

ANÁLISE DE FATORES QUE INFLUENCIAM NO TEMPO DE PARTIDA A FRIO DE UM VEÍCULO DE PASSEIO COM MOTOR FLEX

Marcos Antonio Alves¹; Felipe Augusto Rocha Silva²

1 Marcos Antonio Alves. Doutorando em Engenharia Elétrica - Universidade Federal de Minas Gerais; marcosalves@ufmg.br

2 Felipe Augusto Rocha Silva. Pesquisador Instituto Federal de Minas Gerais - Campus Betim. Doutorando em Engenharia Elétrica - Universidade Federal de Minas Gerais; felipe.rocha@ifmg.edu.br

RESUMO

Motores de combustão interna flex são largamente utilizados no Brasil, embora ainda apresente desafios para as indústrias automotivas e consumidores, cada vez mais exigentes, tanto com o design quanto com o desempenho. Em dias frios e/ou quando o veículo fica um longo período parado, ele pode apresentar dificuldades em dar a partida a frio. Além de causar estranheza e causar inquietação, o consumidor leigo fica sem entender o que pode estar acontecendo com o veículo que demora mais tempo que o habitual para conseguir ligar. Este trabalho se insere neste contexto. O artigo descreve as etapas de planejamento e análise de experimentos para testar a influência de alguns fatores no tempo de partida a frio de um veículo de passeio equipado com motor flex. Foram considerados três fatores, com dois níveis cada, sendo eles: temperatura de água do cabeçote (8°C/13°C), temperatura de ar na borboleta (10°C/15°C) e gasolina envelhecida no reservatório de partida a frio (não/sim). A fase do planejamento foi realizada utilizando-se um planejamento fatorial. Já a etapa de análise estatística e descritiva dos dados e a obtenção de conclusões foram realizadas com o auxílio de uma ANOVA gerada para este tipo de planejamento. Testes a posteriori foram realizados para validar o modelo gerado e para visualizar a influência dos fatores/níveis na variável de resposta. Todo o ambiente de testes era controlado e os equipamentos devidamente calibrados. Os resultados obtidos permitem concluir que considerando um nível de significância de 0,05, os fatores Temperatura de ar na borboleta e Temperatura de água no cabeçote podem influenciar no tempo de partida a frio de um veículo com motor flex, sendo que o segundo terá maior significatividade quando o fator Gasolina envelhecida for igual a não. Os resultados ajudam a compreender o que observar durante a partida a frio de um veículo e, também, oferece um melhor entendimento dos fatores mais relacionados ao tempo da partida.

Palavras-chave: Partida a frio; Veículos flex; Engenharia Automotiva; Planejamento de Experimentos.

INTRODUÇÃO

A indústria automotiva brasileira desenvolveu os motores conhecidos popularmente como flex, incentivados a partir de 1982 pelo Programa Nacional do Álcool, ou Proálcool (ANDRADE, CARVALHO, SOUZA, 2009). A possibilidade de funcionamento do motor tanto com álcool quanto com gasolina veio carregada de expectativas de consumidores, cada vez mais exigentes. Além do desafio da viabilidade e eficácia técnica, impostas às montadoras, também havia barreiras do custo-benefício e de interesse do mercado (FERREIRA, 2009) além de consequências no aumento do número de veículos, como a poluição (CALDAS, 2008) e problemas de trânsito (SILVA *et al.*, 2018).

Um dos desafios encontrados pelas montadoras, normalmente percebido pelos consumidores comuns, é a partida do veículo em dias frios e/ou quando ele fica um longo período parado, chamado partida a frio. Descobrir o que está acontecendo com o carro nem sempre é uma tarefa fácil. Vários fatores podem estar relacionados, como bateria, velas de ignição, combustível, pressão na bomba, entre outros. Entender a relação entre estes fatores é importante, pois além de esclarecer o que, de fato, afeta ou não a partida a frio, também permite compreender o correto funcionamento do sistema. Um consenso entre fabricantes, mecânicos e boa parte dos consumidores é a necessidade da manutenção preventiva (a qual nem sempre é suficiente) para evitar problemas com o veículo.

O motor flex basicamente funciona com qualquer proporção na mistura de gasolina e álcool, armazenados no mesmo tanque. A injeção é ajustada segundo a mistura detectada por sensores eletrônicos e armazenada na central eletrônica. No mercado brasileiro, o grande problema do abastecimento a álcool é na partida do veículo. Abaixo de 14°C o álcool tem vaporização difícil e precisa de um sistema auxiliar de fornecimento de gasolina ao motor. Para que possa avaliar a partida a frio, o veículo deverá ter sido abastecido

com álcool (E100%). Ao girar a chave (*key-on*), antes da partida de um veículo, a ECU, através de memória de aprendizado, afere a temperatura da água do cabeçote e a temperatura de ar no corpo da borboleta, acionando a bomba do reservatório de combustível de partida a frio que envia apenas a dose certa de gasolina na hora da partida.

Com o objetivo de realizar uma análise experimental completa, neste trabalho foi escolhida a temperatura de água do cabeçote como peça-chave para a coleta de amostras e elaboração de um modelo estatístico paramétrico. Com o planejamento experimental é possível realizar uma análise estatística apropriada dos dados levantados no experimento, derivar conclusões sólidas e bem embasadas nos dados disponíveis e analisar criticamente metodologias e resultados de dados reportados.

Nas próximas seções estão descritos os detalhes de um experimento com partidas a frio de automóveis de passeio com motores flex. O experimento analisado, em questão, consiste em avaliar o tempo de partida do motor de um veículo de passeio com deslocamento da ordem de 1000 a 1400 cilindradas e 4 cilindros. Para o teste, três diferentes tipos de fatores foram avaliados entre as diferentes partidas: temperatura de água do cabeçote, temperatura de ar na borboleta e gasolina envelhecida. Sabe-se que, na prática, este problema é minimizado mantendo sempre o reservatório de combustível de partida a frio cheio, com gasolina nova e de boa qualidade. O principal fator avaliado na partida a frio é a temperatura de água no cabeçote, determinante para o tempo desta prova.

Para a realização do teste, o veículo foi previamente preparado, ficando dedicado ao teste e às modificações de parâmetros até que todos os experimentos fossem concluídos. Durante o teste, o veículo foi posicionado em câmara climática para ser possível o controle das situações de partida, a qual foi iniciada após cada uma das condições de temperatura, tanto de cabeçote quanto de ar na borboleta, serem atingidas.

METODOLOGIA

Esta seção apresenta a descrição do planejamento pré-experimental utilizado neste trabalho. Todos os experimentos tomam como base os fundamentos de Montgomery e Runger (2021). As análises foram feitas no software R (CHAMBERS, 2008), utilizando como IDE o RStudio.

Fatores, níveis e variável de resposta

Os fatores escolhidos para o planejamento foram de dois níveis, caracterizando um planejamento fatorial 2^k com $k = 3$. Os fatores e seus níveis foram escolhidos juntamente com um eletricitista automotivo e um especialista em engenharia experimental e são mostrados na tabela abaixo.

Tabela 1: Fatores e níveis considerados no planejamento experimental

Fatores	Níveis		Unidade
(A) Temperatura da água no cabeçote	8	13	°C
(B) Temperatura do ar na borboleta	10	15	°C
(C) Gasolina envelhecida	No	Yes	-

Fonte: Autores, tomando como base informações de especialistas em engenharia mecânica, 2022.

Para o fator temperatura da água no cabeçote, no nível mais baixo, foi utilizada a temperatura de 8°C. No nível mais alto foi utilizada a temperatura de 13°C. É importante salientar que estes valores são similares aos valores de prova experimentais, feitas em câmaras específicas para este tipo de prova, conhecidos também como experimentos “em bancada” e lidos por um software específico.

Para o fator temperatura de ar na borboleta, no nível mais baixo, foi utilizado o valor 10°C. No nível mais alto foi utilizada a temperatura 15°C. Estes valores, também, são controlados em câmara climática. Vale ressaltar que a temperatura de ar na borboleta é, quase sempre, superior em poucos graus à temperatura da água no cabeçote.

O fator gasolina envelhecida se refere ao combustível inserido no reservatório de partida a frio. Este envelhecimento é realizado em tempo real e controlado por uma equipe específica e especializada (motopropulsor). O combustível inserido no reservatório de partida a frio é a gasolina, normalmente encontrada em postos de gasolina, contendo 27,5% de Etanol. Para o nível mais baixo, foi escolhido o valor

“No” (Não), o que corresponde a um combustível novo inserido no reservatório. No nível mais alto, foi escolhido o valor “Yes” (Sim), o que significa que a gasolina foi envelhecida antes da prova.

A variável de resposta observada é o tempo de partida a frio de um veículo equipado com motor flex.

Fatores controláveis

Durante a realização dos experimentos outros fatores que podiam influenciar na variável de resposta foram detectados e mantidos como constante. Dentre eles pode-se destacar:

1. Nível da calibração do veículo: Apesar do objeto de prova ser um veículo de teste, a calibração é a mesma que a enviada ao consumidor final, ou seja, a calibração é definitiva. Não há alteração na calibração a partir desta fase que possa comprometer ou alterar qualquer sistema do automóvel.
2. Falha na memória de aprendizado: Acontece quando a central do veículo não aprendeu o combustível correto. Quando se abastece o veículo, acima de 3 litros de combustível, é preciso rodar entre 4 e 8km (condições estabelecidas pelo fabricante) para que o veículo faça o aprendizado do combustível inserido. Assim, na próxima vez que o cliente for utilizar o veículo, a central deste indicará se haverá, ou não, necessidade de utilizar partida a frio. Para este trabalho foi feito o aprendizado do combustível do veículo e posteriormente analisado através de um equipamento que faz a leitura de todo o sistema automotivo.
3. Bateria do veículo: É comum que para veículos mais velhos e/ou com baixo uso haja problemas de tensão e corrente da bateria. Neste experimento, foi utilizada uma bateria nova. Ainda assim, foi solicitado que um eletricista de automóveis, testasse e validasse a corrente e a tensão do componente. Para este veículo, os dados encontrados foram: Tensão: 12.8 Volts; Capacidade Nominal: 60Ah (veículo com ar-condicionado).
4. Motor de partida: Este componente pode apresentar problemas tanto no solenoide quanto nas escovas, que podem estar desgastadas. Esta peça foi verificada por um eletricista automotivo e não apresentou diagnoses de erros.
5. Afogamento por avaria no sensor de temperatura do líquido de arrefecimento: Quando há avaria no sensor de temperatura da mistura água/aditivo e a temperatura enviada à central ECU for errada, o automóvel pode não funcionar por um problema conhecido como afogamento. Isto ocorre quando a temperatura enviada é sempre baixa, usando a partida a frio, e é injetado continuamente excesso de gasolina nos bicos injetores. Para esta situação, neste trabalho, houve o acompanhamento de um analista e um eletricista para que esta hipótese pudesse ser descartada.

Aquisição de dados

Considerando os fatores e seus níveis definidos anteriormente na Tabela 1, são necessárias oito observações para coletar os dados necessários para o experimento. Foram realizadas duas replicações do experimento, resultando em 16 amostras.

Para não permitir que fatores espúrios, não controlados, influenciassem nos dados obtidos em cada observação, a ordem de execução dos testes foi aleatorizada. Os resultados das observações podem ser vistos na Tabela 2.

Tabela 2: Resultado das observações

Ordem	Observação	(A)	(B)	(C)	Tempo (seg)
11	1	8	10	y	1,45
2	2	13	10	y	1,25
14	3	8	15	y	1,40
3	4	13	15	y	1,27
8	5	8	10	n	1,30
10	6	13	10	n	1,05
5	7	8	15	n	1,20
13	8	13	15	n	1,00
7	9	8	10	y	1,40
16	10	13	10	y	1,38
1	11	8	15	y	1,35
6	12	13	15	y	1,22
12	13	8	10	n	1,16
15	14	13	10	n	1,00

9	15	8	15	n	1,10
4	16	13	15	n	0,80

Fonte: Autores, 2022

Por ser um experimento “de bancada”, uma outra restrição que poderia ter sido tratada seria o cegamento. Uma das opções para esta restrição, considerada como uma sugestão para estudos futuros, seria repassar o veículo para um cliente, sem mencionar o fato de testar a partida a frio. Todavia, por se tratar de um veículo de teste, isso foi inviável. É válido mencionar ainda que a coleta de dados foi feita por um equipamento e seguindo uma normativa específica para este comportamento do carro.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após realizar a coleta de dados seguindo o modelo de planejamento experimental descrito anteriormente, nesta seção será realizada uma análise do comportamento dos dados coletados em busca de avaliar a influência, ou não, de fatores principais e suas interações no valor da variável de resposta observada.

Modelo e Testes de hipóteses

A análise dos resultados pode ser feita através do teste de hipóteses, que validam, ou não, a influência dos fatores e suas interações no valor da variável de resposta. Para analisar os fatores do experimento foi escolhido o modelo de efeitos representado na Equação (1).

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + \psi_k + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\psi)_{ik} + (\beta\psi)_{jk} + (\tau\beta\psi)_{ijk} + \epsilon_{ijk} \forall i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n, k = 1, \dots, l \quad (1)$$

onde μ é a média geral, $\tau_i + \beta_j + \psi_k$ os efeitos principais (combinação de três fatores, um a um), $(\tau\beta)_{ij} + (\tau\psi)_{ik} + (\beta\psi)_{jk}$ os efeitos secundários (combinação de 3 fatores, dois a dois), $(\tau\beta\psi)_{ijk}$ a combinação dos três fatores e ϵ_{ijk} os resíduos.

Foi adotado um intervalo de confiança de 95%, implicando em um nível de significância $\alpha = 0,05$, a fim de corroborar ou refutar as hipóteses. De acordo com este modelo, as hipóteses a seguir foram definidas:

1) Testa a influência do fator temperatura de água do cabeçote na variável de resposta:
H0: Não existe influência do fator temperatura de água do cabeçote na variável de resposta.
H1: Existe influência do fator temperatura de água do cabeçote na variável de resposta.

2) Testa a influência do fator temperatura de ar na borboleta na variável de resposta:
H0: Não existe influência do fator temperatura de ar na borboleta na variável de resposta.
H1: Existe influência do fator temperatura de ar na borboleta na variável de resposta.

3) Testa a influência do fator gasolina envelhecida na variável de resposta:
H0: Não existe influência do fator gasolina envelhecida na variável de resposta.
H1: Existe influência do fator gasolina envelhecida na variável de resposta.

4) Testa a influência dos fatores temperatura de ar na borboleta e gasolina envelhecida na variável de resposta:

H0: Não existe influência da combinação destes fatores na variável de resposta.
H1: Existe influência da combinação destes fatores na variável de resposta.

5) Testa a influência dos fatores temperatura da água no cabeçote e gasolina envelhecida na variável de resposta:

H0: Não existe influência da combinação destes fatores na variável de resposta.
H1: Existe influência da combinação destes fatores na variável de resposta.

6) Testa a influência dos fatores temperatura da água no cabeçote e temperatura do ar na borboleta na variável de resposta:

H0: Não existe influência da combinação destes fatores na variável de resposta.
H1: Existe influência da combinação destes fatores na variável de resposta.

7) Testa a influência dos fatores temperatura da água no cabeçote, temperatura do ar na borboleta e gasolina envelhecida na variável de resposta:

H0: Não existe influência da combinação destes fatores na variável de resposta.

H1: Existe influência da combinação destes fatores na variável de resposta.

Análise dos modelos

A Figura 1 apresenta os resultados do teste F, realizado com os dados obtidos nas observações.

Figura 1: Tabela ANOVA

```
> model<-aov(Time~A*B*C, data=dados)
> summary(model)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
A	1	0.12076	0.12076	20.022	0.002071 **
B	1	0.02641	0.02641	4.378	0.069755 .
C	1	0.27826	0.27826	46.136	0.000139 ***
A:B	1	0.00106	0.00106	0.175	0.686601
A:C	1	0.01156	0.01156	1.916	0.203678
B:C	1	0.00181	0.00181	0.299	0.599137
A:B:C	1	0.00016	0.00016	0.026	0.876119
Residuals	8	0.04825	0.00603		

 signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

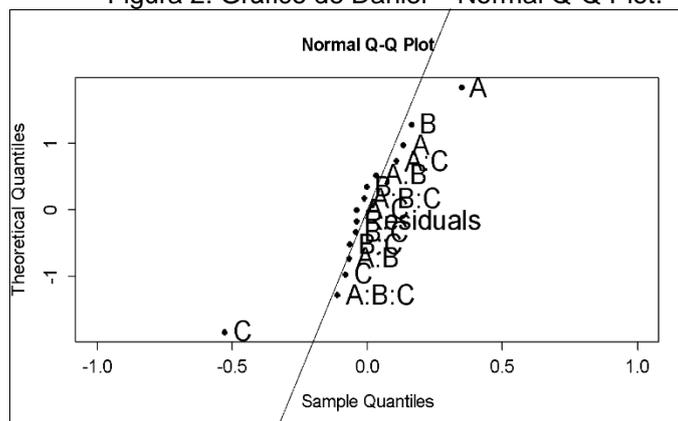
Fonte: Autores, 2022

A última coluna desta figura apresenta o p-valor obtido para o teste de hipóteses de cada um dos fatores considerados, bem como para a interação entre eles. A soma dos quadrados mostra que os maiores efeitos advêm dos fatores C, A e B, respectivamente, sendo que os únicos fatores que atenderam a significância estatística desejada (95%) foram C e A. Os termos de 2ª ordem parecem não contribuir para a capacidade explanatória do modelo.

Foi realizada a validação de premissas para este modelo. Normalidade com o Teste de Shapiro-Wilk (p-value = 0.7145), Homoscedasticidade com o Teste de Fligner-Killeen (p-value = 0.1579) e Independência com o Teste de Durbin-Watson (p-value = 0.183).

O gráfico de Daniel, ilustrado na Figura 2, foi gerado com o objetivo de verificar a possibilidade de redução do número de termos do modelo.

Figura 2: Gráfico de Daniel – Normal Q-Q Plot.



Fonte: Autores, 2022

Por análise visual no gráfico de Daniel, nota-se que os efeitos mais notáveis são A e C (Temperatura da água no cabeçote e Gasolina envelhecida, respectivamente), sendo que os demais não parecem ter muita influência.

A simplificação do modelo pode ser feita de forma manual, eliminando os termos não significativos e verificando se há reduções na capacidade explanatória do modelo (com validação de premissas). Todavia foi utilizada a função “step” do software R (VENABLES, RIPLEY, 2013) que realiza alterações iterativas no modelo e verifica modificações significativas. A ANOVA do modelo simplificado está presente na Figura 3.

Figura 3: Tabela ANOVA do modelo simplificado

```
> summary(mode12)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
A	1	0.12076	0.12076	25.909	0.000349	***
B	1	0.02641	0.02641	5.666	0.036485	*
C	1	0.27826	0.27826	59.701	9.08e-06	***
A:C	1	0.01156	0.01156	2.479	0.143645	
Residuals	11	0.05127	0.00466			

 signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Fonte: Autores, 2022

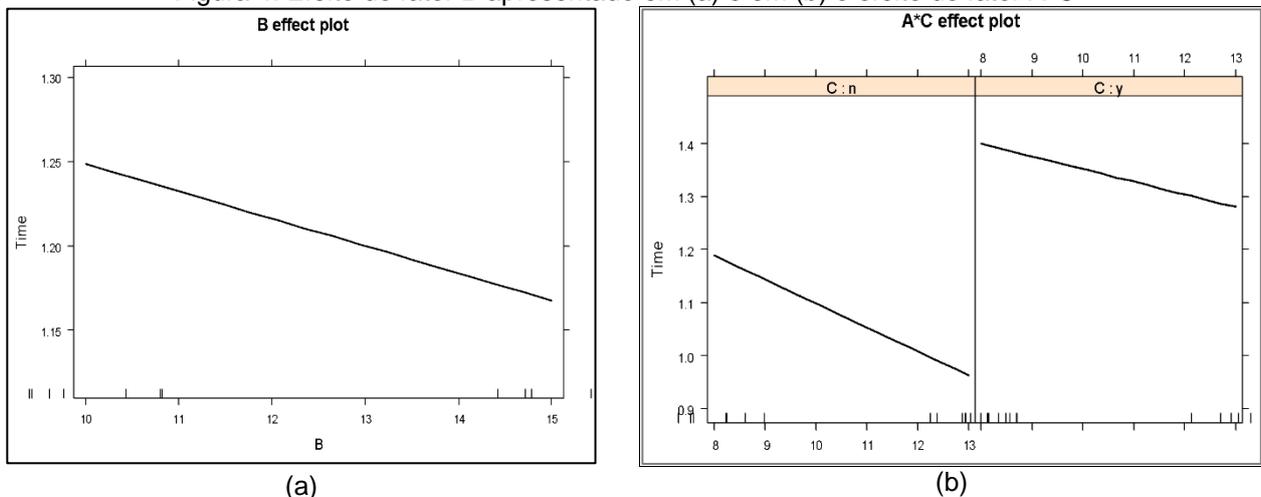
Foi realizada a validação de premissas para este modelo. As premissas testadas foram: Normalidade com o Teste de Shapiro-Wilk (p-value = 0.4842), Igualdade de variâncias (Homoscedasticidade) com o Teste de Fligner-Killeen (p-value = 0.1579) e Independência com o Teste de Durbin-Watson (p-value = 0.105). O bom comportamento dos resíduos é um indício de que nenhum efeito significativo foi removido do modelo. Os coeficientes r^2 e r^2_{adj} deste novo modelo são respectivamente 0.895 e 0.8568. Isso indica que 89% da variabilidade total dos dados pode ser explicada pelo modelo gerado.

Análise dos Efeitos

Para o teste de Efeitos foi utilizado o pacote “Effects” do R (FOX, 1987; FOX *et al.*, 2016). Foram gerados os gráficos de efeitos para os termos do modelo, após a regressão do mesmo. Os termos são: A, B, C e A:C. Estes efeitos são mostrados na Figura 4 a seguir.

A Figura 4a ilustra o efeito da Temperatura de ar na borboleta no tempo de partida a frio de um veículo. Há uma diminuição no tempo de partida a frio do veículo quando a Temperatura passa de 10°C para 15°C. Neste caso, com 10°C o veículo gasta em média 1.25 segundos para dar partida. Quando a temperatura é aumentada para 15°C o tempo diminui, passando a ser o valor médio de 1.17 segundos. Vale ressaltar que esta diferença de 0.08 segundos é baixa, mas é considerável um valor significativo em provas específicas de partida a frio. A Figura 4b apresenta a relação dos fatores Temperatura da água no cabeçote e Gasolina envelhecida no tempo de partida a frio do veículo testado. Quando o fator C (Gasolina envelhecida) é negativo o veículo tem uma melhora considerável quando a Gasolina do reservatório de partida a frio foi envelhecida. Outro aspecto relevante é a relação entre os fatores A e C (Temperatura da água no cabeçote e Gasolina envelhecida, respectivamente). Quando foi avaliado a temperatura da água no cabeçote com 13°C houve uma diminuição considerável no tempo de partida a frio.

Figura 4: Efeito do fator B apresentado em (a) e em (b) o efeito do fator A*C



Fonte: Autores, 2022

CONCLUSÕES

Neste trabalho foi realizado um planejamento experimental para testar a influência de três fatores no tempo partida a frio de um veículo de passeio com motor de combustão interna flex, largamente utilizado no mercado brasileiro. O planejamento fatorial 2^3 foi utilizado. As devidas análises realizadas utilizando uma tabela ANOVA. Para esta análise e com estes dados levantados é possível dizer que a Temperatura da água no cabeçote quando a Gasolina é nova no reservatório de partida a frio, e Temperatura de ar na borboleta são os fatores que mais influenciaram no tempo de partida a frio. Pode-se, portanto, rejeitar a hipótese nula deste fator. Em engenharia automotiva sabe-se que a temperatura da água do cabeçote é o fator que mais influencia no tempo de partida a frio de um veículo, havendo, inclusive, provas específicas para analisar estes valores e minimizar o tempo que o veículo gasta para a ignição do motor.

Analisando o modelo paramétrico de regressão gerado para representar o experimento realizado, verifica-se que o modelo proposto pode ser melhorado, uma vez que apenas 89% da variabilidade dos dados observados pode ser explicada através do mesmo. As premissas de independência dos dados, normalidade e igualdade de variância foram verificadas para o modelo gerado através dos testes realizados a posteriori, validando assim o modelo de regressão gerado.

Novos testes podem ser realizados como extensão desta pesquisa, inclusive testando todas as variáveis em uma mesma prova. Outra possibilidade é manter fixa a temperatura da água no cabeçote e variar as outras variáveis e entender a quão específica é esta característica na análise de partida a frio de veículos.

Por fim, os objetivos foram atingidos. As técnicas de planejamento e análise de experimentos foram aplicadas em experimento simples, e reais. Para permitir reprodutibilidade, todos os dados utilizados foram apresentados no artigo, bem como o código feito no software R.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ANDRADE, Ednilton Tavares; CARVALHO, Sergio Roberto Garcia; SOUZA, Lucas Fernandes. Programa do Proálcool e o etanol no Brasil. **Engevista**, 2009.

CALDAS, Cristina. Automóveis: excesso e suas consequências. **ComCiência**, n. 99, p. 0-0, 2008.

CHAMBERS, John M. **Software for data analysis: programming with R**. New York: Springer, 2008.

Douglas C. Montgomery, George C. Runger. **Estatística Aplicada e Probabilidade para engenheiros**. 7ª edição. LTC, 2021.

FERREIRA, Fábio. Toda inovação contida no "Flex". **Conhecimento & Inovação**, v. 5, n. 3, p. 16-17, 2009.

FOX, John. Effect displays for generalized linear models. **Sociological methodology**, p. 347-361, 1987.

FOX, John et al. Effect displays for linear, generalized linear, and other models. R package version, v. 3, 2016.

SILVA, Natália A. B. et al. Estudo da influência da taxa de ocupação na emissão de gases poluentes para o transporte público individual e coletivo. *In*: 32º CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTE DA ANPET, 2018, Gramado/RS. **Anais...** Gramado/RS: 32º ANPET, 2018.

VENABLES, William N.; RIPLEY, Brian D. **Modern applied statistics with S-PLUS**. Springer Science & Business Media, 2013.