ISSN: 2594-6153

Produção de Água Como Produto da Combustão do Diesel da Frota de Ônibus da Cidade de São Paulo

Gabriel Alcalá Tabata, João Batista Cyrino Florence, Deovaldo de Moraes Júnior, Aldo Ramos Santos

Universidade Santa Cecília (UNISANTA), Santos-SP, Brasil
E-mail: gabriel.tabata@outlook.com.br

Resumo: O crescimento populacional da cidade de São Paulo vem se elevando ao longo dos anos e a frota de ônibus vem aumentando proporcionalmente. Tais ônibus são abastecidos principalmente com combustível diesel, um combustível fóssil composto majoritariamente por hidrocarbonetos, que tem como resultado da sua combustão a liberação de água, gás carbônico e outros componentes. Pouco se fala sobre a água produzida como resultado dessa queima. É uma água ácida, liberada todos os dias e prejudicial ao meio-ambiente. O presente artigo quantificou de maneira teórica, com bases em dados da literatura, a água produzida como resultado da combustão de diesel consumido pela frota de ônibus municipal da cidade de São Paulo e concluiu que é possível preencher em torno de 13 piscinas olímpicas por mês.

Palavras-chave: Combustível Diesel, Combustão, Produção de Água, Ônibus, Cidade de São Paulo.

Water Production as a Result of Diesel Combustion in the Bus Fleet of São Paulo City

Abstract: The population growth of the city of São Paulo has been increasing over the years, and the bus fleet has been growing proportionally. These buses are primarily fueled by diesel, a fossil fuel composed mainly of hydrocarbons, which results in the release of water, carbon dioxide, and other components upon combustion. Little is said about the water produced as a result of this burning process. It is an acidic water, released daily and harmful to the environment. The present article quantified theoretically the water produced as a result of the combustion of diesel consumed by the municipal bus fleet of São Paulo city, based on literature data, and concluded that it is possible to fill around 13 Olympic-sized swimming pools per month.

Keywords: Diesel Fuel, Combustion, Water Production, Bus, São Paulo City.

Introdução

A população brasileira vem aumentando continuamente ao longo dos anos. Entre 2010 e 2022, houve um crescimento de 6,5%, totalizando mais de 203 milhões de brasileiros. O Estado de São Paulo é o mais populoso dentre todos, contabilizando mais de 44 milhões de habitantes, mais que o dobro de Minas Gerais, segundo estado mais populoso do país. A cidade de São Paulo é a primeira cidade no ranking populacional entre municípios, abrangendo mais de 11 milhões de pessoas no ano de 2022 [1].

De 2007 a 2017, houve uma variação positiva de, aproximadamente, 10% na quantidade de viagens realizadas no município de São Paulo [2]. Para acompanhar a demanda do

ISSN: 2594-6153

crescimento urbano, a frota de ônibus amplia-se proporcionalmente, alcançando cerca de 15 mil ônibus em 2023 [3]. Os ônibus oferecidos à população, são abastecidos majoritariamente com combustível do tipo diesel. Consequentemente, a ampliação da frota implica no aumento do consumo de diesel. Como definido pela NBR 15570 [4], um ônibus básico tem a média de consumo de 35 739 litros para um percurso médio anual de 72 200 km, o que equivale a aproximadamente 2 978 L por mês [5].

O óleo diesel é um combustível líquido especialmente projetado para uso em motores de ciclo diesel, um tipo de motor de combustão interna no qual a ignição do combustível ocorre sem uma centelha como resultado da compressão da mistura ar/combustível admitido para a câmara de combustão. O diesel é um combustível fóssil obtido a partir da destilação do petróleo. É composto predominantemente por hidrocarbonetos com cadeias de 8 a 16 carbonos e apresenta também uma quantidade de enxofre, nitrogênio e oxigênio. De forma geral, pequenas embarcações utilizam desse combustível, mas tem grandes aplicações no setor industrial, em geradores de energia, e no setor rodoviário, utilizado em carros, caminhões e ônibus [6].

A combustão do diesel faz com que os ônibus sejam também uma significativa fonte de emissão de poluentes climáticos, como o dióxido de carbono, além de materiais particulados e outros gases tóxicos. Esses gases eliminados na atmosfera, contribuem para o agravamento do efeito estufa (CO_2) e aumentam a poluição no ar, causando grande impacto na saúde, incluindo doenças cardíacas, acidentes vasculares cerebrais, câncer de pulmão, entre outros [7]. As emissões da frota de São Paulo em 2016 foram de 1,24 milhões de toneladas de CO_2 por ano, aproximadamente. Com isso, o município implementou legislações com o objetivo de reduzir dados com a diminuição da produção de CO_2 gerada pelos veículos [5]. Uma alternativa para alcançar essa meta, é utilizando o hidrogênio verde.

Hidrogênio verde é hidrogênio fabricado por energia renovável ou a partir de energia de baixo teor de carbono, cuja finalidade é uma queima livre de gases causadores de mudanças climáticas prejudiciais, como o gás carbônico. Através de fontes renováveis como solar, hídrica e eólica, é realizada a eletrólise da água para separar o hidrogênio do oxigênio (H_2O), a partir de uma corrente elétrica, gerando assim o hidrogênio verde. Com isso, a combustão dessa molécula produz como principal componente a água e quase não causa nenhuma poluição do ar [8].

O foco é maior na liberação de gás carbônico devido a questões climáticas. Dá-se muito pouca atenção à produção de água advinda da combustão que, quando produzida através de

ISSN: 2594-6153

hidrocarbonetos, gera uma água emulsionada com gases tóxicos que favorecem sua acidez, alterando assim, o equilíbrio ambiental. Desde o ano de 1980 até 2010 verificou-se que a quantidade de água produzida na queima de combustível diesel no mundo aumentou de, aproximadamente, 1,5 milhões toneladas por dia para cerca de 4,25 milhões de toneladas por dia, um incremento em torno de 183% [9].

Objetivo: Esse trabalho teve como objetivo quantificar com base nos dados da literatura a água produzida por mês pela frota de ônibus municipal da cidade de São Paulo como resultado da combustão do diesel.

Materiais e Métodos

A Tabela 1 foi adaptada pelos autores a partir das referências [3], [5], [10] e [11].

Tabela 1. Dados agrupados

Ítem	Nome do Dado	Valor
A	Consumo Mensal por Ônibus	2 978 L/ônibus
B	Tamanho da Frota	15 000 ônibus
C	Densidade do Diesel	0,8425 g/mL
D	Densidade da Água	0,998 g/cm³
E	Massa Atômica do Carbono (C)	12 u
F	Massa Atômica do Oxigênio (O)	16 u
G	Massa Atômica do Hidrogênio (H)	1 u

Adotando como fórmula química média do diesel $C_{12}H_{24}$, que varia entre $C_{10}H_{20}$ e $C_{15}H_{28}$, foram desenvolvidos os seguintes cálculos para determinar a quantidade de água produzida, fazendo uso concomitante da teoria de Estequiometria.

Primeiramente foi calculado o volume total de diesel consumido pela frota de ônibus [3][5]. Através da sua densidade [10], foi obtida a massa do diesel utilizado por mês. Calculando as massas molares do diesel e da água, e a partir do cálculo estequiométrico, foi possível quantificar a proporção estequiométrica da água e sua massa em gramas por mês. Por fim, foi calculado o volume da água produzida em metros cúbicos por mês, com base na sua densidade [11]. Com o volume definido de uma piscina olímpica [12], foi possível estimar o número de piscinas capazes de serem preenchidas com tal quantidade de água.

Resultados

O volume de diesel consumido pela frota de ônibus:

ISSN: 2594-6153

$$Volume_{diesel} = 15\,000\ \hat{o}nibus\ \cdot 2\,978\ \frac{L}{\hat{o}nibus} = 44\,670\,000\ L \quad (1)$$

$$Massa_{diesel} = 44\,670\,000\ L\ \cdot 0{,}8425\ \frac{g}{mL} \cdot \left(\frac{1000\ mL}{L}\right) \quad (2)$$

$$Massa_{diesel} = 37\,634\,475\,000\ \frac{g}{mês}$$

$$C_{12}H_{24} + 18\ O_2 \rightarrow 12\ CO_2 + 12\ H_2O \quad (3)$$

$$Massa\ Molar\ C_{12}H_{24} = (12 \cdot 12) + (1 \cdot 24) = 168\ \frac{g}{mol} \quad (4)$$

$$Quantidade\ de\ Mol\ Mensal = \frac{37\,634\,475\,000\ g \cdot mol}{168\ g \cdot mês} = 224\,014\,732\ \frac{mol}{mês} \quad (5)$$

$$Massa\ Molar\ 12\ H_2O = 12\ [(1 \cdot 2) + (16 \cdot 1)] = 216\ \frac{g}{mol} \quad (6)$$

Proporção estequiométrica da água:

$$Proporção\ 12\ H_2O = 224\,014\,732\ \frac{mol}{mês} \cdot 216\ \frac{g}{mol} = 48\,387\,182\,143\ \frac{g}{mês} \quad (7)$$

$$Volume_{água} = 48\,387\,182\,143\ \frac{g}{mês} \cdot \left(\frac{cm^3}{0{,}998\ g}\right) \cdot \left(\frac{m^3}{10^6\ cm^3}\right) = 48\,484\ \frac{m^3}{mês} \quad (8)$$

$$Quantidade\ de\ Piscinas\ Olímpicas = \frac{48\,484\ m^3 \cdot Piscina}{3\,750\ m^3 \cdot mês} \cong 13\ \frac{Piscinas}{mês} \quad (9)$$

$$H_2 + 0{,}5\ O_2 \rightarrow H_2O \quad (10)$$

Discussão

A partir das equações verificou-se que para a combustão de um mol de $C_{12}H_{24}$ foi gerado 12 mols de água (equação 3). Com um consumo mensal de, aproximadamente, 44,7 milhões de litros (equação 1) foi observado que é possível produzir água suficiente para preencher 13 piscinas olímpicas a cada mês (equação 9), considerando apenas a frota de ônibus municipal de São Paulo. Entretanto, essa consideração é válida somente se a água estiver no estado líquido. Baseando-se na equação estequiométrica da combustão de diesel (equação 3), pode ser afirmado que, considerando outros veículos que se utilizam desse mesmo combustível como caminhões, o volume de água produzida aumentaria notavelmente.

A combustão também libera calor fazendo com que a água seja eliminada no estado gasoso junto com outros gases e materiais particulados, transformando-a em impura e contaminada. Esse vapor misturado com óxidos de enxofre proveniente da queima do enxofre presente no combustível diesel, formando ácido sulfúrico e causando a chuva ácida.

Quando comparada com o hidrogênio verde (equação 10) verificou-se que a quantidade de água em mol produzida é 12 vezes menor, além de não gerar CO_2 como resultado da combustão. Com isso, este acaba sendo uma ótima opção para substituir combustíveis fósseis do ponto de vista ambiental.

ISSN: 2594-6153

Conclusão

Pode-se concluir que a quantidade de água produzida pela queima de combustível diesel utilizado pela frota de ônibus municipal da cidade de São Paulo vem continuamente aumentando ao longo dos anos, acompanhando assim o crescimento da cidade. Espera-se que nos próximos anos esse número decaia com a viabilidade de novas tecnologias, menos danosas ao meio-ambiente, como o hidrogênio verde, produzindo menos água e diminuindo as emissões de gás carbônico (CO_2).

Referências

1.De 2010 a 2022, população brasileira cresce 6,5% e chega a 203,1 milhões [Internet]. IBGE. [atualizado em 10 Ago 2023; citado em 21 Ago 2023]. Disponível em: https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/37237-de-2010-a-2022-populacao-brasileira-cresce-6-5-e-chega-a-203-1-milhoes#:~:text=Desde%202010%2C%20quando%20foi%20realizado
2.O que mudou na mobilidade no município de São Paulo entre 2007 e 2017? Informes Urbanos. São Paulo: Prefeitura de São Paulo, 2019.
3.Mobilidade e Transportes - Estrutura [Internet]. Cidade de São Paulo. [citado em 21 Ago 2023] Disponível em: https://www.capital.sp.gov.br/cidadao/transportes/transporte-publico/estrutura#:~:text=A%20frota%20paulistana%20compreende%2015
4.Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR15570: Transporte — Especificações técnicas para fabricação de veículos de características urbanas para transporte coletivo de passageiros. Rio de Janeiro: ABNT; 2009.
5. Benefícios De Tecnologias De Ônibus Em Termos De Emissões De Poluentes Do Ar E Do Clima Em São Paulo. Relatório Técnico. Washington, DC: ICCT, 2019.
6.Óleo Diesel. Relatório Técnico. Petrobras; 2021.
7.Report to Congress on Black Carbon. Relatório Técnico. EPA; 2012.
8.Bezerra FD. Hidrogênio Verde: Nasce Um Gigante No Setor De Energia. Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste – ETENE. 2021 Dez; p. 2-4.
9.Rosa VS, Santos AR, De Moraes MS, Coelho NMA, Da Silva RJ, Júnior DM. Increase in the Amount of Water in Nature from 1984 to 2010 due to the Combustion of Petroleum Derivatives. UST [Internet]. 2016 Dez 06 [citado em 23 Ago 2023]; Disponível em: https://periodicos.unisanta.br/index.php/sat/article/view/755
10.Da Silva JRS, Dos Santos MD, Da Silva JKS, Queiroga SLM, Neto JCM. Comparação Dos Combustíveis Díesel S10 E S500 Para Resolução De Problemas Em Motores Do Ciclo Díesel. Anais do Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC 2017; 2017 Ago 8-11; Belém (PA); 2017. p. 1-5.
11.Haynes WM, editor. Handbook of Chemistry and Physics. Edição 95. Boca Raton (FL): CRC Press; 2014.
12.Quais as dimensões de uma piscina olímpica e Semi-olímpica? [Internet]. AuditórioIbirapuera. [atualizado em 17 Mai 2023; citado em 25 Ago 2023]. Disponível em: https://www.auditorioibirapuera.com.br/quais-as-dimensoes-de-uma-piscina-olimpica-e-semi-olimpica/