = \text{Coeficiente Betz} \cdot \text{Energia Usavel}$$

$$\text{Energia Turbina} = \frac{16}{27} \cdot 2,024638946 \cdot 10^6 \text{ kJ}$$

$$\text{Energia Turbina} = \frac{16}{27} \cdot 2,024638946 \cdot 10^6 \text{ kJ}$$

$$\text{Energia Turbina} = 1,199786042 \cdot 10^6 \text{ kJ}$$

A energia produzida por essa termelétrica com **1 ton** de lixo, **0.6 cm²** de área de vazão de metano e uma caldeira de **1 kg** de água é de **1,199786042*10⁶ kJ**.