



## **ANÁLISE DE GANHOS AMBIENTAIS NA CORRELAÇÃO DO COMBUSTÍVEL TIPO DUAL E DIESEL NO TRANSPORTE PÚBLICO DE JOINVILLE-SC**

### *ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL GAINS IN THE CORRELATION OF DUAL AND DIESEL FUEL IN PUBLIC TRANSPORTATION IN JOINVILLE-SC*

*William EMILIANO<sup>1,2</sup> Joaquim COSTA<sup>2,3</sup> Edinéia ROTH<sup>1</sup> Roberli CANTIDIO<sup>1</sup> Elson MARTINS<sup>1</sup> Amanda PIMENTEL<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Faculdade de Tecnologia Assessoritec, Matriz – Rua Marquês de Pombal, 287 – Iriirú, Joinville – SC, 89227-110.

<sup>2</sup>Universidade do Minho, Rua da Universidade, Braga, Portugal, 4710-057.

Recebido: 09/10/2019 – Aprovado: 21/11/2019

#### **RESUMO**

Este artigo tem como objetivo analisar dois tipos de combustíveis o diesel (100%) e o Dual (Doil+GNV), verificar se o dual proporciona ganhos ambientais. Assim aferir a vantagem obtida pela alteração da tecnologia presente na frota de ônibus urbanos em Joinville-SC. Para este estudo utilizou-se dois softwares, o SPSS para os testes estatísticos, e o OriginPro2016 para elaboração de gráficos. A princípio foram elaborados gráficos para verificar a normalidade e para indicar as diferenças dos combustíveis, posteriormente foram realizados alguns testes no SPSS para determinar a significância das conclusões obtidas através da observação dos gráficos. Conclui-se que os resultados indicam não existirem diferenças significativas entre os dois tipos de combustíveis em termos ambientais, que promova a troca do combustível tipo diesel para o dual no transporte público de Joinville-SC.

**Palavras-chave:** Combustível Dual; GNV; Ganhos Ambientais; Transporte Público.

#### **ABSTRACT**

This article aims to analyze two types of fuels, diesel (100%) and Dual (Doil+CNG), verifying whether the dual provides environmental gains. Thus, to assess the advantage obtained by changing the technology present in the urban bus fleet in Joinville-SC. For this study, two software were used, SPSS for statistical tests, and OriginPro2016 for graphing. At first, graphs were drawn up to verify normality and to indicate fuel differences, later some tests were carried out in SPSS to determine the significance of the conclusions obtained by observing the graphs. It is concluded that the results indicate that there are no significant differences between the two types of fuels in environmental terms, which would promote the exchange of diesel fuel for dual fuel in public transport in Joinville-SC.

**Keywords:** Dual Fuel; CNG; Environmental Gains; Public transportation.

## 1.INTRODUÇÃO

Os combustíveis alternativos vêm ganhando espaço nalguns países devido as leis que obrigam a redução de gases poluentes. Isso possibilitou o surgimento de vários tipos de combustíveis, distribuídos comercialmente como Biodiesel, Gás Natural (GNC, GNV e GNR) e Etanol. O GNC (Gás Natural Comprimido) é composto de metano (CH<sub>4</sub>) e outros hidrocarbonetos tais como etano, propano e butano. De acordo com Alternative Fuel Data Centre (2004), a composição do GNC é enriquecida com outros gases como dióxido de carbono, sulfureto de hidrogénio, azoto, hélio e vapor de água. O GNV (Gás Natural Veicular) é produzido a partir de plantas e restos de animais em decomposição por milhões de anos. Já o GNR (Gás Natural Renovável) é oriundo de materiais orgânicos em aterros sanitários. De 2003 a 2012, o GNV cresceu a uma taxa anual de 21,6% (IANGV de 2013). O GNV vem sendo utilizado em caminhões, autocarros, veículos de carga e passeio, essa aceitação se deve principalmente ao preço e algumas regulamentações (leis) que visam diminuir as emissões de gases.

A cidade de Joinville é localizada no estado de Santa Catarina, na região sul do Brasil, atualmente, ela possui uma área de 1.126.106 km<sup>2</sup> e uma população estimada de 515.288 pessoas (IBGE, 2012). O serviço de transporte público é operado por duas empresas privadas, uma atua na região sul e outra na região norte, divisão estabelecida em 1971 (Emiliano, 2015). Ambas percorrem cerca de 1.899.064 quilómetros mensais e possuem uma frota de 364 autocarros, sendo 328 operantes e 36 reservas (utilizado apenas em casos de reposição, devido a quebras mecânicas, atrasos e agendamentos de revisão). A média mensal de passageiros pagantes são cerca de 3.054.605, gerando um consumo total de diesel mensal de 726.509 litros. Esta pesquisa tem como objetivo, analisar por meio do software SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*) a relação entre o tipo de combustível, tipo Diesel (100%) e Dual (Mistura de Diesel + GNV) com fatores como, emissão de CO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub>, o rendimento e a potência. Define-se então como questão de pesquisa: O combustível tipo dual proporciona mais ganhos ambientais em níveis de CO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub> do que o diesel convencional?

A justificativa da pesquisa resume-se na busca de combustíveis alternativos que tenham bom rendimento e baixos índices de poluição, contribuindo ambientalmente para as empresas de transporte público da cidade de Joinville-SC.

O tema foi abordado por alguns autores, como na pesquisa de Martins, Rocha e Sodré (2014), a compara o foi feita em três tipos de combustível gasolina comercial (com 22% de etanol), gás natural comprimido (GNC) e etanol. Esses combustíveis foram testados em um motor convencional com vela de igni o (*spark ignition engine*). E foi constatado a ineficiência do etanol devido ao seu alto consumo de combustível, mas ele obteve vantagens na emissão de CO<sub>2</sub> quando comparado a gasolina. Já em rela o ao GNC ele obteve índices mais baixos em emissão de CO, NO<sub>x</sub> e CO<sub>2</sub>. O GNC obteve o menor  ndice de consumo, mas obteve altos índices de emissão de HC e CH<sub>4</sub>.

Já Kakaee, Rahnama e Paykani (2015), realizaram teste em um motor de combustão alimentado por diesel e gás natural (GNV). Os testes concluíram que o número de Wobbe (WN) afeta significativamente a velocidade do motor de combustão e as emissões de motor. O gás com maiores índices de WN, aumentam a pressão, temperatura e emissão de NOX, mas diminuem os monóxidos de carbono (CO) e hidrocarbonetos não queimados (UHC).

Na pesquisa de Wei e Geng (2016), foram realizados testes em um motor diesel 6 cilindros turbo, utilizando uma mistura de diesel e metanol (dual) e diesel (100%). Os resultados confirmaram que o combustível dual diminui a fumaça em até 78,7% com o A-0,35 (% mistura etanol 25, 50 e 75%) e já com o tipo A-0,62, a redução chega em 84% (% mistura etanol 42, 57 e 71%) quando comparado ao diesel (100%).

A pesquisa de Emiliano et al. (2014), foi feita uma correlação entre o diesel e biodiesel em uma frota de ônibus urbanos na cidade de Joinville-SC. Então foi constatado que o biodiesel reduz cerca de 63,10% nas emissões de gases poluentes, mas financeiramente aumenta mensalmente as despesas operacionais em R\$ 1.000.000. Com bases nesse referencial foi definido a metodologia a ser utilizada pelo presente estudo.

## 2. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Os testes foram realizados no laboratório de motores térmicos no departamento de Engenharia Mecânica na Universidade do Minho, Campus Guimarães, Portugal. O motor utilizado e um Peugeot Partner 1.6 HDi (75 cv), as suas especificações seguem abaixo conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Especificações do motor Peugeot Partner 1.6 HDi (75 cv).

Motor	1.6 HDi (75 HP)
Modelo do Motor	DV6 T162-PC (9HW)
Cilindrada	1560 cm <sup>3</sup>
Nº de Cilindros	4
Potência	55 kW (75 HP) 4000 rpm
Torque	185 N.m @ 1750 pm
Nº de válvulas	16
Tipo de combustível	Diesel
Fornecimento de combustível	Common-Rail system
Taxa de compressão	18:1

Os testes foram realizados todos no mês de setembro de 2015 em diferentes datas, os primeiros testes ocorreram no dia 04/09. No primeiro dia foram analisados os dois tipos de combustíveis (diesel e dual) em diferentes RPM (Rotações por Minuto) 1600, 2000, 2500 e 3000. O segundo dia de testes ocorreu no dia 21/09, terceiro e quarto dia de testes foram realiza dos nos dias 24 e 25/09. Além dos RPM e o tipo de

combustível os testes se diferenciam pela abertura de válvula que simula o acelerador do motor, o controle de gás e o % de mistura de GNV no diesel. Os resultados obtidos que serão considerados nessa pesquisa são a potência total (W), o rendimento (%), volume de CO<sub>2</sub> (%) e NO<sub>x</sub> (ppm /Vol.).

A análise efetuada neste estudo e do tipo retrospectiva, visto que, os dados não resultam de um plano de medidas experimentais baseado num estudo previamente efetuado. Pelo que, apesar de se possuir muitos dados, estes não permitem uma análise relevante. Em consequência do exposto, podemos concluir que os dados estudados podem ser classificados como primários, porque foram coletados pelo próprio investigador. Isto, apesar de não terem sido recolhidos com o objetivo de rejeitar uma hipótese nula. Por sua vez, impossível de formular, pois não existia, a altura, uma pergunta de investigação, única, formulada. Pode, no entanto, considerar-se este estudo como sendo exploratório, ou seja, efetuaram-se uma série de medidas experimentais para o investigador confirmar algumas relações entre as variáveis em estudo, e ganhar mais sensibilidade acerca do assunto.

Assim, serve este estudo de base para desenhar um futuro plano de medidas experimentais, do qual serão recolhidos dados experimentais adequados para uma fácil e rápida análise quantitativa.

A identificação das dificuldades sentidas neste relatório ajuda a perceber a importância de efetuar um bom planeamento de experiência, e de seguir diretrizes de planeamento de experiências:

1. Definição do problema
2. Seleção da variável dependente, variável resposta, sujeita a análise;
3. Escolha das variáveis independentes também designados por fatores, níveis e gama;
4. Escolha do desenho de experiência;
5. Realização da experiência;
6. Análise estatística e discussão dos resultados;
7. Conclusões.

Está-se designadamente a pensar num desenho de experiências completamente aleatório, balanceado e com categorias bem definidas.

### **3 DISCUSSÕES E RESULTADOS**

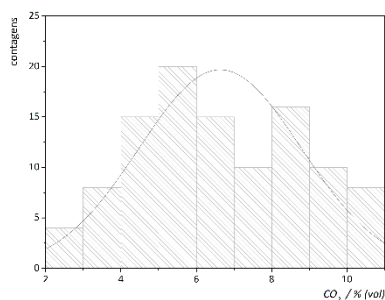
#### **3.1 ESTUDO DA NORMALIDADE DAS VARIÁVEIS RESPOSTA**

Inicialmente foram elaborados histogramas e QQplots, no software OriginPro2016, para verificação de normalidade das variáveis dependentes (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, Rendimento e Potencia). Conforme segue nos próximos subcapítulos:

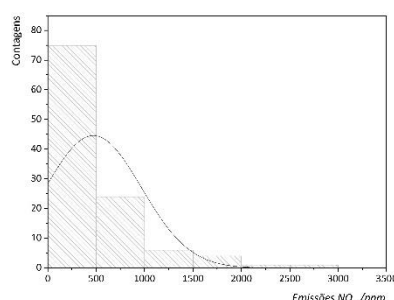
### 3.1.1 Análise dos Histogramas

O histograma apresentado na Figura 3.a, indica que as emissões de CO<sub>2</sub> não são normalmente distribuídas, mais, parece ter uma distribuição bimodal. Por seu turno, o histograma apresentado na figura 3.b, indica que as emissões de NO<sub>x</sub> não são normalmente, designadamente apresenta uma forte assimetria a direita. O histograma apresentado na figura 3.c, sugere que a potência é normalmente distribuída. Quanto ao histograma apresentado na figura 3.d, indica que o rendimento não é normalmente distribuído, apresenta uma assimetria a esquerda e parece ter uma distribuição bimodal.

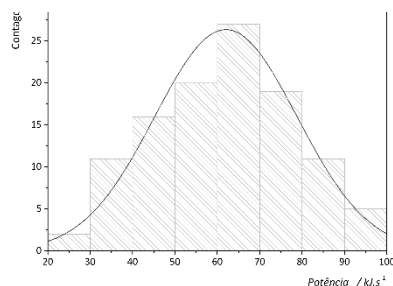
Figura 3: Representação na forma de histogramas da distribuição das medidas obtidas para as variáveis independentes em análise



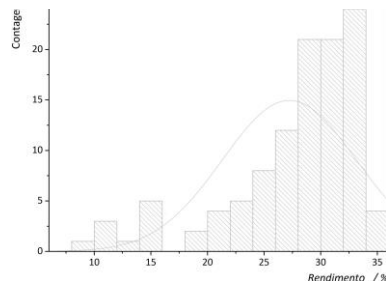
(a) Histograma da concentração de CO<sub>2</sub>, de uma amostra com 111 medidas, com 9 classes definidas de com amplitude 2% (em Vol.).



(b) Histograma da concentração de NO<sub>x</sub>, de uma amostra com 111 medidas, com 7 classes definidas de com amplitude 500 ppm.



(c) Histograma da potência, de uma amostra com 111 medidas, com 8 classes definidas de com amplitude 10 kJ.s<sup>-1</sup>.

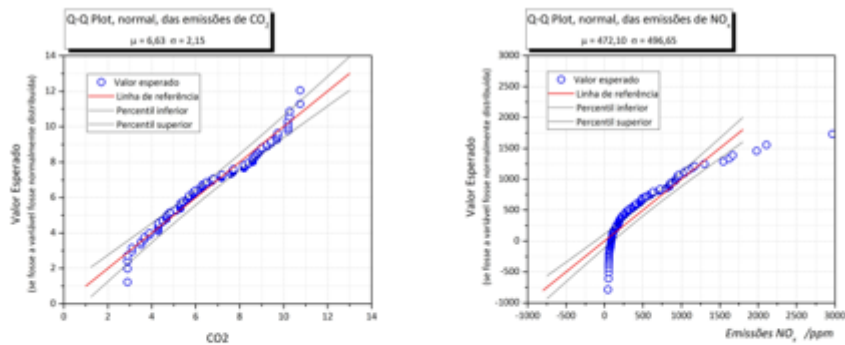


(d) Histograma do rendimento, de uma amostra com 111 medidas, com 15 classes definidas de com amplitude de 2%.

### 3.1.2 Análise do QQ-plots

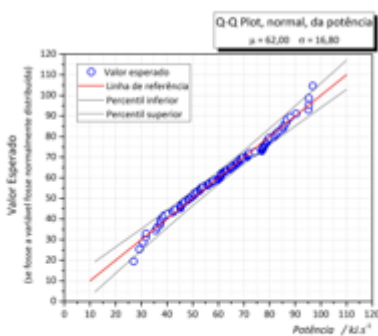
De modo a corroborar as indicações obtidas através da análise dos histogramas das variáveis independentes, as respostas, representou-se a sua distribuição na forma de *QQ plots*, apresentados na Figura 4. A análise dos QQ plots indica nos que apenas a potência é normalmente distribuída, a distribuição das outras variáveis parece não ser suficientemente alinhada com a reta teórica.

Figura 4 - QQPlots das distribuições das variáveis independentes em análise

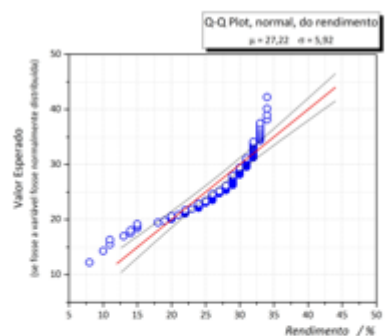


(a) QQPlot da distribuição da concentração do CO<sub>2</sub>, de uma amostra com 111 medidas.

(b) QQPlot da distribuição da concentração de NO<sub>x</sub>, de uma amostra com 111 medidas.



(c) QQPlot da distribuição da potência, de uma amostra com 111 medidas.



(d) QQPlot da distribuição do rendimento, de uma amostra com 111 medidas.

### 3.1.3 O teste de Kolmogorov-Smirnov

Apesar de alguns autores não recomendarem o teste de Kolmogorov-Smirnov para aferir a normalidade de uma distribuição com mais de 30 elementos, outros defendem que se pode testar amostras com cerca de 200 elementos. Pelo que para corroborar as indicações obtidas praticamente realizaram-se este tipo de teste as amostras em estudo, de modo a aferir se eram normalmente distribuídas.

O output do software SPSS é apresentado na Figura 5. O resultado do teste para a potência é 0,76 e de 0,83 para as emissões de CO<sub>2</sub>. O que corresponde uma significância mínima de pelo menos 0,200. Daí se concluí que os dados indicam que as variáveis potência, e emissões de CO<sub>2</sub>, são normalmente distribuídas, isto porque não se rejeita a hipótese para essas variáveis, que é serem normalmente distribuídas. A forma correta de apresentar estes resultados é, no caso das emissões, da seguinte forma: D(111)=0,83, p= 200.

O output do software SPSS é apresentado na Figura 5.

Figura 5: *outputs* do SPSS, após realização de um teste tipo *Kolmogorov-Smirnov*

		Teste de Kolmogorov-Smirnov de uma amostra			
		potência_w	rendimento	CO2	NOx
N		55	55	55	55
Parâmetros normais <sup>a,b</sup>	Média	59368,4182	,2802	6,5967	401,1368
	Desvio Padrão	16850,35143	,05707	2,12986	323,87859
Diferenças Mais Extremas	Absoluto	,076	,223	,083	,154
	Positivo	,055	,147	,083	,154
	Negativo	-,076	-,223	-,083	-,135
Estatística do teste		,076	,223	,083	,154
Significância Assint. (Bilateral)		,200 <sup>c,d</sup>	,000 <sup>c</sup>	,200 <sup>c,d</sup>	,002 <sup>c</sup>

a. A distribuição do teste é Normal.

b. Calculado dos dados.

c. Correção de Significância de Lilliefors.

d. Este é um limite inferior da significância verdadeira.

O resultado do teste para a potência é 0,76 e de 0,83 para as emissões de CO2. O que corresponde uma significância mínima de pelo menos 0,200. Daí se conclui que os dados indicam que as variáveis potência, e emissões de CO2, são normalmente distribuídas, isto porque não se rejeita a hipótese para essas variáveis, que é serem normalmente distribuídas. A forma correta de apresentar estes resultados é, no caso das emissões, da seguinte forma:  $D(111)=0,83, p= 200$ .

A forma correta de apresentar estes resultados é, no caso das emissões, da seguinte forma:  $D(111)=0,83, p= 200$ . Do exposto anteriormente, conclui-se que a análise estatística dos dados indica que as conclusões obtidas por observação dos gráficos apresentados nas figuras 3.1 e 3.2 não estão corretas. Ou seja, além da potência, as emissões de CO2 também seguem uma distribuição normal.

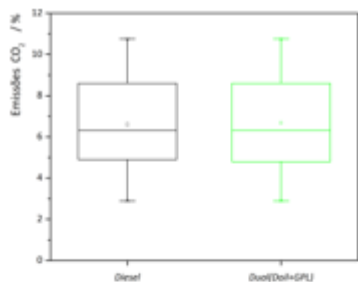
### 3.2 ANÁLISE GRÁFICA DO RESULTADOS OBTIDOS

Apresentam-se na Figura 6 os dados, agrupados por tipo de combustível, em forma de boxplots. A observação dos gráficos apresentados, sugerem que não existe diferença, nas emissões de CO2 e de NOx, na potência e no rendimento entre os tipos de combustíveis testados.

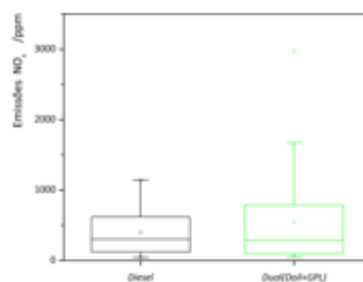
A observação dos gráficos apresentados na Figura 6, sugerem que:

- Figura: 6.a O aumento das rpm diminui a concentração de emissões de CO2;
- Figura: 6.b O aumento das rpm diminui a concentração de emissões de NOx;
- Figura: 6.c O aumento das rpm, parece não ter efeito na potência quando se usa diesel, ao invés, parece aumentar a potência quando se usa dual;
- Figura: 6.d aumento das rpm diminui o rendimento.

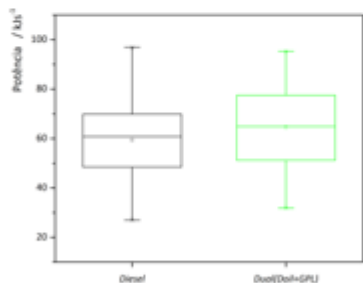
Figura 6 - Representação na forma de *Boxplot* das medidas obtidas, para as variáveis independentes em análise, agrupadas por tipo de combustível.



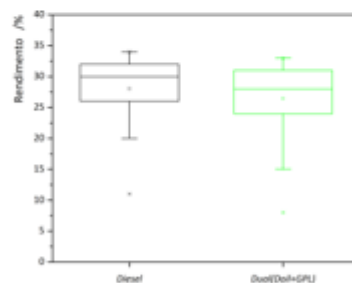
(a) *Boxplot* da concentração de CO<sub>2</sub>, de uma amostra com 111 medidas, agrupadas por tipo de combustível.



(b) *Boxplot* da concentração de NO<sub>x</sub>, de uma amostra com 111 medidas, agrupadas por tipo de combustível.



(c) *Boxplot* da potência, de uma amostra com 111 medidas, agrupadas por tipo de combustível.



(d) *Boxplot* do rendimento, de uma amostra com 111 medidas, agrupadas por tipo de combustível.

### 3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA DO RESULTADOS OBTIDOS

Na perspectiva dos autores, neste estudo em particular, a análise estatística tem como principal função suportar ou relatar as conclusões obtidas por meio da análise gráfica dos resultados. O nível de significância escolhido foi  $\alpha = 0,05$ .

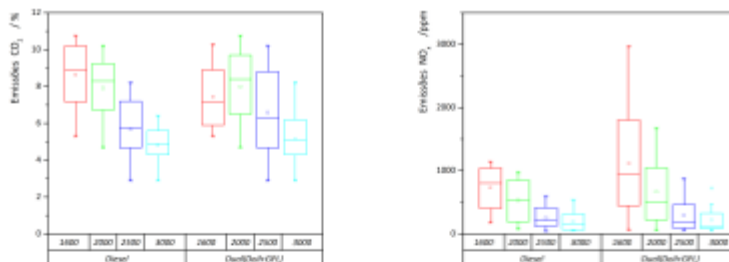
Pelo que, a primeira tarefa é verificar se existem diferenças estatística significativas entre as variáveis independentes, quando se muda de tipo de combustíveis. Essa empreitada é realizada na subsecção Estudo do efeito do combustível. Depois, identificam-se as relações existentes entre as variáveis.

Na Tabela 2 resume-se as relações descritas. Assim na segunda e terceira coluna descreve-se o efeito que o aumento de rotações causa, nas variáveis independentes em estudo para cada tipo de combustível em particular. Enquanto que, na quarta coluna se compara a alteração provocada pela troca de combustíveis, nas variáveis respostas em estudo. Os símbolos utilizados devem ser interpretados da seguinte forma:



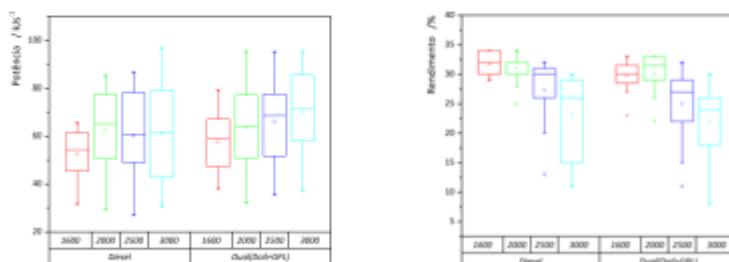
- ↓↓ Diminuição expressiva
- ↓ Diminuição débil
- ≈ Sem variação aparente
- ↑↑ Aumento expressivo

Figura 7 - Representação na forma de Boxplot das medidas obtidas, para as variáveis independentes em análise, agrupadas por tipo de combustível, Diesel ou Dual, e por classes de rpm.



(a) *Boxplot* da concentração de CO<sub>2</sub>, de uma amostra com 111 medidas, agrupadas por tipo de combustível, Diesel ou Dual, e por rpm.

(b) *Boxplot* da concentração de NO<sub>x</sub>, de uma amostra com 111 medidas, agrupadas por tipo de combustível e por rpm.



(c) *Boxplot* da potência, de uma amostra com 111 medidas, agrupadas por tipo de combustível e por rpm.

(d) *Boxplot* do rendimento, de uma amostra com 111 medidas, agrupadas por tipo de combustível e por rpm.

Tabela 2 - Resumo das relações observadas.

	Diesel	Dual	Comparação entre combustíveis
Emissões de CO <sub>2</sub>	↓↓	↓	≈
Emissões de NO <sub>x</sub>	↓↓	↓↓	≈
Potência	≈	↑	≈
Rendimento	↓↓	↓	≈

### 3.3.1 Estudo do efeito do combustível

Variáveis que seguem uma distribuição normal, emissões de CO<sub>2</sub> e potência porque, as emissões de CO<sub>2</sub> e a potência seguem uma distribuição normal, optou-se por realizar testes paramétricos com estas variáveis. Designadamente o teste-t, visto que as amostras são independentes e o fator combustível só tem dois níveis, diesel ou dual. foi verificada a igualdade das variâncias das amostras, para as duas variáveis através de um teste de levene. O resultado obtido para as emissões de CO<sub>2</sub> foi: [teste-t,  $t(109)=-0,626, p=0.532$ ]

Por sua vez para a potência foi: [teste-t,  $t(109)=1,652, p=0.101$ ]

Para os dados considerados, segundo a regra de decisão anteriormente referida em 3.3, não existem evidências para rejeitar H<sub>0</sub>. Pelo que se conclui que não existe diferença significativa entre as médias de emissões de CO<sub>2</sub>, e entre médias de potência dos dois tipos de combustíveis.

Variáveis que não seguem uma distribuição normal, emissões de NO<sub>x</sub> e rendimento porque, as emissões de NO<sub>x</sub> e o rendimento não seguem uma distribuição normal, optou-se por realizar testes não paramétricos com estas variáveis. Designadamente o teste Mann-Whitney, visto que as amostras são independentes e o fator combustível só tem dois níveis, Diesel ou dual. O resultado obtido para as emissões de NO<sub>x</sub> foi: [Mann-Whitney,  $U=1467, p=0.667$ ].

Por sua vez para o rendimento foi: [Mann-Whitney,  $U=1242, p=0.078$ ] Para os dados considerados, segundo a regra de decisão anteriormente referida, não existem evidências para rejeitar H<sub>0</sub>. Pelo que se conclui que não existe diferença significativa entre as médias de emissões de NO<sub>x</sub>, e entre médias do rendimento dos dois tipos de combustíveis. Concluímos que os resultados dos testes estatísticos suportam a análise gráfica efetuada acerca do efeito da alteração de combustível, ver terceira coluna da Tabela 2.

### 3.3.2 Estudo do efeito das RPM

Variáveis que seguem uma distribuição normal, emissões de CO<sub>2</sub> e potência porque, as emissões de CO<sub>2</sub> e a potência seguem uma distribuição normal, optou-se por realizar testes paramétricos com estas variáveis. Designadamente uma análise variância univariada, visto que as amostras são independentes e o fator rpm tem quatro níveis, 1.600, 2.000, 2.500 e 3.000. Todavia, no caso do estudo da potência este modelo não se ajustava minimamente, pelo que se optou por realizar um teste não paramétrico para essa variável.

No caso das emissões de CO<sub>2</sub>, apresenta-se na figura a tabela dos efeitos entre sujeitos resultante da análise efetuada. Foi verificado a normalidade dos resíduos normalizados, através de um teste de Kolmogorov-smirnov [ $D(111)=0,60 p= 0,200$ ], e também comprovada pelo valor do máximo (1,88) e do mínimo (-2,4) serem inferior ao valor de referência  $\pm 3$ . A homogeneidade foi verificada graficamente através da representação gráfica dos resíduos em função dos níveis do fator. Em face aos resultados apresentados na Figura 8.

Figura 8 - *outputs* do SPSS, após realização de teste de análise de variância univariada.

Testes de efeitos entre sujeitos

Variável dependente: CO2

Origem	Tipo III Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
Modelo corrigido	222,819 <sup>a</sup>	7	31,831	12,222	,000
Intercepto	4777,729	1	4777,729	1834,507	,000
Combustível * RPM	4,192	3	1,397	,537	,658
RPM	217,115	3	72,372	27,789	,000
Combustível	2,591	1	2,591	,995	,321
Erro	268,250	103	2,604		
Total	5137,111	111			
Total corrigido	491,069	110			

a. R Quadrado = ,454 (R Quadrado Ajustado = ,417)

Interação:  $F(3)=0.537$ ,  $p=0,658$ ;

RPM:  $F(3)=27,789$ ,  $p<0,001$ ;

Combustível:  $F(1)=0,995$   $p=0,321$ .

E segundo a regra de decisão anteriormente referida, não existem evidências para rejeitar a hipótese nula referente a interação entre fatores e a referente ao fator combustível. Todavia existe evidências suficientes para rejeitar a hipótese nula referente ao fator rpm. Pelo que se concluí que não existe diferença significativa entre as médias de emissões de CO<sub>2</sub>, dos dois tipos de combustíveis, mas existem quando agrupadas por RPM.

Um teste post-hoc de Tukey HSD revela que existem dois subconjuntos homogêneos, o {1.600, 2.000} e o {2.500, 3.000}. Concluimos que os resultados deste teste estatístico suportam a análise gráfica efetuada acerca do efeito da alteração das rpm nas emissões de CO<sub>2</sub>, ver terceira coluna da Tabela 4.

Variáveis que não seguem uma distribuição normal, emissões de NO<sub>x</sub> e o rendimento, além da potência porque, as emissões de NO<sub>x</sub> e o rendimento não seguem uma distribuição normal, optou-se por realizar testes não paramétricos com estas variáveis. Designadamente o teste Kruskal-Wallis, visto que as amostras são independentes e o fator RPM só tem quatro níveis, 1.600, 2.000, 2.500 e 3.000. Também se aplicou o mesmo teste a potência, porque, como já referido o teste paramétrico não foi satisfatório.

Os dados foram separados pela categoria de combustível, visto que já foi verificado que não existe interação significativa entre estes dois fatores. Escolhe-se apresentar os resultados obtidos para a categoria Dual, porque são os que podiam levantar alguma dúvida quanto a comparação das médias da variável resposta potência, em relação as RPM. Os resultados obtidos foram:

Potência:  $H(3)=4,019$   $p=0,259$ ;

Rendimento:  $H(3)=18,940$ ,  $p<0,001$ ;

NO<sub>x</sub>:  $H(3)=35,049$   $p=0,001$ .

Em face dos resultados obtidos, com os dados considerados, e segundo a regra de decisão anteriormente referida em 3.3, considera-se que:

- Potência: não existem evidências para rejeitar H<sub>0</sub>;
- Rendimento: existem evidências para rejeitar H<sub>0</sub>;
- NO<sub>x</sub>: existem evidências para rejeitar H<sub>0</sub>.

A análise similar aos dados agrupados pelo combustível Diesel, tem as mesmas conclusões. Assim, mais uma vez, concluímos que os resultados dos testes estatísticos suportam a maioria da análise gráfica efetuada acerca do efeito da alteração das RPM, no caso do combustível dual, ver segunda coluna da Tabela 2. A única divergência verificada é na célula (Dual; potência), na qual consideramos ↑, porém o teste estatístico indica que essa variação não tem significância estatística.

#### 4. CONCLUSÕES

A utilização de combustíveis alternativos é uma realidade não apenas por economia, mas também visando minimização das taxas de emissões. No transporte público de diversas cidades, esses novos combustíveis vêm sendo adotado. Com base nisso, estima-se que a cidade de Joinville poderia se beneficiar com a utilização de combustíveis alternativos. Sendo assim, o presente estudo tinha como objetivo verificar os ganhos ambientais de CO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub> entre os combustíveis dual e diesel convencional.

Entretanto, baseado nos dados recolhidos, indicam que não se observam diferenças significativas de emissões de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, Potencia e Rendimento entre a utilização de Diesel ou de Dual. Pelo que se conclui que não se justifica uma alteração de tecnologia, do combustível diesel para o tipo dual no transporte público de Joinville-SC. Pois toda frota necessitaria da instalação de um kit de adaptação para utilização do GNV, investimento avultado ao qual não corresponderia ganhos ambientais significativos.

#### REFERÊNCIAS

- EMILIANO, W. M. et al. Impacto da Utilização do Biodiesel no Transporte Coletivo de Joinville - SC, *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, vol. 9, n. 1. pp. 176-185, 06-Jun- 2014.
- IANGV, 2013. Estatísticas atuais de gás natural para veículos. Acessado no dia 10 de novembro de 2019. Disponível em: <<http://www.iangv.org/current-ngv-stats/>>.
- KAKAEE, A. H.; RAHNAMA P.; PAYKANI, A. Influence of fuel composition on combustion and emissions characteristics of natural gas/diesel RCCI engine. *J. Nat. Gas Sci. Eng.*, vol. 25, pp. 58-65, Jul. 2015.
- MARTINS, A. A.; ROCHA, R. A. D.; SODRE, J. R. Cold start and full cycle emissions from a flexible fuel vehicle operating with natural gas, ethanol and gasoline, *J. Nat. Gas Sci.Eng.*, vol. 17, pp. 94-98, Mar. 2014.
- WEI, L., GENG, P. A review on natural gas/diesel dual fuel combustion, emissions and performance Fuel Process. *Technol.*, vol. 142, pp. 264-278, Fev. 2016.