

PLANEJAMENTO, AVALIAÇÃO E PRODUÇÃO DO VOLUME DE ÁGUA PRODUZIDO NO PROCESSO DE COMBUSTÃO DE MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA

Vinícius Silva dos Santos¹; Lilian Lefol Nani Guarieiro²

¹ Mestrando em Desenvolvimento Sustentável; Mestrado Profissional em Desenvolvimento Sustentável – FAPESB; santoss.vinicius96@gmail.com

² Centro Universitário SENAI CIMATEC; Salvador-BA; lilian.guarieiro@fieb.org.br

RESUMO

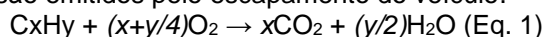
Este trabalho visou planejar o processo de otimização da produção de água a partir de um motor de combustão interna do tipo Ciclo Otto através da condensação do vapor d'água oriunda do processo de combustão do mesmo. A recuperação da água na forma condensada será realizada através de um túnel de diluição a volume constante do tipo CVS (*Constant Volume Sampling*), utilizando um planejamento fatorial em dois níveis (2^k), utilizando os combustíveis álcool e gasolina nos experimentos, além das outras variáveis como a razão entre o ar de diluição e o ar de exaustão, e o tempo de coleta. Ao fim da avaliação das melhores condições para a obtenção do maior volume produzido entre os experimentos serão elaboradas metodologias para a avaliação da água recuperada tendo em vista a sua aplicação no próprio veículo, tendo em vista combater os desafios vigentes e futuros relatados pela ONU através dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

PALAVRAS-CHAVE: Recuperação de água; Motores a combustão interna; CVS; Desenvolvimento sustentável.

1. INTRODUÇÃO

Duas questões vêm tendo papel decisivo associado ao meio ambiente e o bem estar de toda a população mundial, são elas: a poluição veicular e a escassez dos recursos hídricos. Estes dois entraves para o avanço na melhoria da qualidade de vida são tão relevantes que estão presentes de forma direta e indireta nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 das Nações Unidas (ONU), criados para contribuir com o progresso da humanidade e garantir a proteção do planeta até o ano de 2030.

Primeiramente, a grande taxa de urbanização, e a cultura de consumo excessivo das sociedades capitalistas viabiliza a compra de veículos, o que resulta na quantidade de mais de um bilhão de veículos circulando nas estradas de todo o mundo.¹ A maior parte destes veículos rodoviários funcionam a base de motores a combustão interna, tanto Ciclo Otto como Ciclo Diesel, onde o combustível, seja ele gasolina, etanol ou diesel, reage com o O_2 atmosférico através de uma reação de combustão, gerando CO_2 e vapor d'água, como ilustrado na **Equação 1**, que são emitidos pelo escapamento do veículo.^{2,3}



No entanto, o processo de combustão de motores internos é ineficiente, fazendo com que as moléculas de combustível não queimem ou queimem apenas parcialmente, tendo como resultado a formação de hidrocarbonetos, emissões de NO_x , SO_x , material particulado, CO sendo este um subproduto da combustão incompleta quando o carbono no combustível é parcialmente oxidado em vez de totalmente oxidado para CO_2 , além de aldeídos, como formaldeído e acetaldeído, e cetonas, todos estes prejudiciais ao meio ambiente e a saúde humana, o que faz necessário a caracterização da qualidade da água recuperada para sua possível reutilização.^{2,3}

Além disso, a urbanização, juntamente com o crescimento populacional e o desenvolvimento industrial têm contribuído com o aumento do consumo de água doce em todo o mundo.⁴ Tais recursos hídricos, tanto subterrâneos quanto de superfície, têm sido explorados incessantemente ao longo da história, gerando suas poluições, tornando-os não mais utilizáveis por humanos. A agricultura, represas e mudanças no uso da terra também estão reformulando a taxa, expansão e distribuição do consumo e reposição de água doce.⁵ Dessa forma, o presente trabalho visou planejar a avaliação do potencial de produção de água através da condensação do vapor d'água emitido pelo sistema de exaustão de motores a combustão interna (Ciclo Otto) utilizando um túnel de diluição a volume constante do tipo CVS (*Constant Volume Sampling*), a fim de futuramente determinar a concentração de metais e compostos orgânicos na mesma. Após a avaliação dos resultados será cogitado o melhor tratamento e destino para a água recuperada dentro do veículo, visando contribuir com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 da ONU com a diminuição da emissão de produtos químicos para a atmosfera e melhoria na gestão dos recursos hídricos.

2. METODOLOGIA

Na recuperação do vapor d'água será utilizado um veículo flex fuel de passeio ciclo otto, no qual será acoplado um túnel de diluição a volume constante do tipo CVS (Constant Volume Sampling), onde os gases da exaustão passam pelo túnel, a uma temperatura de aproximadamente 400 °C. Este será resfriado com ar atmosférico (30 °C) para promover o processo de condensação visando a formação da água na forma líquida.

Para realizar a coleta da amostra foi proposto um planejamento fatorial em dois níveis (2^k), visando apurar quais condições experimentais darão como resultado a recuperação do maior volume de água e as variáveis que mais influenciam no processo, a partir de um reduzido número de experimentos (CUNICO, 2008).

Neste trabalho, será aplicado um planejamento fatorial 2^3 , com quadruplicata do ponto central, desenvolvido pelos autores a fim de avaliar as diferentes proporções de combustíveis, razão do ar de diluição por ar de exaustão, e tempo de coleta. O planejamento experimental terá como resposta (variável dependente), o volume de água produzido no túnel de diluição (CVS).

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A maioria dos motores veiculares têm seu funcionamento baseado no processo de combustão interna (motores Ciclo Otto e Ciclo Diesel), os quais o desempenho depende do rendimento da reação de combustão onde o oxigênio proveniente da atmosfera reage com o combustível (diesel, gasolina ou etanol) gerando dióxido de carbono e vapor d'água que é encontrado no final do escapamento do veículo.^{6,7,8}

O vapor d'água oriundo do processo de combustão pode ser recuperado através do processo de condensação e ser utilizado posteriormente para outros fins. No entanto, as interações entre as variáveis são cruciais para entender as metodologias que estão sendo desenvolvidas e controladas em um determinado sistema.⁹ Portanto, encontrar um modelo que descreva a melhor forma para coleta dos dados experimentais é crucial para análises estatísticas de um processo.¹⁰ Para isso são elaborados planejamentos experimentais que consistem em elaborar uma série de experimentos a fim de gerar informações que estamos procurando.¹¹

Um dos planejamentos experimentais mais utilizados é o planejamento fatorial n^k onde n é o número de níveis: condições operacionais das variáveis investigadas durante os experimentos, geralmente identificados por nível baixo (-) e nível alto (+); e k são os fatores ou número de variáveis a serem estudadas. Para aplicar um planejamento fatorial será necessário especificar os níveis (n) de cada variável (k) que será empregada nos experimentos. No caso deste trabalho, será aplicado um planejamento fatorial 2^3 , resultando no total de 8 experimentos, que seria o número mínimo para ter um planejamento fatorial completo, o que não significa que não pode haver um número maior de experimentos, pois o experimentador pode repetir os ensaios para estimar o erro experimental, aumentando assim o número de experimentos.¹¹

Portanto, foi feita a escolha do planejamento fatorial 2^k para a realização deste trabalho, devido suas vantagens (diminuição do número de experimentos com eficiência na qualidade da informação gerada e a realização do estudo concomitante de um conjunto de variáveis e confiabilidade dos resultados), com o intuito de reutilizar a água recuperada tendo em vista a sua aplicação no próprio veículo (reservatório de água do limpador do para-brisas, lavagem dos gases de exaustão etc). Foi aplicado um planejamento fatorial 2^3 com quadruplicata do ponto central, desenvolvido a fim de avaliar as diferentes proporções de combustíveis, razão do ar de diluição por ar de exaustão, e tempo de coleta. O planejamento experimental teve como resposta (variável dependente), o volume de água produzido no túnel de diluição (CVS). As variações dos níveis de cada variável estão apresentadas na **Tabela 1**. A matriz do planejamento fatorial 2^3 apresentada na **Tabela 2**.

Tabela 1. Variações dos níveis das variáveis do planejamento fatorial

Variável	Nível baixo (-)	Ponto central (0)	Nível alto (+)
Ar de diluição/Ar de exaustão	1/10	1/20	1/30
Tempo de coleta (min)	10	20	30
Combustível	Gasolina	50%/50%	Etanol

50%/50%: Contribuição de 50% de gasolina e 50% de etanol

Tabela 2. Matriz de planejamento fatorial 2³ completo com quadruplicata do ponto central.

Experimento	Ar de diluição/Ar de exaustão	Tempo de coleta (min)	Combustível
1	1/10	10	Gasolina
2	1/30	10	Gasolina
3	1/10	30	Gasolina
4	1/30	30	Gasolina
5	1/10	10	Etanol
6	1/30	10	Etanol
7	1/10	30	Etanol
8	1/30	30	Etanol
PC	1/20	20	Etanol/Gasolina
PC	1/20	20	Etanol/Gasolina
PC	1/20	20	Etanol/Gasolina
PC	1/20	20	Etanol/Gasolina

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pandemia causada pelo COVID-19 casou atrasos na realização da parte experimental do projeto, a qual consiste na realização de experimentos onde são necessários equipamentos e laboratórios presentes na estrutura do SENAI CIMATEC, não sendo possível dessa forma finalizar os experimentos propostos pelo planejamento fatorial, 2³, faltando a realização dos experimentos do ponto central.

Como resultados do desenvolvimento do projeto espera-se coletar um volume de água representativo através dos experimentos do planejamento fatorial para obter as condições ótima de amostragem para que futuramente seja possível realizar sua caracterização e propor um tratamento da água recuperada emitida pelo escapamento do veículo para poder ser utilizada no próprio automóvel. Além de contribuir com os objetivos de desenvolvimento sustentável da Agenda 2030, tornando a indústria automobilística e a sociedade mais sustentável.

Agradecimentos

Agradeço a FAPESB pelo apoio financeiro da bolsa.

5. REFERÊNCIAS

- 1 MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, DIRETORIA DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS, SECRETARIA DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS DE QUALIDADE AMBIENTAL. **Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por veículos automotores rodoviários**. 2013.
- 2 ZHU, Sipeng et al. **A review of water injection applied on the internal combustion engine**. Xangai: Energy conversion and management, 2019.
- 3 Poluentes Atmosféricos. Ministério do Meio Ambiente, 2019. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/poluentes-atmosfericos.html>
- 4 SUN, Xiao. **Organic acids in cloud water and rainwater at a mountain site in acid rain areas of South China**. Shandong: Environmental Science and Pollution Research, 2016.
- 5 ANJOS, Carlos Alberto Rodrigues. **Influência do processo de transformação na geração de acetaldeído e níveis residuais em embalagens de poli (etileno tereftalato) (pet) e em bebidas-artigo de revisão**. Campinas: Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas, 2007.
- 6 FUNASA, FN d S. **Manual prático de análise de água**. Brasília: Assessoria de Comunicação e Educação em Saúde, 2006.
- 7 VERHELST, S. **Internal Combustion Engine Vehicles**. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences, 2018.
- 8 GOSSLER, Hendrik. **The internal combustion engine as a CO₂ reformer**. Karlsruhe: Combustion and Flame, 2019.
- 9 PEREIRA-FILHO, Edenir. **Emprego de planejamento fatorial para a otimização das temperaturas de pirólise e atomização de Al, Cd, Mo e Pb por ETAAS**. Campinas: Química Nova, 2002.
- 10 GHOSH, Subir. **Optimum two level fractional factorial plans for model identification and discrimination**. California: Journal of multivariate analysis, 2006.
- 11 MARINHO, Mary. **Planejamento Fatorial: Uma ferramenta poderosa para os pesquisadores**. Campina Grande: Seção de pôster apresentada: XXXIII Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, 2005.
- 12 UN 2015, Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/>