

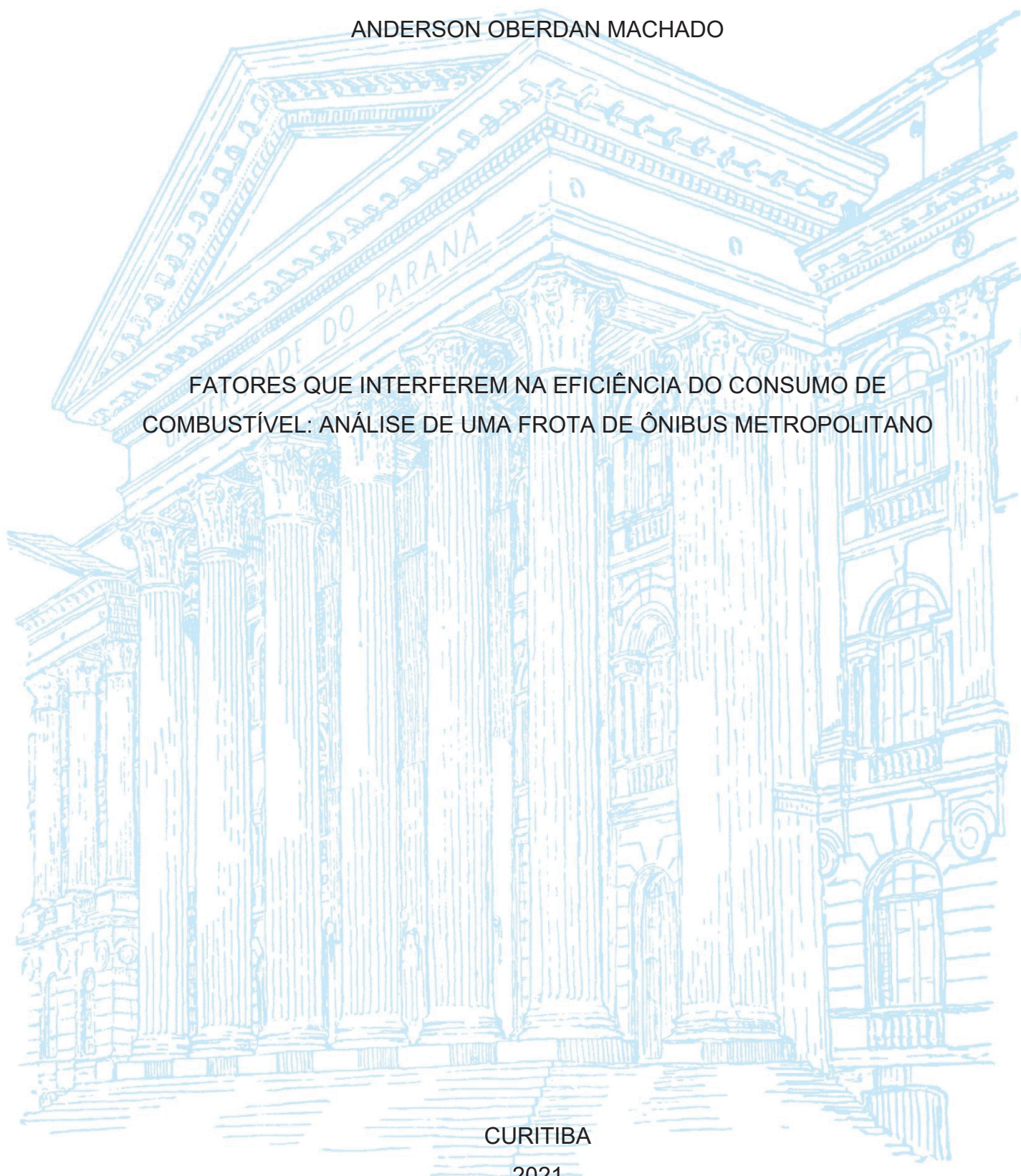
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ANDERSON OBERDAN MACHADO

FATORES QUE INTERFEREM NA EFICIÊNCIA DO CONSUMO DE
COMBUSTÍVEL: ANÁLISE DE UMA FROTA DE ÔNIBUS METROPOLITANO

CURITIBA

2021



ANDERSON OBERDAN MACHADO

FATORES QUE INTERFEREM NA EFICIÊNCIA DO CONSUMO DE
COMBUSTÍVEL: ANÁLISE DE UMA FROTA DE ÔNIBUS METROPOLITANO

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Gestão de Organizações, Liderança e Decisão, Setor de Ciências Sociais Aplicadas da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Gestão de Organizações, Liderança e Decisão.

Orientador: Prof. Dr. Egon Walter Wildauer

CURITIBA

2021

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA DE CIÊNCIAS SOCIAIS
APLICADAS – SIBI/UFPR COM DADOS FORNECIDOS PELO(A) AUTOR(A)
Bibliotecária: Maria Lidiane Herculano Graciosa – CRB 9/2018

Machado, Anderson Oberdan

Fatores que interferem na eficiência do consumo de combustível:
análise de uma frota de ônibus metropolitano / Anderson Oberdan
Machado. - 2021.

131 p.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná. Programa
de Pós-Graduação em Gestão de Organizações, Liderança e Decisão, do
Setor de Ciências Sociais Aplicadas.

Orientador: Egon Walter Wildauer.

Defesa: Curitiba, 2021.

1. Gestão estratégica. 2. Processo decisório. 3. Transporte urbano.
4. Consumo de combustível. 5. Ônibus. I. Universidade Federal do
Paraná. Setor de Ciências Sociais Aplicadas. Programa de
Pós-Graduação em Gestão de Organizações, Liderança e Decisão.
II. Wildauer, Egon Walter. III. Título.

CDD 658.04

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação GESTÃO DE ORGANIZAÇÕES, LIDERANÇA E DECISÃO da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **ANDERSON OBERDAN MACHADO** intitulada: **Fatores que interferem Na eficiência do consumo de combustível: análise de uma frota de ônibus metropolitano**, sob orientação do Prof. Dr. EGON WALTER WILDAUER, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 06 de Dezembro de 2021.

Assinatura Eletrônica
09/12/2021 11:53:05.0
EGON WALTER WILDAUER
Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica
07/12/2021 16:33:59.0
CASSIUS TADEU SCARPIN
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica
07/12/2021 16:46:39.0
GUSTAVO VALENTIM LOCH
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica
08/12/2021 15:04:23.0
PABLO DEIVID VALLE
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Dedico este trabalho a todos que apoiaram e principalmente
me inspiraram a buscar mais conhecimentos
e viver experiências desafiadoras.

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente à Providência Divina, a qual foi meu alento nos momentos de dificuldades e preservou-me com saúde neste cenário de pandemia. Meus agradecimentos a meu orientador, professor Dr. Egon Walter Wildauer pelos direcionamentos e por me tirar da zona de conforto, nas ocasiões onde ali enxerguei um lugar seguro, porém muitas vezes limitado; agradeço aos demais professores que apoiaram e auxiliaram esta pesquisa, nominalmente ao professor Dr. Cassius Tadeu Scarpin, brilhante conhecedor do tema transporte coletivo, pelos ricos debates; ao professor Dr. Gustavo Valentim Loch, por compartilhar seus conhecimentos e pela motivação, assim como, a professora Dra. Simone Cristina Ramos que, além de despertar meu interesse pelo estudo de processos decisórios, foi brilhante motivadora a sermos profissionais que vão muito além de “contadores de histórias”.

Não poderia deixar de agradecer as empresas de transporte público e a Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba, por compartilharem os dados que tornaram possível esta pesquisa.

Agradeço principalmente minha família, esposa e filhos, pelo apoio, compreensão e aceitação de minha abstenção durante esta etapa; sem vocês esta caminhada teria sido muito mais árdua.

A todos meu muito obrigado!

Há uma limitação desconcertante de nossa mente: nossa confiança excessiva no que acreditamos saber, e nossa aparente incapacidade de admitir a verdadeira extensão da nossa ignorância. (KAHNEMAN, 2011, p. 19)

RESUMO

O serviço de transporte público coletivo é um dos principais elementos de desenvolvimento das grandes cidades; composto de um conjunto de atividades, onde o consumo de combustível tem relevância, principalmente em função do impacto na composição dos custos. Em empresas de ônibus, dados do processo de consumo de combustível servem de apoio a tomada de decisões estratégicas e operacionais, permitindo melhorias na produtividade e nos resultados econômicos e socioambientais. Utilizando dados de uma frota de ônibus que atua na região metropolitana de Curitiba-PR, objetivou-se identificar e medir fatores com maior significância no consumo de combustível, propondo assim, estratégias que melhorem seu aproveitamento. O alcance destes objetivos se deu, com o estudo da literatura sobre o processo de tomada de decisões estratégicas, serviço de transporte coletivo por ônibus, técnicas de coleta e tratamento de dados estruturados e análises estatísticas correlacionais. Fez parte do método: o mapeamento do processo para a obtenção de dados de consumo de combustível; a qualificação dos dados, por meio de regras de negócios e da análise do intervalo interquartil; a obtenção do grau de associação entre as variáveis quantitativas, por meio da análise de correlação e do coeficiente de determinação; a verificação de diferenças estatisticamente significativas entre os grupos de variáveis qualitativas, por meio da análise de variância; a definição de construtos adjacentes aos dados, por meio da análise fatorial exploratória e a identificação das variáveis com maior impacto nos resultados de consumo, por meio da análise de componentes principais. O trabalho foi de natureza aplicada, com abordagem quantitativa, utilizando o método correlacional. Os resultados demonstraram que os dados originalmente obtidos representavam o processo com 86,99% de precisão; que os tipos de veículos, os quais estão diretamente relacionados à potência dos motores, tem a maior correlação com o consumo de combustível e que o agrupamento das variáveis em 2 componentes principais, o primeiro ligado ao planejamento das linhas e um segundo a operação dos serviços, conseguem explicar 63,6% da variância nos dados da pesquisa. Como contribuição, a etapa de qualificação dos dados apresenta uma metodologia de avaliação e estímulo, para a criação de um programa formal de gerenciamento de qualidade dos dados; já as análises das variáveis permitiram, além de elencar os fatores relevantes no consumo, construir estratégias adjacentes ao melhor aproveitamento do combustível.

Palavras-chave: transporte coletivo; consumo de combustível; tomada de decisão; gestão estratégica; ônibus.

ABSTRACT

The Public Transportation service is one of the main elements of development in large cities; composed of a set of activities, where fuel consumption is relevant, mainly due to the impact on the composition of costs. In bus companies, data from the fuel consumption process support strategic and operational decision-making, allowing for improvements in productivity and in economic and socio-environmental results. Using data from a bus fleet operating in the metropolitan region of Curitiba-PR, the objective was to identify and measure factors with greater significance in fuel consumption, thus proposing strategies to improve its use. These objectives were achieved through the study of the literature on the strategic decision-making process, public transport by bus, techniques for collecting and processing structured data and correlational statistical analyses. The method included mapping the process to obtain fuel consumption data; data qualification through business rules and interquartile range analysis; obtaining the association degree between the quantitative variables, through the correlation analysis and determination coefficient. It also included statistically significant differences verification between qualitative variable groups, through variance analysis; the definition of constructs adjacent to the data, through exploratory factor analysis, and the identification of variables with the greatest impact on consumption results, through main component analysis. The work was of an applied nature, with a quantitative approach, using the correlational method. The results showed the data originally obtained represented the process with 86.99% accuracy. The types of vehicles, which are directly related to engine power, have the highest correlation with fuel consumption and the grouping of variables are into 2 main components; the first linked to line planning and the second to service operation, can explain 63.6% of the variance in the survey data. As a contribution, the data qualification stage presents an assessment and stimulus methodology for the creation of a formal program of data quality management; on the other hand, the analyses of the variables allowed, in addition to listing the relevant factors in consumption, to build strategies adjacent to the best use of fuel.

Keywords: Public transport; fuel consumption; decision-making; strategic management; buses.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - VARIAÇÃO DO PREÇO DO ÓLEO DIESEL NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA ENTRE 2017 E 2019	2
FIGURA 2 - DIVISÃO GLOBAL DO CONSUMO DE ENERGIA POR MODAL DE TRANSPORTE.....	5
FIGURA 3 - MAPA METODOLÓGICO DA PESQUISA.....	11
FIGURA 4 - SEQUÊNCIA DE ETAPAS DA PESQUISA	13
FIGURA 5 - SISTEMA DE ESTIMULAÇÃO À AÇÃO	15
FIGURA 6 - TAXA DE URBANIZAÇÃO NO BRASIL. PERCENTUAL DE PESSOAS VIVENDO NO CAMPO E NA CIDADE ENTRE 1940 E 2010	24
FIGURA 7 - RECORTES DA EVOLUÇÃO DA REDE INTEGRADA DE TRANSPORTE (RIT) DE CURITIBA E REGIÃO METROPOLITANA ENTRE 1974 E 2015.....	25
FIGURA 8 - CONSUMO DE PRODUTOS DE ÓLEO POR SETOR ENTRE 1990-2018	30
FIGURA 9 - MAPA METODOLÓGICO	38
FIGURA 10 - ESTRUTURA DOS GRUPOS DE OPERAÇÃO DAS LINHAS DA RMC	40
FIGURA 11 - PROCESSO DE CONSUMO, ABASTECIMENTO E GESTÃO DE COMBUSTÍVEL	42
FIGURA 12 - RELATÓRIO DE MÉDIA DE COMBUSTÍVEL EMITIDO A PARTIR DO ERP.....	43
FIGURA 13 - MAPA DO NÚCLEO URBANO CENTRAL DA RMC	44
FIGURA 14 - EMBARQUE DE PASSAGEIROS EM TERMINAL METROPOLITANO	45
FIGURA 15 – MODELO CONCEITUAL DE ENTIDADE RELACIONAMENTO DOS DADOS DA PESQUISA.....	50
FIGURA 16 - PROCESSO DE INSPEÇÃO E QUALIFICAÇÃO DOS DADOS DA PESQUISA.....	52
FIGURA 17 - EXEMPLOS DE ANÁLISES ESTATÍSTICAS UTILIZANDO SISTEMA DE BUSINESS INTELLIGENCE	55

FIGURA 18 – EXEMPLO DA APLICAÇÃO DO TESTE ANOVA E DE TUKEY SOBRE OS DADOS DA PESQUISA POR MEIO DO SOFTWARE JAMOVl.....	56
--	----

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - DISPERSÃO DOS DADOS DE QUILOMETRAGEM RODADA E COMBUSTÍVEL CONSUMIDO ANTES DA ELIMINAÇÃO DOS OUTLIERS DIVERGENTES.....	68
GRÁFICO 2 - GRÁFICO DE BOXPLOT COM O ESPALHAMENTO DOS DADOS ANTES DA ELIMINAÇÃO DOS OUTLIERS DIVERGENTES	69
GRÁFICO 3 -DISPERSÃO DOS DADOS INLIERS DE RODAGEM E ABASTECIMENTO	70
GRÁFICO 4 - GRÁFICO BOXPLOT POR TIPO DE ÔNIBUS DOS DADOS INLIERS	72
GRÁFICO 5 - HISTOGRAMA – DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DAS MÉDIAS DE CONSUMO DE COMBUSTÍVEL POR QUILÔMETRO RODADO	79
GRÁFICO 6 - BOXPLOT DA MÉDIA KM/LITRO POR TIPO DE ÔNIBUS	89
GRÁFICO 7 - AUTOVALORES E NÚMERO DE FATORES	111
GRÁFICO 8 - AUTOVALORES E NÚMERO DE COMPONENTES	113

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - ESTUDOS DE FATORES QUE INTERFEREM NO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL	6
QUADRO 2 - TRABALHOS LOCALIZADOS EM FONTES DE DADOS CIENTÍFICOS E ACADÊMICOS DE ACORDO COM PARÂMETROS DE PESQUISA	9
QUADRO 3 - MAPAS DOS DIFERENTES TIPOS DE LINHAS DA RMC	41
QUADRO 4 - BANCO DE DADOS, TABELAS E CONEXÃO ENTRE SERVIDORES PARA O BANCO DE DADOS DA PESQUISA	47
QUADRO 5 - ESTRUTURA DE TABELAS UTILIZADAS PARA ARMAZENAMENTO DE DADOS MESTRES DA PESQUISA	48
QUADRO 6 - ESTRUTURA DE TABELAS UTILIZADAS PARA ARMAZENAMENTO DE DADOS TRANSACIONAIS DA PESQUISA	49
QUADRO 7 - ETAPAS DO PROCESSO DE INSPEÇÃO DOS DADOS BRUTOS COLETADOS PARA A PESQUISA	64
QUADRO 8 - APLICAÇÃO DAS REGRAS DE QUALIFICAÇÃO DOS DADOS DA PESQUISA	66
QUADRO 9 – GRÁFICOS BOXPLOT DA MÉDIA KM/LITRO POR TIPO / MARCA DE VEÍCULO	91
QUADRO 10 - GRÁFICOS BOXPLOT DA MÉDIA KM/LITRO POR TIPO / MODELO DE VEÍCULO	93
QUADRO 11 – GRÁFICOS BOXPLOT DA MÉDIA KM/LITRO POR TIPO / CÂMBIO DE VEÍCULO	95
QUADRO 12 – GRÁFICOS BOXPLOT DA MÉDIA KM/LITRO POR TIPO DE DIA / TIPO DO VEÍCULO	97
QUADRO 13 – GRÁFICOS BOXPLOT DA MÉDIA KM/LITRO POR TIPO MÊS / TIPO DO VEÍCULO	99
QUADRO 14 – GRÁFICOS BOXPLOT DA MÉDIA KM/LITRO POR GRUPO DE OPERAÇÃO / TIPO DE ÔNIBUS	104
QUADRO 15 – GRÁFICOS BOXPLOT DA MÉDIA KM/LITRO POR REGIÃO / TIPO DE ÔNIBUS	108

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – SINTESE DO DESENVOLVIMENTO DO MOTOR DIESEL DE ALTO DESEMPENHO.....	28
TABELA 2 - PARÂMETROS DE CONSUMO DE COMBUSTÍVEL PREVISTOS PARA 2019	31
TABELA 3 - GRAU DE CORRELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS	35
TABELA 4 - CLASSES E CARACTERÍSTICAS DOS VEÍCULOS UTILIZADOS NO TPC DA RMC.....	39
TABELA 5 - DEFINIÇÃO DE TAMANHOS MÍNIMOS DE AMOSTRAS VÁLIDAS PARA AS VARIÁVEIS DE AGRUPAMENTOS	54
TABELA 6 – VARIÁVEIS QUALITATIVAS	58
TABELA 7 – DADOS DOS TIPOS DE VEÍCULOS PARTICIPANTES DO ESTUDO	59
TABELA 8 – DADOS DAS MARCAS DE VEÍCULOS PARTICIPANTES DO ESTUDO	59
TABELA 9 – DADOS DOS MODELOS DE VEÍCULOS PARTICIPANTES DO ESTUDO	60
TABELA 10 – DADOS DOS TIPOS DE CÂMBIO DOS VEÍCULOS PARTICIPANTES DO ESTUDO.....	61
TABELA 11 - DADOS DOS GRUPOS DE OPERAÇÃO DAS LINHAS AVALIADAS NO ESTUDO.....	61
TABELA 12 – DADOS DAS REGIÕES DE ATENDIMENTO DAS LINHAS AVALIADAS NO ESTUDO	62
TABELA 13 – DADOS DOS TIPOS DE DIAS DE OPERAÇÃO AVALIADOS NO ESTUDO	63
TABELA 14 - QUANTIDADE DE REGISTROS DE ABASTECIMENTOS E OPERAÇÃO POR MÊS	63
TABELA 15 - VARIÁVEIS QUANTITATIVAS	64
TABELA 16 - COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO E DE DETERMINAÇÃO POR TIPO DO VEÍCULO ANTES DA ELIMINAÇÃO DOS OUTLIERS DIVERGENTES	67
TABELA 17 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVA DE COMPOSIÇÃO DOS DADOS POR TIPO DE VEÍCULO ANTES DA ELIMINAÇÃO DOS OUTLIERS DIVERGENTES	68

TABELA 18 – COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO E DETERMINAÇÃO POR TIPO DE ÔNIBUS DOS DADOS <i>INLIERS</i>	71
TABELA 19 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVA DA COMPOSIÇÃO DOS DADOS <i>INLIERS</i> POR TIPO DE ÔNIBUS	71
TABELA 20 - VALORES MÉDIOS DAS VARIÁVEIS QUANTITATIVAS POR TIPO DE ÔNIBUS	74
TABELA 21 - VALORES MÉDIOS DAS VARIÁVEIS QUANTITATIVAS POR MARCA DE ÔNIBUS	74
TABELA 22 - VALORES MÉDIOS DAS VARIÁVEIS QUANTITATIVAS POR MODELO DE ÔNIBUS.....	75
TABELA 23 - VALORES MÉDIOS DAS VARIÁVEIS QUANTITATIVAS POR TIPO DE CÂMBIO	76
TABELA 24 - VALORES MÉDIOS DAS VARIÁVEIS QUANTITATIVAS POR GRUPO DE OPERAÇÃO	77
TABELA 25 - VALORES MÉDIOS DAS VARIÁVEIS QUANTITATIVAS POR REGIÃO GEOGRÁFICA	77
TABELA 26 - VALORES MÉDIOS DAS VARIÁVEIS QUANTITATIVAS POR TIPO DE DIA DE OPERAÇÃO	78
TABELA 27 - VALORES MÉDIOS DAS VARIÁVEIS QUANTITATIVAS POR MÊS DE OPERAÇÃO	78
TABELA 28 - COEFICIENTE DA CORRELAÇÃO DE PEARSON E COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS INDEPENDENTES QUANTITATIVAS E A VARIÁVEL DEPENDENTE DE KM/L - GERAL	80
TABELA 29 - COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON E COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS INDEPENDENTES QUANTITATIVAS E A VARIÁVEL DEPENDENTE KM/L - POR TIPO DE ÔNIBUS	81
TABELA 30 - COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON E COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS INDEPENDENTES QUANTITATIVAS E A VARIÁVEL DEPENDENTE KM/L - POR MARCA DE VEÍCULO	82
TABELA 31 - COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON E COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS INDEPENDENTES	

QUANTITATIVAS E A VARIÁVEL DEPENDENTE KM/L - POR MODELO DE VEÍCULO	83
TABELA 32 - COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON E COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS INDEPENDENTES QUANTITATIVAS E A VARIÁVEL DEPENDENTE KM/L - POR TIPO DE CÂMBIO DO VEÍCULO	85
TABELA 33 - COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON E COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS INDEPENDENTES QUANTITATIVAS E A VARIÁVEL DEPENDENTE KM/L - POR TIPO DE DIA DE OPERAÇÃO	85
TABELA 34 - COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON E COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS INDEPENDENTES QUANTITATIVAS E A VARIÁVEL DEPENDENTE KM/L - POR MÊS DE OPERAÇÃO	86
TABELA 35 - COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON E COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS INDEPENDENTES QUANTITATIVAS E A VARIÁVEL DEPENDENTE KM/L - POR GRUPO DE OPERAÇÃO	87
TABELA 36 - COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON E COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS INDEPENDENTES QUANTITATIVAS E A VARIÁVEL DEPENDENTE KM/L - POR REGIÃO GEOGRÁFICA DE OPERAÇÃO	88
TABELA 37 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA MÉDIA KM/LITRO - POR TIPO DE ÔNIBUS	89
TABELA 38 - TESTE POST HOC DE TUKEY POR TIPO DE ÔNIBUS.....	90
TABELA 39 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA MÉDIA KM/LITRO POR TIPO / MARCA DE VEÍCULO	90
TABELA 40 – TESTE POST HOC DE TUKEY POR TIPO / MARCA DE VEÍCULO .	92
TABELA 41 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA MÉDIA KM/LITRO POR TIPO / MODELO DE VEÍCULO	92
TABELA 42 - TESTE POST HOC DE TUKEY POR TIPO / MODELO DE VEÍCULO	94
TABELA 43 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA MÉDIA KM/LITRO POR TIPO / CÂMBIO DE VEÍCULO	95
TABELA 44 - TESTE POST HOC DE TUKEY POR TIPO / CÂMBIO DE VEÍCULO.	96

TABELA 45 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA MÉDIA KM/LITRO POR TIPO DE DIA / TIPO DO VEÍCULO.....	97
TABELA 46 - TESTE POST HOC DE TUKEY POR TIPO DE DIA / TIPO DO VEÍCULO	98
TABELA 47 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA MÉDIA KM/LITRO POR MÊS / TIPO DO VEÍCULO	99
TABELA 48 - TESTE POST HOC DE TUKEY POR MÊS / TIPO DO VEÍCULO.....	101
TABELA 49 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA MÉDIA KM/LITRO POR GRUPO DE OPERAÇÃO / TIPO DO VEÍCULO	104
TABELA 50 - TESTE POST HOC DE TUKEY POR GRUPO DE OPERAÇÃO / TIPO DE ÔNIBUS	106
TABELA 50 - TESTE POST HOC DE TUKEY POR GRUPO DE OPERAÇÃO / TIPO DE ÔNIBUS	107
TABELA 51 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA MÉDIA KM/LITRO POR REGIÃO / TIPO DO VEÍCULO	108
TABELA 52 - TESTE POST HOC DE TUKEY POR REGIÃO / TIPO DE ÔNIBUS.	109
TABELA 53 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS INDEPENDENTES.....	110
TABELA 54 - LEITURA DOS FATORES E DAS CARGAS FATORIAIS	110
TABELA 55 - SÍNTESE DOS FATORES	112
TABELA 56 - LEITURA DOS COMPONENTES E DOS COEFICIENTES	112
TABELA 57 - SÍNTESE DOS COMPONENTES PRINCIPAIS	113

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

ACP	- Análise de Componentes Principais
AFE	- Análise Fatorial Exploratória
ANOVA	- Análise de Variância
ANP	- Agência Nacional do Petróleo
ANTP	- Associação Nacional de Transporte Público
BDTD	- Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações
BI	- <i>Business Intelligence</i>
BRT	- <i>Bus Rapid Transport</i>
C40	- Grupo de Grandes Cidades para Liderança Climática
CO	- Monóxido de Carbono
CO ²	- Dióxido de Carbono
COMEC	- Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba
CV	- Cavalo Vapor
DAMA	- <i>Data Management Association</i>
EML	- Extensão Média da Linha
ERP	- <i>Enterprise Resource Planning</i>
FCV	- Ficha de Controle de Veículo
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCA	- Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo
IPPUC	- Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba
IQR	- Intervalo Interquartil
ITS	- Sistemas Inteligentes de Transporte
KM	- Quilômetros
Km/l	- Quilômetros por Litros
NBR	- Norma Técnica Brasileira
NOx	- Óxido de Nitrogênio
NTU	- Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos
NUC	- Núcleo Urbano Central
NVR	- Núcleo do Vale da Ribeira
PM	- Materiais Particulados
QTDE	- Quantidade
R	- Coeficiente de Correlação de Pearson

R ²	- Coeficiente de Determinação
RMC	- Região Metropolitana de Curitiba
SciELO	- <i>Scientific Electronic Library Online</i>
SGBD	- Sistema Gerenciador de Banco de Dados
SGBD	- Sistemas de Gerenciamento de Bancos de Dados
THC	- Hidrocarbonetos Totais
TPC	- Transporte Público Coletivo
T-SQL	- <i>Transact Structured Query Language</i>
UFPR	- Universidade Federal do Paraná
URBS	- Urbanização de Curitiba S/A
VML	- Velocidade Média da Linha

LISTA DE SÍMBOLOS

®	Marca registrada
≈	Cerca de ou aproximadamente
V	Valor centralizado da variável
v	Valor original da variável
Mv	Média aritmética da variável
σv	Desvio padrão da variável

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA	3
1.2 JUSTIFICATIVAS	3
1.3 OBJETIVOS	10
1.3.1 Objetivos específicos.....	10
1.4 METODOLOGIA.....	11
1.5 ORGANIZAÇÃO DA PESQUISA.....	12
2 LITERATURA PERTINENTE.....	14
2.1 TOMADA DE DECISÕES.....	14
2.2 GESTÃO ESTRATÉGICA	20
2.3 TRANSPORTE PÚBLICO POR ÔNIBUS.....	23
2.3.1 Composição dos custos no transporte coletivo	26
2.3.2 Consumo de combustível	28
2.4 CENÁRIO DE CONSUMO DE ÓLEO DIESEL POR ÔNIBUS NA RMC	30
2.5 COLETA E QUALIFICAÇÃO DE DADOS	31
2.6 TÉCNICAS DE ANÁLISES DOS DADOS	34
3 MÉTODOS E MATERIAIS	38
3.1 DEFINIÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO	38
3.2 ESTRUTURAÇÃO E COLETA DOS DADOS.....	46
3.3 INSPEÇÃO E QUALIFICAÇÃO DOS DADOS	51
3.4 ANÁLISE DOS DADOS.....	54
4 APRESENTAÇÃO DOS DADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	58
4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS DADOS BRUTOS COLETADOS	58
4.1.1 Resultados e análise da inspeção e qualificação dos dados.....	64
4.2 ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DOS DADOS.....	72
4.3 RESULTADOS E ANÁLISES DOS EXPERIMENTOS ESTATÍSTICOS	79
4.3.1 Teste de correlação de Pearson	80
4.3.2 Análise de Variância e teste de Tukey	88
4.3.3 Análise Fatorial Exploratória.....	109
4.3.4 Análise de Componentes Principais.....	112
5 CONCLUSÕES	114
5.1 LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	117

REFERÊNCIAS.....118

1 INTRODUÇÃO

O transporte é condição fundamental para a inclusão social e para universalização de acesso à saúde, educação, trabalho e lazer (NTU, 2016); passou a figurar desde 2015 entre os direitos sociais dos cidadãos brasileiros previstos na Constituição Federal (BRASIL, 1988). A responsabilidade de planejar a política de mobilidade urbana, a qual deve assegurar este direito, com qualidade e acessível a todas as classes sociais, compete aos municípios, conforme preconiza a Lei Federal nº. 12.587/2012 (BRASIL, 2012).

No estado do Paraná, mais especificamente nos municípios que compõe a Região Metropolitana de Curitiba (RMC), cabe à Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba (COMEC) coordenar funções de interesse público comum entre os municípios; o Decreto Estadual nº. 1660 de 21 de outubro de 1992 (PARANÁ, 1992) atribui à COMEC a prerrogativa de promover, elaborar, aprovar, fazer cumprir e controlar as regras e características do transporte coletivo metropolitano.

Os tipos de ônibus e demais características dos serviços, devem ser projetados de acordo com as normas locais, necessidades, tecnologia apropriada ao clima ou às necessidades dos passageiros (ROHANI et al., 2013); na RMC a definição destes atributos é competência da COMEC, a qual busca prioritariamente adequar os veículos às características das linhas, demanda, deslocamentos e vias de cada região.

O estabelecimento e atualização das tarifas de transporte coletivo da RMC, é competência da COMEC, a qual supervisiona e desenvolve estudos, pesquisas e levantamentos técnico-econômicos; a tarifa é composta pela soma de custos fixos e variáveis das atividades necessárias para a realização do serviço; de acordo com a Urbanização de Curitiba S/A (URBS), dentre os custos variáveis os combustíveis e lubrificantes correspondem a segunda maior parcela de custos, com quase 15% do total (URBS, 2020); segundo a Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos (NTU) este percentual pode chegar a 22% (NTU, 2018); na RMC o custo com combustíveis, lubrificantes, peças e acessórios ultrapassa 25% do custo total da tarifa técnica (METROCARD, 2020).

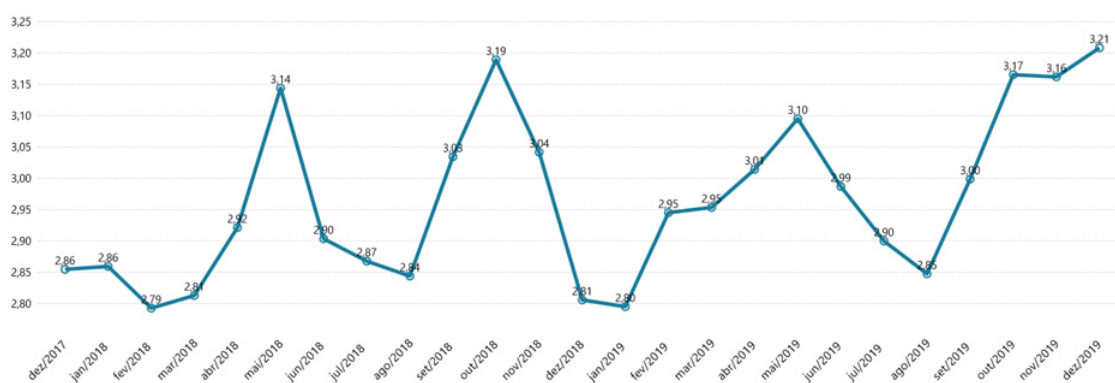
Por meio de concessão ou permissão, empresas privadas operam os serviços de TPC de Curitiba e RMC, realizando a gestão estratégica de suas atividades e atendendo as determinações dos órgãos gestores; estas empresas procuram otimizar

custos e despesas relacionadas aos serviços, equalizando os gastos às receitas, com objetivo de garantir o equilíbrio econômico-financeiro do sistema.

De acordo com o Caderno Técnico para o Cálculo Tarifário da Associação Nacional de Transporte Público (ANTP, 2017), as recentes modificações na legislação ambiental e o nível de congestionamento nos centros urbanos brasileiros, têm contribuído para o aumento do consumo médio de combustível por quilômetro rodado; aliado a isso, a alteração da política energética nacional em 1997 fez com que os preços do óleo diesel disparassem, se comparados com a inflação medida pelo IPCA (NTU, 2018).

Entre os anos de 2017 e 2019, houve na RMC um aumento médio de 12,95% no custo do litro de combustível; no mesmo período a inflação medida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), com base no Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), apresentou resultado de 8,92%, ou seja, 4 pontos percentuais menor que o aumento do combustível. A FIGURA 1 demonstra a evolução no preço médio do óleo diesel na RMC, com base em dados divulgados pela Agência Nacional do Petróleo (ANP); é possível constatar não apenas a sazonalidade dos custos, com elevações abruptas, com uma diferença de custo de R\$ 0,35 por litro de combustível entre dezembro de 2017 e dezembro de 2019.

FIGURA 1 - VARIAÇÃO DO PREÇO DO ÓLEO DIESEL NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA ENTRE 2017 E 2019



FONTE: ANP (2020).

Diante desta conjuntura, entender os fatores que permitem realizar uma gestão eficaz deste insumo, torna-se imprescindível; pois, não só resulta em benefícios econômicos, que garantem o equilíbrio dos custos na tarifa e

consequentemente a universalidade de acesso ao serviço, como também pode trazer benefícios acessórios, tais quais a redução na emissão de gases que causam o efeito estufa, colaborando para a melhoria dos índices socioambientais das cidades.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Na RMC o transporte público é operado por empresas privadas, entretanto controlado e subsidiado pelo poder público do estado do Paraná. Sob o ponto de vista social, a Constituição Federal rege, em seu art. 37, a garantia do uso eficiente dos recursos públicos (BRASIL, 1988); sob a ótica empresarial, Holmgren (2013) afirma que organizações que operam ineficientemente eventualmente desaparecem por causa da concorrência.

Choo (2003) destaca que a definição de estratégias fundamentadas em dados e informações, pode desenvolver uma organização do conhecimento que cria, organiza e processa dados que servem de guia para a tomadas de decisões racionais importantes; da mesma forma, Brynjolfsson et al. (2011) asseguram que a tomada de decisões orientada por dados está associada a melhoria da produtividade; sendo assim, ações que tornem o serviço de transporte coletivo mais eficiente e com custos reduzidos, podem ser obtidas por meio do uso estratégico de dados e informações coletados nas próprias empresas.

Diante deste cenário, a questão que delimita esta pesquisa é: **É possível utilizar dados do processo de abastecimento e consumo de combustível, para identificar fatores que tem maior relevância no consumo e assim, definir estratégias que visem melhorar seu aproveitamento?**

1.2 JUSTIFICATIVAS

Santaella (2001) detalha os tipos básicos de pesquisa e a partir daí, apura questões que permitem justificar este trabalho como de cunho científico-teórico e científico-prático. No que diz respeito ao caráter científico-prático, reservas de petróleo limitadas, preços de combustível disparados e regulamentos ambientais rígidos, desenvolveram uma consciência global da necessidade de sistemas de transporte mais eficientes em termos de combustível e ambientalmente corretos (HOLMBERG et

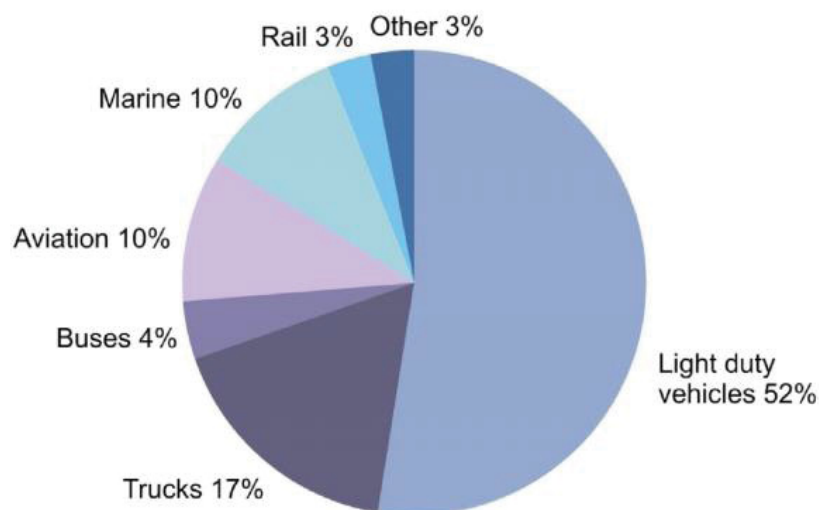
al., 2014), promovendo assim, o desenvolvimento consciente e sustentável das cidades.

Harrison e Donnelly (2011) ao descreverem as chamadas “Cidades Inteligentes”, afirmam que novas abordagens para o planejamento, projeto, finanças, construção, governança e operação de infraestrutura urbana e serviços vem sendo empregadas; Chen et al. (2017) reforçam o desafio de fornecer serviços de transporte público com recursos limitados, destacando que investimentos em Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS), centrados nas pessoas e orientada por dados, permitem obter benefícios de investimentos em mobilidade inteligente.

Investimento em sistemas públicos de transporte como elemento estruturante da cidade, principalmente em aspectos técnicos e físicos, fez com que Curitiba, já a muitos anos, tenha se tornado uma espécie de cidade “modelo”, principalmente em função de sua preocupação ambiental e seu sistema de transporte público (NEWMAN; KENWORTHY, 1999); Estocolmo, Helsinque e Freiburg também são citadas por Kenworthy e Jeffrey (2006) como “cidades verdes” e que trazem em comum excelentes sistemas de transporte público.

A dependência do automóvel é vista como um fator que interfere negativamente nos deslocamentos nos centros urbanos, principalmente abordando parâmetros econômicos e ambientais; Newman e Kenworthy (1999) avaliando custos de transporte em 37 cidades globais, concluíram que as cidades com maior utilização de automóvel, provisão de estradas e expansão urbana, tem as despesas com deslocamentos mais caras; os autores afirmam haver custos diretos substanciais associados ao uso do automóvel, além de maiores emissões de gases e mortes no trânsito pois, conforme apresentado na FIGURA 2 os veículos leves são responsáveis por mais da metade (52%) da energia consumida pelos principais modais de transporte no mundo.

FIGURA 2 - DIVISÃO GLOBAL DO CONSUMO DE ENERGIA POR MODAL DE TRANSPORTE



FONTE: Holmberg et al. (2014).

O motor a diesel ainda é o meio mais utilizado nas principais soluções de transportes pelo mundo, dentre elas os ônibus, mesmo após mais de um século de sua criação, pelo estudante alemão Rudolf Diesel (BRYANT et al., 1966). Um relatório da *Bloomberg New Energy Finance* (2018) demonstra que a frota global de ônibus é de cerca de 3 milhões de unidades, sendo responsável por grande dos deslocamentos de pessoas nas cidade; ainda que, a grande maioria destes ônibus seja equipada com motores a diesel, de acordo com a FIGURA 2, eles são responsáveis por apenas 4% do consumo de energia dentre os meios de transporte motorizados, ou seja, trata-se de uma solução eficaz.

Para reforçar a justificativa da relevância desta pesquisa, uma série de estudos realizados com objetivo de identificar fatores que interferem no consumo de combustível são apresentados no QUADRO 1; o foco das pesquisas, via-de-regra, dispôs-se a verificar maneiras de aproveitar melhor esta fonte de energia, aliado a redução na emissão de gases resultantes da combustão, como monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO²), hidrocarbonetos totais (THC), óxido de nitrogênio (NOx) e materiais particulados (PM) (WEI; FREY, 2020).

QUADRO 1 - ESTUDOS DE FATORES QUE INTERFEREM NO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL

Autor	Estudo	Resultado
Bishop et al. (2001)	Realizaram experimentos para verificar os efeitos da altitude no consumo de combustível em mais de cinco mil veículos movidos a diesel.	A emissão de gases aumentou de acordo com a altitude, o que pode ser cometido pela menor pressão atmosférica; cálculos que relacionaram os gramas de poluentes aos quilogramas de combustível consumidos, estabeleceram a relação entre a maior emissão de gases e maior consumo de combustível.
Ahn et al. (2002)	Visaram aprimorar os métodos de estudo de consumo de combustível, utilizando modelos de regressão híbrida e variáveis independentes da variação de velocidade e aceleração instantâneas.	Criaram um modelo capaz que estimar e subsidiar os gestores com resultados de consumo muito mais precisos que os métodos até então utilizados.
Frey et al. (2007)	Exploraram a influência de fatores como velocidade, aceleração e grau de rodagem no consumo de combustível em ônibus movidos a diesel e hidrogênio; a metodologia consistiu num conjunto de atividades exploratórias, estimação de consumo baseada na potência específica do veículo, diferentes combustíveis e fatores de emissão de gases.	Os pesquisadores concluíram que, a integração das variáveis velocidade, aceleração e grau de inclinação da estrada em um único parâmetro, é capaz de explicar uma parte substancial da variabilidade do consumo de combustível.
Kegl et al. (2008)	Realizaram pesquisa propondo um projeto de otimização de um sistema de injeção de combustível em motores de ônibus, utilizando diesel e biodiesel.	Os pesquisadores concluíram que a variabilidade de componentes como, o formato do perfil do came (dispositivo que controla a abertura das válvulas do motor), a geometria do bico de injeção de combustível e parâmetros de controle de tempo e quantidade de injeção, podem trazer ganhos consideráveis, sem gerar resultados nocivos nas taxas de emissões.
Barnitt (2008)	Avaliou o relatório comparativo de dados de desempenho, utilizando motores elétrico híbrido, movido a gás natural	Além dos resultados comparativos que demonstraram o bom desempenho dos motores híbridos de segunda geração, uma

	veicular (GNV) e diesel em ônibus na cidade de Nova York; o foco foi avaliar a economia nos cenários de utilização dos diferentes combustíveis, assim como, os custos com manutenção.	característica que foi possível comprovar durante a pesquisa é que o uso de ar-condicionado aumentou consideravelmente o consumo em todos os cenários e tipos de combustíveis.
Ahn e Rakha (2008)	Utilizando ferramentas microscópicas e macroscópicas de estimativa de emissões, avaliaram os efeitos das decisões de escolha de rotas sobre o consumo de energia veicular.	Concluíram que rotas mais rápidas não garantem o melhor resultado do ponto de vista de consumo de energia; já a atribuição de rotas mais lentas, otimizadas para emissões e consumo, podem melhorar significativamente estes resultados.
Saboochi e Farzaneh (2009)	Realizaram pesquisa para introduzir um modelo de direção ecológica ideal para veículos de passageiros, com base no menor consumo de combustível como função objetivo.	Utilizando velocidade do veículo e relação de marchas como variáveis de controle, os pesquisadores concluíram que a economia de combustível potencial poderia chegar a 1,5 litro/quilômetro, caso os motoristas se comportassem de acordo com os parâmetros descritos no modelo.
Eliji et al. (2012)	Desenvolveram um estudo com foco no consumo de combustível devido a quilometragem morta, ou seja, o deslocamento de ônibus urbanos entre as garagens e os pontos inicial e final de cada linha, em Izmir na Turquia.	O estudo identificou locais ideais que minimizaram a distância total percorrida para entrada e recolhida dos veículos em operação; o modelo multicritério desenvolvido levou em conta os níveis de satisfação dos passageiros e segurança do estacionamento, combinado com o objetivo de minimização no consumo de combustível.
Holmberg et al. (2014)	Expõem uma análise sobre o consumo de energia devido ao atrito em quatro categorias de veículos, dentre elas ônibus.	Apontaram que os ônibus, especialmente os ônibus urbanos, constituem uma categoria de veículos homogênea em termos de consumo de energia; as características de operação em baixa velocidade, com padrão frequente de parada e arrancada faz com que grande parte do combustível seja utilizado para acelerar o veículo.

Abreu et al. (2015)	Avaliando o cenário dos custos de energia como parte importante dos custos nas empresas de ônibus em Lisboa, Portugal, estimaram um conjunto de modelos de regressão linear utilizando variáveis como peso do veículo, tamanho da rota, idade do motorista, horas de treinamentos, etc.	Concluíram que fatores referentes aos tipos de ônibus, comportamento dos motoristas e características de elevação geográfica, são responsáveis por mais 92% da variabilidade do consumo de combustível; reforçando inclusive que o modelo serve como uma poderosa ferramenta de gestão.
Cecchel et al. (2018)	Apresentam estudo realizado na Itália, utilizando modelagem para avaliar o impacto da massa reduzida em veículos comerciais leves movidos a diesel, no consumo de combustível e emissão de poluentes.	Os pesquisadores concluíram que a leveza dos veículos é uma medida importante para melhorar emissões e consumo de combustível.
Suzuki e Lan (2018)	Propõe uma abordagem para reduzir o consumo de combustível com base em políticas de abastecimento; teoria esta que pode ser aplicada no segmento de transporte coletivo por ônibus, uma vez que os veículos costumam não consumir a maior parte do combustível abastecido diariamente.	De forma geral, os autores verificaram teórica e numericamente que as taxas de consumo de combustível são notavelmente maiores em segmentos de subidas e congestionados, assim, definiram políticas para o volume e a quantidade de paradas para reabastecimento, o que pode minimizar o consumo de combustível ao longo da rota.
Ji-yang et al. (2020)	Estudaram a gestão da operação e o consumo de combustível de uma frota de ônibus; os autores utilizaram a análise de regressão em múltiplas etapas e a remoção de dados anormais pelo método de diagrama de caixa.	Concluíram que ajustes na quantidade de ônibus e nas rotas, em função da variação da demanda de passageiros, resultaram em melhorias na distribuição da taxa de carregamento e reduziram consideravelmente o consumo de combustível.

FONTE: O autor (2021).

Ainda sob o ponto de vista **prático-social**, além dos resultados para o meio ambiente e às organizações, um dos impactos positivos desta pesquisa é a colaboração na universalização de acesso ao serviço de transporte público; afinal, de acordo com dados obtidos junto à COMEC, o custo médio com combustível e lubrificantes em 2019 foi da ordem de R\$ 6,9 milhões ao mês; a aplicação de ações estratégicas que permitam uma melhoria de 1% deste montante, índice este menor do que encontrado em alguns estudos supra citados, pode proporcionar uma economia de mais de R\$ 69 mil reais mensais, o que equivale a receita com mais de 15.000 passageiros pagantes.

A relevância **científico-teórica** deste trabalho, foi apurada com a realização de investigações em 4 fontes de pesquisas de artigos científicos e trabalhos acadêmicos, sendo eles: *Web Of Science*, Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD), *Scientific Electronic Library Online* (SciELO) e o *Google Scholar*. O QUADRO 2 apresenta os atributos e resultados das pesquisas.

QUADRO 2 - TRABALHOS LOCALIZADOS EM FONTES DE DADOS CIENTÍFICOS E ACADÊMICOS DE ACORDO COM PARÂMETROS DE PESQUISA

Fonte	Parâmetros da pesquisa	Período	Trabalhos
Web Of Science	"fuel" and "consumption" and "bus"	Sem restrição	1.098
	"fuel" and "consumption" and "bus"	2017 a 2021	503
	"fuel" and "consumption" and "bus" Not ("Emission" and "Electric" and "hydrogen")	2017 a 2021	67
BDTD	"fuel" and "consumption" and "bus"	Sem restrição	26
	"fuel" and "consumption" and "bus"	2017 a 2021	11
SciELO	"fuel" and "consumption" and "bus"	Sem restrição	5
	"fuel" and "consumption" and "bus"	2017 a 2021	3
Scholar Google	"fuel" and "consumption" and "bus"	Sem restrição	128
	"fuel" and "consumption" and "bus"	2017 a 2021	30
	"fuel" and "consumption" and "bus" Not ("Emission" and "Electric" and "hydrogen")	2017 a 2021	25

FONTE: O autor (2021).

As buscas foram realizadas utilizando as palavras chaves “*fuel*” (combustível), “*consumption*” (consumo) e “*bus*” (ônibus); para que a consulta resultasse em maior assertividade, porém sem elevar os resultados, os três termos deveriam estar presentes simultaneamente nos documentos (utilização do operador “and”); mesmo assim, após uma primeira rodada de pesquisa, identificou-se que grande parte dos

estudos mais recentes, principalmente na base *Web of Science*, tinham como foco a eletro mobilidade (veículos movidos à energia elétrica), a emissão de gases poluentes ou, em alguns casos, a inserção de hidrogênio como alternativa ao óleo diesel. Uma vez que este trabalho é concentrado em veículos movidos a óleo diesel, a pesquisa foi refinada nas fontes *Web Of Science* e *Google Scholar*, com a utilização do operador “not”, para eliminação de temas não aderentes.

Os resultados apontados no QUADRO 2 demonstram que o assunto “consumo de combustível em ônibus” é bastante relevante, com 1.257 trabalhos publicados, sendo 547 nos últimos 5 anos; cabe destacar, que dos 11 trabalhos publicado nos últimos 5 anos na BDTD, a maioria (6) foram produzidos pela Universidade de São Paulo (USP), não sendo identificado nenhum trabalho elaborado pela Universidade Federal do Paraná (UFPR), suscitando assim um *gap* para o enquadramento desta pesquisa, a qual será desenvolvida sob a orientação do professor Dr. Egon Walter Wildauer, para o programa de Pós Graduação em Gestão de Organizações, Liderança e Decisão, concentrada na área de Tomada de Decisões em Organizações, direcionada para a linha de pesquisa de Operações e Sistemas de Decisão.

1.3 OBJETIVOS

Com intuito de tornar-se uma fonte de auxílio na busca pela gestão eficaz, este estudo visa, por meio do estudo da bibliográfica pertinente e da análise estatística correlacional de dados históricos, identificar fatores que interferem de maneira significativa na eficácia do consumo de combustível na frota de ônibus da região metropolitana de Curitiba, visando conferir maior assertividade na definição de ações estratégicas.

1.3.1 Objetivos específicos

- Estudar a bibliografia do processo de tomada de decisões estratégicas, técnicas de coleta e tratamento de dados estruturados e análises estatísticas;
- Mapear o processo e obter dados do consumo de combustível, a partir de um conjunto de variáveis disponíveis;

- Qualificar os dados obtidos para que representem o processo com maior precisão;
- Aplicar técnicas estatísticas para análise da correlação, variação e obtenção das variáveis com maior impacto nos resultados de consumo de combustível;
- Apresentar análises e direcionar ações estratégicas que visem melhorar o desempenho no consumo de combustível;

1.4 METODOLOGIA

Pretende-se gerar conhecimento para a solução de um problema específico, utilizando dados de empresas que operam o TPC da RMC. O mapa metodológico da FIGURA 3 demonstra que a pesquisa será de natureza aplicada, pois faz uso da teoria para um propósito específico, resolvendo assim um problema cotidiano; o objetivo será exploratório, pois será realizada uma análise histórica, utilizando dados reais, para que seja compreendido um problema; a abordagem quantitativa é caracterizada ao considerar que haverá a coleta de fatos, por meio de dados estruturados e a utilização de análises estatísticas (TURRIONI; MELLO, 2012); já a metodologia correlacional irá fornecer a oportunidade de examinar a interação entre as variáveis independentes e a influência sobre a variável dependente (WILLIAMS, 2007).

FIGURA 3 - MAPA METODOLÓGICO DA PESQUISA



FONTE: Adaptado de Turrioni; Mello (2012) e Williams (2007).

A análise bibliográfica da literatura concernente ao tema da pesquisa, aliado ao estudo das técnicas de obtenção e tratamento de dados e das técnicas estatísticas, irão permitir o alcance dos objetivos específicos. Como subtemas do cenário no qual a pesquisa está fundamentada, estudos do processo decisório, gestão estratégica e transporte coletivo irão garantir o entendimento necessário para que os dados sejam trabalhados.

As amostras de dados, as quais serão o elemento chave para a construção das análises e alcance dos objetivos, serão obtidos de um conjunto de bancos de dados do sistema *Enterprise Resource Planning* (ERP) das empresas que realizam o TPC na RMC; o período escolhido está compreendido entre janeiro a dezembro de 2019, contemplando as variações de demanda, clima, trânsito, etc. em todos os meses do ano; a escolha deste período se deu devido a pandemia de COVID19, a qual alterou de forma significativa a realização do transporte público na RMC à partir de março de 2020.

A aquisição dos dados irá acontecer por meio da integração de bancos de dados, com a execução de *scripts* de importação e exportação; utilizando regras de negócio e a técnica do diagrama de caixas (*boxplot*), serão eliminados dados com erros ou que estejam demasiadamente distantes dos demais valores, qualificando assim as informações e representando de maneira mais próxima o processo no qual foram gerados.

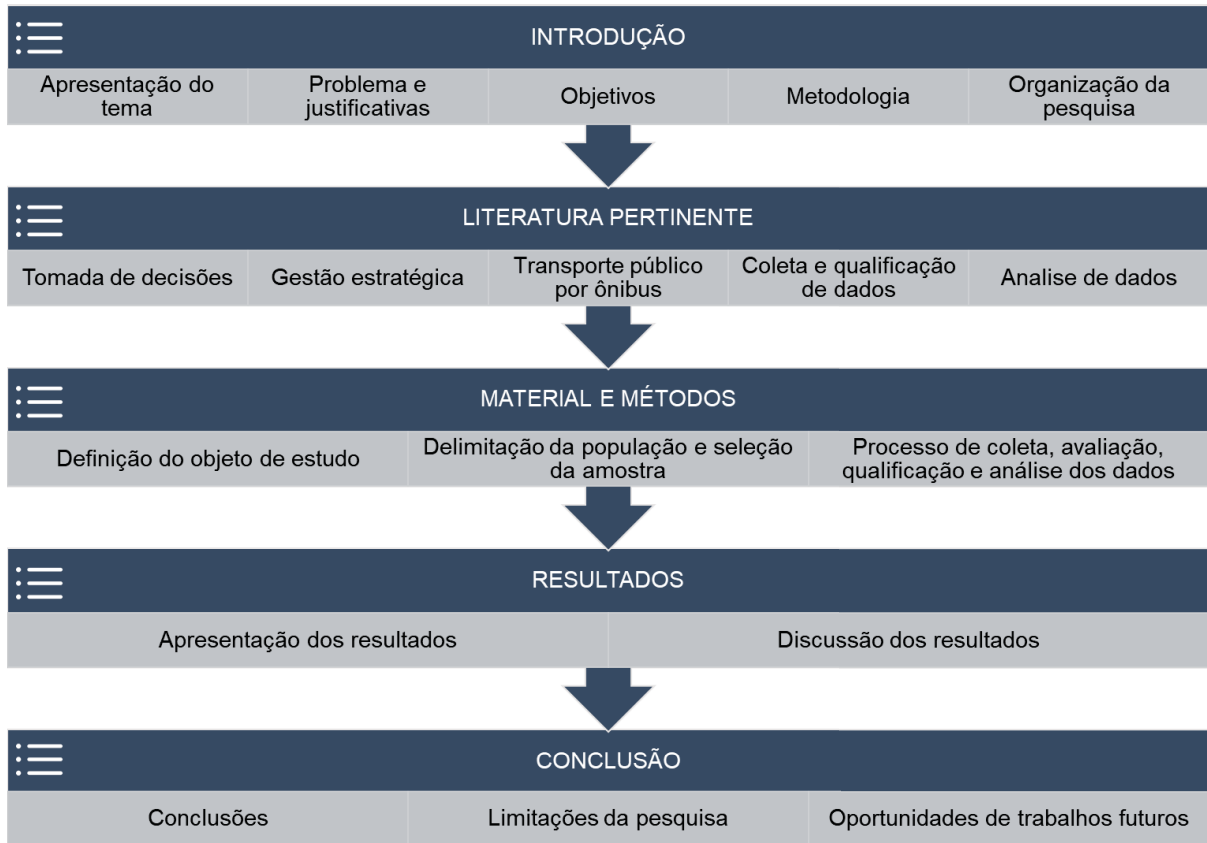
A correlação entre as variáveis independentes quantitativas e a variável dependente, será obtida com o cálculo dos Coeficientes de Correlação (R) e Determinação (R^2); a Análise de Variância (ANOVA) irá verificar diferenças estatisticamente significativas entre grupos de variáveis qualitativas; as combinações das variáveis com maior relevância no consumo de combustível, serão obtidas por meio da Análise Fatorial Exploratória (AFE) e Análise de Componentes Principais (ACP). Ao final, será emitida uma conclusão dos resultados das análises estatísticas e um alinhamento para a criação de estratégias de melhoria no consumo.

1.5 ORGANIZAÇÃO DA PESQUISA

Este trabalho está arranjado da seguinte forma: após esta breve introdução o segundo capítulo aborda o estudo da literatura; o terceiro capítulo tem enfoque na descrição dos métodos de obtenção, avaliação, qualificação e análise dos dados de

consumo de combustível na frota de ônibus da RMC; no quarto capítulo serão aplicadas as técnicas estatísticas, relatados e discutidos os resultados; na sequência, no quinto capítulo serão apresentadas as conclusões, limitações e proposições para trabalhos futuros. A FIGURA 4 apresenta de forma sintética as etapas descritas.

FIGURA 4 - SEQUÊNCIA DE ETAPAS DA PESQUISA



FONTE: O autor (2021).

2 LITERATURA PERTINENTE

Para estruturar e contextualizar teoricamente o estudo, nesta seção são apresentadas fundamentações que abordam assuntos do processo de tomada de decisões e algumas de suas vertentes metodológicas, principalmente decisões racionais baseadas em informações; em seguida, serão analisados os conceitos de estratégias e sua incorporação no meio organizacional como instrumento de gestão; na sequência, são apresentados os elementos que permitem compreender o negócio de transporte público coletivo por ônibus e algumas de suas características, com destaque nos custos e fatores que podem interferir no consumo de combustível em ônibus movidos a óleo diesel.

2.1 TOMADA DE DECISÕES

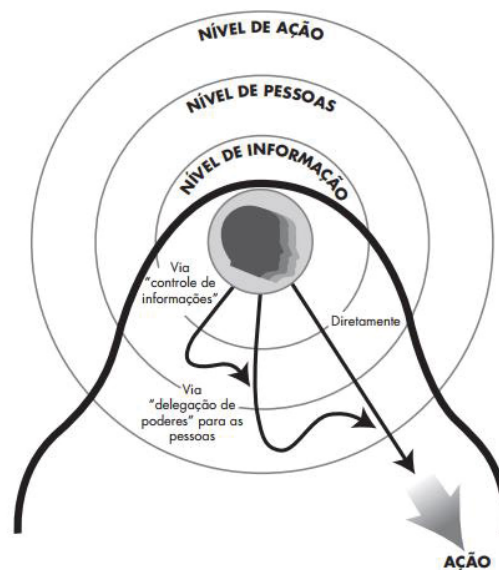
Organizações, segundo Simon (1979), são um complexo sistema de comunicações e inter-relações existentes num grupamento humano; no âmbito desta pesquisa, envolve as empresas que atuam no serviço de TPC por ônibus da RMC. O termo organização inclui qualquer conjunto social coletivo, atividade econômica ou política que envolva uma pluralidade de esforços humanos (NUTT; WILSON, 2010).

Administrar resultados, inter-relações e o ambiente organizacional é uma tarefa desafiadora, sendo a tomada de decisões, segundo Simon (1979), o coração da administração e principal função dos gerentes (MINTZBERG et al. 2007); apesar disso, Mintzberg e Westley (2001) afirmam que o processo de tomada de decisões é fácil: primeiro deve-se definir o problema, fazer o diagnóstico de suas causas, projetar as possíveis soluções e finalmente decidir qual é a melhor; e, é claro, implementar a escolha. Todavia Quinn (1978) alerta que é virtualmente impossível para o gerente organizar todas as decisões internas, eventos do ambiente externo, relações comportamentais e de poder, relações técnicas organizacionais e informacionais de sistemas, para que se reúnam em um momento preciso.

Referindo-se a Michael Porter, Henri Fayol, Tom Peters dentre outros, Mintzberg et al. (2007) exemplificam estilos de atuação dos gerentes, os quais podem ser qualificados como executores, líderes, pensadores ou até mesmo controladores; Drucker (2017) citando executivos como trabalhadores do conhecimento, afirma que a estes não cabe simplesmente executar ordens, mas sim tomar decisões.

Redwood et al. (2000) asseguram que gestão é ação; de fora (ou do nível mais tangível) para dentro, Mintzberg et al. (2007) descrevem uma estrutura que estimula a ação, representada na FIGURA 5; os gerentes podem tomar ações diretamente, podem administrar pessoas para encorajá-las a realizá-las, ou podem administrar informações para influenciar pessoas a executá-las.

FIGURA 5 - SISTEMA DE ESTIMULAÇÃO À AÇÃO



FONTE: Mintzberg et al. (2007).

Drucker (2017) refere-se a expectativa da existência abundante de executivos chamados “gênio universal”, o qual tem habilidades extraordinárias de análise e decisão; entretanto no estudo de Mintzberg et al. (2007), conclui-se que gerentes não gostam de atividades reflexivas e são tomados por atividades breves num ritmo incansável; Esta visão é reforçada por Stewart (1988) quando afirma que, gerentes usam pouco ou nenhum tempo exclusivamente pensando, mas sim realizando tarefas como lendo e escrevendo.

Nutt e Wilson (2010) alegam que a tomada de decisões raramente é planejada, e fazem uso, por exemplo, da mudança de posição conceitual de Mintzberg, exímio estudioso do tema, o qual na década de setenta afirmava que a tomada de decisões era um processo estruturado; todavia, anos depois, junto de Westley (2001) publicou um estudo redefinindo a tomada de decisões como uma atividade confusa.

A divisão de tarefas em múltiplos passos fáceis, buscando aplicar a lei do menor esforço, relegando os resultados intermediários à memória de longo prazo ou ao papel, em vez de relegá-los à memória de trabalho, que fica facilmente sobrecarregada, é utilizada pelos gerentes para encontrar soluções de problemas que requerem raciocínio estratégico, é o que afirma Kahneman (2012); o autor descreve ainda que, à medida que o indivíduo se especializa numa tarefa, podendo esta ser a tomada de decisão, a demanda de energia empregada na sua execução diminui; segundo o autor, estudos do cérebro revelaram que o padrão de atividade associado com uma ação muda à medida que a habilidade aumenta, com menos regiões do cérebro envolvidas; ou seja, decidir se torna um hábito facilitado pelo treinamento.

É difícil definir como as decisões são e como devem ser tomadas. Nutt e Wilson (2010) revelam que classificações como abrangente, analítica ou política, não conseguem explicar como um tomador de decisão age; elas caracterizam o processo e não as ações que ocorrem nele. Ao enriquecer e ampliar a tipologia de processos decisórios existentes à época, Nutt (1984), citando contribuições colocadas por autores como, Mintzberg, Raisinghani e Theoret, expôs cinco modelos de processos decisórios e afirmou que em todos eles, a decisão é composta de um conjunto de atividades que começa com a identificação de um problema e termina com uma ação.

As fronteiras da capacidade humana são destacada por Simon (1979), quando cita os limites de processamento de informações para busca de alternativas, calcular consequências, resolver incertezas e, às vezes, nem sempre, encontrar modos de ação que são suficientes para o momento. Drucker (2017), ao falar sobre autodesenvolvimento, menciona que a revisão sistemática de decisões também pode ser uma ferramenta poderosa para a melhoria da qualidade desta atividade por executivos; o autor destaca ainda que, tomar boas decisões é uma habilidade crucial em todos os níveis e deve ser explicitamente ensinada a todos nas organizações baseadas no conhecimento.

A racionalidade limitada e a forma que ela afeta a tomada de decisões em detrimento a teoria da racionalidade perfeita foi questionada por Simon, a muitos anos, ao apontar falhas da teoria clássica.

Um forte argumento positivo para substituir a teoria clássica por um modelo de racionalidade limitada começa a surgir quando examinamos situações que envolvem tomada de decisão sob incerteza e competição imperfeita. Essas situações, a teoria clássica nunca foi projetada para lidar, e nunca lidou satisfatoriamente. Teoria da decisão estatística empregando a ideia de utilidade esperada subjetiva, por um lado, e a teoria dos jogos, por outro lado, contribuíram com enorme esclarecimento conceitual para esses tipos de situações sem fornecer descrições satisfatórias de comportamento humanos reais, ou mesmo, na maioria dos casos, teorias normativas que são realmente úteis em face dos poderes computacionais limitados dos homens e máquinas Simon (1979 p. 497).

A principal preocupação da teoria administrativa, reside nos limites entre os aspectos racionais e irracionais do comportamento social, na busca pela eficiência das escolhas e decisões e de seus respectivos resultados (SIMON, 1970). Algumas abordagens recentes à tomada de decisões estratégicas, concentraram-se nos aspectos mais micro de, como os gerentes pensam, agem e interpretam decisões. (NUTT; WILSON, 2010).

Os estudos da racionalidade limitada, a partir de 1950, forneceram um crescente conjunto de evidências empíricas, criando uma imagem muito mais verídica da tomada de decisão nas organizações empresariais do que fizeram os conceitos clássicos de racionalidade perfeita (SIMON, 1970). Uma escolha não é determinada exclusivamente pelas características objetivas da situação problemática. Simon (1955) afirma que o processo de tomada de decisão racional possui limitações fisiológicas, psicológicas, de processamento, circunstâncias etc. e que constitui uma situação de racionalidade limitada; isto contrapõe o conceito anterior vigente de que indivíduos tomam decisões economicamente racionais se tiverem elementos suficientes para isso.

Ansoff (1980) discorre sobre as limitações da tomada de ações em contextos de incertezas e riscos; supõe-se implicitamente que o indivíduo sabe o suficiente sobre um evento, para permitir a estimativa racional de impacto na empresa ao selecionar uma resposta específica. Mas, o papel de um ser humano que possui dificuldades em distinguir os elementos subjetivos fazendo uso apenas da razão, é questionado por Ramos (1989) ao afirmar que, sendo o homem fundamentalmente um ser social e a sociedade sendo sua mentora, a razão nada mais é do que o senso comum deste meio.

No intuito de mitigar o risco de resultados e expectativas estarem distantes uma da outra, um dos fatores que interfere significativamente no processo decisório é

o conhecimento, ele constitui o meio de descobrir qual entre todas as possíveis consequências de um comportamento realmente ocorrerá (SIMON, 1970); obter e analisar dados e informações relacionadas a uma determinada situação, pode ser uma das formas de aumentar este conhecimento. Pesquisando os recursos gerenciais dinâmicos, Adner e Helfat (2003) descrevem, que no nível fundamental, o capital humano gerencial inclui o conhecimento adquirido em experiências de trabalho anteriores e que estes fazem parte da base cognitiva para decisões gerenciais.

Os indivíduos que respondem por um trabalho gerencial, segundo Mintzberg et al. (2007), possuem experiências e valores que, por um lado, formaram um conjunto de habilidades ou competências, talvez afiadas por treinamento e, por outro lado, forneceram uma base de conhecimento. Drucker (2017) ao definir o papel do executivo na organização moderna, o descreve como o trabalhador do conhecimento; em virtude de sua posição ou conhecimento, ele é responsável por uma contribuição que afeta materialmente a capacidade da organização de executar e obter resultados.

As organizações utilizam estrategicamente o conhecimento e a informação para atuar na tomada de decisão, é o que afirma Choo (2003) e a tomada de decisões orientada por dados, segundo Brynjolfsson et al. (2011), está associada a melhora da produção e produtividade. Administrar por informação é posicionar-se a dois passos do objetivo do trabalho gerencial, sugerem Mintzberg et al. (2007), quando afirmam que o gerente processa informações para conduzir pessoas que, por sua vez, devem assegurar que as ações necessárias sejam executadas.

Na visão de Nutt e Wilson (2010) o estudo da tomada de decisão abrange diversos níveis de análise, que variam da cognição individual às características culturais; a relação entre os processos de tomada de decisão e a eficácia dos resultados requerem cada vez mais atenção; Dean e Sharfman (1996) afirmam que estes processos influenciam nas escolhas estratégicas que por sua vez influenciam nos resultados que afetam uma organização.

Com base em estudo de decisões estratégicas, Dean e Sharfman (1996) apontam que o processo decisório estratégico é predominantemente racional, em ambientes onde existam informações relevantes para a decisão, desde que estas informações sejam consideradas confiáveis; Ugur (2005) relata que para aumentar a precisão de seus julgamentos subjetivos, o tomador de decisão deve extrair o máximo de informações possível dos cenários atuais, bem como das decisões passadas;

neste contexto é possível realizar uma avaliação das probabilidades mais relevantes, mitigando riscos e incertezas relacionadas ao resultado das decisões.

As escolhas dos gestores também dependem de particularidades do processo heurístico usado para chegar à decisão. Tversky e Kahneman (1974) descrevem que, no intuito de reduzir esforços e simplificar tarefas complexas, os indivíduos podem fazer uso de heurísticas e seus respectivos vieses, os quais não necessariamente remetem a uma decisão ruim, mas sim podem instigar os decisores a cometer “erros sistemáticos de avaliação”, onde algumas decisões parecem contrárias ao processo racional.

Um exemplo apresentado há anos na *The American Association For The Advancement Of Science* (1950), reflete uma heurística de afetação pela qual os indivíduos incorporam uma gama potencialmente ampla de informações emocionais, adicionais ao processo de decisão e esses mecanismos podem tornar irracionais as escolhas humanas; afinal, na sociedade moderna a qual contém muitos artefatos simbólicos e onde a tomada de decisão ideal geralmente requer habilidades de abstração e descontextualização, estes desafios podem levar o tomador de decisão a um viés de enquadramento.

Descrita por Pólya (1945) a heurística é trazida como uma espécie de raciocínio não considerado final e estrito, mas apenas provisório e plausível, cujo objetivo é descobrir a solução de um problema atual; difere da teoria por ser ainda uma fase provisória da realidade. Kahneman e Frederick (2002) sugerem que os elementos subjacentes à heurística agem de forma essencialmente automática e não operam sob a cautela do indivíduo; decisores também estão sujeitos a ilusões de pensamento chamados de ilusões cognitivas (KAHNEMAN, 2012).

Smith e Kida (1991) asseguram que julgamentos tendenciosos podem ser atribuídos a tarefas defeituosas ou incompatibilidade entre julgamento e tarefa; Kleinmuntz e Thomas (1987) demonstraram que existem evidências indicando que um julgamento heurístico pode ser eficiente e eficaz sob certas condições.

Enquanto pesquisas sobre heurística e vieses avançavam, Fischhoff e MacGregor (1982) demonstraram a extensão de sua aplicação em diversas áreas, assim como, no trabalho de Smith e Kida (1991), que avaliaram a aplicação destes atalhos cognitivos nas atividades de auditorias. Simon (1989) afirma que, assim como heurísticas e vieses, a intuição também participa do processo de decisão, sendo ela um processo que complementa a razão, fundamentada em experiências passadas;

isto permite a simplificação da razão por meio de metáforas ou analogias (associações), mas que podem gerar simplificações em excesso e com isso consequentemente limitar possíveis soluções estratégicas.

De forma geral, em função da complexidade e da gama de estudos do processo decisório, desde que Simon contestou o modelo econômico clássico, das tentativas em descrever e prescrever métodos, entender e desvendar o indivíduo decisor, é claro que este é um tema que passa por constante ampliação; diversos autores reforçaram esta necessidade como, Eisenhardt e Zbaracki (1992) que afirmaram que estudos existentes à época negligenciavam as maneiras pelas quais os tomadores de decisão pensavam, se comportavam e sentiam, assim como, talvez não considerassem todas as preocupações normativas de organizações complexas, sugerindo, com isso, que novas pesquisas enriquecessem continuamente estes estudos, sendo esta, uma recomendação atemporal.

2.2 GESTÃO ESTRATÉGICA

Não há uma definição única, universalmente aceita para o termo estratégia, porém, o conceito pode ser definido sob vários aspectos; segundo Mintzberg et al. (2007) podem ser usados termos ligados à metas e objetivos. O dicionário online em português da *Oxford Languages* (OXFORD, 2020), define que estratégia está relacionado a arte de aplicar com eficácia os recursos de que se dispõe, ou de explorar as condições favoráveis que porventura se desfrute, visando ao alcance de determinados objetivos.

No contexto militar, um dos berços na utilização de ações estratégicas, é comum definir o termo como: as etapas ligadas a conquistas; é o que cita o general chinês Tzu (1994) quando relata que “todos os homens podem ver as táticas pelas quais eu conquisto, mas o que ninguém consegue ver é a estratégia a partir da qual grandes vitórias são obtidas”.

Mintzberg (2003) apresenta estratégia organizacional como um conjunto de cinco termos iniciados pela letra “P”, sendo eles: Posição, Plano ou Pretexto, Padrão e Perspectiva. Estes cinco “P” são detalhados por Nutt e Wilson (2010); os autores apresentam decisões estratégicas como um **Plano**, para expor que a estratégia corresponde a um curso de ação pretendido, realizado com antecedência e com objetivo claro; **Pretexto**, quando a estratégia pode não representar o claro objetivo da

decisão, todavia as consequências destas decisões permitem perceber o sentido das ações tomadas; o terceiro “P” (**Padrão**), é caracterizado quando a estratégia é formada pelo conjunto de decisões tomadas ao longo do tempo com objetivos claros; já quando permite perceber uma correspondência entre a empresa e o ambiente na qual está inserida, estratégia assume o papel de **Posição**. Por fim, estratégia como **Perspectiva**, é adotada quando decisões podem ser vistas como um reflexo sobre o qual os indivíduos decisores percebem o mundo e sua organização.

O processo de formulação de estratégias é exposto por Mintzberg et al. (2007), como um conjunto de atividades de síntese, divididas em dez escolas descritivas e prescritivas, as quais permitem formalizar, analisar, promover e realizar iniciativas que alcançam processos diferenciados e por vezes, complementares de formulação das estratégias. Quando dispostas em um planejamento, as estratégias são programadas e tem o intuito de adequar os recursos e os objetivos da empresa às mudanças e oportunidades no mercado.

Uma das essências da formulação estratégica é descrita por Porter (1979), onde o autor afirma que é necessário lidar com a competição, não apenas a expressada por meio dos concorrentes existentes, mas também pelo poder de barganha de clientes e fornecedores, ameaças de novos entrantes, produtos e serviços substitutos; este se tornou o modelo conhecido como “as cinco forças de Porter”, as quais quando conhecidas, permitem a organização identificar onde confrontar e onde evitar a competição.

A necessidade de identificar os fatores que realmente influenciam no desempenho de uma organização foi estudada por Lenz (1981); sua pesquisa cita variáveis como o ambiente, mercado, comportamento dos gestores, e as próprias estratégias como fatores que ajudam a explicar a performance de uma empresa. Dalton et al. (1980) se referem ao desempenho organizacional como a variável dependente mais importante de uma organização; o caminho para que uma organização alcance uma atuação de destaque, impreterivelmente está ligado à gestão estratégica; os autores afirmam ainda, que estratégia permite a definição e implementação de um conjunto integrado e coordenado de compromissos e ações, projetados para explorar as competências essenciais e obter vantagens competitivas.

Mintzberg et al. (2007) se referem a Michael Porter, destacando que a estratégia se trata de um conceito firmemente integrado, claramente coerente e altamente deliberado, que coloca a empresa em posição de obter vantagem

competitiva; o próprio Porter (1979) afirma que o objetivo estratégico da empresa é encontrar uma posição que possa melhor se defender contra as cinco forças destacadas por ele, ou influenciá-las a seu favor.

No estudo de tomadas de decisões, é necessário cuidado para que nem todo planejamento ou proposta de ação seja vista como estratégica, é o que alertam Nutt e Wilson (2010); ainda segundo os autores, é importante distinguir entre decisões estratégicas e organizacionais, afinal, chamar uma decisão de estratégica apenas com intuito de sugerir maior valor, pode gerar uma falsa impressão de importância, o que dificulta o trabalho de pesquisadores.

Outro ponto a ser considerado, segundo Mintzberg et al. (2007) trata-se de, não apenas definir as atividades que devem ser executadas, mas principalmente, aquelas que não devem fazer parte de um plano estratégico; ao estabelecer posições diferentes, que requerem habilidades, pessoas, equipamentos e consequentemente resultados diferentes a manutenção de uma estratégia torna-se mais difícil.

Estratégia competitiva significa ser diferente e está diretamente relacionada a entrega de valores únicos; Mintzberg et al. (2007) enfatizam que empresas optam por oferecer uma variedade de serviços exclusivos, ou que atendem necessidades de seus clientes, no intuito de alcançar, satisfazer e fidelizar um rol específico de requisitos; todavia, o autor alerta ainda que, esta posição vantajosa, a qual já foi núcleo da estratégia, deixou de ser. Num mercado em constante mutação onde produtos e processos podem ser copiados e técnicas gerenciais não são mais uma exclusividade, o estabelecimento de uma posição competitiva focaliza na obtenção de resultados.

Drucker (2017) chama a atenção que executivos precisam pensar nos resultados desejados, prováveis restrições, revisões futuras, pontos de *check-in* e implicações sobre como usarão seu tempo, por isso executam ações; mas antes de entrar em ação, o executivo precisa planejar seu curso e analisar as questões estratégicas envolvidas; Drucker se refere ainda à Napoleão, como um estrategista que planejou suas batalhas como antes nenhum general havia feito, por isso obteve tantas vitórias e bons resultados.

Questões estratégicas foram descritas por Ansoff (1980), como um desenvolvimento futuro, seja de dentro ou fora da organização, e que provavelmente teriam impacto importante na capacidade da empresa em atingir seus objetivos, podendo se tratar de oportunidades ou ameaças repentinas. Embora não seja

possível eliminar surpresas estratégicas, Lampel e Shapira (2001) afirmam que as empresas devem tentar reduzir sua probabilidade com ações como, coletar mais informações para validar o modelo de julgamento que usam, não confiar muito na história para prever intenções dos parceiros e desenvolver um processo sólido de interpretar as informações que estão sendo coletadas.

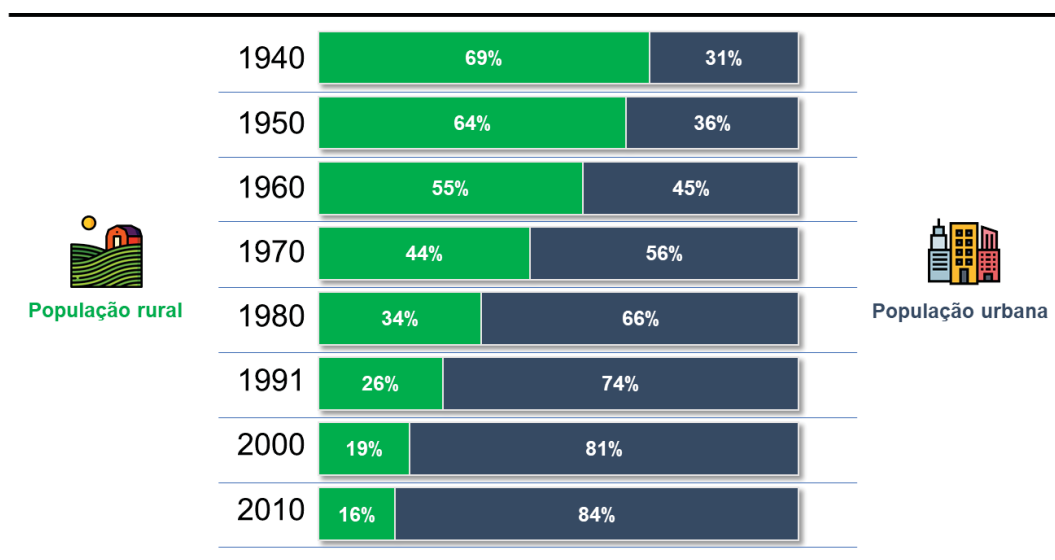
Equilibrar o uso de informações gerenciais na construção de estratégias organizacionais, tomada de decisões e definição de ações, lidando simultaneamente com os limites da racionalidade, com os desvios heurísticos, vieses e a própria experiência, requer preparo e apoio de ferramentas que minimizem eventuais consequências infortunas e ao mesmo tempo, maximizem os resultados. Neste breve estudo bibliográfico, objetivou-se deixar isto ainda mais claro, pois trata-se de um enorme desafio para os gestores nas empresas de TPC da RMC.

2.3 TRANSPORTE PÚBLICO POR ÔNIBUS

Muito antes do engenheiro Rudolf Diesel patentear sua criação, o motor movido a óleo diesel, o visionário Blaise Pascal lançou o primeiro serviço de transporte coletivo urbano do mundo em 1662, em Paris; o sistema de Pascal continha elementos que caracterizam o transporte coletivo ainda hoje: itinerários fixos, horários regulares e definição de capacidade de transporte para cada veículo; com o tempo, passou do uso de tração animal a veículos movidos a vapor, eletricidade, gasolina, diesel ou híbridos; chega à atualidade com a predominância do diesel, convivendo com diversas alternativas, tanto na tipologia dos veículos, quanto na sua propulsão (NTU, 2018).

No contexto histórico, a expansão das cidades e a urbanização acelerada do Brasil a partir da metade do século 20, demonstrada na FIGURA 6, fizeram com que os deslocamentos passassem a ser cada vez maiores; a localização das habitações, em geral, distantes dos centros urbanos, cada vez mais adensados, fez com que esta nova cidade espalhada encontrasse no transporte por ônibus a solução para as necessidades de sua população (ANTP, 2017b).

FIGURA 6 - TAXA DE URBANIZAÇÃO NO BRASIL. PERCENTUAL DE PESSOAS VIVENDO NO CAMPO E NA CIDADE ENTRE 1940 E 2010



FONTE: IBGE (2021a).

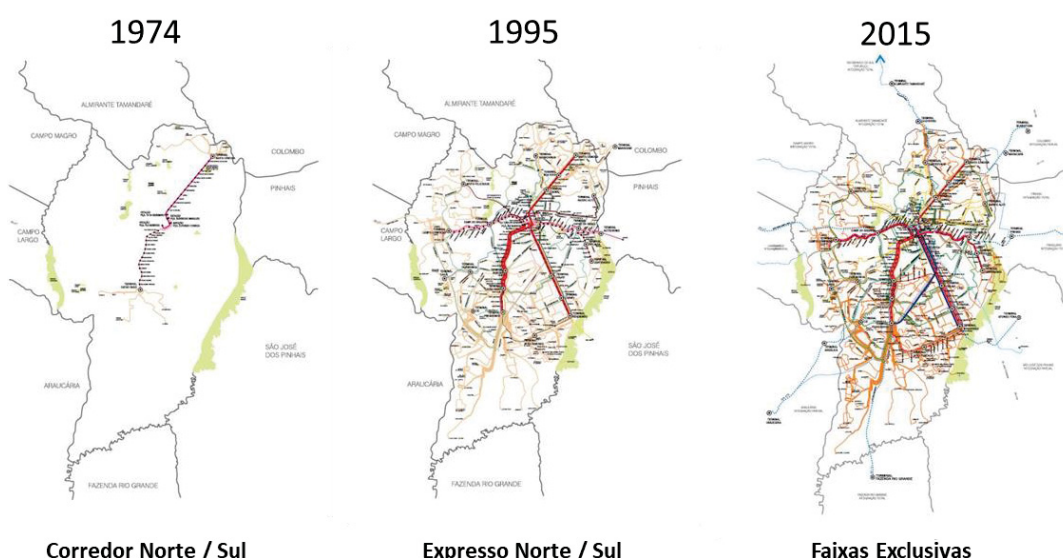
Ainda de acordo com a FIGURA 6, a partir da década de 1970 mais da metade da população passou a morar nos centros urbanos; com isso, o transporte por ônibus se expandiu e iniciou sua disputa por espaço e infraestrutura com o automóvel; o crescimento da motorização individual, fortalecidas por políticas de incentivo à indústria automobilística, forçou os ônibus a dividirem o escasso espaço da malha urbana, cenário este que se mantém até os dias atuais. No final dos anos 1970 ocorrem os primeiros ensaios na buscas de combustíveis alternativos, como o etanol e o gás, para uso no transporte por ônibus, em vista da necessidade de responder aos impactos da crise de petróleo sobre o setor (ANTP, 2017b).

Nesta mesma década de 1970, quando Curitiba tinha apenas 400.000 habitantes, atualmente possuiu cerca de 1,9 milhão (IBGE, 2021b), o Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba (IPPUC) concebeu um sistema de ônibus Troncal e Alimentador, operando ao longo de faixas de fluxo mediano, segregadas como o componente central das vias de trânsito axial (LINDAU et al., 2010), surgindo assim, o conceito de *Bus Rapid Transport* (BRT). A abordagem gradual baseada em um único plano indicativo de desenvolvimento urbano levou Curitiba, segundo Ardila-Gómez (2004), a um sistema altamente sofisticado com uma gama de serviços para cobertura metropolitana.

Inicialmente contando com apenas um corredor de transporte interligando a região norte e sul da capital paranaense, conforme representado pela linha vermelha

na FIGURA 7, ao longo dos anos a malha de TPC passou a incorporar uma série de novos componentes estruturais; as linhas coloridas no mapa de 1995 da mesma figura, demonstram esta expansão, com a criação do Expresso Norte/Sul, vias de ônibus medianas segregadas longitudinais, estações de embarque com pré-pagamento de tarifa, integração física e tarifária entre diversos serviços, incluindo linhas interligadas com as cidades da região metropolitana, representadas pelas linhas azuis pontilhadas, vias radiais, interbairros, circulares (LINDAU et al., 2010); outros elementos que permitiram a evolução do sistema de transporte foram a introdução do sistema de pagamento utilizando cartão eletrônico, no início dos anos 2000 e a implementação de um sistema de gestão de trânsito e transporte (URBS, 2021).

FIGURA 7 - RECORTES DA EVOLUÇÃO DA REDE INTEGRADA DE TRANSPORTE (RIT) DE CURITIBA E REGIÃO METROPOLITANA ENTRE 1974 E 2015



FONTE: Adaptado de (URBS, 2021).

Junto do pioneirismo em oferecer soluções de planejamento urbano e transporte público, Curitiba conta com uma longa tradição em implementar iniciativas de caráter ecológico e ambiental; aderiu ao Grupo de Grandes Cidades para Liderança Climática (C40) em 2005; este grupo é uma rede de grandes cidades ao redor do mundo que busca o objetivo comum de reduzir as emissões de gases de efeito estufa; neste âmbito, foi assinada a “Declaração de Intenção de Ônibus Limpo das Cidades C40”, se comprometendo com a redução das emissões do setor de

transporte e a melhoria da qualidade do ar, através da introdução de ônibus de baixa e, em última instância, zero emissões (DREIER et al., 2018).

Dentre as inovações empregadas no TPC, a eletrificação ganha cada vez mais destaque, tanto utilizando ônibus híbridos (diesel / elétrico) quanto em testes com veículos totalmente movidos por baterias; a eletrificação total do sistema de transporte público requer veículos e infraestrutura que se adaptem ao novo conceito; a infraestrutura deve ser atualizada com novas estações de carregamento nas áreas urbanas, enquanto os veículos devem ser equipados com baterias de alta densidade (AINSALU et al., 2018). Apesar da emissão reduzida de carbono por veículos elétricos, conforme comprovam Yuan et al. (2018), é necessário garantir que sua produção seja realizada de forma limpa, com o intuito de reduzir ainda mais as emissões (AGGARWAL; JAIN, 2016).

A inserção de veículos autônomos, guiados sem a necessidade de motoristas, vem sendo estudada e desenvolvida, tanto no transporte individual quanto coletivo; pesquisas e demonstrações recentes comprovaram que os veículos sem motorista são capazes de dirigir com segurança na maioria dos cenários comuns de estradas em todo o mundo (AINSALU et al., 2018); apesar do inerente conflito que isto pode gerar no futuro com a mão-de-obra, é possível admitir que a adoção deste tipo de tecnologia poderá reduzir os custos dos serviços, seguindo padrões de dirigibilidade que aproveitem melhor os combustíveis utilizados.

2.3.1 Composição dos custos no transporte coletivo

Buscando conhecer o preço do sistema no transporte coletivo brasileiro, Reis e Costa (2017), por meio da análise dos modelos de formação de custo do sistema, afirmam que diante da patente complexidade que envolve o transporte público, sobretudo, devido aos interesses difusos e ambíguos, entre o usuário dos serviços que pleiteia por preços baixos e qualidade; o operador (empresas) cujo objetivo é a rentabilidade e o poder público, que visa satisfazer tanto o usuário quanto o operador, gera-se um paradoxo social, onde a ausência de alternativas para as fontes de financiamento e a inserção no cálculo tarifário dos custos com a gratuidade, por exemplo, faz recair sobre o passageiro pagante todo o ônus dos custos; soma-se a isso os aumentos de custos gerados pela baixa produtividade dos ônibus, que ficam retidos nos congestionamentos causados pelos automóveis (ANTP, 2017b).

A composição dos custos do TPC em Curitiba é utilizada como princípio para a RMC, está descrita na “Metodologia de Cálculo da Tarifa Técnica” (URBS, 2020); neste documento os custos estão atribuídos a nove fatores, sendo eles:

- Quilometragem – Fator utilizado na composição dos custos dependentes;
- Passageiros – Fator utilizado na composição das receitas;
- Custos dependentes ou variáveis – Insumos como combustível, lubrificantes, peças e acessórios, pneus e materiais de rodagem e serviços de terceiros relacionados a manutenção;
- Custos com pessoal – Salários, benefícios e encargos de funcionários que atuam diretamente na operacionalização e administração dos serviços;
- Custos de administração – Custos com despesas administrativas e de ordem operacional;
- Amortização de veículos, instalações, edificações e equipamentos – Neste fator estão incluídos os custos com o resgate do capital investido;
- Rentabilidade justa sobre o serviço prestado – Estão inclusos o retorno sobre os investimentos, assim como, impostos exclusivos;
- Impostos e taxas – Neste item estão incluídos os impostos municipais e federais, assim como a taxa de administração do sistema;

De acordo com a planilha que apresenta a composição dos custos por quilômetro, por tipo de ônibus, disponibilizada pela URBS (URBS, 2019) no ano de 2020, em média, os custos dependentes iriam representar 23,36% do total mensal dos 75,4 milhões de reais necessários para a operacionalização do sistema; variáveis como os combustíveis e lubrificantes, correspondem a quase 15% deste total; já segundo a Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos (NTU), este percentual pode chegar a 22% dos custos totais do setor (NTU, 2018) e na RMC as despesas com combustíveis, lubrificantes, peças e acessórios ultrapassam 25% do custo total da tarifa (METROCARD, 2020).

Slomski et al. (2010) ao pesquisar custos no setor público, afirma que é necessário que a gestão pública atenda ao princípio constitucional da eficiência, pois esta presume qualidade na prestação do serviço à população, com otimização de recursos, além da importância da estruturação de sistemas de custeamento; ainda

segundo o autor, essa eficiência consegue minimizar a assimetria informacional entre o Estado e a sociedade.

Em Curitiba e RMC, a composição dos parâmetros de custos médios associados ao serviço de TPC, são determinados com base em acompanhamentos históricos, segregando os valores por tipo do veículo; já para o preço unitário do litro de óleo diesel, considera-se o valor médio apurado pela Agência Nacional do Petróleo (ANP) nos postos e distribuidoras (URBS, 2020).

2.3.2 Consumo de combustível

Partindo da inquietação quanto ao baixo aproveitamento do calor gerado pelos motores a vapor e realizando investigações teóricas que mostravam o desperdício de uma quantidade enorme de energia, o jovem aluno alemão Rudolf Diesel registrou, no ano de 1892, a patente de um “novo motor térmico racional”; este motor que, segundo fundamentos da engenharia converte energia de combustível em energia mecânica, viria substituir o, até então pouco eficaz e poluente, motor a vapor (MOLLENHAUER; SCHREINER, 2010).

A TABELA 1 apresenta alguns dos pontos de desenvolvimento do motor a diesel de alto desempenho; é possível perceber rápida evolução no tamanho, tecnologia e principalmente potência, fazendo com que menos de 100 anos após sua concepção este motor já fosse utilizado para impulsionar veículos, locomotivas e grandes embarcações.

TABELA 1 – SÍNTESE DO DESENVOLVIMENTO DO MOTOR DIESEL DE ALTO DESEMPENHO

Ano	Desenvolvimento
1897	Primeira execução de um motor a diesel com eficiência de 26,2%;
1899	Primeiro motor diesel de dois tempos da MAN;
1951	Primeiro motor diesel MAN de quatro tempos;
1972	Desenvolvido o, até agora ¹ , maior motor diesel de dois tempos;
1987	Maior sistema de propulsão diesel-elétrico para acionar o navio Rainha Elisabeth II;
2001	Motor diesel de dois tempos mais potente atualmente ¹ ;
2006	Primeiro motor de 14 cilindros de dois tempos do mundo e, portanto, o motor diesel mais potente;

FONTE: Adaptado de Mollenhauer; Schreiner (2010).

NOTA: ¹Até o ano de 2010.

Em mais de 100 anos de evolução, o motor a diesel mais que dobrou sua eficiência energética inicial de 26,2%, a qual mesmo sendo relativamente baixa em comparação aos motores atuais, estava muito acima de seu antecessor a vapor.

O consumo de combustível no motor a diesel acontece por meio da combustão, a qual é descrita quimicamente como o processo de oxidação das moléculas do combustível com o oxigênio atmosférico como oxidante; motores diesel têm uma mistura heterogênea de combustível/ar antes da ignição, que consiste em gotículas de combustível com diâmetros de alguns micrômetros distribuídas por toda a câmara de combustão; eles são parcialmente líquidos e parcialmente rodeados por uma mistura de vapor/ar de combustível (MOLLENHAUER; SCHREINER, 2010).

No intuito de aprimorar o funcionamento do motor, com ganho de potência e redução de consumo de combustível, o ar antes da admissão passou a ser fornecido com uma densidade maior do que o ar ambiente; produzida com a turbo alimentação e sobre alimentação mecânica dos gases de escape, complementado pelo resfriamento isobárico deste ar, realizado pelo *intercooler*, o qual reduz a carga térmica e mecânica do motor (PUCHER, 2010).

Visando minimizar as perdas e falha e satisfazer as demandas atuais especificadas pela ecologia, a energia e o material devem sempre ser convertidos com máxima eficiência, enquanto polui minimamente o meio ambiente.

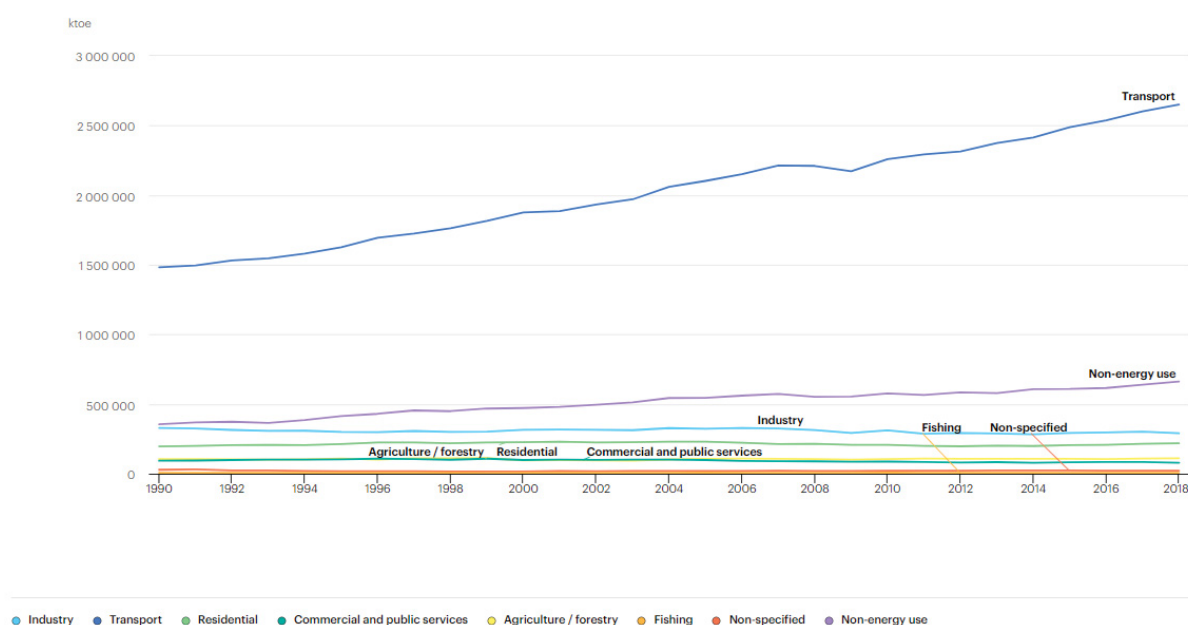
O motor diesel dos dias atuais é o resultado do complexo trabalho de pesquisa e desenvolvimento necessários para cumprir essas demandas que garantiram a evolução de um motor simples para um sistema complexo, consistindo em vários subsistemas; a maior integração de componentes elétricos e eletrônicos e a transição de sistemas de controle abertos para circuitos de controle fechados, são características desse desenvolvimento (MOLLENHAUER E SCHREINER, 2010).

Não é exagero concluir que os motores a diesel ajudaram, em grande medida, a mudar o curso da história moderna; o enorme aumento no volume de pessoas e produtos transportados internacionalmente, acompanhada pela redução dos custos do transporte de longa distância, eliminou qualquer preocupação com a origem ou o destino das viagens (SMIL, 2007).

Apesar das vantagens, a dependência dos motores a diesel e o risco de abastecimento de petróleo tem sido um grande problema desde os anos 1970; a maior parte da economia depende do petróleo importado dos países do Oriente Médio, principais nações exportadoras de petróleo, mas que vivem em constantes

instabilidades políticas (BRIGGS, 2020). O setor de transportes é sem dúvida o mais afetado por estas instabilidades, pois consome a maior parte desta produção, conforme demonstrado na FIGURA 8; a linha azul representa o volume de barris de petróleo consumidos no segmento de transportes e ultrapassa, com sobras, o volume de todos os demais segmentos listados (industrial, residencial, comercial, etc.).

FIGURA 8 - CONSUMO DE PRODUTOS DE ÓLEO POR SETOR ENTRE 1990-2018



FONTE: IEA (2021).

2.4 CENÁRIO DE CONSUMO DE ÓLEO DIESEL POR ÔNIBUS NA RMC

De acordo com o Relatório de Tendências Globais de Energia edição 2021 (ENERDATA.NET, 2021), apesar da desaceleração em 2020, o consumo de óleo pelo G20 (países formados pelas maiores economias do mundo, inclusive o Brasil) tem retomado patamares apresentados em 2019; no Brasil, cidades como São Paulo, Belo Horizonte, Porto Alegre e Curitiba, capitais com alto índice demográfico e necessidade de deslocamentos, dependem maciçamente desta fonte de energia para movimentar suas frotas de ônibus.

Curitiba e região metropolitana, principalmente pelo fato de não possuírem transporte público sob trilhos, contam um BRT que evoluiu a ponto de integrar linhas de ônibus entre a maioria das cidades da região metropolitana e a capital; porém, assim como no resto do Brasil e no mundo, o serviço depende de uma frota de ônibus

majoritariamente movida a óleo diesel; na TABELA 2 estão expostos os volumes de combustível para o ano de 2019 em Curitiba e Região Metropolitana; no total era previsto o consumo de, em média, 6,3 milhões de litros de óleo diesel para percorrer, em média, 13,1 milhões de quilômetros ao mês.

TABELA 2 - PARÂMETROS DE CONSUMO DE COMBUSTÍVEL PREVISTOS PARA 2019

Parâmetro	Curitiba	RMC	Total
Quilometragem média mensal prevista	7.976.159	5.200.993	13.177.151
Litros de combustível mensal previsto	3.981.114	2.383.110	6.364.224

FONTE: URBS (2009); URBS (2019) e Dados da pesquisa (2021).

Dentre os fatores (variáveis) que interferem na eficácia do consumo de combustível, Ahn et al. (2002) afirmam que essas variáveis podem ser classificadas em seis grandes categorias: fatores relacionados a viagens, clima, veículos, rodovias, tráfego e motoristas.

Holmberg et al. (2014) relaciona uma série de fatores que interferem no aproveitamento da energia gerada pelo combustível, tidos como valores médios para a frota global de caminhões e ônibus; dentre estes valores destaca-se que, apenas 47% da energia gerada é convertida em poder mecânico; o restante é distribuído para vencer a resistência do ar, resfriamento do sistema, gases de exaustão, superar o atrito de qualquer parte do veículo, dentre outros.

Abreu et al. (2015) identificaram como principais fatores determinantes do consumo de combustível em ônibus: o tipo do veículo, em função de seu peso e tamanho; a velocidade comercial, a qual é fortemente influenciada pela distância entre as paradas, que por sua vez sofre influência dos diferentes tipos de linhas; a operação suburbana (ou metropolitana) desenvolve melhores velocidades e consequentemente, melhor desempenho no consumo de combustível por possuírem, em média, paradas mais distantes; por fim, tanto Ahn et al. (2002) quanto Abreu et al. (2015) afirmam que o fator humano também exerce grande impacto no consumo.

2.5 COLETA E QUALIFICAÇÃO DE DADOS

As atividades desenvolvidas nas organizações geram uma coleção de dados relacionados, com significado implícito e que de acordo com Ramakrishnan et al.

(2003), podem compor um banco de dados; estes dados são armazenados em computadores que fazem a gravação e indexação em Sistemas de Gerenciamento de Bancos de Dados (SGBD) e possuem características, como:

- Representam algum aspecto do mundo real;
- Possuem uma coleção de dados logicamente coerentes com significado inerente;
- São projetados, construídos e preenchidos para uma finalidade específica;

Segundo o *Data Management Body of Knowledge* (DAMA-BOK®) dados podem ser projetados, construídos e relacionados em tipos de estruturas com características distintas, categorizados como dados mestres e transacionais. Os dados mestres fornecem contexto para transações, moldando-as quando entram numa organização durante as operações (EARLEY; HENDERSON, 2017). Dado mestre é o subconjunto da “versão única da verdade” (SILVOLA et al., 2011); com isso, dados mestres brutos, de diferentes aplicativos, são unificados em um formato e compartilhados. Já os dados transacionais, de acordo com Hand (2018), quando coletados e analisados, servem para melhorar a compreensão das operações da organização; são um tipo importante de dados administrativo relacionados a eventos.

Para a melhoria na tomada de decisões, a Qualidade de Dados (QD) é um fator crítico, pois permite atingir os objetivos estratégicos e operacionais de um negócio; (SHANKARANARAYAN et al., 2003; PRICE e SHANKS, 2005); o uso estratégico da informação, segundo Choo (2003) serve de guia para a tomadas de decisões racionais importantes, assim como, Brynjolfsson et al. (2011) asseguram que a tomada de decisões baseada em dados está associada a melhoria da produtividade.

Fundamentado nos motivadores de negócios, o DAMA-BOK® propõe a criação de um programa formal de gerenciamento de qualidade dos dados; reduzindo os riscos e custos associados a dados de baixa qualidade, melhorando a eficiência organizacional e a produtividade, minimizando perdas devido à más decisões de negócios motivadas por dados ruins (EARLEY; HENDERSON, 2017).

Para a descoberta de dados que podem implicar em quebras de conformidade, Barbieri e Farinelli (2013) afirmam ser necessária a análise das regras de negócios fundamentais dos processos, ou seja, restrições com base em descrições e fatos (ZOET et al., 2011); de acordo ainda com o DAMA-BOK®, os analistas precisam identificar as regras que descrevem ou implicam em expectativas sobre as

características de qualidade dos dados (EARLEY e HENDERSON, 2017). O mesmo recurso de dados pode ter um nível de qualidade aceitável em alguns contextos e inaceitável em outros, sendo papel dos consumidores de dados avaliar as regras de qualidade, em diferentes contextos de negócios ou dimensões específicas (EVEN; SHANKARANARAYANAN, 2007).

Earley e Henderson (2017) estabelecem dimensão como um termo usado para fazer a conexão com as dimensões na medição de objetos físicos; já o *Data Management Association (DAMA) UK Working Group on “Data Quality Dimensions”* (2013) descreve dimensão como um recurso de dados que pode ser medido ou avaliado em relação a requisitos mensuráveis, padrões e expectativas, onde a qualidade dos dados pode ser medida de forma objetiva.

Bizer e Cyganiak (2009) relatam que métricas empregadas na medição da qualidade dos dados, podem ser apoiadas em metainformações sobre as circunstâncias em que os dados foram criados, em informações básicas sobre o provedor ou em classificações fornecidas pelo próprio consumidor de dados; técnicas estatísticas, chamadas por Anderson et al. (2016) de fatos numéricos, são o campo de estudo que trata da coleta, análise, apresentação e interpretação de dados e são empregadas no contexto dos negócios como valiosas formas de medição.

Com objetivo de aprimorar o trabalho de qualificação, Aguinis et al. (2013) sugerem que na avaliação de qualidade dos dados sejam utilizadas técnicas que intercalem abordagens quantitativas precedidas de ferramentas visuais; dentre estas ferramentas está o gráfico *boxplot*; criado por Tukey (1977) é uma representação visual, que utiliza uma técnica na qual os dados são agrupados e representados pelos seus quartis; o intervalo interquartil (IQR) ajuda a encontrar desvios em dados continuamente distribuídos; é calculado pela subtração do valor do terceiro quartil (Q3) pelo primeiro quartil (Q1) (VINUTHA et al., 2018); desta forma, considera-se que dados que ultrapassem o primeiro ou o terceiro quartil sejam caracterizados como anomalias. Chandola et al. (2009) descrevem ainda a utilização dos chamados “limites estendidos”, onde os *whiskers* (bigodes do gráfico) são posicionados a $(1,5 \times \text{IQR})$ menor que Q1 e $(1,5 \times \text{IQR})$ maior que Q3, e com isso, os dados considerados como anomalias estariam além destes limites. Nesta pesquisa, com intuito de manter os registros próximos das medidas de tendência central, e com isso atribuir maior precisão aos dados, adotou-se o modelo de Chandola et al. (2009), porém com limites estendidos apenas 1 vez a partir do primeiro e terceiro quartil.

Complementando a análise visual, é utilizado o gráfico de dispersão, criado por Francis Galton para representar valores de um conjunto de dados de duas (ou mais) variáveis independentes, sob o plano cartesiano (GALTON, 1886); neste gráfico, pode-se por exemplo, verificar a distribuição linear de pontos quando os valores dos eixos X e Y são correlacionados, isto permite não só a identificação de dados divergentes, como avaliar a homogeneidade e linearidade da distribuição.

No tratamento e apresentação de resultados em forma de estatísticas descritivas ou elementos gráficos, o uso de softwares de *Business Intelligence* (BI) é um instrumento poderoso. Definido por Barbieri (2011) como uma forma de transformar dados em informação, os sistemas de BI são softwares computacionais que permitem simplificar a coleta de dados de fontes distintas e realizar o tratamento visando a produção de informação e conhecimento.

2.6 TÉCNICAS DE ANÁLISES DOS DADOS

Por se tratar de um estudo de caráter quantitativo, nesta sessão serão apresentados os métodos de análise utilizados para formar o perfil da amostra selecionada, a caracterização das variáveis e grupos de variáveis e a realização dos testes estatísticos, que permitiram identificar a relevância ou variabilidade dos fatores sobre o consumo de combustível.

A primeira atividade de análise, realizada mesmo antes de iniciar o exame das informações do banco de dados, trata-se da escolha das variáveis que compõe o estudo; detalhes desta escolha serão expostos na sessão que apresenta as particularidades da delimitação da população e da seleção da amostra, assim como, na coleta e tratamento dos dados; porém, vale ressaltar que a escolha considerou fatores identificados na análise da literatura, no conhecimento empírico deste pesquisador, que atua no segmento a mais de 20 anos e principalmente na disponibilidade de dados do processo no sistema ERP das empresas operadoras.

As técnicas estatísticas de análise bivariada e multivariada utilizadas, visam investigar a relação causa x efeito entre os fatores e a variável dependente de consumo de combustível por quilômetros rodados. A começar pelo cálculo do Coeficiente de Correlação de Pearson (R), que irá demonstrar o grau de associação entre as variáveis independentes e a variável dependente; o cálculo do Coeficiente de Determinação (R^2) que irá ilustrar quanto da variação na variável dependente é

explicada pela variação no valor de cada variável independente; a Análise de Variância (ANOVA), que irá verificar se existem diferenças estatisticamente significativas entre grupos com mesmas características; o teste *post hoc* de Tukey, que irá detalhar em quais grupos estão presentes estas diferenças; a Análise Fatorial Exploratória (AFE) que verifica as relações interna do conjunto de variáveis, reduzindo-as um grupo menor de fatores e a Análise de Componentes Principais (ACP), que visa identificar se as primeiras componentes, com maior variância, explicam uma grande parte da variância total dos fatores originais (FACHEL, 1976).

O uso correto do tipo de coeficiente de correlação, depende dos tipos de variáveis em estudo, sendo dois os principais: coeficiente de correlação de Spearman, utilizado quando uma ou ambas as variáveis são distorcidas ou ordinal, sendo eficaz na presença de valores extremos; e o coeficiente de correlação de Pearson, adotado neste trabalho e utilizado quando ambas as variáveis possuem distribuição normal e caracterizadas como quantitativas (MUKAKA, 2012); ainda quanto ao coeficiente de correlação de Pearson (R), Morettin e Bussad (2017) expõem que os chamados coeficientes de associação ou correlação, são medidas que descrevem a associação (ou dependência) entre duas variáveis, por meio de um único número, que podem variar entre 0 e 1, ou entre -1 e $+1$; resultados próximos dos limites demonstram maior grau de correlação, enquanto que a proximidade de zero indica falta de associação.

Hinkle et al. (2003) propõe uma interpretação que descreve o grau de correlação em função dos valores de R ; na TABELA 3 está exposta esta interpretação e definida uma escala de cores, a qual irá facilitar a verificação da força e do tipo de correlação; a cor verde indica correlação positiva, enquanto a vermelha, negativa; já a intensidade da cor expõe a força da correlação, onde, quanto mais escuro, maior.

TABELA 3 - GRAU DE CORRELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS

Correlação	Interpretação	Correlação positiva	Correlação negativa
0,9 a 1,0 ou -0,9 a -1,0	Correlação muito forte		
0,7 a 0,9 ou -0,7 a -0,9	Correlação forte		
0,5 a 0,7 ou -0,5 a -0,7	Correlação moderada		
0,3 a 0,5 ou -0,3 a -0,5	Correlação fraca		
0,0 a 0,3 ou 0,0 a -0,3	Correlação desprezível		

FONTE: Adaptado de Hinkle et al. (2003).

A ANOVA foi desenvolvida pelo estatístico Ronald Fisher e utilizada inicialmente para a análise do rendimento de grãos, com dados da variação de colheitas (FISHER, 1921); de maneira geral, serve para verificar se duas ou mais médias populacionais entre grupos, possuem diferenças estatisticamente significativas; entretanto, o resultado da ANOVA indica apenas se existem diferenças entre grupos, mas não aponta em quais grupos estas diferenças estão presentes, assim, é necessário a realização de um teste complementar, chamado de teste *post hoc*, como o de Tukey, utilizado nesta pesquisa, que irá indicar em quais grupos as diferenças estão presentes.

Criado pelo estatístico John W. Tukey e publicado no artigo *Comparing Individual Means in the Analysis of Variance* (TUKEY, 1949), o teste é utilizado para verificar: (1) grandes lacunas entre os meios de variedade adjacentes quando dispostos em ordem de tamanho; (2) a média de uma variável com valores retardatários em relação à média geral dos grupos; (3) as medianas de variáveis tomadas em conjunto com variabilidade excessiva; como resultado, o teste visa separar as variedades em grupos distinguíveis, sempre que isto for possível, sem separar variedades que deveriam permanecer juntas.

A técnica multivariada de AFE entra como suplemento, mostrando como um subconjunto de variáveis independentes pode prever uma variável dependente. Fachel (1976) alega que a primeira abordagem rigorosa de Análise Fatorial, do ponto de vista da estatística teórica, tratando de problema de estimação, foi feita por Lawley em 1940; o pesquisador determinou os coeficientes fatoriais a partir da matriz de covariância ou correlação das variáveis observadas. A Análise Fatorial é utilizada na identificação de correlações entre um conjunto maior de variáveis, buscando uma proporção de variância de fatores comuns, sendo esta proporção chamada de comunalidade. Uma das etapas da análise fatorial, a rotação de fatores, realiza o processo de ajuste dos eixos de fatores de modo a obter uma solução mais simples e teoricamente mais significativa, sendo que este processo leva a geração de uma matriz contendo os coeficientes que expressam as correlações entre variáveis e fatores (KIM et al., 1978).

No transporte público por ônibus urbanos, a AFE foi utilizada por Lu et al. (2016) para propor um método que encontrasse os principais fatores, dentre eles o padrão de direção tradicionais, fatores geográficos da rota de ônibus, fatores de hábitos de direção e fatores ambientais e que descrevesse as dimensões do ciclo de

direção, ordenados pelo efeito dos fatores na economia de combustível; como resultado, os pesquisadores obtiveram 13 fatores que exerciam maior influência na economia.

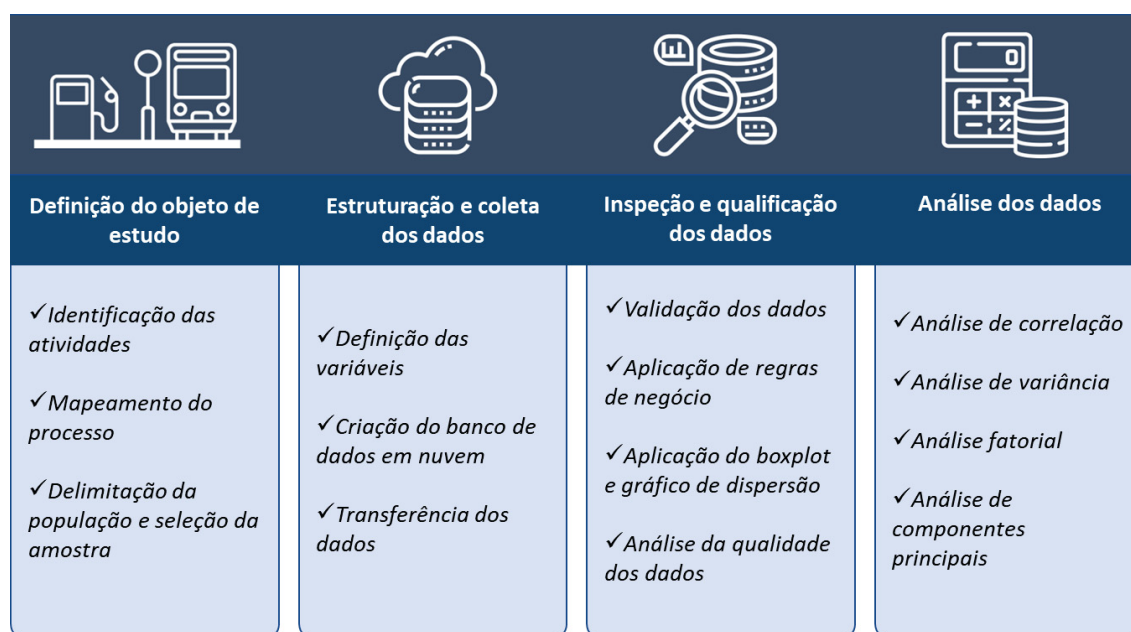
A técnica de ACP foi introduzida por K. Person em 1901 e posteriormente desenvolvida por H. Hotelling; nesta técnica um conjunto p de variáveis ($X_1, X_2, \dots, X_p$) é transformada linearmente em um conjunto igual de novas variáveis ($Y_1, Y_2, \dots, Y_p$), não correlacionadas e ordenadas por sua variância em ordem decrescente; desta forma, na prática a técnica é utilizada para encontrar combinações lineares com grandes variâncias, pois muitas vezes as primeiras poucas componentes explicam uma grande proporção da variação total das variáveis originais (FACHEL, 1976).

Gadde et al. (2019) fizeram uso da técnica de ACP para determinar as principais variáveis na previsão da economia de combustível, em um estudo que reduziu variáveis fortemente correlacionadas, utilizando um algoritmo de aprendizado de máquina, e assim, previram a economia em um ciclo de direção urbano.

3 MÉTODOS E MATERIAIS

Neste capítulo são expostos o conjunto de atividades realizadas com o intuito de estabelecer o ambiente da pesquisa, a forma de aplicação das técnicas estatísticas e apresentação dos resultados. Considerando o mapeamento das atividades e os dados do processo, o problema identificado e os objetivos específicos propostos, estabeleceu-se o Mapa Metodológico exibido na FIGURA 9, o qual resume as etapas desta sessão.

FIGURA 9 - MAPA METODOLÓGICO



FONTE: O autor (2021).

3.1 DEFINIÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

A pesquisa apresentada neste trabalho, é fundamentada em atividades mapeadas e dados primários coletados de empresas que realizam o TPC na RMC; a frota e programação de linhas e horários destas empresas são variadas, podendo ser agrupadas de acordo com características similares de operação, conforme exemplificam Kuah e Perl (1988), como o distanciamento de pontos de paradas ou distribuição da demanda.

Os ônibus que realizam o TPC são fornecidos por diferentes fabricantes e modelos de chassis e carrocerias as quais, segundo a Norma Técnica Brasileira (NBR)

15570:2009, são estruturas montadas sobre o chassi-plataforma adequados ao transporte de passageiros (ABNT, 2009); assim, a combinação de chassis e carrocerias resulta em ônibus de diferentes classes, detalhadas na TABELA 4; nela está descrita a capacidade dos tanques de armazenamento de combustível, a qual é determinada pelo fabricante do chassi, a máxima utilização diária, a qual é estabelecida de maneira empírica pelos gestores do processo, baseada no tempo médio e velocidade média de operação de cada veículo, além de outros parâmetros como peso, comprimento e capacidade de cada tipo de ônibus.

TABELA 4 - CLASSES E CARACTERÍSTICAS DOS VEÍCULOS UTILIZADOS NO TPC DA RMC

Classe (Tipo de ônibus)	Capacidade mínima (passageiro) ^a	Peso bruto mínimo (tonelada)	Comprimento máximo (metro)	Capacidade máxima de combustível (litro)	Máxima utilização diária (Km)
Micro ônibus	10 a 20	5	7,4	150	700
Básico (Comum)	70	16	14	300	700
Padron ^b	80	16	14 ^c	300	700
Articulado	100	26	18,6	600	700
Biarticulado	160	36	30	600	700

FONTE: Adaptado de NBR 15570:2009 (ABNT, 2009).

Notas:

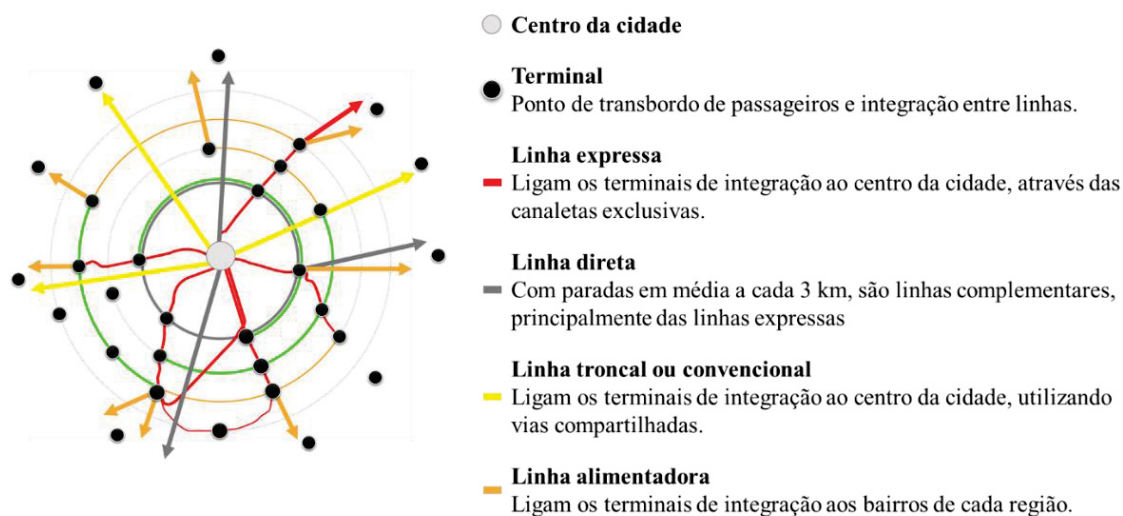
^a Passageiros sentados e em pé.

^b Para fins desta pesquisa, veículo classificados como Multimodal e Semi Padron se enquadram nas características dos veículos Padron.

^c Admite-se ônibus Padron de até 15 m, desde que dotado de terceiro eixo de apoio direcional.

Cada classe de ônibus, conhecidos também como tipo de veículo, é designado pelo órgão gestor para tipos de linhas mais adequadas, em função de suas características; A FIGURA 10 apresenta detalhes dos tipos de linhas onde a frota da RMC atua, nela verificam-se os diferentes tipos de linhas (denominados também como Grupos de Operação) representados pelos traços coloridos, os terminais representados pelos pontos e na legenda, a descrição de algumas das principais características de cada elemento.

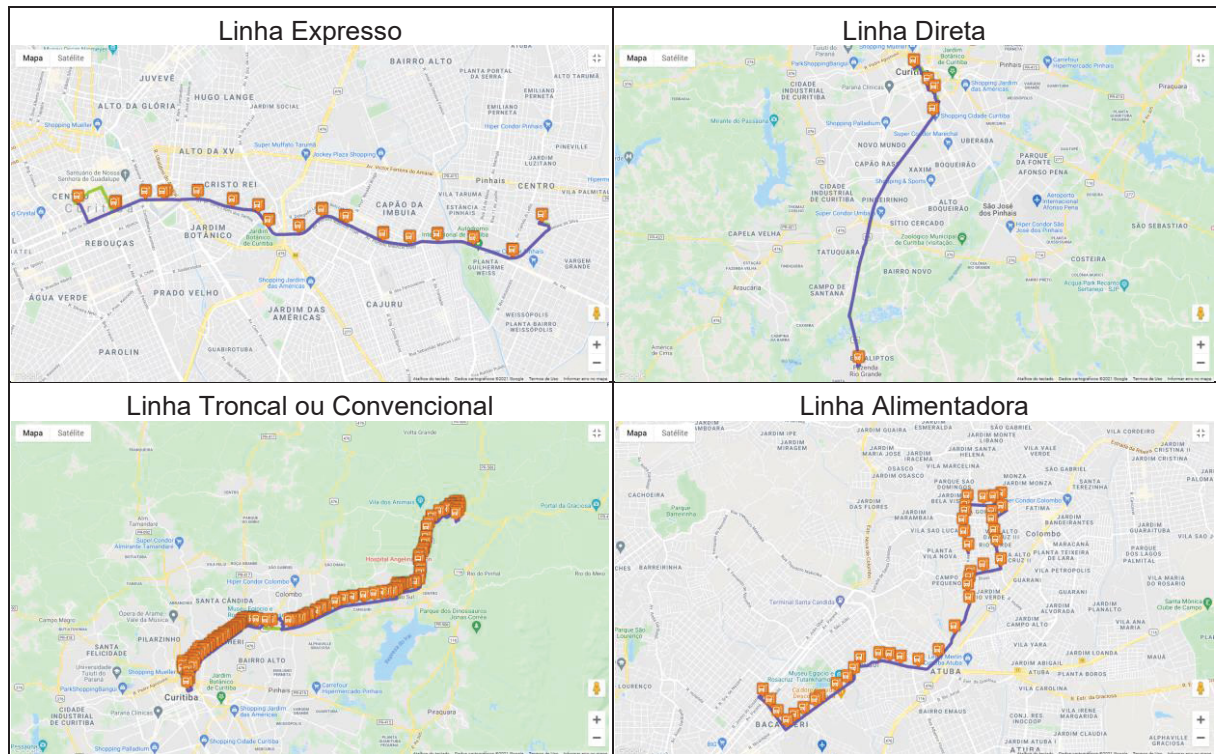
FIGURA 10 - ESTRUTURA DOS GRUPOS DE OPERAÇÃO DAS LINHAS DA RMC



FONTE: Adaptado de URBS (2021).

Além dos atributos descritos na FIGURA 10, outros fatores que podem variar de maneira considerável entre os diferentes tipos de linhas são, a velocidade média operacional da linha (VML), a quantidade (PP) e distância média entre os pontos de parada (DPP) e a extensão média das linhas (EML); o QUADRO 3 apresenta exemplos destas diferenças; os balões laranja indicam os pontos de paradas, enquanto o tracejado azul o caminho da linha. Percebe-se que, linhas do tipo Expressa (ou Expresso) possui um reduzido número de paradas (estações tubo) e um trajeto que liga um terminal metropolitano ao centro da cidade; já a Linha Direta (Ligeirinho), possui ainda menos pontos de paradas, com distância média maiores entre eles e um trajeto mais extenso e neste caso, operando em rodovia, o que eleva a VML; a linha Troncal ou Convencional, liga o centro de uma cidade da RMC ao centro da capital, todavia tem um elevado número de pontos de paradas, reduzindo bastante a DPP e interferindo na VML, uma vez que os veículos necessitam parar e arrancar diversas vezes durante o trajeto; já a linha Alimentadora, percorre um bairro levando os passageiros até os terminais de integração; em média tem uma DPP relativamente pequena e EML também pequena, se comparada com os demais tipos de linha.

QUADRO 3 - MAPAS DOS DIFERENTES TIPOS DE LINHAS DA RMC



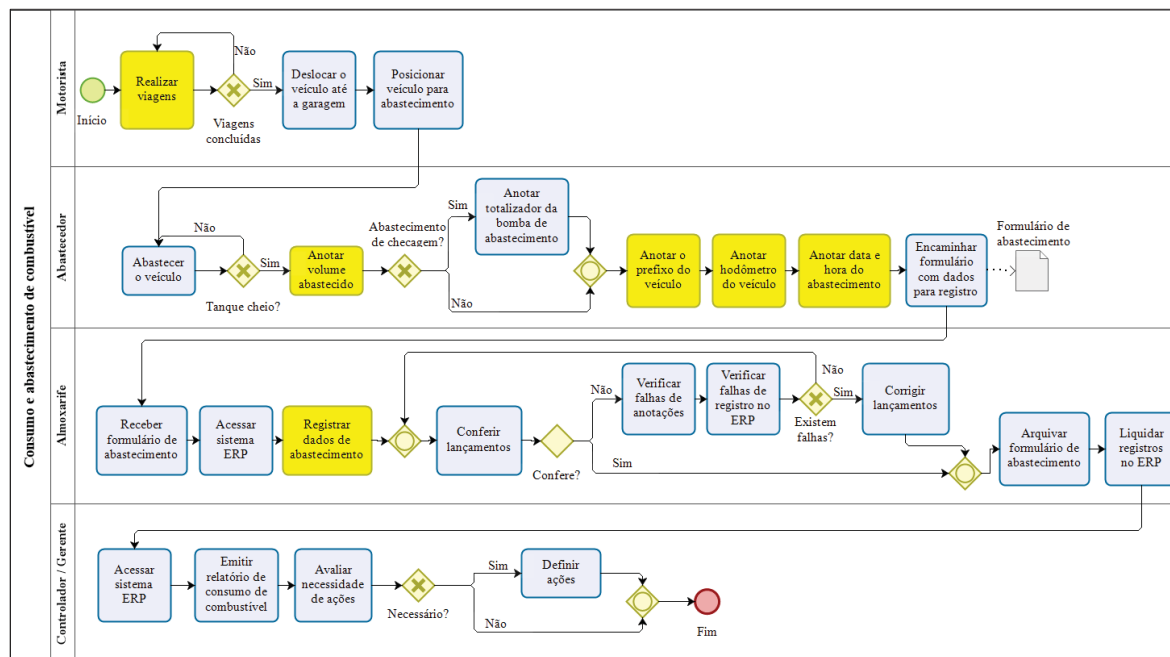
FONTE: Metrocard (2021).

Não raro, o mesmo ônibus opera em diferentes condições de tráfego, relevo e lotação; sofre influência do peso, da dirigibilidade etc. fazendo com que o desempenho do consumo de combustível mude de maneira considerável, requerendo decisões estratégicas que determinem ações para melhorar a eficiência no aproveitamento do combustível.

O abastecimento de combustível acontece nas dependências das empresas, tendo seus dados registrados e controlados por meio de um software de ERP; a dinâmica de atividades deste processo está representada na FIGURA 11, destacando em amarelo as tarefas que geram e tratam os dados do processo. Ao concluir a operação diária, o motorista desloca o veículo até a garagem da empresa, e então é realizado o abastecimento, no qual o tanque de combustível é preenchido completamente; com isso, é apurada a quantidade de combustível consumida durante o dia; são anotados, em um formulário, os seguintes dados: prefixo e quilometragem (hodômetro) do veículo; data, hora e volume (em litros) e quando necessário, o numerador da bomba de abastecimento, encaminhando o formulário para registro dos dados no sistema de ERP; os demais detalhes da operação, como a identificação da linha, horários e quilometragem percorrida em cada trecho, são registrados mediante

anotações realizadas em um formulário denominado Ficha de Controle de Veículo (FCV), ou então, fazem parte dos dados mestres do cadastro de linhas, equipamentos e funcionários no Sistema ERP.

FIGURA 11 - PROCESSO DE CONSUMO, ABASTECIMENTO E GESTÃO DE COMBUSTÍVEL



FONTE: O autor (2021).

Após o cadastramento dos dados de abastecimentos são emitidas listagens, como a exposta na FIGURA 12, que permite verificar o desempenho de consumo de combustível em diferentes períodos, sendo a avaliação do consumo médio por quilômetro de cada veículo, a principal informação utilizada pelos gestores para definição de ações estratégicas ou operacionais; estas listagens apresentam a quantidade de litros consumidos e a quilometragem percorrida entre cada intervalo de abastecimento; dividindo-se a quilometragem pelo número de litros abastecidos, obtém-se a média de quilômetros rodados por litro de combustível consumido (Km/l).

$$Km / l = \frac{Quilometragem\ rodada}{Litros\ de\ combustível\ consumido}$$

A eficácia de aproveitamento do combustível é constatada pela comparação com o histórico do próprio veículo, ou com outros veículos com as mesmas características; a expectativa é a maximização da quilometragem percorrida em

função de cada litro de combustível consumido. Ações para melhoria de resultados, via-de-regra são voltadas a capacitação dos motoristas e realização de manutenção preventiva e corretiva nos veículos.

FIGURA 12 - RELATÓRIO DE MÉDIA DE COMBUSTÍVEL EMITIDO A PARTIR DO ERP

<u>Equipamento</u>	<u>Registrador</u>		<u>Utilização</u>	<u>Qtde</u>	<u>Média</u>	<u>ΔM%</u>	<u>M.I.</u>	<u>Qtde M.I.</u>	<u>Diferença</u>	<u>ΔMI%</u>
001	374.662	4	1.629	706,1	2,3070	-14,31	2,0000	815	-108	15,35
002	368.542	4	1.300	430,0	3,0233	12,29	2,0000	650	-220	51,16
004	363.249	3	528	186,0	2,8387	5,43	2,0000	264	-78	41,94
005	252.021	2	1.380	441,9	3,1229	15,99	2,0000	690	-248	56,14
006	264.612	2	1.783	613,8	2,9049	7,89	2,0000	892	-278	45,24
007	272.745	2	2.281	746,4	3,0560	13,50	2,0000	1.141	-394	52,80
008	226.208	2	1.675	591,2	2,8332	5,23	2,0000	838	-246	41,66
009	219.500	1	2.168	708,0	3,0621	13,73	2,0000	1.084	-376	53,11
010	197.412	1	2.413	772,2	3,1248	16,06	2,0000	1.207	-434	56,24
011	122.452	1	2.123	773,9	2,7432	1,89	2,0000	1.062	-288	37,16
012	116.435	1	1.066	390,1	2,7326	1,49	2,0000	533	-143	36,63
013	83.799	1	2.278	751,9	3,0297	12,53	2,0000	1.139	-387	51,48
014	78.784	1	1.786	585,1	3,0525	13,37	2,0000	893	-308	52,62
015	57.545	0	1.295	468,2	2,7659	2,73	2,0000	648	-179	38,30
016	55.603	0	1.546	520,5	2,9702	10,32	2,0000	773	-253	48,51

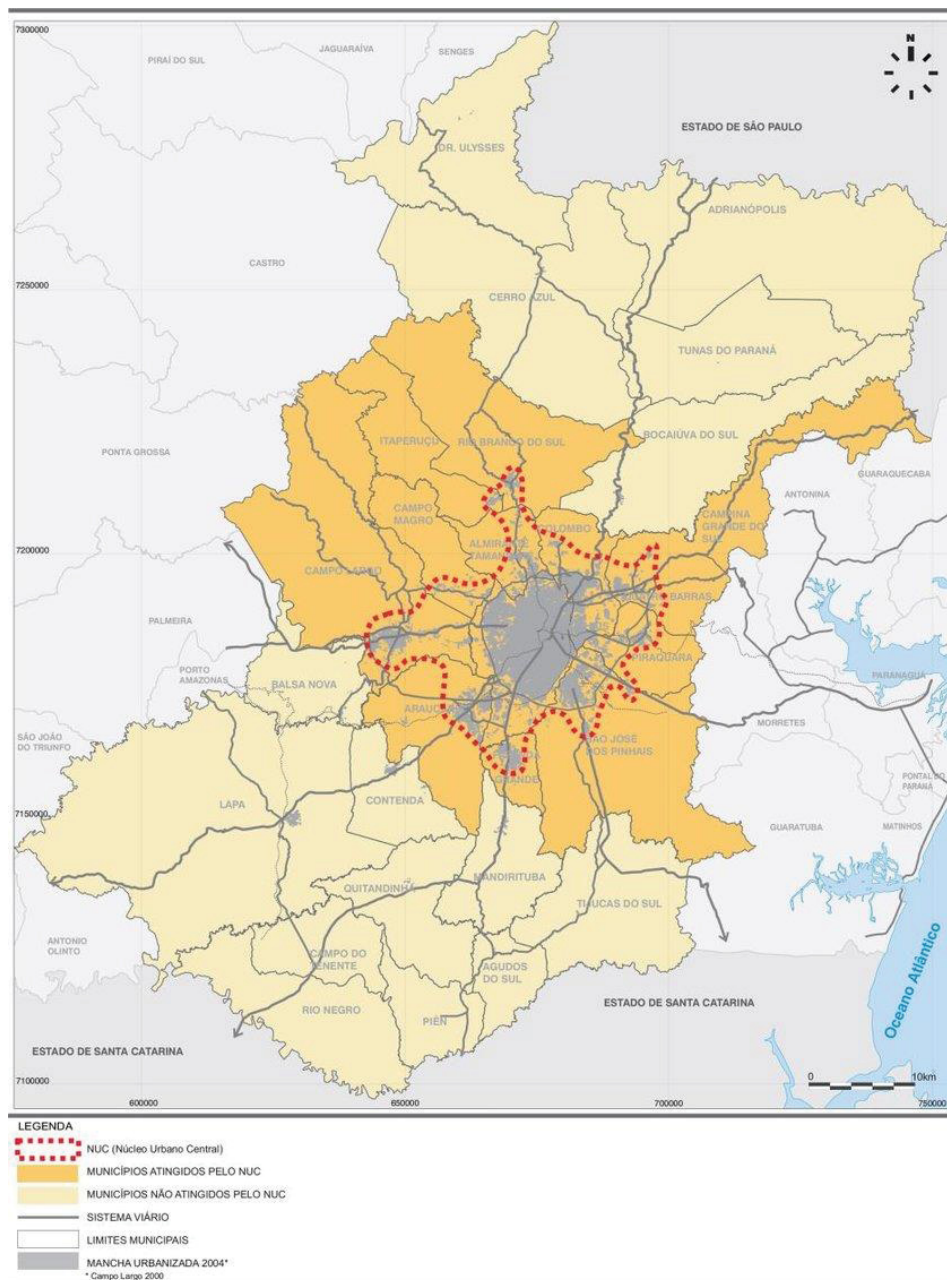
FONTE: O autor (2021).

O estímulo a produtividade e a modicidade tarifária, previstos na legislação estadual (PARANÁ, 2015), são critérios fortemente impactados pelo melhor aproveitamento no consumo de combustível; as empresas que operam o serviço de TPC da RMC devem seguir estas diretrizes que, além disso, estabelecem a redução da poluição ambiental.

Constituída por 29 municípios, a RMC é a oitava mais populosa do Brasil, com 3.223.836 habitantes e concentra 30,86% da população do Estado; também é a segunda maior região metropolitana do país em extensão, com 16.581,21km²; dividida em dois núcleos: o Núcleo Urbano Central (NUC), destacado na FIGURA 13 pela linha pontilhada vermelha e formado pelos municípios de Almirante Tamandaré, Araucária, Campina Grande do Sul, Campo Largo, Campo Magro, Colombo, Curitiba, Fazenda Rio Grande, Itaperuçu, Pinhais, Piraquara, Quatro Barras, Rio Branco do Sul e São José dos Pinhais; e o Núcleo do Vale da Ribeira (NVR) composto por: Bocaiúva do Sul, Itaperuçu, Rio Branco do Sul, Tunas do Paraná, Adrianópolis, Cerro Azul e Doutor Ulysses (COMEC, 2021a) onde, exceto os últimos três municípios, todos os demais possuem linhas de ônibus administradas pela COMEC.

Quanto ao relevo de Curitiba e RMC, este se apresenta levemente ondulado, com elevações rochosas mais imponentes a leste em São José dos Pinhais, porém próximo da serra do mar, ao norte na região de Rio Branco do Sul e Oeste na região de Campo Magro; na área sul não há elevações mais destacadas, predominando uma região mais plana (FANINI, 2008).

FIGURA 13 - MAPA DO NÚCLEO URBANO CENTRAL DA RMC



FONTE: COMEC (2021b).

Ao todo 18 empresas privadas realizam o serviço de TPC da RMC e atuam em regiões pré-estabelecidas, em função da abrangência e localização das linhas; o sistema é composto por 230 linhas que interligam 19 terminais metropolitanos, 19 terminais urbanos e 10 pontos de origem e destino fora de terminais - incluindo estações tubo (COMEC, 2021b); a FIGURA 14 exhibe o embarque de passageiros em ônibus do tipo Articulado, dentro do terminal de Fazenda Rio Grande, um dos quais é possível realizar a integração física, ou seja, os passageiros podem trocar de linhas sem a necessidade de pagamento de uma nova passagem.

FIGURA 14 - EMBARQUE DE PASSAGEIROS EM TERMINAL METROPOLITANO



FONTE: PARANÁ. AGÊNCIA DE NOTÍCIAS DO ESTADO (2021).

A quantidade de ônibus que realizam o serviço é definida pela COMEC, adequando-a à quantidade de passageiros projetados no cálculo da planilha tarifária; em 2019, de acordo com dados obtidos junto ao órgão gestor, a frota estava distribuída da seguinte forma: 14 Micro ônibus, 545 ônibus Comum, 83 ônibus Semi Padron, 73 ônibus Padron, 158 ônibus Articulados e 18 ônibus Biarticulados, totalizando 891 veículos aptos à realizar o serviço, incluindo neste caso a frota reserva, capaz de substituir veículos que não possam cumprir a escala previamente designada ou apresentem problemas durante a operação. A quilometragem média mensal prevista foi de 5,2 milhões de quilômetros e a demanda de 6,3 milhões de passageiros; todavia, este total não inclui os passageiros que realizam a integração física nas estações tubo e terminais, pois não passam pelas catracas. O consumo

médio mensal de combustível previsto foi de 2,3 milhões de litros de óleo diesel, o que estabelece uma média geral de 2,26 quilômetros rodados a cada litro de combustível consumido.

Inicialmente na seleção de empresas e ônibus para esta pesquisa, evidenciou-se que 3 das 18 operadoras não utilizam o mesmo sistema ERP e banco de dados, o que impediu a coleta e tratamento dos dados destas empresas; as 15 demais operadoras foram selecionadas como candidatas, sendo solicitado formalmente o acesso aos dados operacionais, da frota, consumo de combustível e quilometragem; destas, 12 confirmaram formalmente a autorização, totalizando 837 veículos diferentes. Durante a coleta de dados, a fim de preservar o nome e demais características das empresas e da frota de ônibus, foram utilizados identificadores alfanuméricos para representá-los; e nesta dissertação, não são citados nomes das operadoras, linhas ou prefixos de veículos que pudessem identificá-las.

Partindo do conjunto de variáveis que podem interferir na eficiência do consumo de combustível, da análise do processo de abastecimento e na disponibilidade de dados no sistema ERP, foram definidos três grupos de variáveis:

- 1) **Linhas:** Dados relacionados ao grupo de operação, região, extensão, quantidade e distância média dos pontos de parada;
- 2) **Operação:** Dados relacionados ao período (mês, tipo de dia), velocidade média de operação;
- 3) **Veículos:** Dados relacionados ao tipo, fabricante, modelo, potência, idade e tipo de caixa de marchas (câmbio);

3.2 ESTRUTURAÇÃO E COLETA DOS DADOS

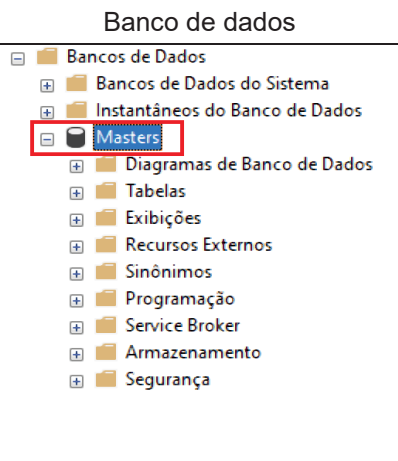
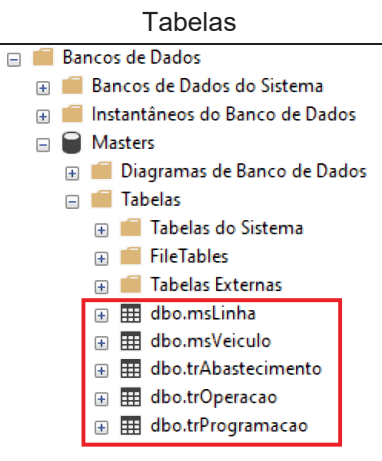
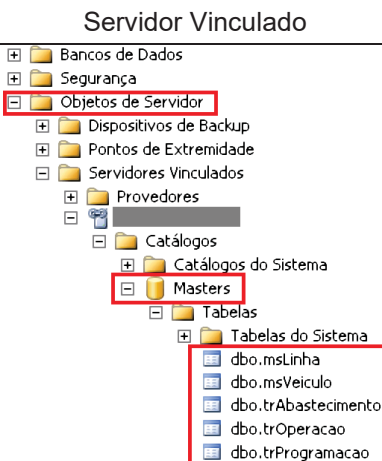
Para armazenamento dos dados da pesquisa foi utilizado um sistema gerenciador de banco de dados (SGBD) Microsoft SQL Server® versão 13.0.5026.0, instalado em uma máquina virtual com Microsoft Windows Server® versão 2012 R2, em um *datacenter* que armazena dados na internet, conhecido como “servidor em nuvem”; neste servidor foi criado um novo banco de dados denominado “Masters” e nele adicionadas cinco tabelas.

Utilizando uma conexão entre bancos de dados via internet, denominada *Linked Server*, os SGBD das empresas operadoras foram conectados a base de dados da pesquisa, sendo exportados os dados por meio da execução de comandos

Transact Structured Query Language (T-SQL), que fizeram a leitura dos dados na base local e salvaram os resultados na base da pesquisa.

Duas tabelas, designadas como dados mestres, armazenaram os cadastros das linhas e de veículos; outras três tabelas, caracterizadas como transacionais, armazenam dados dos abastecimentos, programação e operação das viagens. No QUADRO 4 estão destacados em retângulos vermelho, da esquerda para a direita, a sequência da criação do banco de dados da pesquisa, das tabelas de armazenamento e da interligação (conexão) com o banco de dados das empresas operadoras.

QUADRO 4 - BANCO DE DADOS, TABELAS E CONEXÃO ENTRE SERVIDORES PARA O BANCO DE DADOS DA PESQUISA

Banco de dados	Tabelas	Servidor Vinculado
		

FONTE: O autor (2021).

As tabelas com dados mestres foram construídas com os campos, tipos de dados e finalidades detalhados no QUADRO 5; a justificativa para a utilização desta estrutura é fundamentada na necessidade de normalização do banco de dados, interligando as tabelas mestres e transacionais por meio de campos chaves (iniciados pelas letras "ID") que reduzem a redundância e aprimoram o desempenho nas operações de inserção e recuperação das informações.

Além da descrição da finalidade de cada item, no QUADRO 5, estão apresentados os tipos de variáveis, divididas de acordo com o tipo de informação que foi armazenada, descritas por Morettin e Bussad (2017) da seguinte forma:

- **Variáveis Quantitativas:** resultado de contagem ou mensuração numérica;
 - **Discreta:** valores de um conjunto finito ou enumerável;
 - **Contínua:** intervalo de números reais, incluindo números fracionados;

- **Variáveis Qualitativas:** representa uma qualidade ou atributo sendo representadas por meio de categorias;
 - **Nominal:** inexistência de ordenação dos valores possíveis;
 - **Ordinal:** valores seguem uma ordem de resultados;

QUADRO 5 - ESTRUTURA DE TABELAS UTILIZADAS PARA ARMAZENAMENTO DE DADOS MESTRES DA PESQUISA

Tabela	Campo	Tipo de variável de pesquisa	Finalidade
msVeiculo	Empresa	Não aplicável	Campo utilizado para controle na etapa de importação dos dados.
	Prefixo	Não aplicável	Campo utilizado para controle na etapa de inspeção e qualificação dos dados.
	IDBem	Não aplicável	Campo chave de identificação dos veículos que realizaram operação e abastecimentos.
	MarcaChassi	Qualitativa nominal	Descreve o nome do fabricante do chassi do veículo.
	ModeloChassi	Qualitativa nominal	Descreve o modelo de chassi/motor do veículo.
	TipoVeículo	Qualitativa nominal	Descreve o tipo (classe) de veículo.
	Cambio	Qualitativa nominal	Descreve o tipo de caixa de marchas do veículo.
	AnoChassi	Quantitativa discreta	Apresenta o ano de fabricação do chassi. Utilizado para cálculo da idade do veículo.
	CapacidadeCombustivel	Não aplicável	Apresenta a capacidade máxima, em litros, do tanque de combustível do veículo. Dado utilizado na validação dos registros de abastecimento.
	MaximoDeslocamento	Não aplicável	Apresenta a distância máxima, em quilômetros, que o veículo pode percorrer em um dia de operação. Dado utilizado na validação da operação diária do veículo.
	PotenciaCV	Quantitativa discreta	Apresenta a potência, em CV (Cavalo Vapor), do motor do veículo.
msLinha	IDLinha	Não aplicável	Campo chave de identificação das linhas.
	Nome	Não aplicável	Campo utilizado para controle de importação, inspeção e qualificação dos dados.
	KmTotal	Quantitativa contínua	Apresenta a extensão, em quilômetros, de cada meia viagem na linha (deslocamento entre o ponto A e B).
	ParadasPossiveis	Quantitativa discreta	Apresenta a quantidade média de pontos de parada de embarque e desembarque possíveis, a cada meia viagem na linha. Foi utilizado valor médio em função da mesma linha ter número de pontos diferentes entre o sentido de ida e volta.
	Regiao	Qualitativa nominal	Descreve a região geográfica (norte, sul, leste e oeste) onde a linha se origina, em relação a Curitiba.
	DistanciaEntreParadas	Quantitativa contínua	Distância média, em quilômetros, entre cada ponto de embarque e desembarque na linha. Este campo não é armazenado no banco de dados, mas sim calculado em tempo de execução, realizando a divisão dos campos [KmTotal] / [ParadasPossiveis].
	TipoDeLinha	Qualitativa nominal	Descreve o grupo de operação da linha.

FONTE: O autor (2021).

A atribuição de cores entre os tipos de variáveis no QUADRO 5, visa facilitar a distinção entre os elementos que irão compor os mesmos grupos de variáveis independentes (células azul e verde); as variáveis de apoio (células brancas), utilizadas na etapa de inspeção e validação dos dados, assim como, os campos utilizados para fazer a ligação (*foreign key*) entre as tabelas.

A composição dos dados transacionais, que armazenam informações da programação, operação e abastecimentos estão no QUADRO 6; é apresentada inclusive, uma descrição da finalidade e dos tipos de dados transacionais utilizados.

QUADRO 6 - ESTRUTURA DE TABELAS UTILIZADAS PARA ARMAZENAMENTO DE DADOS TRANSACIONAIS DA PESQUISA

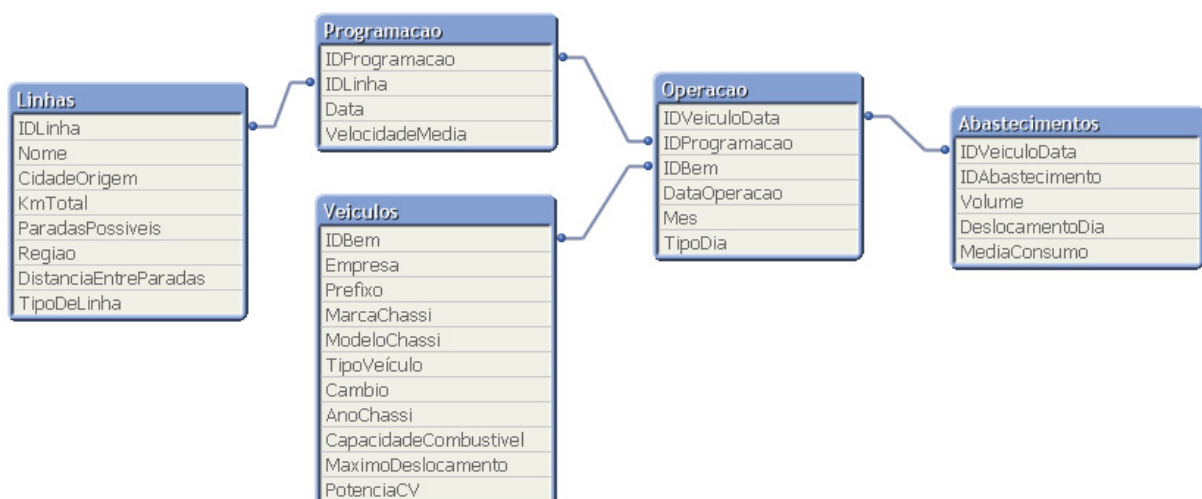
Tabela	Campo	Tipo de variável de pesquisa	Finalidade
trOperacao	Empresa	Não aplicável	Campo utilizado para controle de importação dos dados.
	IDVeiculoData	Não aplicável	Valor único que identifica a combinação de veículos em uma respectiva data de operação.
	IDBem	Não aplicável	Chave estrangeira que faz ligação entre o dado mestre do cadastro de veículos e sua atuação na operação em um determinado dia .
	IDLinha	Não aplicável	Chave estrangeira que faz a ligação entre os dados mestres de linhas e veículos em um determinado dia .
	DataOperacao	Não aplicável	Campo utilizado para validar a data de operação e gerar os as variáveis tipo de dia e mês de operação .
	Mes	Qualitativa nominal	Campo gerado em tempo de execução com o mês do ano em que o veículo realizou a operação.
	TipoDia	Qualitativa nominal	Campo que identifica o tipo de dia de operação. Dias úteis, sábados ou domingos.
trAbastecimento	IDVeiculoData	Não aplicável	Chave estrangeira que faz a ligação entre os dados de operação do veículo e o respectivo registro de abastecimento em uma determinada data.
	IDAbastecimento	Não aplicável	Valor único que identifica o registro contendo os dados de abastecimento de um veículo em um determinado dia;
	Volume	Não aplicável	Quantidade, em litros, de combustível abastecida no veículo durante um dia. Utilizado para cálculo da média de consumo e validação do volume abastecido.
	DeslocamentoDia	Não aplicável	Armazena a distância percorrida pelo veículo desde o último abastecimento. Utilizado para cálculo da média de consumo e validação da operação máximo durante o dia.
	MediaConsumo	Quantitativa contínua (Variável Dependente)	Armazena o resultado da divisão do deslocamento pela quantidade de litros de combustível consumido.
trProgramacao	Empresa	Não aplicável	Campo utilizado para controle na etapa de importação dos dados.
	IDLinha	Não aplicável	Chave estrangeira utilizada para fazer interligar a tabela mestre de linhas e sua respectiva programação.
	Data	Não aplicável	Campo utilizado para validação entre as tabelas transacionais.
	VelocidadeMedia	Quantitativa contínua	Valor médio, em quilômetros por hora, que representa a velocidade operacional na linha. Como a velocidade pode variar durante o dia, este valor está relacionado a programação da operação e não ao cadastro das linhas.

FONTE: O autor (2021).

No QUADRO 6, além das **variáveis independentes** destacadas em verde e azul, é apresentada a variável “média de consumo”, frisada em amarelo; esta trata-se da variável **dependente**; no contexto de um estudo correlacional ou comparativo causal, a variável dependente (também chamada de variável de resultado) está diretamente ligada ao resultado primário do estudo; já as variáveis independentes (às vezes também chamada de variável explicativa) não são afetadas pelo experimento em si, mas sua variação pode afetar a variável dependente (KALIYADAN; KULKARNI, 2019).

A inter-relação entre as tabelas de armazenamento são representadas conceitualmente na FIGURA 15; a tabela mestre denominada “Linha” é ligada a tabela transacional “Programacao”, que por sua vez, armazena os dados da programação dos serviços em uma determinada data; a tabela “Programacao” é ligada com a tabela “Operacao”, a qual armazena o histórico da realização dos serviços e recebe também dados da tabela mestre “Veiculos”; a tabela transacional “Operacao” é ligada à tabela transacional “Abastecimentos”, que armazena o histórico de consumo de combustível dos veículos. Com isso, obtém-se o modelo conceitual do *Dataset* utilizado na pesquisa.

FIGURA 15 – MODELO CONCEITUAL DE ENTIDADE RELACIONAMENTO DOS DADOS DA PESQUISA



FONTE: O autor (2021).

Os dados foram combinados e agrupados por meio de instruções T-SQL, criando interrelações entre as tabelas e aumentando a granularidade das informações. Originalmente os dados foram obtidos permitindo o cálculo da média de consumo de combustível divididos por “veículo / data”; após este processo de combinação, a média pode ser avaliada mais detalhadamente, por “veículo / linha / data”, além de atribuir a cada registro sua posição no *boxplot* estendido.

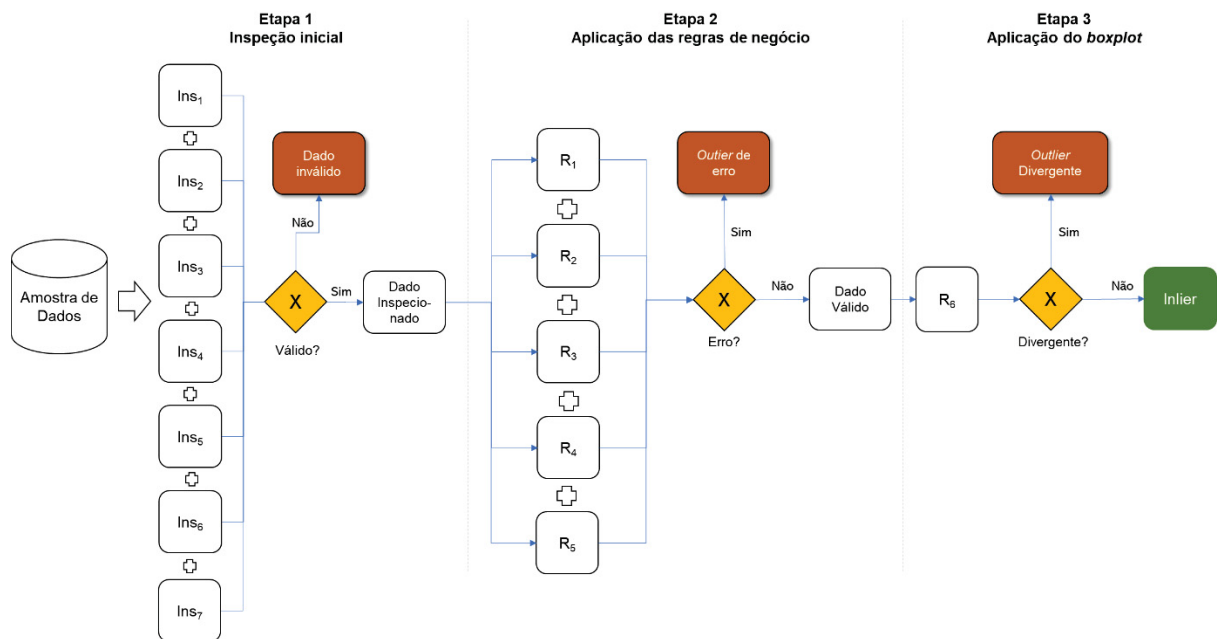
O processo de cálculo da média de consumo mais detalhada, foi fundamentado no princípio de que um veículo passa por um único abastecimento por dia, mas pode operar em uma ou mais linhas/jornadas de trabalho. Nos casos em o veículo operou em apenas uma linha/jornada, foi obtida a quilometragem registrada na própria jornada e calculada a média de litros por quilômetro; nos casos em que o veículo operou em mais de uma linha/jornada, fez-se o cálculo da proporcionalidade de litros de combustível consumido em cada uma, em função da quilometragem, utilizando como base a média geral do veículo no dia. O Apêndice 1 apresenta as instruções T-SQL responsáveis por este cálculo.

Concluída a estruturação e coleta dos dados, as informações passaram pelo processo de inspeção e qualificação, com intuito de eliminar registros inválidos, erros ou dados divergentes; isto ampliou a precisão com que os dados representaram o processo no qual foram gerados.

3.3 INSPEÇÃO E QUALIFICAÇÃO DOS DADOS

Partindo da amostra inicial de dados coletados, foram aplicadas regras de inspeção, de negócios e uma regra caracterizada pela técnica de *boxplot*; a FIGURA 16 apresenta o modelo teórico deste processo, o qual é dividido em três etapas; a cada etapa foram eliminados os registros inválidos e *outliers*, sendo gerado um novo *dataset*; por fim, o resultado foi um conjunto de dados *inliers*, devidamente validados e qualificados.

FIGURA 16 - PROCESSO DE INSPEÇÃO E QUALIFICAÇÃO DOS DADOS DA PESQUISA



FONTE: O autor (2021).

Assim que coletados, os dados mestres e de consumo de combustível foram validados, por meio da comparação com relatórios do sistema ERP das próprias empresas operadoras; isto permitiu fazer os ajustes necessários nas instruções T-SQL, garantindo que a mesma informação utilizada pelos gestores estivesse disponível no banco de dados desta pesquisa.

Na primeira etapa do processo de inspeção e qualificação, qualquer dado que não permitisse a realização dos testes estatísticos, foi eliminado pelas seguintes inspeções (Ins_x):

- Ins₁: Eliminar linhas que não possuíam velocidade média calculada;
- Ins₂: Eliminar veículos que não possuíam abastecimentos e histórico de operação no mesmo dia;
- Ins₃: Eliminar veículos com ano de fabricação maior que o limite do escopo deste estudo (2019);
- Ins₄: Eliminar registros de abastecimento de veículos que não possuíam histórico da operação;
- Ins₅: Eliminar registros de programação de linhas que não fazem parte do escopo da pesquisa (RMC);
- Ins₆: Eliminar histórico de operação de veículos que não possuíam registros de abastecimentos;

- Ins7: Eliminar histórico de operação de veículos de teste, de apoio ou que não operam no sistema da RMC;

A segunda e terceira etapa buscaram aprimorar a precisão, realizando a busca por dados destoantes, chamados *outliers* (HAWKINS, 1980) e dados com erros, que de acordo com Aguinis et al. (2013), são um tipo de *outlier* que representam observações ilegítimas.

Regras de negócios foram definidas para descrever como os dados deveriam existir para serem utilizáveis na pesquisa; estas regras representam faixas de intervalo de valores ou averiguação de precisão, permitindo a comparação de valores próximos ou dentro de uma faixa correspondente (EARLEY; HENDERSON, 2017); cinco regras (R_x) foram utilizadas para identificar a presença de observações ilegítimas (*outlier* de erro) e uma para identificar dados divergentes (*outlier* divergente), sendo elas:

- R_1 (*outlier* de erro): Identifica registros onde o veículo realizou operação, mas não abasteceu no mesmo dia da operação;
- R_2 (*outlier* de erro): Identifica registros de veículos que abasteceram, mas não realizaram operação no mesmo dia do abastecimento;
- R_3 (*outlier* de erro): Identifica registros de abastecimento com volume maior que a capacidade máxima do tanque de armazenamento de combustível do veículo;
- R_4 (*outlier* de erro): Identifica registros de operação com distância percorrida maior que o deslocamento máximo definido por dia;
- R_5 (*outlier* de erro): Identifica registros de operação em linhas com programação de velocidade igual a zero;
- R_6 (*outlier* divergente): Identifica registros com média Km/l fora dos limites do *boxplot* estendido; nos casos em que os dados estejam abaixo de $(Q1 - IRQ)$ o dado foi categorizado como “Divergente (Inferior)” e nos casos em que o valor esteja acima de $(Q3 + IRQ)$, “Divergente (Superior)”.

Uma vez que, a distância percorrida possui correlação linear positiva com a quantidade de combustível consumido, para validação da eficácia do método de qualificação foi calculado, por meio da regressão linear simples, o coeficiente de determinação (R^2); com ele, foi demonstrado o ajuste das variáveis de consumo de

combustível e quilometragem, antes e depois da extração dos *outliers* divergentes; R^2 próximo de 1 confirma maior linearidade entre as variáveis, demonstrando que após a qualificação, estas passaram a representar de forma mais precisa o processo no qual foram geradas.

3.4 ANÁLISE DOS DADOS

Com os dados devidamente qualificados e agrupados, foram definidos os tamanhos mínimos das amostras para cada variável de agrupamento; para isso, foi utilizada uma calculadora amostral disponibilizada pela Faculdade de Ciências da UNESP-BAURU, (<http://calculoamostral.bauru.usp.br/calculoamostral>) calibrada com os seguintes parâmetros: desvio padrão calculado de 0,57 entre as médias de consumo de cada veículo; mínima diferença a ser detectada de 0,1202 km/l, o que corresponde a uma variação de 5% na média geral; erro Alfa de 5%; erro Beta 20%. Com isso, os tamanhos mínimos de amostras para realização da ANOVA foram estabelecidos. Na TABELA 5 estão detalhados os resultados destes cálculos, com o número de elementos de cada grupo e os respectivos tamanhos de amostras necessários.

TABELA 5 - DEFINIÇÃO DE TAMANHOS MÍNIMOS DE AMOSTRAS VÁLIDAS PARA AS VARIÁVEIS DE AGRUPAMENTOS

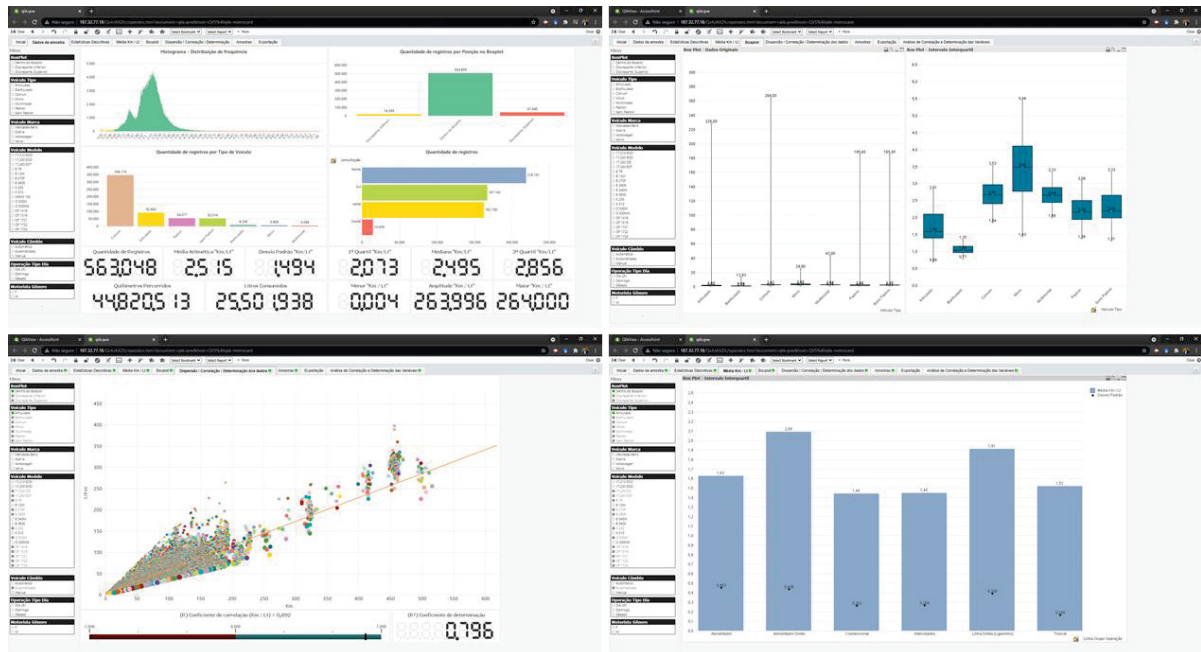
Grupo de variáveis	Variável	Grupos	Amostra válida por grupo (N >)
Linha	Grupo Operação	8	738
Linha	Região	4	545
Operação	Tipo de Dia	3	470
Operação	Mês	12	801
Veículo	Tipo de Câmbio	3	470
Veículo	Marca	4	545
Veículo	Modelo	19	895
Veículo	Tipo de Veículo	7	678

FONTE: O autor (2021).

As análises estatísticas descritivas, as quais permitiram caracterizar a amostra e avaliar os impactos do processo de qualificação dos dados, foram realizadas com o software de *Business Intelligence* QlikView® versão 12.10.20600.0; nele os dados foram importados e criados gráficos de dispersão, *boxplot*, além de

tabelas com os resultados dos cálculos de médias, medianas, quartis, desvio padrão, tamanho dos grupos, quantidade de dados e registros, conforme exemplificado na FIGURA 17; por meio desta mesma aplicação, os dados foram convertidos em arquivos utilizados na realização dos testes estatísticos paramétricos.

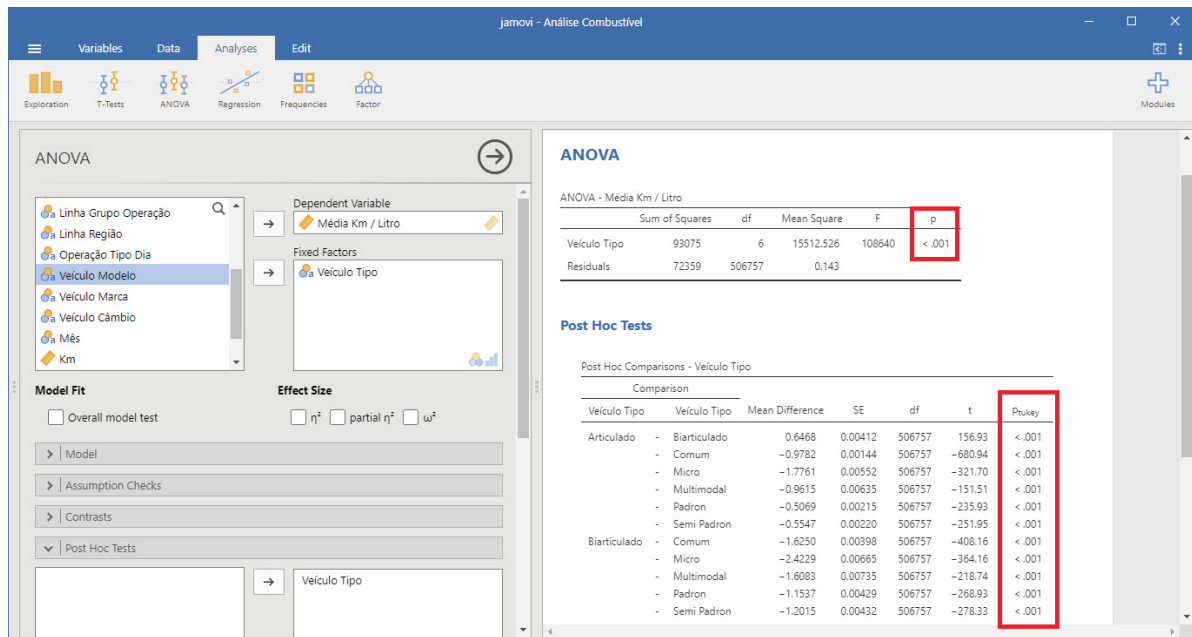
FIGURA 17 - EXEMPLOS DE ANÁLISES ESTATÍSTICAS UTILIZANDO SISTEMA DE BUSINESS INTELLIGENCE



FONTE: O autor (2021).

Os testes estatísticos foram realizados utilizando o software Jamovi (2021), o qual faz uso da linguagem de programação *R Core Team* (2021) para efetivação dos cálculos; na FIGURA 18 está demonstrado um exemplo da interface do aplicativo com o resultado da ANOVA e do teste de Tukey, verificando a média de consumo de combustível entre os diferentes tipos de ônibus; os destaques nos quadros em vermelho apontam onde, na ANOVA, o valor de $p < 0,05$ indicando a existência de diferenças estatisticamente significativas, entre algum dos grupos; o valor de $p_{Tukey} < 0,05$ confirma a existência de diferença entre todas as combinações de grupos presentes na imagem.

FIGURA 18 – EXEMPLO DA APLICAÇÃO DO TESTE ANOVA E DE TUKEY SOBRE OS DADOS DA PESQUISA POR MEIO DO SOFTWARE JAMOVI



FONTE: O autor (2021).

Antes de realizar a Análise Fatorial Exploratória (AFE) e Análise de Componentes Principais (ACP), as variáveis independentes tiveram seus valores centralizados, sendo identificados nas tabelas de resultados, por meio da abreviação da variável e do sufixo “cE”. Segundo Afshartous e Preston (2011) a centralização permite equilibrar variáveis com escalas de menor e maior ordem, e assim garantir a realização de testes mais precisos. Para esta tarefa foi utilizada a seguinte equação:

$$V = \frac{(v - Mv)}{\sigma v}$$

Onde:

V = Valor centralizado da variável

v = Valor original da variável

Mv = Média aritmética da variável

σv = Desvio padrão da variável

Os parâmetros utilizados nos testes de combinação de variáveis foram os seguintes: Método de extração de resíduos mínimos, tanto na AFE quanto na ACP; método de rotação das variáveis Varimax, sendo o número de fatores definido por meio de análises paralelas.

Em síntese, nesta sessão foram expostas as atividades e técnicas de identificação, coleta, tratamento e análise dos dados; isto garante atingir os objetivos específicos definidos e dá subsídios para, a partir da próxima sessão, serem reportados e analisados os resultados obtidos.

4 APRESENTAÇÃO DOS DADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo estão expostos os resultados do diagnóstico dos dados estudados, desde a obtenção, inspeção e qualificação, assim como, o resultado dos testes estatísticos que permitiram verificar o relacionamento e os principais fatores que influenciam na média de consumo de combustível, por quilômetro rodado. A pesquisa apresenta também, neste capítulo, análises do autor quanto aos resultados obtidos e indicações de ações estratégicas que podem aprimorar o consumo.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS DADOS BRUTOS COLETADOS

A pesquisa compreende um conjunto de 15 variáveis distribuídas em três grupos: Linha, Veículo e Operação; destas, 8 variáveis foram identificadas como qualitativas e 7 quantitativas, sendo 6 independentes e 1 dependente. A TABELA 6 sintetiza a lista de variáveis qualitativas e seu respectivo número de grupos.

TABELA 6 – VARIÁVEIS QUALITATIVAS

Grupo	Variável Qualitativa	Grupos
Veículo	Tipo	7
Veículo	Marca	4
Veículo	Modelo	19
Veículo	Tipo de câmbio	3
Linha	Grupos de Operação	8
Linha	Região	4
Operação	Tipo de dia	3
Operação	Mês	12

FONTE: O autor (2021).

Quanto as variáveis atribuídas aos “Veículos”, os Tipos têm seus dados apresentados na TABELA 7. É possível constatar que 483 ônibus, ou seja, mais da metade são do tipo Comum; em contrapartida, veículos Micro e Multimodal abrangem cerca de 1% da frota avaliada; na mesma tabela, estão apresentados o número de registros de abastecimento coletados no processo para cada tipo de ônibus. Os veículos Comuns perfazem a maior parcela da frota, por realizarem o transporte principalmente em linhas alimentadoras, que percorrem bairros e levam os passageiros até os terminais; veículos Articulados complementam este serviço em

bairros mais populosos, ou linhas com maior demanda, reduzindo assim a necessidade de inserção de mais ônibus, o que afetaria o trânsito, os custos fixos em função dos investimentos em ativos, custos com mão de obra operacional, etc.

TABELA 7 – DADOS DOS TIPOS DE VEÍCULOS PARTICIPANTES DO ESTUDO

Tipo	Quantidade de veículos	Relativo	Quantidade de registros	Relativo
Comum	483	57,1%	343.034	60,6%
Articulado	150	17,7%	95.984	17,0%
Padron	118	13,9%	53.861	9,5%
Semi Padron	61	7,2%	51.699	9,1%
Biarticulado	17	2,0%	12.103	2,1%
Multimodal	9	1,1%	4.066	0,7%
Micro	8	0,9%	5.092	0,9%
Total	846	100,0%	565.839	100,0%

FONTE: O autor (2021).

A variável Marca dos veículos, apresentada na TABELA 8, traz o quantitativo de cada fabricante de chassi, com maior concentração nos veículos Mercedes-Benz (52,2%) seguido, de forma quase igualitária, pelos veículos Volvo (23,2%) e Volkswagen (22,7); com menor expressividade os veículos Scania, com 16 unidades ou 1,9% da frota estudada; na mesma tabela, os registros de abastecimento acompanham os valores relativos à frota. Cabe a cada empresa operadora escolher a marca do veículo em função de uma série de fatores, desde a disponibilidade para o tipo de ônibus especificado pelo órgão gestor, passando pelas modalidades de financiamento ou histórico e custos de operação.

TABELA 8 – DADOS DAS MARCAS DE VEÍCULOS PARTICIPANTES DO ESTUDO

Marca	Quantidade de veículos	Relativo	Quantidade de registros	Relativo
Mercedes-Benz	442	52,2%	294.475	52,0%
Volvo	196	23,2%	128.244	22,7%
Volkswagen	192	22,7%	136.006	24,0%
Scania	16	1,9%	7.114	1,3%
Total	846	100,0%	565.839	100,0%

FONTE: O autor (2021).

A variável que agrupa os Modelos de veículos, presentes na TABELA 9, expõe informações que identificam principalmente a tecnologia de motorização; mais de um

quarto (26,0%) da frota deste estudo, utiliza motor Mercedes-Benz OF 1722, enquanto menos de 1% utiliza motores Mercedes-Benz OF 1418, Scania K 230, Volkswagen 17.210 EOD, Mercedes-Benz OF 1519, Mercedes-Benz OF 1724, Volvo B 290R e Volvo B 360S. A concentração de veículos Mercedes-Benz e Volkswagen se dá pelo fato destes comporem, principalmente a frota de veículos do tipo Comum, sendo este tipo o mais predominando na frota da RMC; já veículos Articulados são compostos principalmente por veículos Volvo, precursores dos veículos Biarticulados.

TABELA 9 – DADOS DOS MODELOS DE VEÍCULOS PARTICIPANTES DO ESTUDO

Modelo (Marca)	Quantidade de veículos	Relativo	Quantidade de registros	Relativo
OF 1722 (Mercedes-Benz)	220	26,00%	141.758	25,10%
OF 1721 (Mercedes-Benz)	101	11,90%	76.632	13,50%
17.230 EOD (Volkswagen)	96	11,30%	70.568	12,50%
B 12M (Volvo)	81	9,60%	55.179	9,80%
O 500M (Mercedes-Benz)	74	8,70%	47.400	8,40%
17.260 EOT (Volkswagen)	56	6,60%	29.278	5,20%
B 270F (Volvo)	42	5,00%	27.557	4,90%
B 7R (Volvo)	41	4,80%	23.765	4,20%
O 500MA (Mercedes-Benz)	36	4,30%	22.424	4,00%
17.230 OD (Volkswagen)	34	4,00%	33.731	6,00%
B 340M (Volvo)	30	3,50%	20.344	3,60%
K 310 (Scania)	10	1,20%	3.169	0,60%
OF 1418 (Mercedes-Benz)	7	0,80%	3.889	0,70%
17.210 EOD (Volkswagen)	6	0,70%	2.429	0,40%
K 230 (Scania)	6	0,70%	3.945	0,70%
OF 1519 (Mercedes-Benz)	2	0,20%	1.837	0,30%
OF 1724 (Mercedes-Benz)	2	0,20%	535	0,10%
B 290R (Volvo)	1	0,10%	1.097	0,20%
B 360S (Volvo)	1	0,10%	302	0,10%
Total	846	100,00%	565.839	100,00%

FONTE: O autor (2021).

Dados da variável que armazena o Tipo de Câmbio (caixa de marcas) são apresentados na TABELA 10; veículos com câmbio manual compõe 65,1% da frota, e se concentram nos ônibus do Tipo Comum; seguido por 32,3% dotados de câmbio automático e uma parcela menor (2,6%) de câmbio automatizado. A escolha do tipo

de câmbio está diretamente ligada aos tipos de ônibus, por exemplo: veículos Padron devem possuir câmbio automático; já veículos Articulados, apesar de terem sido realizadas experiências com câmbio automatizado e até manual, atualmente possuem quase que a totalidade de câmbio automático; nos veículos Biarticulados o câmbio automático é adotado com padrão.

TABELA 10 – DADOS DOS TIPOS DE CÂMBIO DOS VEÍCULOS PARTICIPANTES DO ESTUDO

Tipo de Câmbio	Quantidade de veículos	Relativo	Quantidade de registros	Relativo
Manual	551	65,1%	394.866	69,8%
Automático	273	32,3%	155.048	27,4%
Automatizado	22	2,6%	15.925	2,8%
Total	846	100,0%	565.839	100,0%

FONTE: O autor (2021).

O agrupamento de linhas em função de suas características operacionais em comum, estão apresentadas na TABELA 11; a maior concentração se apresenta nas linhas Alimentadoras, pelo fato destas percorrem bairros periféricos, transportam os passageiros até os terminais de integração; mais da metade (56,0%) das linhas e 40,6% dos registros de abastecimentos se concentram em veículos que atuaram neste grupo. Uma iniciativa que vem ocorrendo em Curitiba, mas que ainda não foi adotada na RMC, é a migração de linhas com pontos de paradas em Linhas Direta ou Alimentador Direto, o que aumenta a velocidade operacional, reduz o tempo de viagem e pode estar relacionado a redução no consumo de combustível.

TABELA 11 - DADOS DOS GRUPOS DE OPERAÇÃO DAS LINHAS AVALIADAS NO ESTUDO

Grupo de operação	Quantidade de linhas	Relativo	Quantidade de registros	Relativo
Alimentador	102	56,0%	229.725	40,6%
Intercidades	24	13,2%	67.902	12,0%
Convencional	21	11,5%	83.599	14,8%
Troncal	16	8,8%	90.141	15,9%
Linha Direta (Ligeirinho)	9	4,9%	63.694	11,3%
Madrugueiro	5	2,7%	1.612	0,3%
Alimentador Direto	4	2,2%	17.631	3,1%
Expresso	1	0,5%	11.535	2,0%
Total	182	100,0%	565.839	100,0%

FONTE: O autor (2021).

Na TABELA 12 estão os dados da variável qualitativa que agrupa as linhas em função de sua região geográfica, em relação a capital; a região norte concentra o maior número de linhas (77 linhas ou 42,3%), principalmente em função de cidades populosas (como Colombo e Almirante Tamandaré) estarem localizadas nesta região, além de possuir o maior número de cidades (5) nesta pesquisa. Em contrapartida, a região oeste possui a menor amostra, com 12 linhas (6,6%), principalmente em função de empresas que operam nesta região não estarem participando deste estudo. A região leste possui o segundo maior número de linhas, tanto por agrupar o segundo maior número de cidades (4), quanto por lá se localizarem cidades com grande população, como Pinhais, Piraquara e São José dos Pinhais. A região sul, apesar de possuir 19,2% da frota estudada, concentra 29,9% dos registros de abastecimentos, ou seja, nesta região o processo de abastecimento acontece mais vezes em relação a frota operacional das empresas. Por fim, cidades como Almirante Tamandaré, Colombo, Pinhais e Fazenda Rio Grande, elevam o número de linhas em suas regiões, por possuírem linhas com características municipais (ou seja, não trafegam fora dos limites da cidade), porém fazem parte do sistema de TPC metropolitano.

TABELA 12 – DADOS DAS REGIÕES DE ATENDIMENTO DAS LINHAS AVALIADAS NO ESTUDO

Região	Quantidade de linhas	Relativo	Quantidade de registros	Relativo
Norte	77	42,3%	215.552	38,1%
Leste	58	31,9%	166.725	29,5%
Sul	35	19,2%	169.105	29,9%
Oeste	12	6,6%	14.457	2,6%
Total	182	100,0%	565.839	100,0%

FONTE: O autor (2021).

O terceiro grupo de variáveis qualitativas diz respeito às características temporais de “Operação”, sendo composto por duas variáveis: Tipo de Dia e Mês do Ano; detalhados na TABELA 13, estão os três elementos correspondentes aos Tipos de Dia: dias úteis, sábados e domingos, com a natural concentração de registros em dias úteis pois, além da semana ser compreendida por 5 dias úteis, é natural que a frota opere e abasteça durante todos estes dias, o que não acontece aos sábados e principalmente aos domingos, reduzindo assim o número de observações nos finais de semana.

TABELA 13 – DADOS DOS TIPOS DE DIAS DE OPERAÇÃO AVALIADOS NO ESTUDO

Operação Tipo Dia	Quantidade de registros	Relativo
Dia Útil	479.646	84,8%
Domingo	35.712	6,3%
Sábado	50.481	8,9%
Total	565.839	100,0%

FONTE: O autor (2021).

A TABELA 14 detalha o número de observações a cada mês; identifica-se uma leve tendência de maior número de registros nos meses com mais dias úteis, ou distante dos períodos de férias, como início e meio de ano, onde menos veículos estão em operação; todavia, como os meses possuem pequenas diferenças, tanto na frota operacional quanto na quantidade de dias, a distribuição relativa do número de registros é bastante homogênea, o que permite avaliar os resultados de forma igualitária, sendo esta uma prática comum adotada nas empresas operadoras: avaliar a média de consumo mensal em comparação a períodos mensais anteriores.

TABELA 14 - QUANTIDADE DE REGISTROS DE ABASTECIMENTOS E OPERAÇÃO POR MÊS

Mês	Quantidade de registros	Relativo
Julho	50.580	8,9%
Outubro	49.944	8,8%
Maio	49.500	8,7%
Agosto	48.894	8,6%
Abril	47.753	8,4%
Setembro	46.689	8,3%
Janeiro	46.676	8,2%
Março	45.928	8,1%
Novembro	45.852	8,1%
Dezembro	45.246	8,0%
Junho	45.015	8,0%
Fevereiro	43.762	7,7%
Total	565.839	100,0%

FONTE: O autor (2021).

As variáveis quantitativas foram divididas em 4 grupos e estão apresentadas junto de seus respectivos valores médios na TABELA 15; com destaque para a variável “Consumo de Combustível (Km/l)”, a qual se trata da variável dependente e apresenta média geral de 2,496 Km/l; este valor é superior ao previsto no cálculo

tarifário, todavia vale lembrar, que este estudo não contempla a totalidade da frota, assim como, os fatores de consumo tem diferenças significativas, afinal veículos Biarticulados apresentam médias de consumo pouco acima de 1 Km/l, enquanto veículos Micro expõe resultados superiores a 4 Km/l; em função disso, os resultados serão mais bem estratificados na sessão seguintes desta dissertação.

TABELA 15 - VARIÁVEIS QUANTITATIVAS

Grupo	Variável Quantitativa	Valor Médio
Linha	Pontos de parada (Qtde)	57
Linha	Distância entre os pontos de parada (km)	1,7
Linha	Extensão (Km)	32,3
Veículo	Idade (Anos)	8,2
Veículo	Potência (CV)	249
Operação	Velocidade (Km/h)	22,3
Dependente	Consumo de combustível (Km/l)	2,496

FONTE: O autor (2021).

4.1.1 Resultados e análise da inspeção e qualificação dos dados

Durante o processo de coleta e tratamento inicial dos dados foram realizadas 7 inspeções já previamente descritas; o QUADRO 7 apresenta o número de registros importados e validados; aqueles que não atenderam os requisitos foram eliminados do banco de dados da pesquisa.

QUADRO 7 - ETAPAS DO PROCESSO DE INSPEÇÃO DOS DADOS BRUTOS COLETADOS PARA A PESQUISA

(continua)

Tabela	Registros importados	Inspeção	Registros validados	Percentual de registros válidos
msLinha	184	Ins ₁ – Verificar linhas que não possuíam velocidade média calculada;	182	99%
msVeiculo	1.141	Ins ₂ – Verificar veículos que não possuíam abastecimentos e histórico de operação no mesmo dia;	856 ¹	75%
		Ins ₃ – Verificar veículos com ano de fabricação maior que o limite do escopo deste estudo (2019);		

QUADRO 7 - ETAPAS DO PROCESSO DE INSPEÇÃO DOS DADOS BRUTOS COLETADOS PARA A PESQUISA

(conclusão)

Tabela	Registros importados	Inspeção	Registros validados	Percentual de registros válidos
trAbastecimento	233.115	Ins ₄ – Verificar registros de abastecimento de veículos que não possuíam nenhum histórico da operação;	199.993	86%
trProgramacao	361.741	Ins ₅ - Verificar registros de programação de linhas que não fazem parte do escopo da pesquisa (RMC);	354.579	98%
trOperacao	737.776	Ins ₆ - Verificar histórico de operação de veículos que não possuíam nenhum registro de abastecimentos;	620.124	84%
		Ins ₇ - Verificar histórico de operação de veículos de teste, de apoio, que não operam no sistema metropolitano ou linhas não metropolitanas;		

FONTE: O autor (2021).

Nota: ¹ O número total de veículos é maior do que informado pelo órgão gestor, pois as empresas podem inserir novos veículos no decorrer do ano, ou a frota reserva pode ser maior do que a prevista.

Os resultados do QUADRO 7 permitem constatar que, a tabela msVeiculo teve a maior redução no número de registros; isto se deve ao fato da presença de veículos com ano de fabricação maior que 2019, uma vez que a coleta de dados aconteceu durante o ano de 2021; e ao fato de alguns dados estarem vinculados a veículos que operam outros sistemas de transporte, que não o metropolitano, sendo que este fator impactou também na redução de registros na tabela trOperacao.

Cumprido o processo de inspeção e agrupamento dos dados, teve início o processo de qualificação; o QUADRO 8 apresenta a lista de regras, um resumo de sua função e a quantidade de registros que infringiram cada uma, consequentemente sendo eliminados da base de estudo. Por fim, são exibidos o total de registros considerados válidos, chamados *inliers*.

QUADRO 8 - APLICAÇÃO DAS REGRAS DE QUALIFICAÇÃO DOS DADOS DA PESQUISA

Regra	Tipo de outlier	Descrição	Registros Identificados	% Outlier
Registros Coletados			582.518	
R ₁	Erro	Veículos que realizaram operação, mas não abasteceram no mesmo dia da operação	-	0,0%
R ₂	Erro	Veículos que abasteceram, mas não realizaram operação no mesmo dia do abastecimento	10.402	1,78%
R ₃	Erro	Registros de abastecimento com volume maior que a capacidade máxima do tanque de armazenamento de combustível do veículo	674	0,12%
R ₄	Erro	Registros de operação com distância percorrida maior do que o deslocamento máximo por dia	5.530	0,90%
R ₅	Erro	Registros com velocidade média programada para a linha igual a zero	73	0,01%
R ₆	Divergente	Média Km/l fora dos limites do <i>boxplot</i> estendido	59.075	10,14%
Total de registros Inliers			506.764	86,99%

FONTE: O autor (2021).

A aplicação das regras de negócios (R₁ a R₅) identificou 16.679 *outliers* de erros; dados que não infringiram estas regras foram considerados válidos e agrupados por tipo de veículos; a partir deles, foi aplicada a técnica descrita em R₆ obtendo 59.075 *outliers* divergentes; os dados que não faziam parte do conjunto de *outliers* de erros e *outliers* divergentes foram considerados *inliers*, totalizando 506.764 registros, os quais correspondem a 86,99% do total coletado; este número representa não só a precisão com que os dados originais representavam o processo, como confirma a eficácia do método de qualificação, afinal, foi capaz de eliminar tanto dados que infringiram as regras de negócios, quanto aqueles que se afastaram demasiadamente das medidas de tendência central.

Como instrumento de medição da eficácia do método de qualificação dos dados, foi verificada a variação nos coeficientes R e R^2 entre o consumo de combustível e a quilometragem rodada antes e depois da eliminação dos *outliers* divergentes; na TABELA 16 constata-se que antes da eliminação, os coeficientes tem valores totais baixos ($R = 0,07$ e $R^2 = 0,4\%$); alguns tipos de veículos apresentaram correlações mais fortes, como Multimodal e Micro, mesmo assim, dados dos veículos do tipo Comum, que corresponde ao maior montante de dados coletados, apresentaram o menores índices de correlação e determinação, isto indica que neste

tipo de veículo estavam presentes os valores com diferenças mais expressivas, como médias de consumo mínimo próximas de 0 Km/l e máxima acima de 200 Km/l; valores fora da realidade; as causas destes valores extremos foram lançamentos com quilometragens rodadas muito pequenas para volumes de combustível consumidos muito altos, e vice-versa.

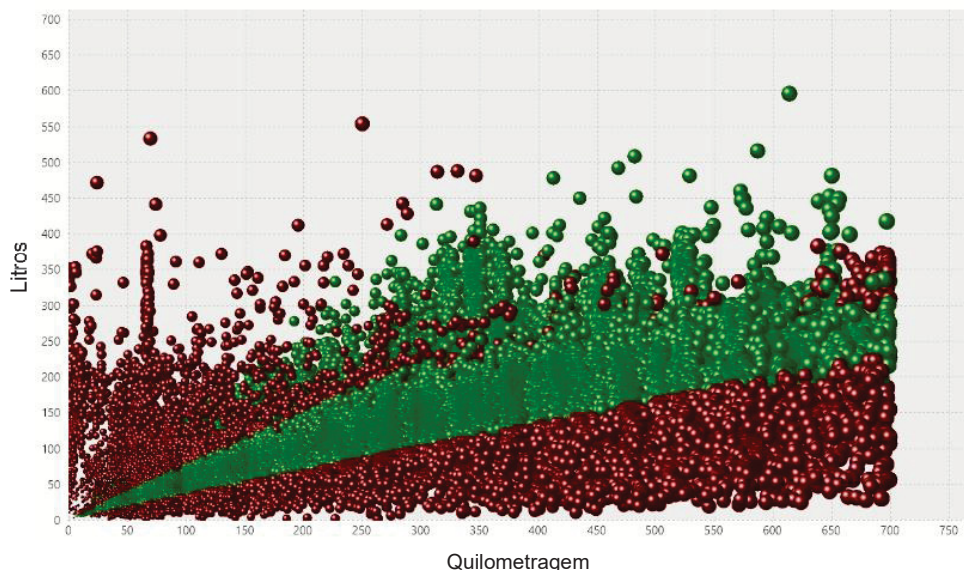
TABELA 16 - COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO E DE DETERMINAÇÃO POR TIPO DO VEÍCULO ANTES DA ELIMINAÇÃO DOS OUTLIERS DIVERGENTES

Tipo do veículo	Coeficiente de Correlação (R) Km, Litro	Coeficiente de Determinação (R ²) Km, Litro
Multimodal	0,83	68,8%
Micro	0,74	55,1%
Semi Padron	0,52	26,5%
Padron	0,11	1,2%
Articulado	0,11	1,2%
Biarticulado	0,08	0,7%
Comum	0,06	0,4%
Total	0,07	0,4%

FONTE: O autor (2021).

A correlação entre a distância percorrida e o combustível consumido, está exposta também no GRÁFICO 1 de dispersão, para análise visual; o eixo X representa a distância percorrida e o eixo Y os litros de combustível consumidos; o diâmetro de cada ponto é proporcional a média Km/Litro; os pontos verdes caracterizam dados dentro do *boxplot* estendido, enquanto os pontos vermelhos são *outliers* divergentes, os quais, ao apresentarem valores mais elevados no eixo X, demonstram o registro excessivo de quilometragem rodada em relação ao volume de combustível consumido, já quando apresentam valores do eixo Y mais elevados, representam o registro de volumes excessivos de combustível em função de pequenas quilometragens rodadas.

GRÁFICO 1 - DISPERSÃO DOS DADOS DE QUILOMETRAGEM RODADA E COMBUSTÍVEL CONSUMIDO ANTES DA ELIMINAÇÃO DOS OUTLIERS DIVERGENTES



FONTE: O autor (2021).

Na TABELA 17 está apresentada, em ordem de consumo médio (Km/l), a análise estatística descritiva dos dados, sem a eliminação dos *outliers* divergentes; percebe-se que o desvio padrão é relativamente alto, uma vez que, para um resultado médio de 2,496 Km/l o desvio corresponde a 59,6% deste valor; isto se deve, principalmente pela amplitude dos dados, os quais possuem valor mínimo global de 0,003 e valor máximo de 264,00 Km/l. Informações quanto aos quartis e a mediana permitem verificar o intervalo onde os *inliers* estarão associados; os dados demonstram que os valores mínimo e máximos distantes, tanto da média quanto da mediana, estão presentes em todos os tipos de ônibus, ou seja, os registros inválidos não se concentraram em um determinado tipo de ônibus; além disso, os quartis apresentam valores próximos das medianas, reafirmando que o método de eliminação de registros inválidos por meio do *boxplot* estendido foi um método pertinente aos dados.

TABELA 17 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVA DE COMPOSIÇÃO DOS DADOS POR TIPO DE VEÍCULO ANTES DA ELIMINAÇÃO DOS OUTLIERS DIVERGENTES

(continua)

Tipo do veículo	Consumo médio (Km/l)	Desvio Padrão (Km/l)	Mínimo (Km/l)	1º Quartil (Km/l)	Mediana (Km/l)	3º Quartil (Km/l)	Máximo (Km/l)
Micro	3,56	1,17	0,37	2,77	3,52	4,11	24,9
Comum	2,76	1,36	0,01	2,41	2,67	2,97	264,0

TABELA 17 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVA DE COMPOSIÇÃO DOS DADOS POR TIPO DO VEÍCULO ANTES DA ELIMINAÇÃO DOS OUTLIERS DIVERGENTES

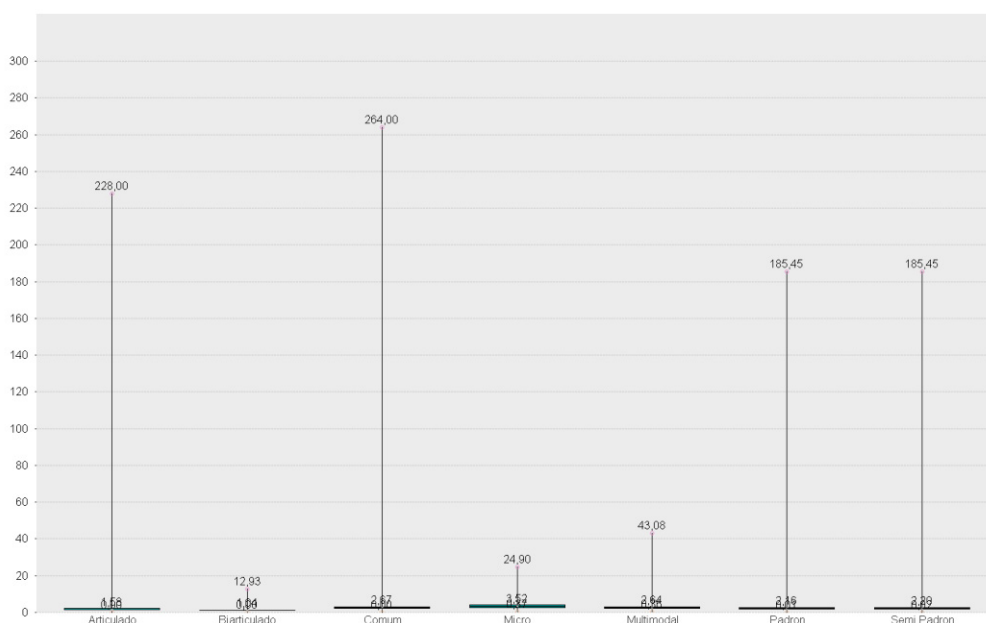
(conclusão)

Tipo do veículo	Consumo médio (Km/l)	Desvio Padrão (Km/l)	Mínimo (Km/l)	1º Quartil (Km/l)	Mediana (Km/l)	3º Quartil (Km/l)	Máximo (Km/l)
Multimodal	2,74	1,35	0,36	2,44	2,65	2,88	43,1
Semi Padron	2,43	1,72	0,02	1,98	2,20	2,66	185,5
Padron	2,30	1,54	0,01	1,94	2,16	2,50	185,5
Articulado	1,79	1,52	0,01	1,39	1,58	2,10	228,0
Biarticulado	1,24	0,87	0,00	0,97	1,04	1,15	12,9
Total	2,50	1,49	0,00	2,05	2,49	2,85	264,0

FONTE: O autor (2021).

Para confirmação visual do espalhamento expressivo das médias de consumo nos dados brutos, o GRÁFICO 2 apresenta o *boxplot* com os limites para cada tipo de ônibus; apesar de algumas legendas ficarem truncadas, os valores são os mesmos exibidos na TABELA 17, porém o foco desta análise é verificar o quão longe os pontos extremos estão da mediana, o que se confirma principalmente com os valores máximos; este exame ratifica a presença de *outliers* divergentes em todos os tipos de veículos, o que demonstra que a origem da falha no dado pode estar associada ao processo de coleta e registro dos dados e não a um tipo específico de veículo.

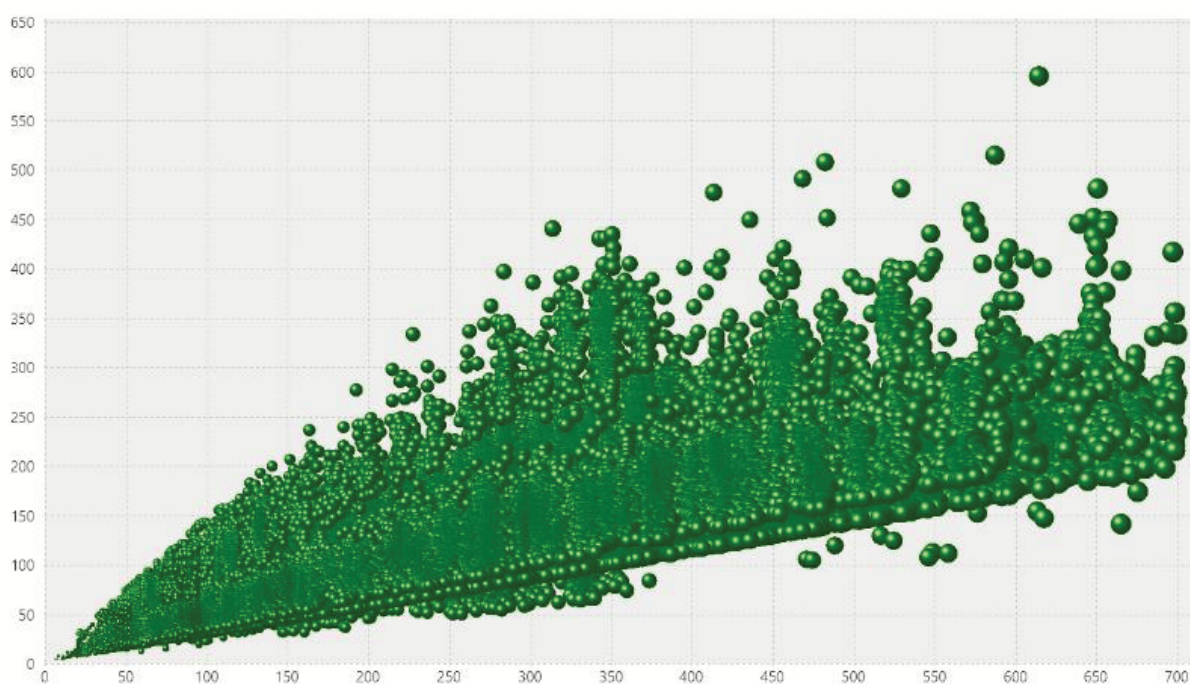
GRÁFICO 2 - GRÁFICO DE BOXPLOT COM O ESPALHAMENTO DOS DADOS ANTES DA ELIMINAÇÃO DOS OUTLIERS DIVERGENTES



FONTE: O autor (2021).

Após a eliminação dos *outliers* divergentes, uma nova análise visual dos dados *inliers* dispostos no gráfico de dispersão, foi realizada e apresentada no GRÁFICO 3; com isso, percebe-se que os pontos estão dispostos de maneira mais linear mantendo a correlação positiva. A partir deste ponto, todos os demais testes estatísticos serão realizados apenas utilizando os dados *inliers*.

GRÁFICO 3 -DISPERSÃO DOS DADOS INLIERS DE RODAGEM E ABASTECIMENTO



FONTE: O autor (2021).

Na TABELA 18 os dados são exibidos com os novos coeficientes R , o qual apresentou resultado geral de 0,85 (frente a 0,07 dos dados brutos), caracterizando uma correlação forte; com exceção dos tipos de veículo Micro e Articulado, todos os demais apresentaram correlação muito forte. O resultado geral de R^2 aumentou de 0,4% nos dados brutos, para 72,9% nos *inliers*; este número indica o percentual de variação da quantidade de litros de combustível consumido, que pode ser explicado pela variação na quilometragem. O ganho expressivo nos coeficientes de correlação e determinação, em todos os tipos de ônibus, garante não só que os dados *inliers* representam de forma mais fiel o processo de consumo e abastecimento em toda amostra, como demonstra mais uma vez a eficácia do método de qualificação dos dados adotado.

TABELA 18 – COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO E DETERMINAÇÃO POR TIPO DE ÔNIBUS DOS DADOS *INLIERS*

Tipo de ônibus	Coeficiente de Correlação (R) Km, Litro	Coeficiente de Determinação (R²) Km, Litro
Micro	0,88	77,4%
Articulado	0,89	79,8%
Multimodal	0,98	95,7%
Comum	0,97	94,4%
Padron	0,94	89,3%
Semi Padron	0,94	89,2%
Biarticulado	0,98	95,5%
Total	0,85	72,9%

FONTE: O autor (2021).

A TABELA 19 revela os novos valores da amostra, apurados por meio da análise estatística descritiva; evidencia-se que os valores extremos foram eliminados, além da redução bastante significativa no desvio padrão, o qual nos dados brutos correspondia a 59,6% da média geral Km/l, passando para 23,8%; nesta tabela é possível verificar tipos de veículos com médias similares, como Padron e Semi Padron, assim como, Comum e Multimodal, o que é esperado uma vez que tratam-se, no geral, de veículos com características muito parecidas. O desvio padrão elevado (em relação à média) nos veículos Micro, é resultado da amplitude elevada entre o valor mínimo e máximo das médias Km/l, mesmo após a eliminação dos *outliers*, o que pode caracterizar veículos muito distintos nesta classe de ônibus.

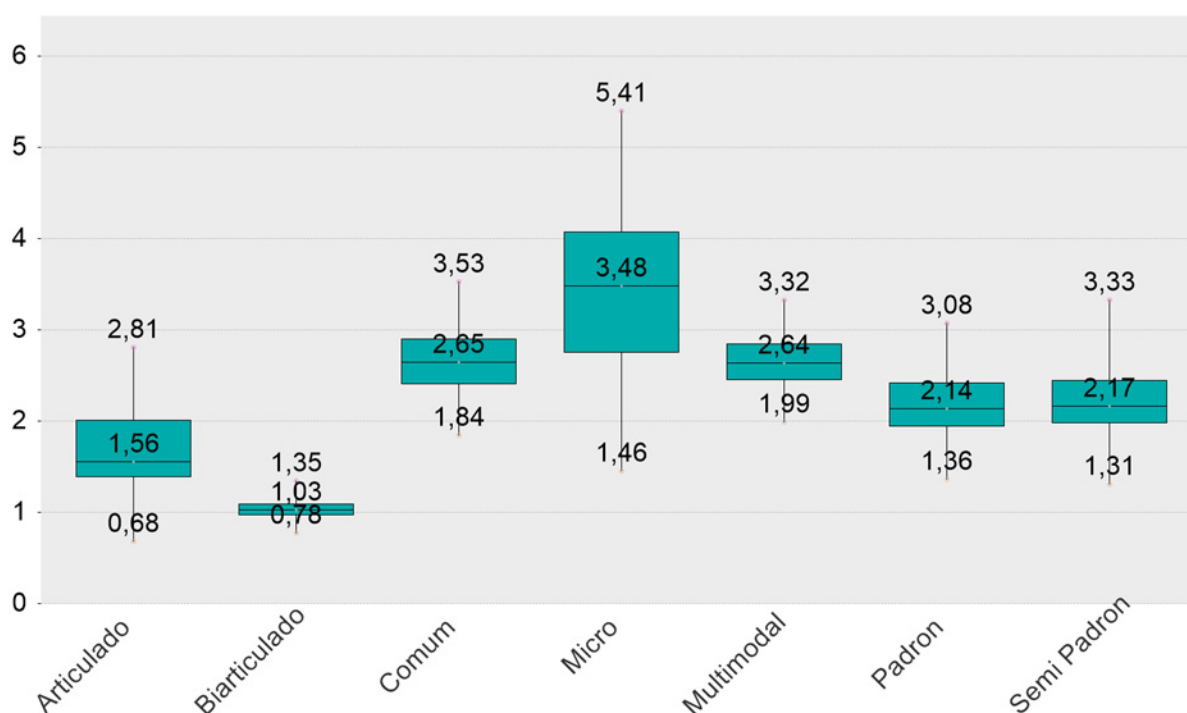
TABELA 19 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVA DA COMPOSIÇÃO DOS DADOS *INLIERS* POR TIPO DE ÔNIBUS

Tipo	Consumo médio (Km/l)	Desvio Padrão (Km/l)	Mínimo (Km/l)	1º Quartil (Km/l)	Mediana (Km/l)	3º Quartil (Km/l)	Máximo (Km/l)
Micro	3,460	0,749	1,456	2,759	3,481	4,075	5,405
Comum	2,662	0,358	1,843	2,411	2,651	2,901	3,527
Multimodal	2,646	0,274	1,993	2,453	2,636	2,845	3,325
Semi Padron	2,239	0,416	1,307	1,982	2,166	2,444	3,328
Padron	2,189	0,351	1,365	1,947	2,138	2,422	3,076
Articulado	1,680	0,424	0,685	1,388	1,560	2,012	2,808
Biarticulado	1,037	0,103	0,775	0,974	1,029	1,095	1,346
Total	2,387	0,572	0,685	2,060	2,453	2,774	5,405

FONTE: O autor (2021).

O GRÁFICO 4 possibilita uma análise visual, por meio do *boxplot*, da distribuição dos novos valores de quartis e da mediana, por tipo de ônibus; a redução dos limites extremos, tanto dos valores mínimos quanto máximos, assim como, a pequena variação nos quartis, comprova que os dados eliminados faziam parte da parcela que se encontrava espalhada além dos “bigodes” do gráfico *boxplot*.

GRÁFICO 4 - GRÁFICO BOXPLOT POR TIPO DE ÔNIBUS DOS DADOS INLIERS



FONTE: O autor (2021).

Como parecer final do processo de inspeção e qualificação dos dados, os resultados demonstram que foi possível identificar e eliminar registros que causavam distorções significativas nos dados da pesquisa e que, invariavelmente, poderiam interferir na precisão nos resultados dos testes estatísticos paramétricos a seguir.

4.2 ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DOS DADOS

Antes de iniciar os experimentos estatísticos, foram retirados 3 elementos do grupo “Modelo do Veículo”, pois estes não possuíam o número mínimo de amostras, sendo eles, “17.210 EOD”, “OF 1724” e “B 360S”; com isso, o número de observações foi reduzido de 506.764 para 505.157.

Para melhor exposição nas tabelas com os resultados dos testes, as variáveis utilizaram as seguintes abreviações:

- **PP**: Número de Pontos de Parada;
- **DPP**: Distância entre os Pontos de Parada;
- **IV**: Idade dos Veículos;
- **PV**: Potência do motor dos Veículos;
- **EL**: Extensão da Linha;
- **VL**: Velocidade da Linha;

O cruzamento das variáveis de agrupamento qualitativas, com valores médios das variáveis quantitativas, retratados na TABELA 20, permite observar que veículos do tipo Multimodal, Biarticulado e Padron possuem o menor número médio de PP e maior DPP, o que pode contribuir positivamente para o menor consumo de combustível, uma vez que, conforme apresentado no estudo da bibliografia, boa parte do combustível é consumido no processo de arrancada dos veículos; estes ônibus são utilizados principalmente em linhas Expressas ou Direta, as quais fazem paradas apenas em estações tubo e terminais. A idade média dos veículos em todas as categorias se apresenta muito próxima do valor médio geral de 8,2 anos, exceto nos veículos Multimodal, os quais foram inseridos no sistema no próprio ano de 2019; uma idade média elevada pode contribuir para o maior consumo, uma vez que veículos mais novos são dotados de tecnologias que visam melhorar o aproveitamento do combustível. A potência dos motores é bastante distinta, indo de no mínimo 188 CV, nos veículos Micro, até 340 CV nos veículos Biarticulados, os quais tem valor médio próximo dos veículos Articulados, porém operam em linhas com características bem distintas, isto aliado ao veículo Biarticulado ser maior, mais pesado e carregar mais passageiros, contribui para o maior consumo. A extensão das linhas, exceto nos veículos Biarticulados, possui valores próximos da média, com desvio padrão de 5,29 Km, o que corresponde a cerca de 16% do valor médio. A velocidade média é ainda mais homogênea, com desvio padrão de 1,84 Km/h, ou seja, cerca de 8% da velocidade média geral. A variável dependente de Km/l tem variação relativamente grande, indo de 1,037 Km/l nos veículos Biarticulados a 3,460 Km/l nos veículos Micro; com isso o desvio padrão é de 0,715 Km/l, ou seja, cerca de 30% do valor geral médio. De forma geral, os dados demonstram um cenário operacional bastante variado,

ocasionado principalmente pela ampla abrangência territorial das linhas no sistema de transporte da RMC.

TABELA 20 - VALORES MÉDIOS DAS VARIÁVEIS QUANTITATIVAS POR TIPO DE ÔNIBUS

Tipo de ônibus	PP (Qtde)	DPP (Km)	IV (Anos)	PV (CV)	EL (Km)	VL (Km/h)	Km/l
Micro	51	0,6	9,0	188	29,3	23,4	3,460
Comum	65	0,5	7,5	222	30,9	21,0	2,662
Multimodal	30	4,6	0,0	208	35,3	21,6	2,646
Semi Padron	78	0,7	10,5	257	36,2	22,7	2,239
Padron	19	5,7	10,5	245	35,8	24,7	2,189
Articulado	49	3,6	8,6	339	36,9	24,7	1,680
Biarticulado	31	0,7	7,9	340	21,8	19,3	1,037
Média geral	58	1,6	8,2	249	32,7	22,2	2,387

FONTE: O autor (2021).

Na TABELA 21, os resultados demonstram que os veículos Volkswagen tiveram o melhor desempenho Km/l, seguido dos veículos Mercedes-Benz, sendo estes dois fabricantes os que concentram a maioria dos ônibus dos tipos Comum e Semi Padron, e a totalidade dos veículos Micro e Multimodal, por isso, apresentam os melhores desempenhos; já veículos Volvo e Scania, por reunirem os ônibus maiores e mais pesados (Articulados e Biarticulados) e com potência acima da média, possuem consumo relativamente mais alto. É complexo estabelecer uma ação estratégica fundamentada apenas na média de consumo por fabricante, pois os resultados são muito distintos, afinal estes fornecem diversos tipos de ônibus, mesmo assim, a entrada de novos *players* do mercado, ao menos como fonte de comparação, pode ser adotada como uma boa tática.

TABELA 21 - VALORES MÉDIOS DAS VARIÁVEIS QUANTITATIVAS POR MARCA DE ÔNIBUS

Marca	PP (Qtde)	DPP (km)	IV (anos)	PV (CV)	EL (Km)	VL (Km/h)	Km/l
Volkswagen	50	0,7	9,3	231	24,2	20,8	2,632
Mercedes-Benz	64	1,3	8,0	232	33,7	21,8	2,462
Volvo	54	3,1	7,3	306	38,7	24,5	2,000
Scania	27	4,5	11,4	266	37,4	22,5	1,837
Média Geral	58	1,6	8,2	249	32,7	22,2	2,387

FONTE: O autor (2021).

A TABELA 22 apresenta os valores médios de consumo e das demais variáveis quantitativas, em função dos modelos de veículos; nela constata-se que o melhor resultado está nos ônibus OF 1418 (Mercedes-Benz), porém são veículos de menor PV e fazem parte de uma pequena parcela de ônibus Micro da frota; todavia o segundo melhor resultado são ônibus modelo B 270F (Volvo), os quais, mesmo possuindo PV acima da média, tiveram um desempenho melhor, se comparado aos demais veículos que também operam na categoria Comum; desta forma, a renovação da frota por veículos deste modelo, afinal a idade média baixa demonstra que são ônibus inseridos no sistema a menos tempo, pode ser uma estratégia positiva na redução do consumo.

TABELA 22 - VALORES MÉDIOS DAS VARIÁVEIS QUANTITATIVAS POR MODELO DE ÔNIBUS

Modelos de Veículo	PP (Qtde)	DPP (Km)	IV (Anos)	PV (CV)	EL (Km)	VL (Km/h)	Km/l
OF 1418 (Mercedes-Benz)	52	0,6	9,3	177	28,5	21,1	3,232
B 270F (Volvo)	97	0,5	4,1	270	49,1	23,4	2,769
OF 1519 (Mercedes-Benz)	70	0,5	4,0	187	36,9	23,0	2,734
17.230 OD (Volkswagen)	46	0,5	8,0	225	20,8	18,8	2,714
17.230 EOD (Volkswagen)	51	0,8	9,4	225	24,7	21,1	2,677
OF 1721 (Mercedes-Benz)	62	0,7	3,4	208	31,8	20,8	2,649
OF 1722 (Mercedes-Benz)	70	0,5	9,2	218	32,7	21,4	2,635
B 290R (Volvo)	3	11,4	6,0	290	27,4	25,8	2,457
17.260 EOT (Volkswagen)	54	1,2	10,8	260	28,1	22,7	2,369
B 7R (Volvo)	40	3,5	8,8	230	38,1	24,8	2,284
K 230 (Scania)	8	7,2	13,0	230	42,7	23,6	2,147
O 500M (Mercedes-Benz)	52	3,7	10,9	256	38,4	23,7	2,112
B 340M (Volvo)	29	4,6	6,1	340	46,4	29,5	1,953
B 12M (Volvo)	50	3,4	8,8	340	31,1	22,8	1,518
O 500MA (Mercedes-Benz)	59	2,6	9,5	354	36,1	22,6	1,473
K 310 (Scania)	50	1,2	9,5	310	31,1	21,2	1,462
Média geral	58	1,6	8,2	249	32,7	22,2	2,387

FONTE: O autor (2021).

Na TABELA 23 estão os valores médios das variáveis quantitativas, agrupadas pelo tipo de câmbio dos veículos; apesar do tipo Automático apresentar a média Km/l mais baixa, isto está diretamente relacionado ao fato dos veículos maiores e com maior PV se concentrarem neste tipo de câmbio; já os veículos com câmbio manual ou automatizado, tem média de consumo muito próxima, apesar dos veículos automatizados possuírem PV relativamente maior; estes resultado pode ser atribuído

tanto ao modo de funcionamento do câmbio e do motor, quanto a VL onde operam, a qual é superior à dos veículos com câmbio manual. Considerando apenas o consumo de combustível e o ganho de conforto, tanto para o passageiro quanto ao motorista, o investimento em câmbios automatizados é acertado, em relação ao câmbio manual, afinal apresentam praticamente a mesma média de consumo; já o câmbio automático, mesmo estando ligado ao maior consumo, na maioria das vezes, não se trata de uma opção estratégica, pois já está vinculado ao tipo do ônibus adquirido.

TABELA 23 - VALORES MÉDIOS DAS VARIÁVEIS QUANTITATIVAS POR TIPO DE CÂMBIO

Câmbio	PP (Qtde)	DPP (km)	IV (anos)	PV (CV)	EL (Km)	VL (Km/h)	Km/l
Automatizado	61	0,6	8,5	247	31,3	24,5	2,631
Manual	66	0,6	7,8	225	31,6	21,2	2,619
Automático	38	4,2	9,1	310	35,6	24,3	1,794
Média geral	58	1,6	8,2	249	32,7	22,2	2,387

FONTE: O autor (2021).

Ao verificar os valores médios agrupados pela variável de Grupos de Operação, conforme a TABELA 24, o melhor aproveitamento no consumo de combustível se dá nos veículos que realizam linhas do grupo Madrugueiro; apesar do número elevado de PP e da DPP relativamente baixa, as linhas possuem veículos com potência abaixo da média, aliado ao fato de serem linhas extensas, com VL de 32 Km/h, cerca de 50% acima da média geral, o que pode colaborar para o resultado positivo. Veículos que operam nas linhas do grupo Alimentador Direto, também possuem VL alta, e mesmo utilizando veículos mais potentes que a média, o que poderia contribuir para o maior consumo, tem resultados muitos superiores aos veículos que atuam em linhas Alimentadoras, quando comparados com veículos do mesmo tipo, por exemplo: Articulados que atuam em linhas Alimentadoras tem média de 1,624 Km/l, enquanto que, os mesmos Articulados que atuam em linhas Alimentadoras Direto apresentam média de 2,075 Km/l; este resultado deixa claro que, uma estratégia eficaz para a melhoria do consumo, é reduzir o número de paradas convergindo ou intercalando viagens de Alimentadoras em Alimentadoras Direto, quando as características operacionais assim permitirem.

TABELA 24 - VALORES MÉDIOS DAS VARIÁVEIS QUANTITATIVAS POR GRUPO DE OPERAÇÃO

Grupo de Operação	PP (Qtde)	DPP (Km)	IV (Anos)	PV (CV)	EL (Km)	VL (Km/h)	Km/l
Madrugueiro	102	0,6	9,1	224	49,5	32,0	3,007
Convencional	84	0,5	6,4	231	43,4	22,9	2,545
Alimentador	45	0,5	8,4	236	20,4	19,3	2,450
Troncal	99	0,5	7,5	254	46,8	22,4	2,424
Intercidades	80	0,5	8,6	253	37,5	24,2	2,422
Alimentador Direto	2	12,8	9,8	305	25,6	30,4	2,269
Linha Direta (Ligeirinho)	6	7,4	9,8	285	39,9	27,0	2,091
Expresso	32	0,7	7,9	340	22,4	19,0	1,035
Média geral	58	1,6	8,2	249	32,7	22,2	2,387

FONTE: O autor (2021).

Apesar do estudo não realizar o rastreamento do ganho ou perda de elevação nos trajetos das linhas, foi realizada a análise do consumo de combustível em função da região geográfica onde elas atuam; os resultados expostos na TABELA 25 indicam que, linhas da região oeste e sul possuem melhores resultados de consumo; na região oeste a média de PV relativamente baixa, pode ter contribuído para o resultado positivo, enquanto que na região sul o relevo mais plano, a VL e a DPP mais elevada, aliado ao menor número médio de PP pode ter contribuído para este resultado; considerando que as variações no relevo demonstraram impactar no consumo, evitar sempre que possível elevações íngremes ao definir trajetos para as linhas, pode contribuir de forma significativa para a redução no consumo.

TABELA 25 - VALORES MÉDIOS DAS VARIÁVEIS QUANTITATIVAS POR REGIÃO GEOGRÁFICA

Região	PP (Qtde)	DPP (Km)	IV (Anos)	PV (CV)	EL (Km)	VL (Km/h)	Km/l
Oeste	59	0,5	9,0	217	26,5	20,8	2,574
Sul	48	2,7	9,4	258	32,7	24,8	2,431
Leste	59	1,2	7,8	252	29,7	20,9	2,372
Norte	65	1,2	7,5	243	35,2	21,1	2,352
Média geral	58	1,6	8,2	249	32,7	22,2	2,387

FONTE: O autor (2021).

O resultado de consumo médio Km/l de combustível em função do tipo de dia, presente na TABELA 26, apresentou melhores médias nos finais de semana, com resultado mais acentuado nos domingos; isto pode ser atribuído ao uso de veículos

com PV menor nestes dias, uma vez que as demais variáveis estão muito próximas da média geral. Dois fatores não incluídos neste estudo, mas que empiricamente, pela experiência do pesquisador, podem ser atribuídos a este resultado positivo nos domingos são, tanto a menor demanda de passageiros quanto o trânsito, que apresentam índices que permitem o veículo desenvolver melhor velocidade, com menor número de paradas e maior fluidez. Quanto as estratégias que podem contribuir para a melhoria no consumo: pode-se recomendar a utilização de veículos de menor potência, tanto nos períodos de menor demanda nos dias úteis, quanto ampliar esta prática nos finais de semana.

TABELA 26 - VALORES MÉDIOS DAS VARIÁVEIS QUANTITATIVAS POR TIPO DE DIA DE OPERAÇÃO

Tipo de Dia	PP (Qtde)	DPP (Km)	IV (Anos)	PV (CV)	EL (Km)	VL (Km/h)	Km/ Lt
Domingo	56	1,6	7,6	239	31,3	22,5	2,619
Sábado	60	1,5	7,9	242	34,2	23,1	2,492
Dia Útil	58	1,6	8,2	251	32,6	22,0	2,361
Média Geral	58	1,6	8,2	249	32,7	22,2	2,387

FONTE: O autor (2021).

A variabilidade do consumo de combustível entre os meses, apresentada na TABELA 27, aponta que dezembro e janeiro, assim como, julho e agosto, proporcionaram os melhores resultados; isto indica que, os meses comumente relacionados aos períodos de férias, com menor fluxo de passageiros e de trânsito, trazem vantagens para o consumo, tal qual acontece nos finais de semana; sendo assim, as estratégias anteriormente designadas para a operação em diferentes tipos de dias, também podem ser aplicadas a estes períodos de menor demanda.

TABELA 27 - VALORES MÉDIOS DAS VARIÁVEIS QUANTITATIVAS POR MÊS DE OPERAÇÃO

(continua)

Mês	PP (Qtde)	DPP (Km)	IV (Anos)	PV (CV)	EL (Km)	VL (Km/h)	Km/l
Dezembro (dez)	58	1,6	7,6	249	32,5	22,1	2,436
Julho (jul)	58	1,6	8,2	249	32,6	22,2	2,409
Agosto (ago)	58	1,6	8,1	249	32,7	22,2	2,400
Janeiro (jan)	58	1,6	8,7	249	32,7	22,1	2,399

TABELA 27 - VALORES MÉDIOS DAS VARIÁVEIS QUANTITATIVAS POR MÊS DE OPERAÇÃO

(conclusão)

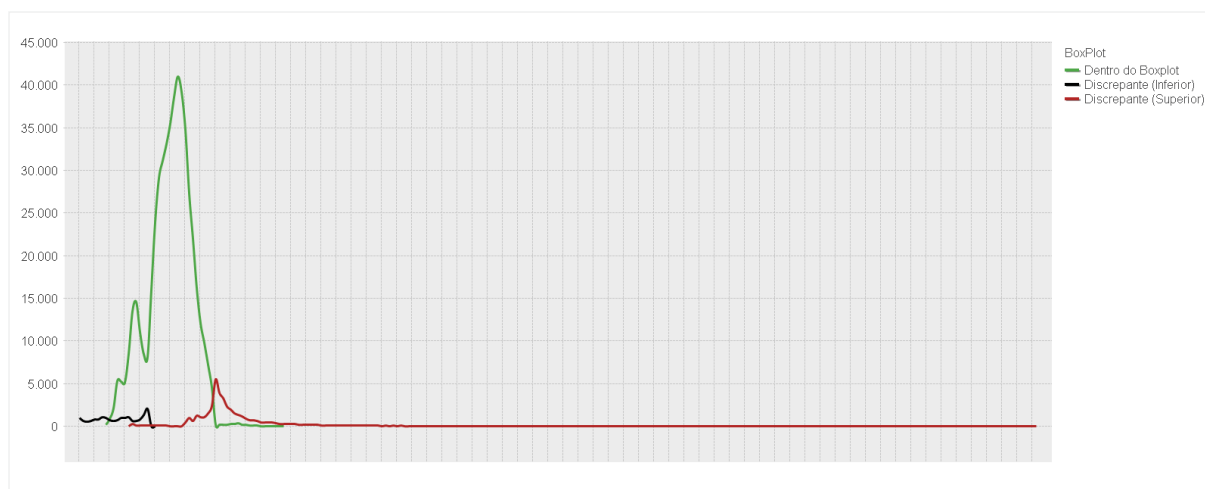
Mês	PP (Qtde)	DPP (Km)	IV (Anos)	PV (CV)	EL (Km)	VL (Km/h)	Km/l
Outubro (out)	58	1,6	7,7	250	32,7	22,1	2,398
Novembro (nov)	58	1,6	7,6	249	32,7	22,1	2,397
Setembro (set)	58	1,6	7,8	250	32,8	22,1	2,396
Junho (jun)	58	1,6	8,2	249	32,7	22,2	2,387
Mai (mai)	58	1,6	8,4	249	32,9	22,4	2,376
Março (mar)	58	1,6	8,6	249	32,6	22,1	2,355
Abril (abr)	58	1,6	8,4	249	32,6	22,1	2,347
Fevereiro (fev)	58	1,6	8,6	250	32,8	22,1	2,346
Média geral	58	1,6	8,2	249	32,7	22,2	2,387

FONTE: O autor (2021).

4.3 RESULTADOS E ANÁLISES DOS EXPERIMENTOS ESTATÍSTICOS

Antes de realizar os testes correlacionais, os dados tiveram a densidade apurada e representada por meio de um histograma de frequência no GRÁFICO 5; as linhas vermelha e preta representam os *outliers* divergentes e a linha verde representa a contagem dos dados *inliers*; o gráfico em forma de sino confirma a distribuição normal, uma vez que a maioria dos valores se concentra próximo das medidas de tendência central; aliado a isto, o elevado número de elementos em cada grupo confirma a possibilidade de realização de testes estatísticos paramétricos.

GRÁFICO 5 - HISTOGRAMA – DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DAS MÉDIAS DE CONSUMO DE COMBUSTÍVEL POR QUILOMETRO RODADO



FONTE: O autor (2021).

4.3.1 Teste de correlação de Pearson

O primeiro teste estatístico realizado com as variáveis quantitativas, objetivou verificar o grau de correlação geral entre o consumo médio de combustível por quilômetro rodado e a variabilidade das variáveis independentes. A TABELA 28 apresenta o ranking com valores de R e R^2 , assim como, o valor de p , o qual quando abaixo de 0,05 rejeita a hipótese nula, ou seja, de que não há correlação; apesar do valor de p ficar abaixo de 0,05 em todas as variáveis, apenas a variação de PV apresentou correlação linear considerada forte e negativa, com 46,7% da variação na média de consumo podendo ser explicada pela variação na potência; as demais variáveis tiveram correlação consideradas desprezíveis, quando medidas de forma geral, considerando todos os tipos de veículos; estes resultados reforçam tanto a importância no cuidado com o planejamento operacional, para utilização de veículos com potências adequadas, quanto permitem concluir que a análise do consumo necessita ser realizada de forma mais detalhada, separando-a em função dos tipos de veículos, tal qual será feito.

TABELA 28 - COEFICIENTE DA CORRELAÇÃO DE PEARSON E COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS INDEPENDENTES QUANTITATIVAS E A VARIÁVEL DEPENDENTE DE KM/L - GERAL

Variável Independente Quantitativa	<i>p-value</i>	<i>R</i>	<i>R</i> ²
PV (CV)	< 0,05	-0,68	46,7%
IV (Anos)	< 0,05	-0,16	2,6%
DPP (Km)	< 0,05	-0,16	2,5%
PP (Qtde)	< 0,05	0,13	1,8%
VL (km/h)	< 0,05	0,07	0,5%
EL (Km)	< 0,05	0,03	0,1%

FONTE: O autor (2021).

Nas tabelas onde estão apresentados os resultados, valores de R sublinhados indicam que o resultado de *p-value* ficou abaixo de 0,05, confirmando a existência de correlação estatisticamente significativa entre as variáveis; os grupos estão classificados em ordem da soma dos resultados de R^2 e foi utilizada a escala de cores para representar a intensidade da correlação.

A TABELA 29 revela os resultados do teste de correlação entre os diferentes Tipos de ônibus; os valores demonstram que veículos do tipo Micro possuem

correlação negativa moderada entre a média Km/l e a quantidade de PP ($R = -0,50$); isto significa dizer, que à medida que o número de PP aumenta a média Km/l diminui, com 25,5% da variabilidade do consumo podendo estar relacionada a variabilidade no número de PP. A PV apresentou correlação considerada moderada ($R = 0,56$) e neste caso positiva, com 31,0% da variabilidade das médias Km/l dos veículos Micro, podendo ser explicada por este fator; o fato desta correlação apresentar resultado positivo, vai na contramão dos resultados obtidos nos demais testes, onde a correlação entre PV e Km/l, quando existente, é negativa; assim, a média de consumo neste tipo de veículo está sendo influenciada por outros fatores, que não apenas, a potência dos motores. Veículos do tipo Articulado apresentaram correlação positiva moderada entre a média de consumo e a VL, com $R = 0,57$, tendo 33,1% da variabilidade na média Km/l associada a variação na VL. Todos os demais testes, apesar de apresentarem valor de p abaixo de 0,05, se caracterizaram como correlações fracas ou desprezíveis; ainda quanto aos veículos Articulados, os resultados indicam que estes sofrem maior influência da quantidade e da distância entre os pontos de parada e da velocidade média na linha, do que os demais, reforçando as estratégias já indicadas de redução do número de pontos, convertendo linhas para “Alimentador Direto” ou “Linha Direta”, sempre que possível.

TABELA 29 - COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON E COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS INDEPENDENTES QUANTITATIVAS E A VARIÁVEL DEPENDENTE KM/L - POR TIPO DE ÔNIBUS

Tipo de ônibus	Coeficiente	PP (Qtde)	DPP (Km)	IV (Anos)	PV (CV)	EL (Km)	VL (Km/h)
Micro	R	<u>-0,50</u>	<u>0,42</u>	<u>-0,29</u>	<u>0,56</u>	<u>-0,27</u>	<u>0,17</u>
	R^2	25,5%	17,6%	8,4%	31,0%	7,5%	2,8%
Articulado	R	<u>-0,42</u>	<u>0,48</u>	<u>-0,06</u>	<u>-0,32</u>	<u>0,24</u>	<u>0,57</u>
	R^2	17,9%	23,4%	0,3%	10,2%	5,8%	33,1%
Multimodal	R	<u>-0,16</u>	<u>0,26</u>	-	-	<u>-0,13</u>	<u>0,38</u>
	R^2	2,4%	6,9%	-	-	1,8%	14,7%
Comum	R	<u>0,17</u>	<u>0,09</u>	<u>-0,01</u>	<u>0,09</u>	<u>0,19</u>	<u>0,31</u>
	R^2	2,8%	0,9%	0,0%	0,8%	3,7%	9,8%
Semi Padron	R	<u>-0,23</u>	<u>0,09</u>	<u>-0,04</u>	<u>0,06</u>	<u>-0,11</u>	<u>0,29</u>
	R^2	5,3%	0,8%	0,2%	0,4%	1,2%	8,3%
Biarticulado	R	<u>-0,13</u>	<u>0,13</u>	<u>-0,20</u>	-	<u>-0,13</u>	<u>0,11</u>
	R^2	1,6%	1,6%	3,9%	-	1,6%	1,3%
Padron	R	<u>0,10</u>	<u>0,01</u>	<u>-0,19</u>	<u>-0,14</u>	<u>-0,08</u>	<u>0,08</u>
	R^2	1,0%	0,0%	3,5%	1,8%	0,6%	0,6%

FONTE: O autor (2021).

Na TABELA 30 estão os resultados dos testes em função da marca dos ônibus; uma correlação forte e negativa foi identificada entre PV e o consumo médio, nos veículos da marca Scania ($R = -0,72$) e Mercedes-Benz ($R = -0,71$); desta forma, nestes veículos à medida que a PV aumenta a média Km/l diminui, com 51,5% e 51,0% da variação do consumo podendo ser explicada pela variação na potência, respectivamente; a PV apresentou correlação moderada e negativa com veículos da marca Volvo ($R = -0,61$), porém com coeficiente de determinação ligeiramente menor ($R^2 = 36,7\%$). Veículos da marca Volkswagen apresentaram correlação entre o consumo e a PV desprezível ($R = -0,28$); em todos os casos a correlação entre o consumo e a potência esteve ligada a grande variabilidade de potência disponível nos diferentes fabricantes, exceto nos veículos Volkswagen. A DPP nos veículos Scania apresentou correlação moderada e positiva com o consumo médio de combustível ($R = 0,59$); este resultado está diretamente relacionado com a variação no número de PP, o qual apesar de apresentar correlação considerada fraca ($R = -0,47$), corrobora que menos paradas e/ou paradas mais distantes melhoram sutilmente os resultados de consumo.

TABELA 30 - COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON E COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS INDEPENDENTES QUANTITATIVAS E A VARIÁVEL DEPENDENTE KM/L - POR MARCA DE VEÍCULO

Marca do veículo	Coeficiente	PP (Qtde)	DPP (Km)	IV (Anos)	PV (CV)	EL (Km)	VL (Km/h)
Scania	R	<u>-0,47</u>	<u>0,59</u>	<u>0,39</u>	<u>-0,72</u>	<u>0,21</u>	<u>0,26</u>
	R^2	22,1%	35,2%	14,9%	51,5%	4,5%	6,9%
Volvo	R	<u>0,14</u>	<u>0,15</u>	<u>-0,41</u>	<u>-0,61</u>	<u>0,41</u>	<u>0,33</u>
	R^2	1,8%	2,2%	17,0%	36,7%	17,1%	11,0%
Volkswagen	R	<u>-0,04</u>	<u>0,01</u>	<u>-0,2</u>	<u>-0,28</u>	<u>0,06</u>	<u>0,26</u>
	R^2	0,2%	0,0%	4,2%	7,7%	0,3%	6,6%
Mercedes-Benz	R	<u>0,19</u>	<u>-0,29</u>	<u>-0,23</u>	<u>-0,71</u>	<u>0,05</u>	<u>0,06</u>
	R^2	3,5%	8,2%	5,3%	51,0%	0,2%	0,4%

FONTE: O autor (2021).

A TABELA 31 apresenta os valores de correlação e determinação agrupados por modelo dos veículos; nenhum modelo apresentou correlação forte ou muito forte; correlações moderadas e positivas foram identificadas nos veículos modelo B 12M (Volvo) em função da VL ($R = 0,60$) e DPP ($R = 0,65$), assim como, também

apresentou correlação moderada e negativa o número de PP para veículos modelo OF 1418 (Mercedes-Benz), com $R = -0,66$ e $R^2 = 43,3\%$. Todos os demais modelos de veículos apresentaram correlação fraca ou desprezível com as variáveis testadas. A PV não apresentou resultados nos testes, uma vez que cada modelo possui apenas um valor de potência específica. Os veículos do modelo B 270F (Volvo) apresentaram valor de p acima de 0,05 no teste de correlação com a variável DPP, ou seja, não há correlação entre a distância dos pontos de paradas e a média de Km/l nos veículos deste modelo. Os resultados mais expressivos foram identificados nos veículos modelo B 340M (Volvo), onde a VL a DPP e o número de PP estão correlacionados de maneira moderada com o consumo de combustível, com resultados de $R = 0,61$, 0,55 e -0,55 respectivamente, sendo a VL e DPP correlações positivas e PP negativa; isto se deve ao fato destes veículos atuarem em todos os tipos de linhas, mas apresentarem resultados mais elevados de média de consumo, quando operando em Linhas Diretas ou Alimentador Direto (resultado acima de 2 Km/l), enquanto que em linhas Troncal ou Convencional (com grande número de paradas e VL menor) a média de consumo ficou próxima de 1,5 Km/l, mais uma vez reforçando o cuidado necessário com o planejamento de atribuição dos veículos e linhas.

TABELA 31 - COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON E COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS INDEPENDENTES QUANTITATIVAS E A VARIÁVEL DEPENDENTE KM/L - POR MODELO DE VEÍCULO

(continua)

Modelo do veículo	Coeficiente	PP (Qtde)	DPP (Km)	IV (Anos)	PV (CV)	EL (Km)	VL (Km/h)
B 340M (Volvo)	R	-0,55	0,55	0,41	-	0,45	0,61
	R^2	30,2%	30,2%	16,5%	-	20,6%	36,8%
B 12M (Volvo)	R	-0,28	0,65	0,30	-	0,27	0,60
	R^2	7,8%	41,8%	9,1%	-	7,4%	35,6%
OF 1418 (Mercedes-Benz)	R	-0,66	0,30	-0,10	-	-0,44	-0,22
	R^2	43,3%	9,0%	1,0%	-	19,3%	5,1%
OF 1519 (Mercedes-Benz)	R	0,28	0,36	-	-	0,41	0,34
	R^2	8,0%	12,7%	-	-	16,6%	11,8%
B 290R (Volvo)	R	-0,39	0,38	-	-	-0,39	0,16
	R^2	14,8%	14,8%	-	-	14,9%	2,4%
OF 1722 (Mercedes-Benz)	R	0,28	0,12	0,05	-	0,27	0,34
	R^2	7,9%	1,5%	0,3%	-	7,5%	11,7%
K 230 (Scania)	R	-0,27	0,26	-	-	-0,27	0,10
	R^2	7,1%	7,0%	-	-	7,1%	1,0%

TABELA 31 - COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON E COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS INDEPENDENTES QUANTITATIVAS E A VARIÁVEL DEPENDENTE KM/L - POR MODELO DE VEÍCULO

(conclusão)

Modelo do veículo	Coeficiente	PP (Qtde)	DPP (Km)	IV (Anos)	PV (CV)	EL (Km)	VL (Km/h)
17.260 EOT (Volkswagen)	R	-0,14	0,10	-0,16	-	0,18	0,36
	R^2	1,9%	1,0%	2,5%	-	3,4%	12,7%
OF 1721 (Mercedes-Benz)	R	0,23	0,06	0,08	-	0,22	0,29
	R^2	5,4%	0,3%	0,7%	-	4,8%	8,3%
17.230 EOD (Volkswagen)	R	0,02	0,01	-0,15	-	0,10	0,32
	R^2	0,1%	0,0%	2,2%	-	0,9%	10,3%
17.230 OD (Volkswagen)	R	-0,04	0,13	0,03	-	0,06	0,32
	R^2	0,2%	1,6%	0,1%	-	0,4%	10,2%
B 7R (Volvo)	R	0,07	0,11	0,02	-	0,13	0,28
	R^2	0,4%	1,2%	0,1%	-	1,7%	8,1%
K 310 (Scania)	R	0,13	0,07	-0,12	-	0,18	0,21
	R^2	1,8%	0,6%	1,4%	-	3,1%	4,6%
O 500M (Mercedes-Benz)	R	0,03	-0,06	-0,13	-	-0,23	-0,14
	R^2	0,1%	0,4%	1,7%	-	5,3%	1,9%
B 270F (Volvo)	R	-0,12	0,01	-0,08	-	-0,10	0,20
	R^2	1,5%	0,0%	0,6%	-	1,0%	4,1%
O 500MA (Mercedes-Benz)	R	-0,15	0,07	-0,07	-	-0,07	0,12
	R^2	2,3%	0,5%	0,5%	-	0,5%	1,3%

FONTE: O autor (2021).

A TABELA 32 exibe os resultados de R , R^2 e p agrupados por tipo de câmbio, os quais indicam que, apesar de haverem correlações moderadas, como na variável PV que apresentou correlação negativa ($R = -0,57$) com a média Km/l nos veículos com câmbio automático, estas correlações estão muito mais ligadas ao fato deste tipo de câmbio equipar veículos das mais variadas classes e potências, que atuam em linhas com características operacionais bastante distintas, do que a algum fator exclusivo do tipo de câmbio; afinal, no câmbio do tipo Manual, que se concentram em veículos com menor variabilidade de potência e atuam majoritariamente em linhas alimentadoras, os coeficientes de correlação são ínfimos.

TABELA 32 - COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON E COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS INDEPENDENTES QUANTITATIVAS E A VARIÁVEL DEPENDENTE KM/L - POR TIPO DE CÂMBIO DO VEÍCULO

Tipo de Câmbio	Coeficiente	PP (Qtde)	DPP (Km)	IV (Anos)	PV (CV)	EL (Km)	VL (Km/h)
Automático	<i>R</i>	-0,39	0,48	0,12	-0,57	0,21	0,43
	<i>R</i> ²	15,2%	23,4%	1,3%	32,5%	4,5%	18,8%
Manual	<i>R</i>	0,04	0,04	-0,12	-0,20	0,10	0,25
	<i>R</i> ²	0,1%	0,2%	1,5%	4,0%	1,0%	6,2%
Automatizado	<i>R</i>	-0,05	0,02	0,01	0,01	0,02	0,08
	<i>R</i> ²	0,2%	0,1%	0,0%	0,0%	0,1%	0,7%

FONTE: O autor (2021).

Na TABELA 33 estão expostos os resultados da correlação de acordo com o Tipo de Dia de Operação; a PV apresentou correlação negativa moderada nos domingos ($R = -0,65$), sábados ($R = -0,69$) e dias úteis ($R = -0,60$); as demais variáveis, mesmo tendo correlação com o consumo médio de combustível, revelaram efeitos fracos ou desprezíveis. Este resultado reforça a estratégia já indicada, de utilização de veículos com potências menores ou mais adequadas à demanda, principalmente nos finais de semana e nos períodos entre os picos de passageiros, em dias úteis.

TABELA 33 - COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON E COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS INDEPENDENTES QUANTITATIVAS E A VARIÁVEL DEPENDENTE KM/L - POR TIPO DE DIA DE OPERAÇÃO

Tipo de Dia	Coeficiente	PP (Qtde)	DPP (Km)	IV (Anos)	PV (CV)	EL (Km)	VL (Km/h)
Domingo	<i>R</i>	0,18	-0,29	-0,24	-0,65	-0,02	-0,01
	<i>R</i> ²	3,3%	8,2%	5,9%	42,0%	0,1%	0,0%
Dia Útil	<i>R</i>	0,13	-0,15	-0,14	-0,69	0,03	0,08
	<i>R</i> ²	1,7%	2,2%	2,0%	47,7%	0,1%	0,6%
Sábado	<i>R</i>	0,14	-0,18	-0,22	-0,60	0,03	0,03
	<i>R</i> ²	2,1%	3,1%	5,0%	35,6%	0,1%	0,1%

FONTE: O autor (2021).

Ao realizar os testes de correlação agrupando os dados em função do Mês de Operação, conforme TABELA 34, os resultados indicam que a PV está correlacionada com o consumo Km/l, de forma negativa e forte, principalmente em janeiro ($R = -0,70$); nos demais meses o resultado indicou que este fator possui correlação negativa, porém moderada (R entre -0,67 e -0,69). A variável EL não apresentou correlação

com o consumo em agosto e novembro, sendo que nos demais meses existiu correlação, porém fraca ou desprezível. A pequena variação nos índices de correlação entre os meses, demonstra que durante o ano não foram implementadas grandes mudanças no sistema de transporte, afinal os índices de correlação praticamente não se alteraram; isto também inviabiliza a definição de estratégias focadas em algum dos fatores em um período específico, a não ser reduzir a PV em períodos de férias, conforme já especificado.

TABELA 34 - COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON E COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS INDEPENDENTES QUANTITATIVAS E A VARIÁVEL DEPENDENTE KML - POR MÊS DE OPERAÇÃO

Mês	Coeficiente	PP (Qtde)	DPP (Km)	IV (Anos)	PV (CV)	EL (Km)	VL (Km/h)
jan	<i>R</i>	0,17	-0,16	-0,18	-0,70	0,06	0,09
	<i>R</i> ²	3,0%	2,5%	3,1%	48,5%	0,4%	0,8%
set	<i>R</i>	0,13	-0,17	-0,12	-0,69	0,01	0,03
	<i>R</i> ²	2,5%	2,5%	3,5%	47,9%	0,3%	1,1%
fev	<i>R</i>	0,16	-0,16	-0,19	-0,69	0,06	0,10
	<i>R</i> ²	2,3%	2,8%	3,6%	47,2%	0,2%	0,8%
mai	<i>R</i>	0,13	-0,17	-0,16	-0,68	0,03	0,10
	<i>R</i> ²	2,2%	2,6%	2,6%	46,9%	0,2%	1,1%
ago	<i>R</i>	0,12	-0,17	-0,17	-0,68	0,01	0,05
	<i>R</i> ²	1,7%	2,7%	3,0%	46,8%	0,1%	0,4%
mar	<i>R</i>	0,15	-0,17	-0,19	-0,69	0,04	0,09
	<i>R</i> ²	1,7%	2,6%	2,3%	47,3%	0,1%	0,4%
out	<i>R</i>	0,11	-0,15	-0,13	-0,68	0,02	0,05
	<i>R</i> ²	1,8%	2,9%	2,5%	46,0%	0,1%	1,0%
abr	<i>R</i>	0,15	-0,16	-0,16	-0,68	0,05	0,10
	<i>R</i> ²	1,4%	2,8%	3,1%	46,4%	0,0%	0,2%
jul	<i>R</i>	0,13	-0,16	-0,15	-0,69	0,02	0,06
	<i>R</i> ²	1,7%	2,9%	1,5%	47,3%	0,0%	0,1%
jun	<i>R</i>	0,13	-0,16	-0,17	-0,68	0,02	0,06
	<i>R</i> ²	1,3%	2,3%	1,6%	46,7%	0,0%	0,3%
dez	<i>R</i>	0,11	-0,14	-0,16	-0,68	0,02	0,06
	<i>R</i> ²	1,2%	1,8%	2,5%	45,7%	0,0%	0,4%
nov	<i>R</i>	0,09	-0,14	-0,13	-0,67	0,01	0,07
	<i>R</i> ²	0,8%	1,9%	1,8%	45,4%	0,0%	0,5%

FONTE: O autor (2021).

Os testes de correlação com os dados distribuídos de acordo com os Grupos de Operação das linhas, apresentados na TABELA 35, demonstra que a variável DPP

nas linhas dos grupos Convencional e Troncal, assim como, a variável EL nas linhas Direta (Ligeirinho), apresentaram valor de p maior que 0,05, assinalando a inexistência de correlação. Nas linhas do grupo Madrugueiro, a VL apresentou correlação forte e positiva com a média de consumo de combustível; a variável PV indicou correlação forte e negativa com os ônibus do Grupo de Operação Convencional ($R = -0,82$) e Intercidades ($R = -0,77$). Nas linhas Alimentador Direto a variável PV indicou correlação negativa e moderada ($R = -0,56$), assim como nos Grupos Troncal ($R = -0,66$) e Alimentador ($R = -0,60$). Os demais grupos e variáveis apresentaram correlação fraca ou desprezível. Considerando a menor correlação entre a PV e o consumo, nos grupos Alimentador Direto e Linha Direta, do que nos grupos Convencional, Intercidades e Troncal, mais uma vez é reforçado que a potência dos veículos causa menos impacto no consumo, em linhas com número de paradas menor e/ou onde são desenvolvidas melhores velocidades operacionais.

TABELA 35 - COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON E COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS INDEPENDENTES QUANTITATIVAS E A VARIÁVEL DEPENDENTE KM/L - POR GRUPO DE OPERAÇÃO

Grupo de operação	Coefficiente	PP (Qtde)	DPP (Km)	IV (Anos)	PV (CV)	EL (Km)	VL (Km/h)
Madrugueiro	R	-0,21	-0,09	-0,14	0,01	-0,50	0,81
	R^2	4,3%	0,9%	1,8%	0,0%	24,8%	65,8%
Convencional	R	0,42	0,00	-0,21	-0,82	0,18	0,17
	R^2	17,6%	0,0%	4,5%	66,7%	3,3%	3,0%
Intercidades	R	-0,31	0,29	-0,03	-0,77	-0,08	0,37
	R^2	9,6%	8,4%	0,1%	58,8%	0,7%	13,7%
Alimentador Direto	R	-	-0,24	0,35	-0,56	-0,24	-0,25
	R^2	-	5,7%	12,0%	31,6%	5,7%	6,1%
Troncal	R	0,05	0,01	-0,13	-0,66	0,12	0,24
	R^2	0,3%	0,0%	1,6%	43,6%	1,4%	5,9%
Alimentador	R	-0,08	0,09	-0,12	-0,60	-0,04	0,07
	R^2	0,6%	0,7%	1,5%	35,7%	0,1%	0,5%
Linha Direta (Ligeirinho)	R	-0,03	0,09	-0,20	-0,42	0,01	-0,10
	R^2	0,1%	0,7%	4,0%	17,6%	0,0%	1,0%
Expresso	R	-	-	-0,26	-0,19	-	-
	R^2	-	-	6,5%	3,7%	-	-

FONTE: O autor (2021).

Na TABELA 36 os resultados dos coeficientes de correlação e determinação indicam que, os veículos que operam nas regiões leste ($R = -0,73$) e norte ($R = -0,76$)

possuem correlação negativa forte entre a variável PV e a média de consumo Km/l. Na região sul esta correlação apresentou resultado moderado ($R = -0,63$), enquanto na região oeste a correlação foi desprezível ($R = 0,10$); isto indica que para vencer os obstáculos de relevo presentes nas regiões leste e principalmente norte, a PV é ainda mais exigida, aumentando a correlação entre o consumo de combustível e esta variável. Ainda na região oeste, a variável DPP e a VL apontaram correlação positiva e moderada com valores de $R = 0,61$ e $R = 0,55$ respectivamente. As demais variáveis e regiões possuem correlação fraca ou desprezível. Desta forma, o maior cuidado com a definição de potências adequadas para veículos em linhas, deve acontecer principalmente nas regiões leste e norte, enquanto que a distância entre os pontos de parada e ganhos na velocidade das linhas, na região oeste.

TABELA 36 - COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON E COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS INDEPENDENTES QUANTITATIVAS E A VARIÁVEL DEPENDENTE KM/L - POR REGIÃO GEOGRÁFICA DE OPERAÇÃO

Região	Coeficiente	PP (Qtde)	DPP (Km)	IV (Anos)	PV (CV)	EL (Km)	VL (Km/h)
Oeste	R	0,07	0,61	-0,20	0,10	0,36	0,55
	R^2	0,5%	37,4%	4,0%	1,1%	13,3%	29,9%
Leste	R	0,32	-0,12	-0,08	-0,73	0,22	0,20
	R^2	10,0%	1,4%	0,6%	53,2%	4,8%	3,9%
Norte	R	0,02	-0,09	-0,32	-0,76	0,08	0,16
	R^2	0,0%	0,8%	10,5%	58,0%	0,7%	2,7%
Sul	R	0,12	-0,33	-0,09	-0,63	-0,31	-0,20
	R^2	1,3%	11,2%	0,8%	39,2%	9,5%	4,1%

FONTE: O autor (2021).

4.3.2 Análise de Variância e teste de Tukey

A partir deste ponto são apresentados os resultados dos testes estatísticos realizados com as variáveis qualitativa; foram obtidos o valor de p na Análise de Variância (ANOVA), seguido de quadros com gráficos *boxplot* e o valor p Tukey no teste *post hoc* de Tukey; valores de p menores que 0,05 indicam a presença de diferenças estatisticamente significativas entre os grupos; ainda na ANOVA, são exibidas a Soma dos Quadrados do Tratamento (SQT) e a Soma dos Quadrados dos Resíduos (SQR), que demonstram se a variância se concentra dentro do grupo ou

entre os grupos; ao final dos testes de cada fator, é redigida uma análise com causas das variações e, quando pertinente, recomendações de estratégias para melhoria.

A TABELA 37 apresenta a ANOVA, na qual se evidencia a existência de diferenças estatisticamente significativas entre, ao menos um dos Tipos de ônibus; mais da metade (56,3%) da variabilidade dos dados, provém da variância entre os diferentes Tipos e 43,7% é derivada da variação entre os ônibus dentro de cada grupo.

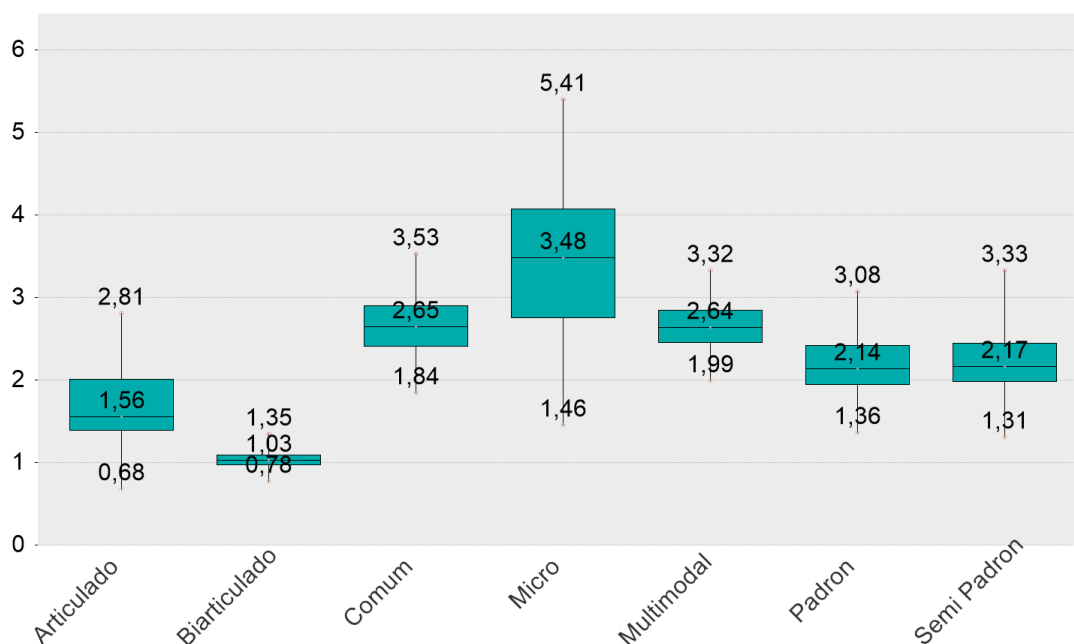
TABELA 37 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA MÉDIA KM/LITRO - POR TIPO DE ÔNIBUS

Grupo	SQT	SQR	Variância entre os grupos	Variância dentro do grupo	p
Tipo de ônibus	93.075	72.359	56,3%	43,7%	< 0,05

FONTE: O autor (2021).

Dando continuidade ao teste, no GRÁFICO 6 o *boxplot* indica que os limites de consumo dos veículos do Tipo Articulado, Biarticulado e Micro-ônibus, estão desalinhados se comparados aos demais, caracterizando grande variabilidade e confirmando a existência de diferenças entre, pelo menos, estes grupos.

GRÁFICO 6 - BOXPLOT DA MÉDIA KM/LITRO POR TIPO DE ÔNIBUS



FONTE: O autor (2021).

Os resultados do teste *post hoc*, exibidos na TABELA 38, confirmam diferenças entre as médias de consumo entre todos os Tipos de Veículos, exceto entre Comum e Multimodal; esta ausência de diferença é esperada, uma vez que veículos Multimodal podem, em casos especiais, ser utilizados em linhas onde atuam veículos Comum; a distinção no consumo para diferentes Tipos de ônibus, fortalece a recomendação estratégica de atribuir Tipos de ônibus em Tipos de linhas ideais.

TABELA 38 - TESTE POST HOC DE TUKEY POR TIPO DE ÔNIBUS

Comparação					pTukey	
Tipo do veículo	Biarticulado	Comum	Micro	Multimodal	Padron	Semi Padron
Articulado	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Biarticulado	-	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Comum	-	-	< 0,05	0,11	< 0,05	< 0,05
Micro	-	-	-	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Multimodal	-	-	-	-	< 0,05	< 0,05
Padron	-	-	-	-	-	< 0,05

FONTE: O autor (2021).

A existência de diferenças significativas na média de consumo entre os diferente Tipos de ônibus, levou a realização dos testes a seguir separados por Tipo de veículo. Na TABELA 39, todos valores de $p < 0,05$, confirmando a existência de diferenças. A SQT demonstra que a maior variância entre os grupos aconteceu com os veículos Micro (31%), seguido pelos veículos Articulado (17,9%); nos demais, a diferença foi menos expressiva. Veículos do tipo Biarticulado e Multimodal possuem apenas uma marca de fabricante, com isso, não foi possível realizar a análise de variância entre grupos de marcas para estes tipos de veículos.

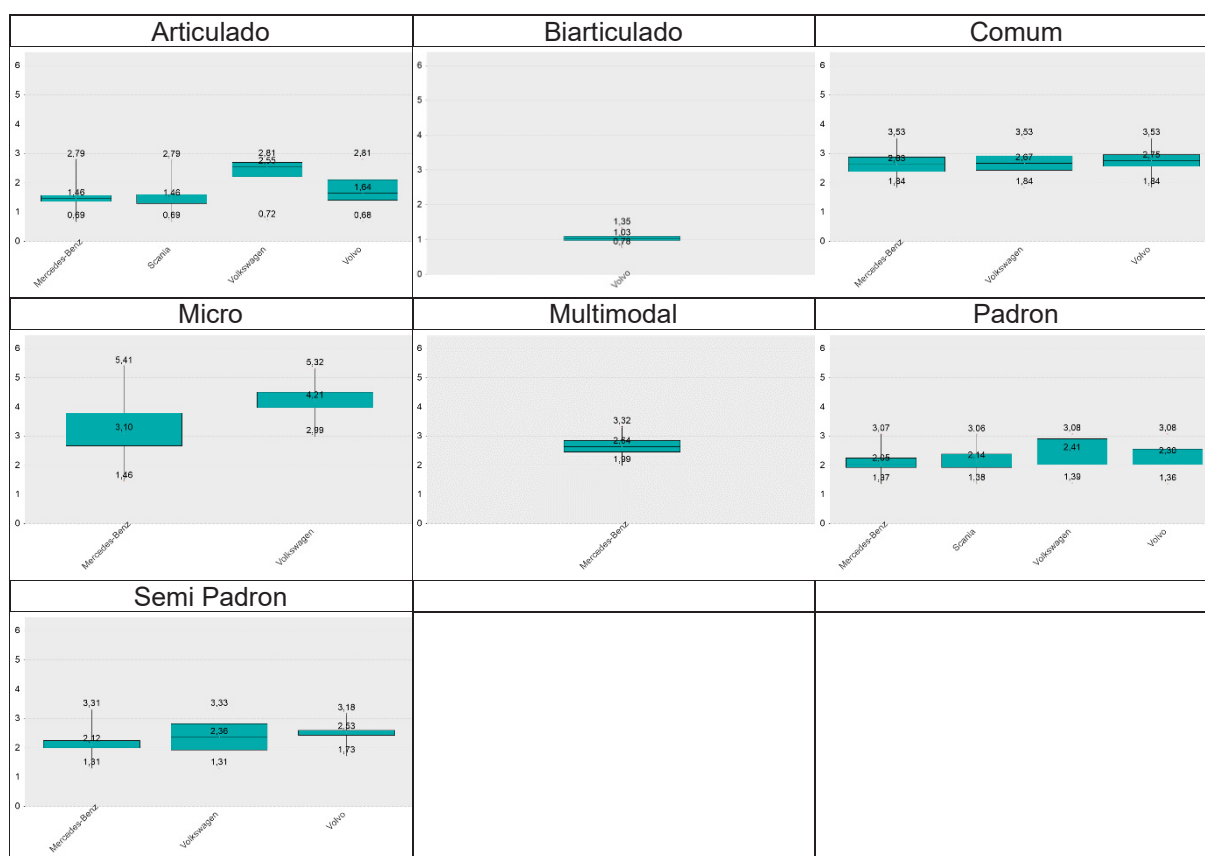
TABELA 39 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA MÉDIA KM/LITRO POR TIPO / MARCA DE VEÍCULO

Tipo do veículo	SQT	SQR	Variância entre os grupos	Variância dentro do grupo	p
Micro	859	1.912	31,0%	69,0%	< 0,05
Articulado	2.927	13.404	17,9%	82,1%	< 0,05
Padron	496	5.372	8,4%	91,6%	< 0,05
Semi Padron	637	6.963	8,4%	91,6%	< 0,05
Comum	395	39.018	1,0%	99,0%	< 0,05

FONTE: O autor (2021).

Analisando os gráficos do QUADRO 9, é perceptível que existe um deslocamento na caixa que representa os veículos da marca Volkswagen, do tipo Articulado; isto se repete nos ônibus Micro desta mesma marca; nos demais, não é visualmente perceptível diferenças expressivas, a não ser, a amplitude elevada na média de consumo dos ônibus Mercedes-Benz do tipo Micro e Volkswagen dos tipos Padron e Semi Padron; isto corrobora inclusive, para os resultados da variabilidade dentro dos grupos terem apresentado índices acima de 90% na ANOVA.

QUADRO 9 – GRÁFICOS BOXPLOT DA MÉDIA KM/LITRO POR TIPO / MARCA DE VEÍCULO



FONTE: O autor (2021).

Nos resultados do teste de Tukey, apresentados na TABELA 40, evidencia-se que não houve diferenças significativas entre as marcas Scania e Mercedes-Benz nos veículos Articulados. Todas as demais combinações de marcas e tipos apresentaram diferenças.

TABELA 40 – TESTE POST HOC DE TUKEY POR TIPO / MARCA DE VEÍCULO

Comparação		pTukey		
Tipo do veículo	Marca do Veículo	Scania	Volkswagen	Volvo
Articulado	Mercedes-Benz	0,53	< 0,05	< 0,05
	Scania	-	< 0,05	< 0,05
	Volkswagen	-	-	< 0,05
Comum	Mercedes-Benz	-	< 0,05	< 0,05
	Volkswagen	-	-	< 0,05
Micro	Mercedes-Benz	-	< 0,05	-
Padron	Mercedes-Benz	< 0,05	< 0,05	< 0,05
	Scania	-	< 0,05	< 0,05
	Volkswagen	-	-	< 0,05
Semi Padron	Mercedes-Benz	-	< 0,05	< 0,05
	Volkswagen	-	-	< 0,05

FONTE: O autor (2021).

Em síntese, quanto as diferenças de consumo médio entre as marcas, as estratégias devem ser voltadas para a aquisição dos veículos Articulados e Micro, onde as diferenças de consumo entre as marcas foram mais expressivas.

Na TABELA 41 está exposto o resultado da ANOVA entre os diferentes modelos de ônibus; diferenças estatisticamente significativas entre os grupos, foram encontradas principalmente entre os modelos de ônibus Micro (31,0%) e Articulados (27,7%). Nos dados obtidos para esta pesquisa, ônibus do tipo Multimodal possuem apenas um modelo, com isso não foi possível realizar a análise de variância entre grupos de modelos para este tipo de veículo.

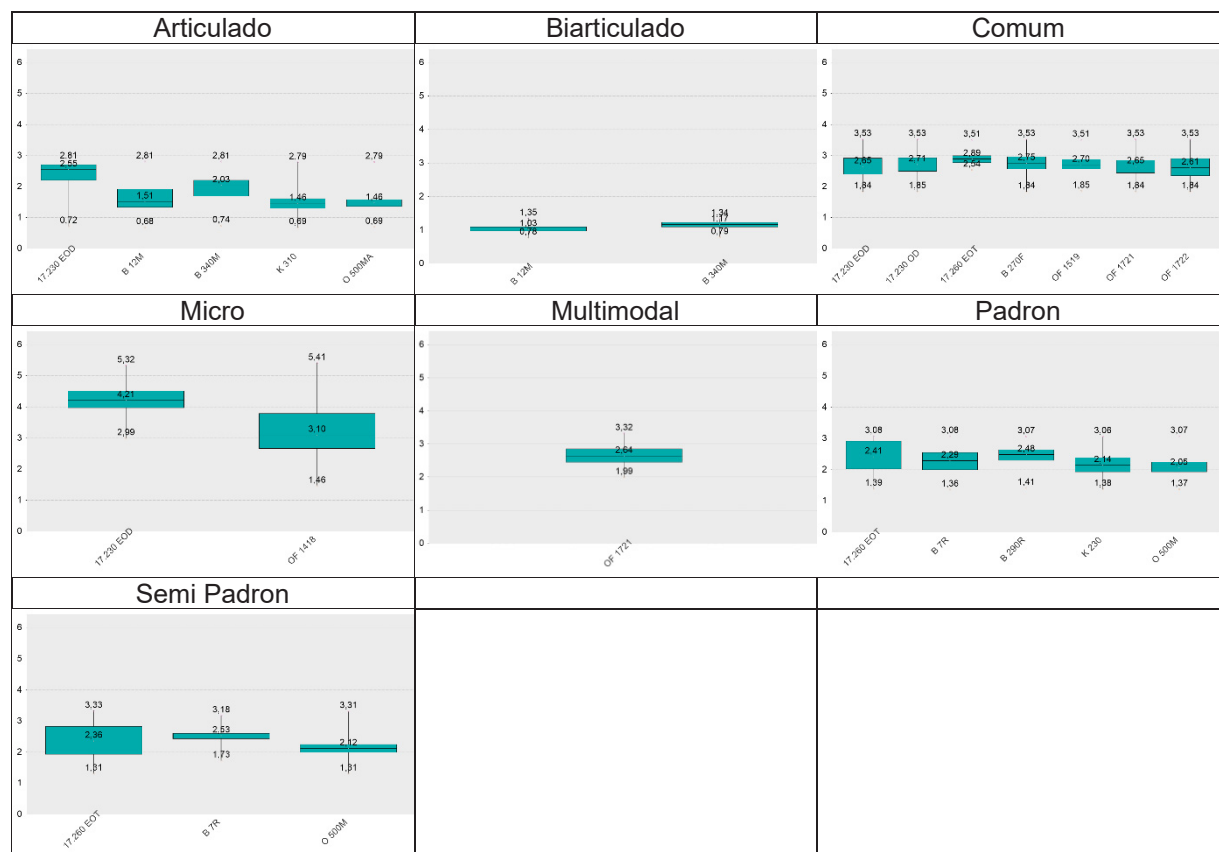
TABELA 41 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA MÉDIA KM/LITRO POR TIPO / MODELO DE VEÍCULO

Tipo do Veículo	SQT	SQR	Variância entre os grupos	Variância dentro do grupo	p
Micro	859	1.912	31,0%	69,0%	< 0,05
Articulado	4.522	11.809	27,7%	72,3%	< 0,05
Padron	537	5.331	9,2%	90,8%	< 0,05
Semi Padron	637	6.963	8,4%	91,6%	< 0,05
Biarticulado	4	95	3,9%	96,1%	< 0,05
Comum	487	38.926	1,2%	98,8%	< 0,05

FONTE: O autor (2021).

De acordo com os gráficos apresentados no QUADRO 10, e que complementam a tabela anterior, confirma-se a heterogeneidade dos retângulos nos ônibus do tipo Articulado e Micro; nos demais, destaca-se a amplitude da média de consumo nos ônibus Micro modelo OF-1418; do modelo 17.260 EOT, tanto nos ônibus Padron, quanto Semi Padron e do modelo B7 R nos ônibus Padron.

QUADRO 10 - GRÁFICOS BOXPLOT DA MÉDIA KM/LITRO POR TIPO / MODELO DE VEÍCULO



FONTE: O autor (2021).

Nos resultados da TABELA 42 dos testes *post hoc*, foram identificadas diferenças significativas entre todos os modelos Semi Padron, Micro e Biarticulado; já nos veículos Comum não houve diferenças entre os modelos 17.230 OD e OF 1519, o mesmo aconteceu com Articulados K 310 e O500MA e entre Padron 17.260 EOT e B 290R.

TABELA 42 - TESTE POST HOC DE TUKEY POR TIPO / MODELO DE VEÍCULO

Comparação		pTukey					
Tipo	Modelo	17.230 OD	17.260 EOT	B 270F	OF 1519	OF 1721	OF 1722
Comum	17.230 EOD	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
	17.230 OD	-	< 0,05	< 0,05	0,30	< 0,05	< 0,05
	17.260 EOT	-	-	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
	B 270F	-	-	-	< 0,05	< 0,05	< 0,05
	OF 1519	-	-	-	-	< 0,05	< 0,05
	OF 1721	-	-	-	-	-	< 0,05
Tipo	Modelo	17.230 EOD	B 12M	B 340M	K 310	O500MA	B 340M
Articulado	17.230 EOD	-	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	
	B 12M	-	-	< 0,05	< 0,05	< 0,05	
	B 340M	-	-	-	< 0,05	< 0,05	
	K 310	-	-	-	-	0,78	
Biarticulado	B 12M						< 0,05
Tipo	Modelo	17.260 EOT	OF 1418	B 290R	B 7R	K 230	O 500M
Padron	17.210 EOD	< 0,05	-	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
	17.260 EOT	-	-	0,32	< 0,05	< 0,05	< 0,05
	B 290R	-	-	-	< 0,05	< 0,05	< 0,05
	B 7R	-	-	-	-	< 0,05	< 0,05
	K 230	-	-	-	-	-	< 0,05
Semi Padron	17.260 EOT	-	-	-	< 0,05	-	< 0,05
	B 7R	-	-	-	-	-	< 0,05
Micro	17.230 EOD	-	< 0,05	-	-	-	-

FONTE: O autor (2021).

Estes resultados demonstram que, apesar do consumo de combustível ser um requisito relevante na escolha do modelo do ônibus e veículos Micro e Articulados apresentarem diferenças mais significativas entre os diferentes modelos, do que em veículos de um mesmo modelo, outros fatores devem ser considerados na aquisição, afinal, em alguns casos, modelos distintos não apresentaram diferenças significativas de consumo.

Na TABELA 43, estão expressos os valores da ANOVA para os diferentes tipos de câmbio dos ônibus; todos apresentaram diferenças estatisticamente significativas no consumo de combustível; porém a variância se concentrou mais entre os veículos dentro de cada grupo e não entre os grupos. Veículos do tipo Biarticulado, Multimodal e Micro, possuem apenas um tipo de câmbio nos dados obtidos, então não participaram deste teste.

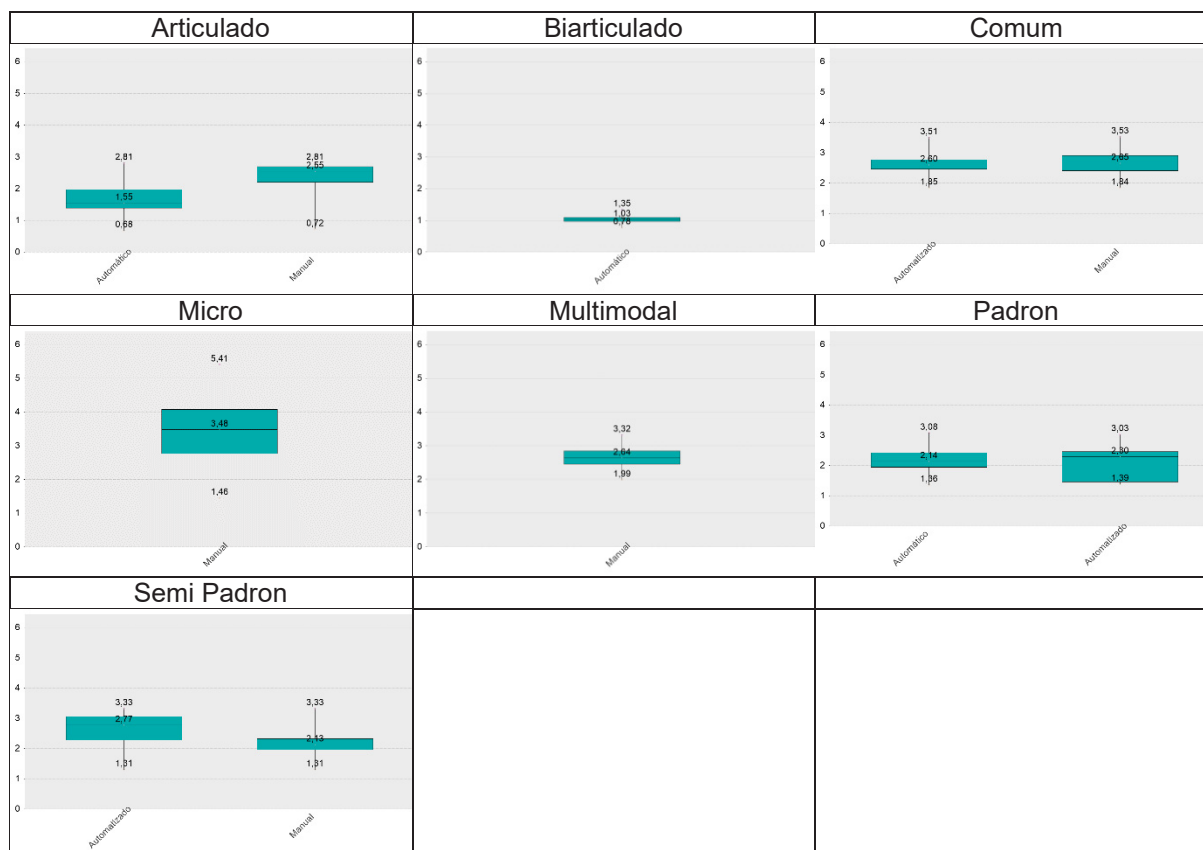
TABELA 43 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA MÉDIA KM/LITRO POR TIPO / CÂMBIO DE VEÍCULO

Tipo do Veículo	SQT	SQR	Variância entre os grupos	Variância dentro do grupo	p
Semi Padron	1.324	6.276	17,4%	82,6%	< 0,05
Articulado	1.701	14.630	10,4%	89,6%	< 0,05
Padron	46	5.823	0,8%	99,2%	< 0,05
Comum	6	3.940.680	0,0%	100,0%	< 0,05

FONTE: O autor (2021).

Diferenças sutis podem ser percebidas nos gráficos do QUADRO 11, nos tipos de ônibus que possuem mais de um tipo de câmbio, principalmente nos Articulado e Semi Padron; este último, com uma amplitude de resultados maior no câmbio automatizado, o qual variou de, no mínimo 1,39 Km/l, até o máximo de 3,03 Km/l, indicando que esta tecnologia foi utilizada em ônibus com características de fabricação ou operacionais bastante distintas.

QUADRO 11 – GRÁFICOS BOXPLOT DA MÉDIA KM/LITRO POR TIPO / CÂMBIO DE VEÍCULO



FONTE: O autor (2021).

De acordo com os resultados do teste de Tukey, presentes na TABELA 44, nos ônibus do tipo Padron não houve diferença estatisticamente significativa entre os câmbios Automatizado e Automático; já nos demais tipos de ônibus e de câmbio foram constatadas diferenças.

TABELA 44 - TESTE POST HOC DE TUKEY POR TIPO / CÂMBIO DE VEÍCULO

Comparação		pTukey	
Tipo do veículo	Tipo de Câmbio	Manual	Automático
Articulado	Automático	< 0,05	-
Comum	Automatizado	< 0,05	-
Padron	Automatizado	-	0,69
	Automatizado	< 0,05	-
	Automático	< 0,05	-
Semi Padron	Automatizado	< 0,05	-

FONTE: O autor (2021).

Os resultados da análise de diferenças de consumo por tipo de câmbio demonstram que, veículos Articulados com câmbio manual apresentaram melhores resultados, porém isto se deve ao fato de possuírem PV média bastante inferior (219 CV) em relação ao câmbio automático (343 CV), o que não garante que a economia de combustível esteja relacionada apenas ao tipo de câmbio; esta afirmação é reforçada ao considerar que, nos ônibus do tipo Semi Padron a média de consumo do câmbio manual apresentou diferença em relação ao câmbio automatizado, porém com índices de consumo menores.

Na TABELA 45 está demonstrada a existência de diferenças estatisticamente significativas no consumo entre os diferentes Tipos de Dias de operação, em todos os Tipos de ônibus; todavia, são diferenças sutis, onde a maior concentração de variância entre os grupos aconteceu nos veículos Multimodal, mesmo assim, com resultado pouco expressivo de 4,2% da variância da média de consumo atribuída a variabilidade entre os dias úteis, sábados e domingos.

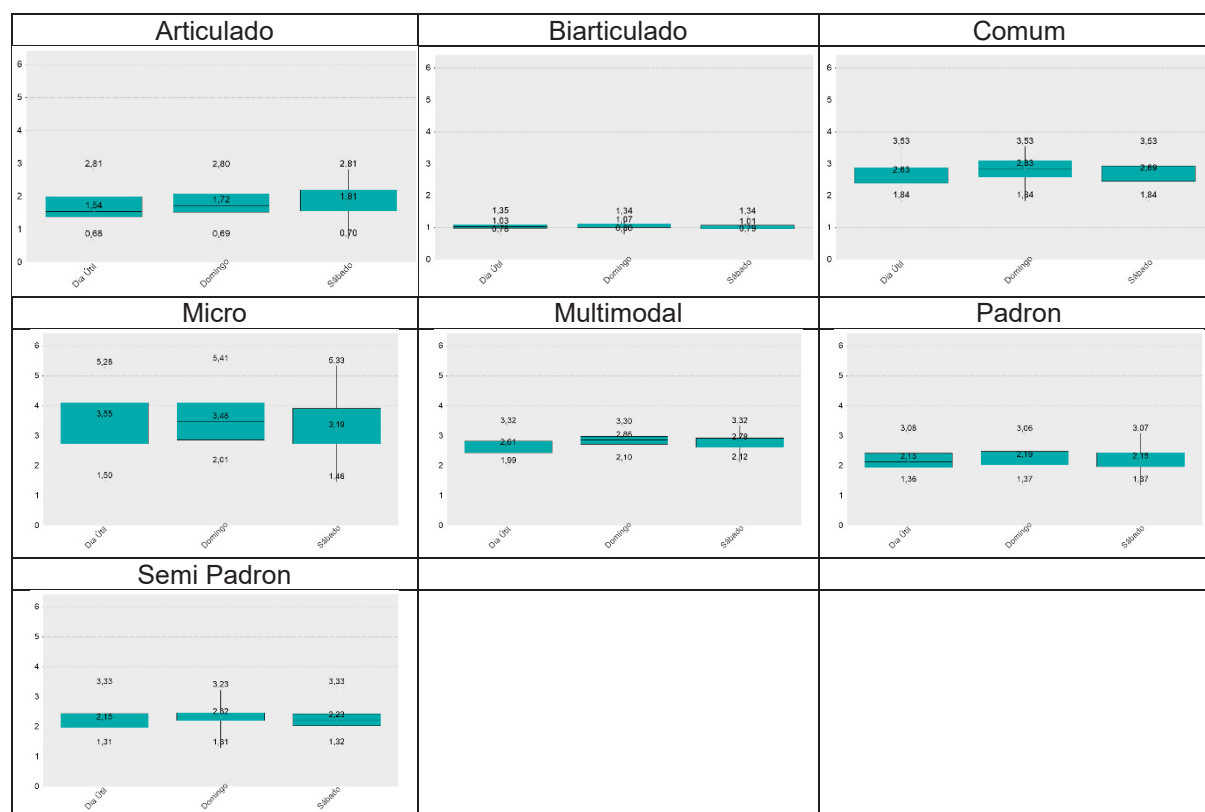
TABELA 45 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA MÉDIA KM/LITRO POR TIPO DE DIA / TIPO DO VEÍCULO

Tipo do veículo	SQT	SQR	Variância entre os Grupos	Variância dentro do grupo	p
Multimodal	12	265	4,2%	95,8%	< 0,05
Comum	672	38.741	1,7%	98,3%	< 0,05
Articulado	212	16.119	1,3%	98,7%	< 0,05
Biarticulado	1	98	0,9%	99,1%	< 0,05
Micro	10	2.761	0,4%	99,6%	< 0,05
Padron	12	5.857	0,2%	99,8%	< 0,05
Semi Padron	13	7.587	0,2%	99,8%	< 0,05

FONTE: O autor (2021).

No QUADRO 12, pode-se verificar que, apesar da amplitude mais elevada nos ônibus do tipo Micro e Articulado, em todos os casos a distribuição nos gráficos evidencia médias de consumo bastante similares, entre os diferentes tipos de dias.

QUADRO 12 – GRÁFICOS BOXPLOT DA MÉDIA KM/LITRO POR TIPO DE DIA / TIPO DO VEÍCULO



FONTE: O autor (2021).

Entre os veículos Micro, não existiu diferenças estatisticamente significativas para operação entre Domingos e Dias Úteis, conforme constata-se na TABELA 46; nos ônibus do tipo Padron, a operação entre Dias Úteis e Sábados também não apresentou diferenças; nos demais tipos de dias e de ônibus diferenças foram constatadas. Em síntese, apesar dos testes identificarem diferenças de consumo entre os diferentes tipos de dias, a pequena variação impede a definição de estratégias mais acentuadas, a não ser aquelas já previamente indicadas na sessão anterior.

TABELA 46 - TESTE POST HOC DE TUKEY POR TIPO DE DIA / TIPO DO VEÍCULO

Comparação		pTukey	
Tipo do veículo	Tipo de dia	Domingo	Sábado
Articulado	Dia Útil	< 0,05	< 0,05
	Domingo	-	< 0,05
Biarticulado	Dia Útil	< 0,05	< 0,05
	Domingo	-	< 0,05
Comum	Dia Útil	< 0,05	< 0,05
	Domingo	-	< 0,05
Micro	Dia Útil	0,57	< 0,05
	Domingo	-	< 0,05
Multimodal	Dia Útil	< 0,05	< 0,05
	Domingo	-	< 0,05
Padron	Dia Útil	< 0,05	0,21
	Domingo	-	< 0,05
Semi Padron	Dia Útil	< 0,05	< 0,05
	Domingo	-	< 0,05

FONTE: O autor (2021).

A TABELA 47 aponta os resultados da ANOVA, comparando os diferentes meses de operação durante o ano; o teste confirma que foram encontradas variações estatisticamente significativas, em ao menos um dos meses para cada tipo de ônibus; todavia, os resultados foram poucos expressivos, conforme pode-se verificar nos valores percentuais de variância entre os grupos bastante baixos.

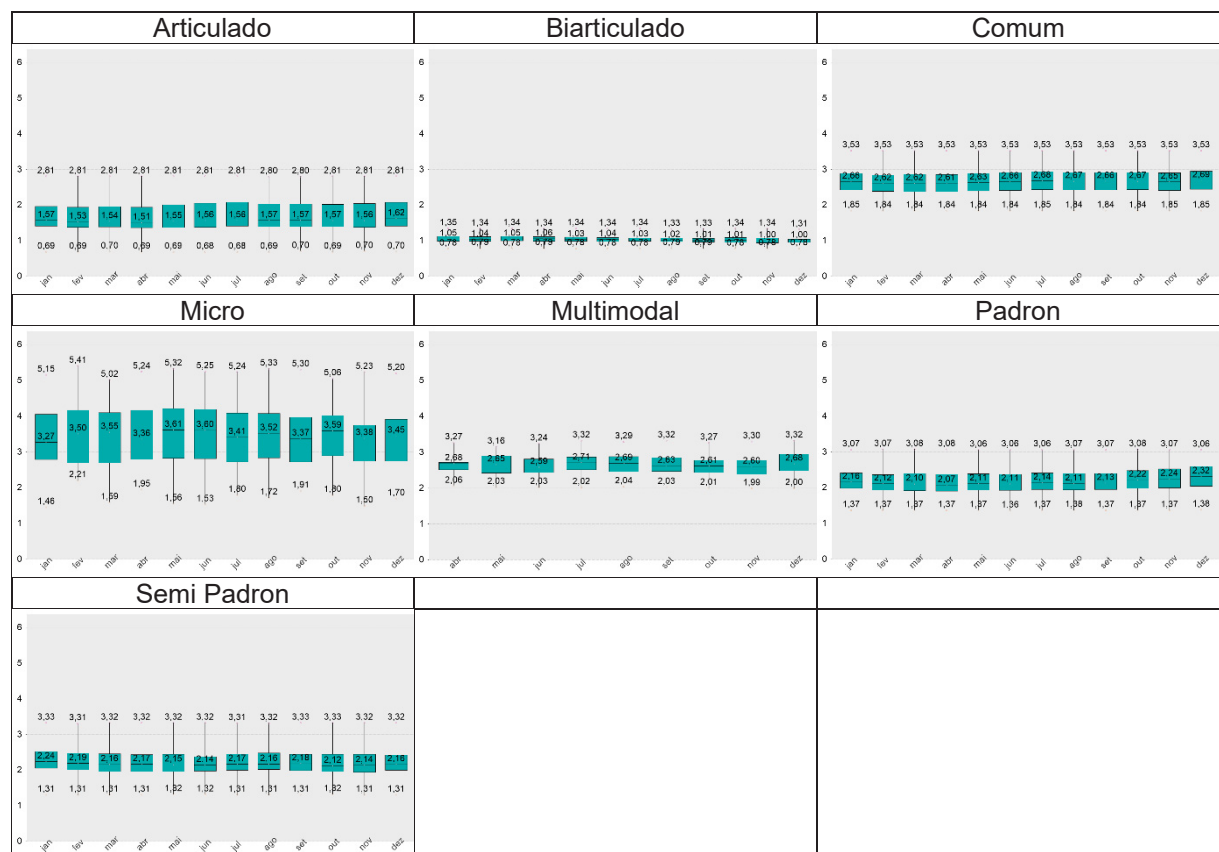
TABELA 47 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA MÉDIA KM/LITRO POR MÊS / TIPO DO VEÍCULO

Tipo do veículo	SQT	SQR	Variância entre os Grupos	Variância dentro do grupo	p
Biarticulado	3	97	2,9%	97,1%	< 0,05
Padron	108	5.761	1,8%	98,2%	< 0,05
Multimodal	5	272	1,7%	98,3%	< 0,05
Micro	17	2.754	0,6%	99,4%	0,05
Comum	173	39.240	0,4%	99,6%	< 0,05
Semi Padron	22	7.578	0,3%	99,7%	< 0,05
Articulado	46	16.285	0,3%	99,7%	< 0,05

FONTE: O autor (2021).

O QUADRO 13, apresenta a distribuição gráfica das médias mensais em cada tipo de ônibus; neste caso, torna-se bastante difícil uma análise visual, uma vez que os resultados apresentam tênues variações.

QUADRO 13 – GRÁFICOS BOXPLOT DA MÉDIA KM/LITRO POR TIPO MÊS / TIPO DO VEÍCULO



FONTE: O autor (2021).

Os resultados do teste de Tukey da TABELA 48, detalham os meses que apresentaram ou não diferenças significativas, as quais apesar de muitas, serão

relatadas a seguir: Nos veículos do tipo Articulado, o mês de janeiro não apresentou diferenças com os meses de maio, junho, agosto, setembro, outubro e novembro; fevereiro, não apresentou diferenças com os meses de março, abril e maio; março, não apresentou diferença com os meses de abril e maio; maio, não apresentou diferenças com os meses de junho, agosto, setembro, outubro e novembro; junho, não apresentou diferença com os meses de julho, agosto, setembro, outubro e novembro; julho, não apresentou diferença com os meses de novembro e dezembro; agosto, não apresentou diferença com os meses de setembro, outubro e novembro; setembro, não apresentou diferença com os meses de outubro e novembro; outubro, não apresentou diferença com o mês de novembro. Todas as demais combinações de meses apresentaram diferenças entre os ônibus Articulado. Nos ônibus do tipo Biarticulados, o mês de janeiro não apresentou diferença com os meses de fevereiro, março, abril, maio e junho; fevereiro, não apresentou diferença com março, abril, maio e junho; março, não apresentou diferença com os meses de abril e maio; abril, não apresentou diferenças com maio e junho; maio, não apresentou diferença com junho e julho; junho, não apresentou diferença com julho e agosto; julho, não apresentou diferença com agosto, setembro e outubro; agosto, não apresentou diferença com os meses de setembro, outubro e novembro; setembro, não apresentou diferenças com outubro e novembro; outubro, não apresentou diferença com novembro, assim como, novembro não apresentou diferença com dezembro. Todos os demais meses apresentaram diferenças entre os ônibus Biarticulado. Nos ônibus do tipo Comum, janeiro não apresentou diferença com os meses de junho, agosto, setembro, outubro e novembro; fevereiro, não apresentou diferença com março e abril; março, não apresentou diferença com abril; junho, não apresentou diferença com agosto, setembro, outubro e novembro; julho, não apresentou diferença com dezembro; agosto, não apresentou diferença com setembro e outubro; setembro, não apresentou diferença com outubro. Todos os demais meses apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre os ônibus Comum. Nos ônibus do tipo Micro, foi identificada diferença no consumo apenas entre os meses de maio e março, setembro, novembro e dezembro. Todos os demais meses não apresentaram diferenças neste tipo de ônibus. Os ônibus do tipo Multimodal iniciaram sua operação em abril de 2019, com isso análises anteriores a esta data não foram realizadas. Os resultados demonstram que foram detectadas diferenças entre os meses de junho, julho, agosto e dezembro; entre julho, outubro e novembro; agosto e novembro; setembro e novembro; outubro e dezembro, assim

como, novembro e dezembro. Todos os demais meses não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre os ônibus Multimodal. Nos ônibus do tipo Padron, foram identificadas diferenças estatisticamente significativas entre janeiro e todos os outros meses; dezembro, também apresentou diferença com todos os demais meses; outubro e novembro apresentaram diferença com todos os demais meses. Além das diferenças já citadas, abril apresentou diferença com julho e setembro. Todas as demais combinações de meses nos ônibus Padron não apresentaram diferenças. Por fim, nos ônibus do tipo Semi Padron, as diferenças estiveram presentes entre o mês de janeiro e todos os demais meses, exceto agosto; fevereiro apresentou diferença apenas com janeiro e junho, o mesmo aconteceu com março que, além de janeiro, apresentou diferença com agosto; abril, apresentou diferença com julho, agosto e setembro; maio, apresentou diferença com julho, agosto e setembro; junho, apresentou diferença com julho, agosto e setembro; agosto, apresentou diferença com novembro e em todas as demais combinações de meses nos ônibus do tipo Semi Padron, não houveram diferenças.

TABELA 48 - TESTE POST HOC DE TUKEY POR MÊS / TIPO DO VEÍCULO

(continua)

Comparação		pTukey											
Tipo do veículo	Mês	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	
Articulado	jan	< 0,05	< 0,05	< 0,05	1,00	0,99	< 0,05	1,00	1,00	1,00	1,00	< 0,05	
	fev	-	1,00	0,99	0,06	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	
	mar	-	-	0,93	0,16	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	
	abr	-	-	-	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	
	mai	-	-	-	-	0,59	< 0,05	0,85	0,96	0,94	0,71	< 0,05	
	jun	-	-	-	-	-	0,18	1,00	1,00	1,00	1,00	< 0,05	
	jul	-	-	-	-	-	-	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,09	0,13	
	ago	-	-	-	-	-	-	-	1,00	1,00	1,00	< 0,05	
	set	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	1,00	< 0,05	
	out	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	< 0,05	
	nov	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 0,05	
Tipo do veículo	Mês	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	
Biarticulado	jan	1,00	0,49	1,00	0,99	0,90	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	
	fev	-	0,06	0,98	1,00	1,00	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	

TABELA 48 - TESTE POST HOC DE TUKEY POR MÊS / TIPO DO VEÍCULO

(conclusão)

Comparação		pTukey										
Tipo do veículo	Mês	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Multimodal	abr	-	-	-	1,00	1,00	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99
	mai	-	-	-	-	0,77	0,60	0,95	1,00	0,99	0,44	0,52
	jun	-	-	-	-	-	< 0,05	< 0,05	0,12	0,99	1,00	< 0,05
	jul	-	-	-	-	-	-	0,99	0,50	< 0,05	< 0,05	1,00
	ago	-	-	-	-	-	-	-	0,97	0,05	< 0,05	0,96
	set	-	-	-	-	-	-	-	-	0,56	< 0,05	0,40
	out	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,82	< 0,05
	nov	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 0,05
Tipo do veículo	Mês	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Padron	jan	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
	fev	-	1,00	0,43	1,00	1,00	0,11	1,00	0,58	< 0,05	< 0,05	< 0,05
	mar	-	-	0,57	0,99	1,00	0,050	1,00	0,39	< 0,05	< 0,05	< 0,05
	abr	-	-	-	0,05	0,59	< 0,05	0,16	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
	mai	-	-	-	-	1,00	0,56	1,00	0,97	< 0,05	< 0,05	< 0,05
	jun	-	-	-	-	-	0,09	1,00	0,50	< 0,05	< 0,05	< 0,05
	jul	-	-	-	-	-	-	0,39	1,00	< 0,05	< 0,05	< 0,05
	ago	-	-	-	-	-	-	-	0,90	< 0,05	< 0,05	< 0,05
	set	-	-	-	-	-	-	-	-	< 0,05	< 0,05	< 0,05
	out	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,05	< 0,05
	nov	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 0,05
Tipo do Veículo	Mês	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Semi Padron	jan	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,33	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
	fev	-	0,99	0,36	0,06	< 0,05	1,00	0,49	0,99	1,00	0,84	1,00
	mar	-	-	0,98	0,71	0,32	0,52	< 0,05	0,49	1,00	1,00	1,00
	abr	-	-	-	1,00	0,98	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,73	1,00	0,70
	mai	-	-	-	-	1,00	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,24	0,97	0,24
	jun	-	-	-	-	-	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,06	0,74	0,06
	jul	-	-	-	-	-	-	0,98	1,00	0,90	0,16	0,95
	ago	-	-	-	-	-	-	-	0,99	0,15	< 0,05	0,25
	set	-	-	-	-	-	-	-	-	0,88	0,16	0,94
	out	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,99	1,00
	nov	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,98

FONTE: O autor (2021).

Grande parte dos meses não apresentou diferenças de consumo entre eles, a não ser os períodos de férias; com isso, assim como entre os diferentes tipos de dias, estratégias focadas em determinados períodos do ano, devem se fundamentar principalmente na adoção de veículos mais econômicos na metade e no final do ano.

A TABELA 49 traz os resultados da ANOVA por Grupo de Operação das linhas, na qual constata-se diferenças estatisticamente significativas entre ao menos um dos grupos em cada tipo de ônibus; as diferenças foram mais relevantes nos ônibus do tipo Articulado, com 28,1% da variância atribuída a variabilidade entre os Grupos de Operação; seguido pelos ônibus do tipo Micro com 18,9%. Veículos do tipo Biarticulado, operam apenas um Grupo de Operação, com isso não foi possível realizar a análise de variância para este tipo de ônibus.

TABELA 49 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA MÉDIA KM/LITRO POR GRUPO DE OPERAÇÃO / TIPO DO VEÍCULO

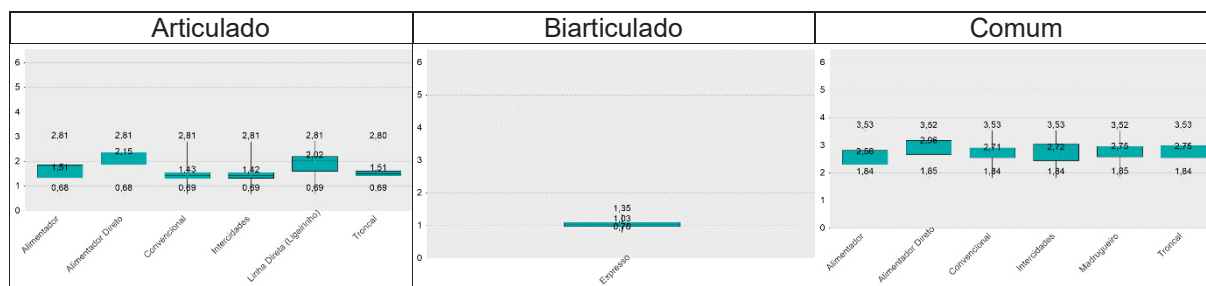
Tipo do veículo	SQT	SQR	Variância entre os Grupos	Variância dentro do grupo	p
Articulado	4.584	11.747	28,1%	71,9%	< 0,05
Micro	524	2.247	18,9%	81,1%	< 0,05
Comum	2.399	37.014	6,1%	93,9%	< 0,05
Padron	299	5.569	5,1%	94,9%	< 0,05
Semi Padron	371	7.229	4,9%	95,1%	< 0,05
Multimodal	11	266	3,8%	96,2%	< 0,05

FONTE: O autor (2021).

As diferenças mais expressivas, conforme já exposto, estiveram nos ônibus dos tipos Articulado e Micro, podendo ser confirmado nos gráficos do QUADRO 14; neles, as caixas apresentam desalinhamento maior, com destaque para a amplitude de resultados dos ônibus Micro.

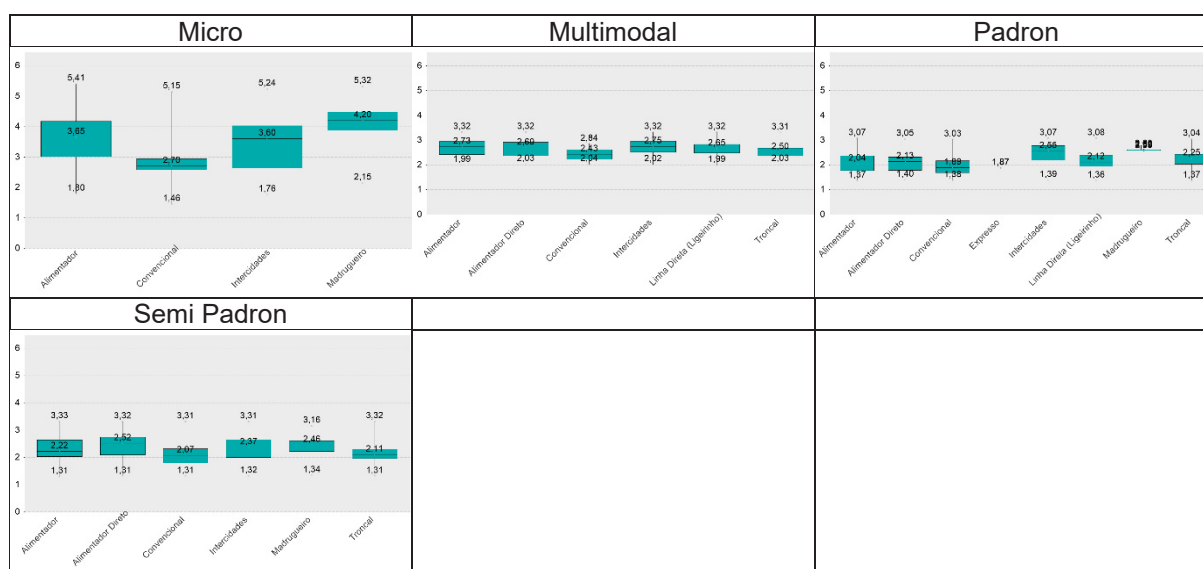
QUADRO 14 – GRÁFICOS BOXPLOT DA MÉDIA KM/LITRO POR GRUPO DE OPERAÇÃO / TIPO DE ÔNIBUS

(continua)



QUADRO 14 – GRÁFICOS BOXPLOT DA MÉDIA KM/LITRO POR GRUPO DE OPERAÇÃO / TIPO DE ÔNIBUS

(conclusão)



FONTE: O autor (2021).

Na TABELA 50 são apresentados os resultados do teste de Tukey, onde verifica-se a diferença na média de consumo entre os diferentes Grupos de Operação; nos ônibus do tipo Articulado, não foram detectadas diferenças estatisticamente significativas entre os grupos Convencional e Intercidade; nos ônibus do tipo Comum, também não se detectou diferenças entre os grupos Intercidades e Convencional, assim como, nos grupos Troncal e Madrugueiro. Nos ônibus do tipo Multimodal, não foi identificada diferença entre os grupos Alimentador Direto e Alimentador; Intercidades e Alimentador; Linha Direta (Ligeirinho) e Alimentador; Intercidades e Alimentador Direto, assim como, entre os grupos Troncal, Alimentador Direto e Convencional. Nos ônibus do tipo Padron, não foi detectada diferença entre os grupos Intercidades e Alimentador Direto; Linha Direta (Ligeirinho) e Expresso; Troncal e Expresso e também entre Expresso, Alimentador e Convencional; neste tipo de ônibus ainda, o grupo de operação Madrugueiro não apresentou diferenças com nenhum dos outros grupos. Nos ônibus do tipo Semi Padron, não foram detectadas diferenças entre os grupos Intercidades e Alimentador e entre o Grupo Madrugueiro e os demais grupos de operação. Todas as demais combinações de Grupos de Operação, apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre suas médias, em seus respectivos tipos de ônibus.

TABELA 50 - TESTE POST HOC DE TUKEY POR GRUPO DE OPERAÇÃO / TIPO DE ÔNIBUS

(continua)

Comparação		pTukey					
Tipo de ônibus: Articulado							
Grupo de Operação	Alimentador Direto	Convencional	Intercidades	Linha Direta (Ligeirinho)	Troncal	Madrugueiro	Expresso
Alimentador	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	-	-
Alimentador Direto	-	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	-	-
Convencional	-	-	0,68	< 0,05	< 0,05	-	-
Intercidades	-	-	-	< 0,05	< 0,05	-	-
Linha Direta (Ligeirinho)	-	-	-	-	< 0,05	-	-
Tipo de ônibus: Comum							
Grupo de Operação	Alimentador Direto	Convencional	Intercidades	Linha Direta (Ligeirinho)	Troncal	Madrugueiro	Expresso
Alimentador	< 0,05	< 0,05	< 0,05	-	< 0,05	< 0,05	-
Alimentador Direto	-	< 0,05	< 0,05	-	< 0,05	< 0,05	-
Convencional	-	-	0,19	-	< 0,05	< 0,05	-
Intercidades	-	-	-	-	< 0,05	< 0,05	-
Madrugueiro	-	-	-	-	0,99	-	-
Tipo de ônibus: Micro							
Grupo de Operação	Alimentador Direto	Convencional	Intercidades	Linha Direta (Ligeirinho)	Troncal	Madrugueiro	Expresso
Alimentador	-	< 0,05	< 0,05	-	-	< 0,05	-
Convencional	-	-	< 0,05	-	-	< 0,05	-
Intercidades	-	-	-	-	-	< 0,05	-
Tipo de ônibus: Multimodal							
Grupo de Operação	Alimentador Direto	Convencional	Intercidades	Linha Direta (Ligeirinho)	Troncal	Madrugueiro	Expresso
Alimentador	0,75	< 0,05	0,99	0,12	< 0,05	-	-
Alimentador Direto	-	< 0,05	0,70	0,99	0,08	-	-
Convencional	-	-	< 0,05	< 0,05	0,30	-	-
Intercidades	-	-	-	0,77	< 0,05	-	-
Linha Direta (Ligeirinho)	-	-	-	-	< 0,05	-	-
Tipo de ônibus: Padron							
Grupo de Operação	Alimentador Direto	Convencional	Intercidades	Linha Direta (Ligeirinho)	Troncal	Madrugueiro	Expresso
Alimentador	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,48	0,79
Alimentador Direto	-	< 0,05	0,07	< 0,05	< 0,05	1,00	< 0,05

TABELA 51 - TESTE POST HOC DE TUKEY POR GRUPO DE OPERAÇÃO / TIPO DE ÔNIBUS

(conclusão)

Comparação			pTukey				
Tipo de ônibus: Padron							
Convencional	-	-	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,14	1,00
Expresso	-	-	< 0,05	0,51	0,25	0,19	-
Intercidades	-	-	-	< 0,05	< 0,05	1,00	-
Linha Direta (Ligeirinho)	-	-	-	-	< 0,05	0,67	-
Madrugueiro	-	-	-	-	0,83	-	-
Tipo de ônibus: Semi Padron							
Grupo de Operação	Alimentador Direto	Convencional	Intercidades	Linha Direta (Ligeirinho)	Troncal	Madrugueiro	Expresso
Alimentador	< 0,05	< 0,05	0,94	-	< 0,05	1,00	-
Alimentador Direto	-	< 0,05	< 0,05	-	< 0,05	0,99	-
Convencional	-	-	< 0,05	-	< 0,05	0,08	-
Intercidades	-	-	-	-	< 0,05	1,00	-
Madrugueiro	-	-	-	-	0,32	-	-

FONTE: O autor (2021).

Em síntese os resultados indicam que, principalmente os ônibus do tipo Multimodal, sofrem menos influência dos diferentes Grupos de Operação onde atuam, pois além de concentrarem quase que a totalidade da variância entre os veículos do mesmo grupo, em vários casos não chegaram a apresentar diferenças significativas com outros Grupos de Operação; apenas veículos dos tipos Articulados e Micro estiveram mais propensos às influências dos diferentes Grupos de Operação, reforçando a necessidade de adequar ônibus destes tipos em linhas que atendam suas características de demanda, extensão e quantidade de paradas.

Os resultados da ANOVA entre as diferentes regiões geográficas em que as linhas operam, estão na TABELA 52; foi identificado que ao menos uma região apresenta diferença estatisticamente significativa em cada um dos tipos de ônibus, com destaque para os Articulados, com 39,8% da variabilidade atribuída às diferenças entre as regiões de operação. Veículos do tipo Biarticulado e Multimodal operam em apenas uma das regiões envolvidas nesta pesquisa, com isso não foi possível realizar o teste de comparação entre grupos.

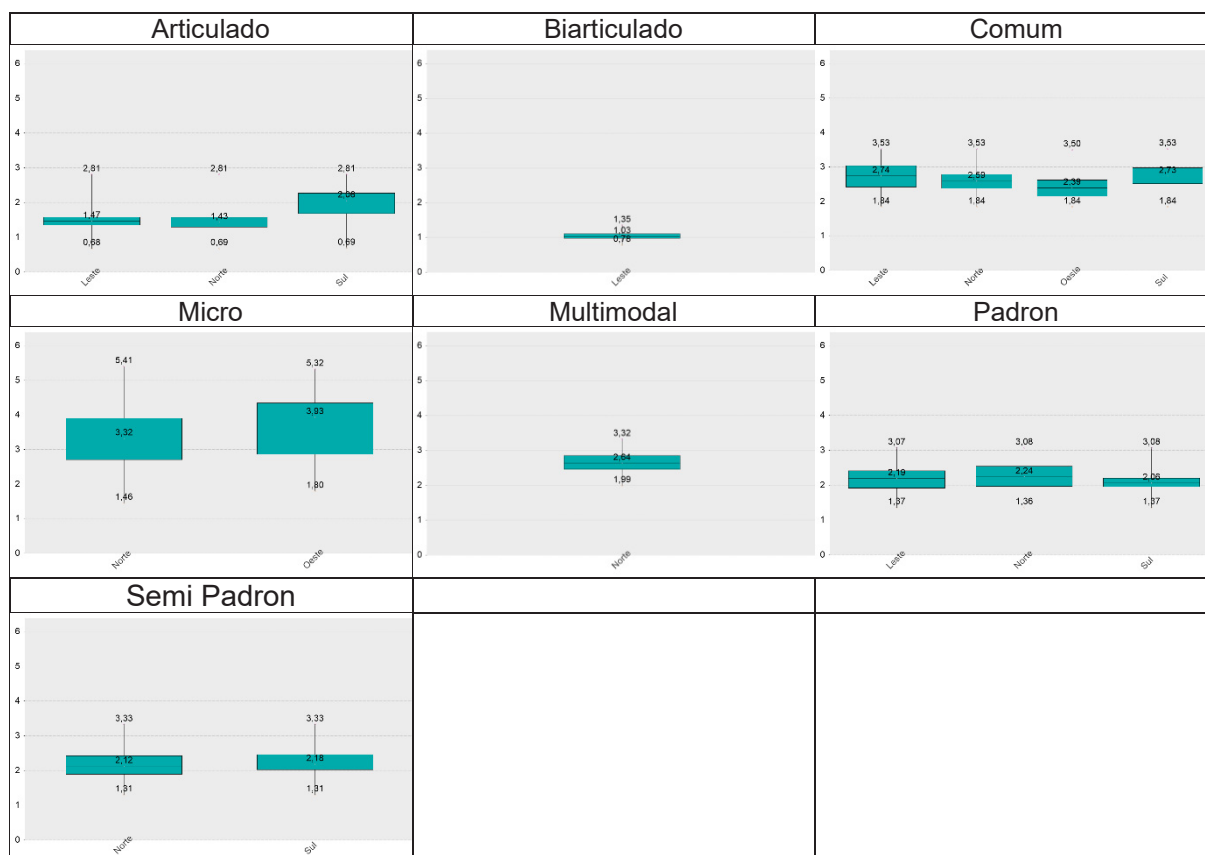
TABELA 52 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA MÉDIA KM/LITRO POR REGIÃO / TIPO DO VEÍCULO

Tipo do veículo	SQT	SQR	Variância entre os Grupos	Variância dentro do grupo	p
Articulado	6.502	9.829	39,8%	60,2%	< 0,05
Micro	165	2.606	6,0%	94,0%	< 0,05
Comum	2.306	37.107	5,9%	94,1%	< 0,05
Padron	120	5.749	2,0%	98,0%	< 0,05
Semi Padron	128	7.472	1,7%	98,3%	< 0,05

FONTE: O autor (2021).

Os gráficos *boxplot* do QUADRO 15, demonstram que os ônibus do tipo Articulado, que operam na região sul, têm amplitude da média de consumo maior que nas demais regiões; esta mesma amplitude elevada é constata nos ônibus do tipo Micro, entretanto na região oeste. Quanto as diferenças de variância entre as caixas, visualmente percebe-se que se tratam de alterações pouco significativas.

QUADRO 15 – GRÁFICOS BOXPLOT DA MÉDIA KM/LITRO POR REGIÃO / TIPO DE ÔNIBUS



FONTE: O autor (2021).

Os resultados da TABELA 53, demonstram diferenças estatisticamente significativas entre todas as regiões em todos os tipos de ônibus; afinal, o valor de p foi menor que 0,05 na totalidade dos testes de combinações.

TABELA 53 - TESTE POST HOC DE TUKEY POR REGIÃO / TIPO DE ÔNIBUS

Comparação		pTukey		
Tipo de ônibus	Linha Região	Norte	Sul	Oeste
Articulado	Leste	< 0,05	< 0,05	-
	Norte	-	< 0,05	-
Comum	Leste	< 0,05	< 0,05	< 0,05
	Norte	-	< 0,05	< 0,05
	Oeste	-	< 0,05	-
Micro	Norte	-	-	< 0,05
Padron	Leste	< 0,05	< 0,05	-
Semi Padron	Norte	-	< 0,05	-

FONTE: O autor (2021).

A existência de diferenças significativas entre todas as regiões, em todos os tipos de ônibus, indica que a influência do relevo é expressiva, e mais uma vez com maior influência sobre os veículos Articulados, ainda que estes ônibus, em alguns casos, nem possam operar em regiões muito íngremes, por limitações de manobras ou de vias; então, utilizar veículos de classes que sofrem menos influências do relevo em regiões com grande variação geográfica, sempre que possível, pode ser visto como uma boa estratégia na redução do consumo.

4.3.3 Análise Fatorial Exploratória

Para a realização da AFE, foram inicialmente verificados os pressupostos que avaliam a adequação do método para analisar a matriz de correlação. No teste de similaridade entre as variáveis, foi calculado o coeficiente de correlação de Pearson (R) e p -value, exibidos na TABELA 54; foram encontrados valores abaixo de 0,05 indicando a existência de correlação entre todas as variáveis, conforme esperado.

TABELA 54 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS INDEPENDENTES

Variável	Teste	PPcE	DPPcE	IVcE	PVcE	ELcE	VLcE
PPcE	<i>R</i>	-	-	-	-	-	-
	<i>p-value</i>	-	-	-	-	-	-
DPPcE	<i>R</i>	-0,524	-	-	-	-	-
	<i>p-value</i>	< 0,05	-	-	-	-	-
IVcE	<i>R</i>	-0,178	0,181	-	-	-	-
	<i>p-value</i>	< 0,05	< 0,05	-	-	-	-
PVcE	<i>R</i>	-0,106	0,321	0,118	-	-	-
	<i>p-value</i>	< 0,05	< 0,05	< 0,05	-	-	-
ELcE	<i>R</i>	0,581	0,072	-0,113	0,132	-	-
	<i>p-value</i>	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	-	-
VLcE	<i>R</i>	0,07	0,426	0,061	0,205	0,605	-
	<i>p-value</i>	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	-

FONTE: O autor (2021).

O segundo pressuposto foi a verificação da conformidade do modelo fatorial, por meio dos testes de esfericidade de Bartlett e de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO); o valor de significância de p menor que 0,001, como resultado do teste de Bartlett, garantiu que a matriz de correlação não é a matriz identidade, conforme esperado; já o valor de KMO igual a 0,51, segundo Kaiser (1970), indica que a AFE poderia não ser uma ferramenta apropriada para analisar esta matriz de correlação, pois espera-se, segundo o autor, resultados acima de 0,80. Entretanto, Hair et al. (2006), afirmam que valores acima de 0,50 são aceitáveis, o que garantiu a continuidade do teste.

Para obter os construtos adjacentes aos dados foi realizada a leitura dos fatores, conforme apresentado na TABELA 55; duas variáveis latentes formam uma concepção que reduz as seis variáveis originais.

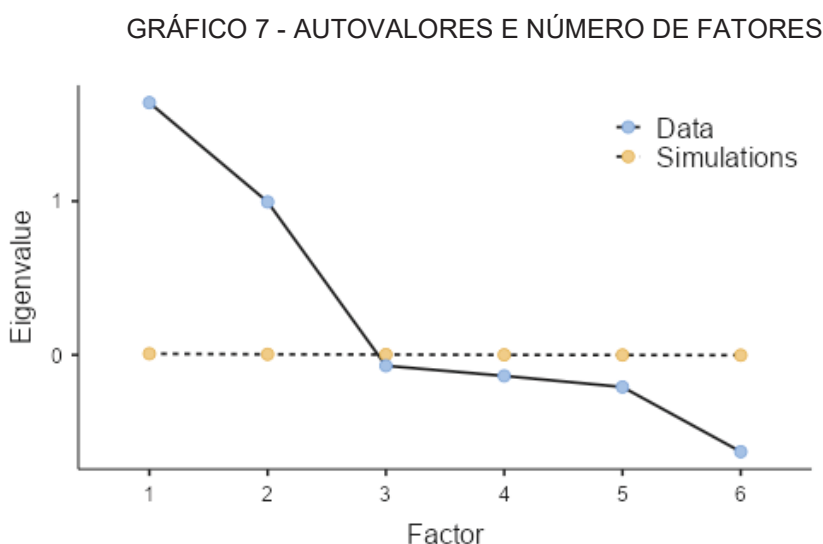
TABELA 55 - LEITURA DOS FATORES E DAS CARGAS FATORIAIS

Variável	Fator		Singularidade
	1	2	
ELcE	0,940	-	-0,00556
VLcE	0,706	-	0,46321
DPPcE	-	0,831	0,16436
PPcE	-	-0,773	0,29626
PVcE	-	-	0,87218
IVcE	-	-	0,94060

FONTE: O autor (2021).

O primeiro fator apresentado na TABELA 55 está relacionado à disposição das linhas (velocidade e extensão) e o segundo a composição das linhas, afinal, junta as variáveis distância média e quantidade de pontos de parada. Cargas fatoriais com valores inferiores a 0,4 foram omitidas, o que aliado a alta singularidade, impediu que as variáveis PVcE e IVcE fossem associadas aos fatores obtidos.

O GRÁFICO 7 detalha melhor a distribuição dos fatores e da quantidade de variância associada a eles; percebe-se que a partir do terceiro até o sexto fator, a soma das variâncias é menor que 1, ratificando que, da forma como o teste foi realizado, os dois primeiros fatores conseguem explicar a maior parte da comunalidade dos dados da amostra.



FONTE: O autor (2021).

A síntese das cargas fatoriais é apresentada na TABELA 56; nela o percentual de variância explicada por cada um dos fatores demonstra que, de forma acumulada, 54,5% da variância dos dados podem ser esclarecidos pelos dois fatores apurados. Apesar do número relativamente baixo de variáveis, a AFE deixou claro que as ações estratégicas devem focar duas vertentes ligadas à estrutura operacional (linhas) e não necessariamente apenas aos equipamentos (ônibus); com isso, seguindo as prerrogativas de elaborar e aprovar as características do transporte coletivo metropolitano, compete a COMEC atentar para estes fatores no momento de elaborar projetos para alteração ou criação de novas linhas.

TABELA 56 - SÍNTESE DOS FATORES

Fator	Carga Fatorial	% de Variância	% de Variância acumulada
1	1,69	28,2	28,2
2	1,58	26,3	54,5

FONTE: O autor (2021).

4.3.4 Análise de Componentes Principais

A TABELA 57 apresenta a distribuição dos coeficientes que reduzem as seis variáveis originais em duas compostas; neste caso, diferente da AFE, todas as variáveis foram associadas a pelo menos um dos componentes principais; o primeiro está ligado às características de **planejamento** da linha, como sua extensão (ELcE) e a velocidade média operacional (VLcE); já um segundo componente, está ligado aos fatores **funcionais** da operação, ou seja, potência e idade dos veículos, assim como, a quantidade e a distância de pontos de paradas que este veículo poderá realizar.

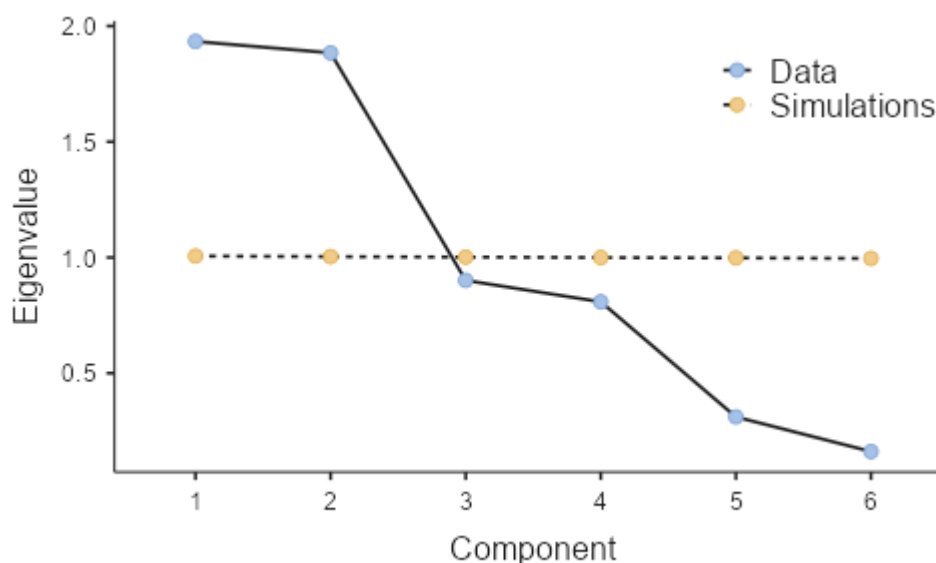
TABELA 57 - LEITURA DOS COMPONENTES E DOS COEFICIENTES

Variável	Componentes		Singularidade
	1	2	
ELcE	0,908	-	0,105
VLcE	0,830	-	0,233
DPPcE	-	0,833	0,221
PPcE	0,451	-0,795	0,165
PVcE	-	0,471	0,657
IVcE	-	0,443	0,801

FONTE: O autor (2021).

No GRÁFICO 8 pode-se confirmar que os dois primeiros componentes apresentam leituras acima de 1, enquanto a partir do terceiro, a soma dos coeficientes não explica de maneira significativa a variância dos dados.

GRÁFICO 8 - AUTOVALORES E NÚMERO DE COMPONENTES



FONTE: O autor (2021).

Estão apresentados na TABELA 58 os detalhes demonstrando que, os dois primeiros componentes conseguem explicar 63,6% da variância dos dados; já a partir de um terceiro, além do coeficiente de autovalor estar abaixo de 1, o ganho relativo de explicação da variância é consideravelmente menor.

TABELA 58 - SÍNTESE DOS COMPONENTES PRINCIPAIS

Componente	Autovalor	% de variância	% de variância acumulada
1	1,934	32,23	32,2
2	1,884	31,40	63,6

FONTE: O autor (2021).

O resultado da ACP complementa a AFE uma vez que, além dos fatores já citados que direcionam ações estratégicas ligadas ao trajeto das linhas e sua estrutura, na ACP as variáveis associadas aos ônibus entram de maneira conjunta às ligadas aos pontos de paradas, indicando que os equipamentos operacionais devem ter suas ações tratadas de maneira integrada entre as empresas operadoras, responsáveis pelos veículos e o órgão gestor, responsável pelas linhas.

5 CONCLUSÕES

O propósito principal deste trabalho, foi utilizar informações de empresas que operam no sistema de transporte público da região metropolitana de Curitiba para, usando dados das empresas, medir fatores associados ao desempenho no consumo de combustível em suas frotas de ônibus, propondo ações estratégicas que visem o alcance de melhores resultados.

Inicialmente, considerando que a Qualidade de Dados é um fator crítico na melhoria da tomada de decisões, foram utilizados métodos estatísticos e regras de negócios para qualificar os dados e verificar a precisão que estes representavam o processo, alcançando 86,99% de precisão. Apesar terem sido mapeadas etapas no processo de gestão de combustível, com foco na qualidade dos dados, estas não foram capazes de evitar que quilometragens acima dos valores esperados ou que volumes de combustível não condizentes com a distância percorrida fossem registrados, resultando assim, em médias de consumo fora das expectativas para as regras do negócio, ou então, muito distante das medidas de centralidade.

A pesquisa demonstra que é necessário a adoção de uma metodológica que permita qualificar os dados, sob o ponto de vista da precisão, a fim de garantir maior acuracidade às análises e decisões estratégicas, pois representam de forma mais fiel as tarefas executadas. O estudo contribui com uma metodologia de qualificação de dados, a qual pode localizar informações que não expressam fielmente o processo real, podendo levar o meio empresarial a uma maior consciência da precisão dos dados utilizados nos processos decisórios e a motivação para a criação de um programa formal de gerenciamento de qualidade dos dados.

Para atender ao demais objetivos da pesquisa, foram utilizados métodos estatísticos paramétricos que verificaram inicialmente, a correlação entre as variáveis independentes quantitativas e a variável dependente de consumo de combustível por quilômetro rodado; estes testes levaram a concluir, de maneira geral, que a potência dos veículos foi o fator que mais contribuiu na variabilidade do consumo de combustível. A potência está diretamente relacionada com o tipo de ônibus, assim, a ANOVA corroborou com esta indicação constando que mais da metade da variabilidade das médias ocorreu entre os diferentes tipos de ônibus e não entre os ônibus dos mesmos tipos.

As demais variáveis quantitativas testadas tiveram pequena correlação com o consumo, quando verificadas em toda frota; todavia, para aprofundar a investigação, novos testes de correlação segmentados por tipo de ônibus foram realizados, onde aferiu-se mais precisão nas análises. Com os novos testes foi possível constatar, que a quantidade de pontos de parada e a distância entre os pontos de parada, tiveram correlação negativa mediana ou forte com o consumo de combustível em diversas situações; isto comprova que, parar e arrancar o veículo um maior número de vezes piora significativamente os índices de consumo; mas, reduzir demais o número de paradas pode inibir os passageiros a utilizar o serviço, então planejar linhas com número de paradas adequado, evitando pontos muito próximos, que por vezes visam apenas atender interesses externos à operação, é uma estratégia importante para garantir que os veículos desenvolvam velocidade operacional maiores, reduzindo as interrupções e o excesso de arrancadas.

Quanto a velocidade operacional das linhas, foi evidenciada a correlação positiva de média a forte em alguns cenários; assim, devem ser adotados mecanismos que aumentem a velocidade média operacional e reduzam a quantidade de paradas, que não, para o embarque e desembarque de passageiros; faixas exclusivas, prioridade semaforicas, entre outros, são estratégias importantes para o melhor aproveitamento do combustível. Já a extensão da linha não apresentou correlação com a variação do consumo na grande maioria dos casos, o mesmo acontecendo com a idade dos veículos, a qual não apresentou correlação média ou forte em nenhum dos cenários, demonstrando que este é um fator que não gera impacto no consumo dentro dos dados estudados.

Nos testes correlacionais entre o consumo de combustível e as variáveis qualitativas independentes, concluiu-se que o impacto da média em função dos diferentes fabricantes de veículos é pequeno, mesmo que o resultado tenda a variar mais entre marcas de um mesmo tipo (Ex: Volvo Articulado e Volkswagen Articulado), do que entre tipos de uma mesma marca (Volkswagen Articulado e Volkswagen Comum); isto pode indicar que o fabricante mantém uma relativa homogeneidade no consumo de combustível em seus veículos. A influência do tipo de câmbio sobre as médias de consumo, obteve resultados sensivelmente mais elevados nos veículos de câmbio automático, principalmente nos fatores de potência dos veículos, quantidade de pontos de parada e velocidade da linha; isto se deve, a maior variação destes fatores em ônibus com este tipo de câmbio. O câmbio automatizado é principalmente

o manual, se aplicam nos veículos menores, com potência média mais baixa e número de paradas bem mais próximo da média geral. O teste de Tukey permitiu inclusive, concluir que o câmbio automático e automatizado, em alguns casos, pode não apresentar diferenças no consumo de combustível, como nos veículos Padron. Em linhas gerais, as análises permitiram concluir que o impacto dos diferentes tipos de câmbio sobre o consumo de combustível não foi expressivo, indicando que ações estratégicas que visem reduzir o consumo de combustível em função deste fator, podem não alcançar resultados significativos.

A avaliação da correlação, tanto entre os diferentes tipos de dias (dias úteis, sábados e domingos), quanto os diferentes meses do ano, não apresentou grandes distinções entre os agrupamentos; fatores com maior grau de significância nos dias úteis, mantiveram estes valores nos sábados e domingos e principalmente, nos testes entre os diferentes meses, a variação de resultados foi pequena, salvo períodos de férias (julho e dezembro), onde a média de consumo variou mais, em relação ao restante do ano, apresentando melhor desempenho. Desta forma, ações estratégicas ligadas ao período de operação devem se concentrar na utilização de veículos que tenham menor consumo, em períodos de baixa demanda, sejam elas nos meses de férias, nos finais de semana ou durante os dias úteis nos horários de menor fluxo de passageiros.

Na avaliação da média de consumo por região geográfica, conclui-se a que homogeneidade da potência dos veículos é mais significativa do que o relevo; mesmo assim, as características geográficas também são um fator que interfere na variação do consumo de combustível; então, utilizar veículos de tipos e potências adequadas ao relevo, evitando-se modelos com maior consumo em regiões mais acidentadas é uma prática importante na obtenção de melhores resultados.

Por fim, quanto aos testes correlacionais, em poucos casos não foi identificada correlação ou diferenças significativas entre os grupos, então, mesmo que a maioria das correlações entre os fatores estudados e a média de consumo de combustível, não tenha sido considerada forte ou muito forte, é necessário cuidado no planejamento das características de operação e na composição da frota, pois estes critérios, em alguma medida, irão impactar no consumo de combustível.

As análises Fatorial e de Componentes Principais, indicaram que podem ser extraídos dois fatores das 6 variáveis quantitativas independentes e que explicam mais da metade da variância dos dados; o primeiro fator relacionado à disposição das

linhas e o segundo as características operacionais. Conclui-se que os testes, além de cumprir o objetivo de reduzir a complexidade das variáveis, permitiram reforçar as estratégias para utilização de ônibus com potências adequadas às necessidades de cada linha, evitando utilizar veículos com alta potência em linhas com grande número de paradas, ou com velocidade operacional baixa, desde que adequada a demanda; por fim, importante destacar que para melhor aproveitamento do combustível, é necessário trabalhar de maneira conjunta entre os componentes de **planejamento das linhas** (velocidade, extensão, paradas) e de **realização das viagens** (tipo de veículo, potência).

5.1 LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Algumas limitações desta pesquisa e que podem ser superadas em novos trabalhos, dizem respeito principalmente a não utilização de variáveis de caráter pessoal, como por exemplo, a dirigibilidade dos motoristas, pois o fator humano também exerce grande impacto no consumo; a demanda de passageiros, que interfere tanto na quantidade de paradas, quanto no peso dos ônibus; o trânsito, que implica em velocidades operacionais menores e a manutenção dos veículos, dentre outros.

Para expansão de novas pesquisa, há de se considerar a inserção de veículos híbridos e elétricos, pois estes modais de energia são contemporâneos no cenário do transporte coletivo e geram um *gap* de pesquisa.

Ademais, considerando os objetivos específicos, o desenvolvimento deste trabalho, os resultados das tarefas e dos cálculos estatísticos, aliado às análises, considerações e conclusões, permitem afirmar que os alvos inicialmente propostos foram devidamente atingidos.

REFERÊNCIAS

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15570 - Transporte - Especificações técnicas para fabricação de veículos de características urbanas para transporte coletivo de passageiros**. Rio de Janeiro, 2009.
- ABREU, J. DE; MOURA, F.; GARCIA, B.; VARGAS, R. Influential vectors in fuel consumption by an urban bus operator : Bus route , driver behavior or vehicle type ? **Transportation Research Part D**, v. 38, p. 94–104, 2015.
- ADNER, R.; HELFAT, C. E. Corporate effects and dynamic managerial capabilities. **Strategic Management**, v. 24, n. 1, p. 1011–1025, 2003.
- AFSHARTOUS, D.; PRESTON, R. Key Results of Interaction Models With Centering. **Journal of Statistics Education**, v. 19, 2011.
- AGGARWAL, P.; JAIN, S. Energy demand and CO2 emissions from urban on-road transport in Delhi: current and future projections under various policy measures. **Journal of Cleaner Production**, v. 128, p. 48–61, 2016. Elsevier.
- AGUINIS, H.; GOTTFREDSON, R. K.; JOO, H. Best-Practice Recommendations for Defining, Identifying, and Handling Outliers. **Organizational Research Methods**, v. 16, n. 2, p. 270–301, 2013.
- AHN, K.; RAKHA, H. The effects of route choice decisions on vehicle energy consumption and emissions. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 13, n. 3, p. 151–167, 2008. Elsevier Ltd.
- AHN, K.; RAKHA, H.; TRANI, A.; VAN AERDE, M. Estimating Vehicle Fuel Consumption and Emissions based on Instantaneous Speed and Acceleration Levels. **Journal of Transportation Engineering**, v. 128, n. 2, p. 182–190, 2002. American Society of Civil Engineers.
- AINSALU, J.; ARFFMAN, V.; BELLONE, M.; et al. State of the Art of Automated Buses. **Sustainability** , 2018.
- ANDERSON, D. R.; SWEENEY, D. J.; WILLIAMS, T. A.; CAMM, J. D.; COCHRAN, J. J. **Statistics for business & economics**. Nelson Education, 2016.
- ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. SLP - Sistema de Levantamento de Preços. Disponível em: <<https://preco.anp.gov.br/>>. Acesso em: 23/3/2020.
- ANSOFF, H. I. Strategic Issue Management. **Strategic Management**, v. 1, n. 2, p. 131–148, 1980.
- ANTP. **Associação Nacional dos Transporte Públicos. Custos dos serviços de transporte público por ônibus. Método de cálculo**. São Paulo, 2017a.

ANTP. **Associação Nacional de Transportes Públicos ANTP 40 anos: sonhar ainda é preciso**. São Paulo: Comdesenho, 2017b.

ARDILA-GÓMEZ, A. Transit planning in Curitiba and Bogotá. Roles in interaction, risk, and change. **Unpublished Ph. D. dissertation, Massachusetts Institute of Technology**, 2004. CiteSeer.

BARBIERI, C. **BI2 Business Intelligence. Modelagem e Qualidade**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

BARBIERI, C.; FARINELLI, F. **Uma visão sintética e comentada do Data Management Body of Knowledge (DMBOK)**. 2013.

BARNITT, R. In-Use Performance Comparison of Hybrid Electric, CNG, and Diesel Buses at New York City Transit. **SAE International**, 2008.

BISHOP, G. A.; MORRIS, J. A.; STEDMAN, D. H.; et al. The effects of altitude on heavy-duty diesel truck on-road emissions. **Environmental Science and Technology**, v. 35, n. 8, p. 1574–1578, 2001.

BIZER, C.; CYGANIAK, R. Quality-driven information filtering using the WIQA policy framework. **Web Semantics**, v. 7, n. 1, p. 1–10, 2009.

BLOOMBERG NEW ENERGY FINANCE. Electric Buses in Cities: Driving Towards Cleaner Air and Lower CO2. .

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília: Centro Gráfico, 1988.

BRASIL. LEI FEDERAL Nº. 12.587, DE 03 DE JANEIRO DE 2012. Institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana. .

BRIGGS, C. A. Global oil dependency and Security risk: “The scramble for oil Resource”. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science**, v. 7, n. 4, p. 1–21, 2020.

BRYANT, L.; NITSKE, W. R.; WILSON, C. M. Rudolf Diesel: Pioneer of the Age of Power. **Technology and Culture**, v. 7, n. 1, p. 90–93, 1966.

BRYNJOLFSSON, E.; HITT, L.; KIM, H. Strength in numbers: How does data-driven decision-making affect firm performance? **International Conference on Information Systems 2011, ICIS 2011**, v. 1, p. 541–558, 2011.

CECCHIEL, S.; CHINDAMO, D.; TURRINI, E.; et al. Impact of reduced mass of light commercial vehicles on fuel consumption, CO2 emissions, air quality, and socio-economic costs. **Science of The Total Environment**, v. 613–614, p. 409–417, 2018.

CHEN, Y.; ARDILA-GOMEZ, A.; FRAME, G. Achieving energy savings by intelligent transportation systems investments in the context of smart cities. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 54, p. 381–396, 2017. The World Bank.

CHOO, C. W. **A organização do conhecimento: como as organizações usam a informação para criar significado, construir conhecimento e tomar decisões**. São Paulo: Editora Senac, 2003.

COMEC. Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba. A Região Metropolitana de Curitiba. Disponível em: <<http://www.comec.pr.gov.br/Pagina/Regiao-Metropolitana-de-Curitiba>>. Acesso em: 7/3/2021a.

COMEC. Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba. Mapa do Núcleo Urbano Central - NUC. Disponível em: <http://www.comec.pr.gov.br/sites/comec/arquivos_restritos/files/documento/2019-11/rmc_2013_nuc.pdf>. Acesso em: 7/3/2021b.

DALTON, D. R.; TODOR, W. D.; SPENDOLINI, M. J.; FIELDING, G. J.; PORTER, L. W. Organization Structure and Performance: A Critical Review. **The Academy of Management Review**, v. 5, n. 1, p. 49–64, 1980. Academy of Management.

DATA MANAGEMENT ASSOCIATION (DAMA) UK WORKING GROUP ON “DATA QUALITY DIMENSIONS”. **The six primary dimensions for data quality assessment: defining data quality dimensions**. UK, 2013.

DEAN, J. W.; SHARFMAN, M. P. Does decision process matter? A study of strategic decision - making effectiveness. **Academy of Management**, v. 39, n. 2, p. 368–396, 1996.

DREIER, D.; SILVEIRA, S.; KHATIWADA, D.; et al. Well-to-Wheel analysis of fossil energy use and greenhouse gas emissions for conventional, hybrid-electric and plug-in hybrid-electric city buses in the BRT system in Curitiba, Brazil. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 58, p. 122–138, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920917300214>>. .

DRUCKER, P. F. **The Effective Executive: The Definitive Guide to Getting the Right Things Done**. eBook ed. New York: Harper & Row, 2017.

EARLEY, S.; HENDERSON, D. **DAMA-DMBOK: data management body of knowledge**. 2º ed. New Jersey: Bradley Beach, 2017.

EISENHARDT, K. M.; ZBARACKI, M. J. Strategic decision making. **Strategic Management**, v. 13, p. 17–37, 1992.

ELIYI, U.; NASIBOV, E.; ÖZKILÇIK, M.; KUVVETLI, Ü. Minimization of fuel consumption in city bus transportation: A case study for Izmir. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, v. 54, p. 231–239, 2012.

ENERDATA.NET. Global Energy Trends - 2021 Edition. Disponível em: <<https://www.enerdata.net/publications/reports-presentations/world-energy-trends.html>>. Acesso em: 10/8/2021.

EVEN, A.; SHANKARANARAYANAN, G. Utility-Driven Assessment of Data

Quality. **Data Base for Advances in Information Systems**, v. 38, n. 2, p. 75–93, 2007.

FACHEL, J. M. G. *Análise fatorial*. , 1976. São Paulo: [Dissertação de Mestrado - Instituto de Matemática USP].

FANINI, N. M. **Atlas geográfico do município de Curitiba**. Curitiba, 2008.

FISCHHOFF, B.; MACGREGOR, D. Subjective confidence in forecasts. **Journal of Forecasting**, v. 1, n. 2, p. 155–172, 1982.

FISHER, R. Studies in Crop Variation I. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 6, p. 107–135, 1921.

FREY, H.; ROUPHAIL, N.; ZHAI, H.; FARIAS, T.; GONÇALVES, G. Comparing real-world fuel consumption for diesel- and hydrogen-fueled transit buses and implication for emissions. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 12, p. 281–291, 2007.

GADDE, R. S. K.; SRIGANESH, R.; KARTHICK, C.; LALASURE, S.; RAJAKUMAR, K. **Determination of Principal Variables for Prediction of Fuel Economy using Principal Component Analysis**. SAE Technical Paper, 2019.

GALTON, F. Regression towards mediocrity in hereditary stature. **The Journal of the Anthropological Institute of Great Britain and Ireland**, v. 15, p. 246–263, 1886. JSTOR.

HAIR, J.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Multivariate Data Analysis**. 6th ed. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2006.

HAND, D. J. Statistical challenges of administrative and transaction data. **Journal of the Royal Statistical Society: Series A (Statistics in Society)**, v. 181, n. 3, p. 555–605, 2018.

HARRISON, C. G.; DONNELLY, I. A. A theory of smart cities. **55th Annual Meeting of the International Society for the Systems Sciences**, p. 521–535, 2011.

HAWKINS, D. M. **Identification of Outliers**. London ; New York: Chapman and Hall, 1980.

HINKLE, D. E.; WIERSMA, W.; JURIS, S. G. **Applied Statistics for the Behavioral Sciences**. 5^o ed. Boston: Cengage Learning, 2003.

HOLMBERG, K.; ANDERSSON, P.; NYLUND, N. O.; MÄKELÄ, K.; ERDEMIR, A. Global energy consumption due to friction in trucks and buses. **Tribology International**, v. 78, p. 94–114, 2014. Elsevier.

HOLMGREN, J. Research in Transportation Economics The efficiency of public transport operations e An evaluation using stochastic frontier analysis. **Research in Transportation Economics**, v. 39, n. 1, p. 50–57, 2013. Elsevier Ltd.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Taxa de urbanização. Disponível em: <<https://serieestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?vcodigo=POP122>>. Acesso em: 23/9/2020a.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Panorama das cidades. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/curitiba/panorama>>. Acesso em: 27/2/2021b.

IEA. International Energy Agency. Data and Statistics. Disponível em: <<https://www.iea.org/fuels-and-technologies/oil>>. Acesso em: 12/4/2021.

JAMOVI. The Jamovi Project. Versão 2.0.0. , 2021. Disponível em: <<http://www.jamovi.org>>. .

JI-YANG, S.; JIAN-LING, H.; YAN-YAN, C.; PAN-YI, W.; JIAN-LIN, J. Flexible bus route optimization for multitarget stations. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2020, 2020. Hindawi.

KAHNEMAN, D. **Rápido e Devagar. Duas formas de pensar. Tradução Cássio de Arantes Leite**. Rio de Janeiro: Objetiva, 2012.

KAHNEMAN, D.; FREDERICK, S. Representativeness Revisited: Attribute Substitution in Intuitive Judgment. **Heuristics and biases: The psychology of intuitive judgment**, v. 49, p. 49–81, 2002.

KAISER, H. F. A second generation little jiffy. **Psychometrika**, v. 35, n. 4, p. 401–415, 1970.

KALIYADAN, F.; KULKARNI, V. Types of variables, descriptive statistics, and sample size. **Indian dermatology online journal**, v. 10, n. 1, p. 82, 2019. Wolters Kluwer--Medknow Publications.

KEGL, B.; KEGL, M.; PEHAN, S. Optimization of a Fuel Injection System for Diesel and Biodiesel Usage. **Energy & Fuels**, v. 22, n. 2, p. 1046–1054, 2008. American Chemical Society.

KENWORTHY, J. R. The eco-city: Ten key transport and planning dimensions for sustainable city development. **Environment and Urbanization**, v. 18, n. 1, p. 67–85, 2006.

KIM, J.-O.; AHTOLA, O.; SPECTOR, P. E.; MUELLER, C. W. **Introduction to factor analysis: What it is and how to do it**. Sage, 1978.

KLEINMUNTZ, D. N.; THOMAS, J. B. The value of action and inference in dynamic decision making. **Organizational Behavior and Human Decision Processes**, v. 39, n. 3, p. 341–364, 1987.

KUAH, G. K.; PERL, J. Optimization of feeder bus routes and bus-stop spacing. **Journal of Transportation Engineering**, v. 114, n. 3, p. 341–354, 1988. American Society of Civil Engineers.

LAMPEL, J.; SHAPIRA, Z. Judgmental Errors, Interactive Norms, and the Difficulty of Detecting Strategic Surprises. **Organization Science**, v. 12, n. 5, p. 599–611, 2001.

LENZ, R. T. ‘Determinants’ of organizational performance: An interdisciplinary review. **Strategic Management Journal**, v. 2, n. 2, p. 131–154, 1981.

LINDAU, L. A.; HIDALGO, D.; FACCHINI, D. Curitiba, the cradle of bus rapid transit. **Built Environment**, v. 36, n. 3, p. 274–282, 2010. Alexandrine Press.

LU, Y.; HUANG, D.; XIE, H.; JIANG, Y.; SUN, Q. Influence analysis of driving pattern factors on bus fuel economy by the SEM. 2016 35th Chinese Control Conference (CCC). **Anais...** . p.8920–8925, 2016. IEEE.

METROCARD. Metrocard em Números. Disponível em: <<https://cartaometrocard.com.br/metrocard-em-numeros/>>. Acesso em: 29/12/2020.

METROCARD. Metrocard - Linhas, Tarifas e Horários dos Ônibus. Disponível em: <<https://cartaometrocard.com.br/sistema-metropolitano/linhas-tarifas-e-horarios-dos-onibus/>>. Acesso em: 8/9/2021.

MINTZBERG, H. **Criando Organizações Eficazes: Estruturas Em Cinco Configurações**. 2º ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MINTZBERG, H.; QUINN, J. B.; LAMPEL, J.; GHOSAL, S. **O Processo da Estratégia – Conceitos, Contextos e Casos Selecionados**. 4º ed. São Paulo: Bookman, 2007.

MINTZBERG, H.; WESTLEY, F. Decision Making: It’s not what you think. **MIT Sloan Management Review**, , n. Spring, p. 89–93, 2001.

MOLLENHAUER, K.; SCHREINER, K. History and fundamental principles of the diesel engine. **Handbook of diesel engines**. p.3–30, 2010. Springer.

MORETTIN, P. A.; BUSSAD, W. O. **Estatística básica**. Saraiva Educação SA, 2017.

MUKAKA, M. M. A guide to appropriate use of correlation coefficient in medical research. **Malawi medical journal**, v. 24, n. 3, p. 69–71, 2012.

NEWMAN, P.; KENWORTHY, JEFFREY. **Sustainability and Cities: Overcoming Automobile Dependence**. Washington, DC: Island Press, 1999.

NEWMAN, P.; KENWORTHY, JEFF. Costs of automobile dependence: global survey of cities. **Transportation Research Record**, v. 1670, n. 1, p. 17–26, 1999. SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA.

NTU. **Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos. Transporte público como direito social. E agora?** Brasília: NTU, 2016.

NTU. **Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos. Anuário NTU 2017-2018**. Brasília, 2018.

NUTT, P. C. Planning process archetypes and their effectiveness. **Decision Sciences**, v. 15, n. 2, p. 221–238, 1984.

NUTT, P. C.; WILSON, D. C. **Handbook of Decision Making**. United Kingdom: Wiley-Blackwell, 2010.

OXFORD. Oxford English Dictionary. Disponível em: <<https://www.oed.com/>>. Acesso em: 29/12/2020.

PARANÁ. AGÊNCIA DE NOTÍCIAS DO ESTADO. Investimentos evitam queda do número de passageiros na RMC. Disponível em: <<http://www.aen.pr.gov.br/modules/noticias/article.php?storyid=105388>>. Acesso em: 7/3/2021.

PARANÁ. ASSEMBLEIA LEGISLATIVA. Decreto 2009 - 27 de Julho de 2015. Regulamento dos Serviços de Transporte Coletivo Metropolitano de Passageiros na Região Metropolitana de Curitiba. Disponível em: <<https://www.legislacao.pr.gov.br/legislacao/pesquisarAto.do?action=exibir&codAto=144458&indice=1&totalRegistros=1&dt=2.2.2021.17.13.17.85>>. Acesso em: 7/3/2021.

PARANÁ. DECRETO ESTADUAL Nº 1660 DE 21 DE OUTUBRO DE 1992. Atribuição de gerenciamento do sistema de transporte coletivo da região metropolitana de Curitiba, à coordenação da região metropolitana de Curitiba-COMEC. .

PÓLYA, G. **How to Solve It: A New Aspect of Mathematical Method**. 1º ed. Princeton University Press, 1945.

PORTER, M. E. How Competitive Forces Shape Strategy. **Harvard Business Review**, v. 57, n. 2, p. 137–145, 1979.

PRASAD, N. R.; ALMANZA-GARCIA, S.; LU, T. T. Anomaly detection. **Computers, Materials and Continua**, v. 14, n. 1, p. 1–22, 2009.

PRICE, R.; SHANKS, G. A Semiotic Information Quality Framework: Development and Comparative Analysis. **Journal of Information Technology**, v. 20, n. 2, p. 88–102, 2005. SAGE Publications Ltd. Disponível em: <<https://doi.org/10.1057/palgrave.jit.2000038>>. .

PUCHER, H. Gas Exchange and Supercharging. **Handbook of diesel engines**, p. 31–60, 2010.

QUINN, J. B. Strategic Change: Logical Incrementalism. **Sloan Management Review**, v. 20, p. 7–21, 1978.

R CORE TEAM. R: A Language and environment for statistical computing. , 2021. Disponível em: <<https://cran.r-project.org>>. .

RAMAKRISHNAN, R.; GEHRKE, J.; GEHRKE, J. **Database management systems**. McGraw-Hill New York, 2003.

RAMOS, A. G. **A Nova Ciência das Organizações: uma reconceituação da riqueza das nações**. 2º ed. Rio de Janeiro: FGV, 1989.

REIS, W. R.; COSTA, A. DE J. B. A composição dos custos do Sistema de Transporte Coletivo em Municípios. Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC. **Anais...**, 2017.

ROHANI, M.; WIJEYESEKERA, D. C.; TARMIZI, A.; KARIM, A. Bus Operation , Quality Service and The Role of Bus Provider and Driver. **Procedia Engineering**, v. 53, p. 167–178, 2013.

SABOOHI, Y.; FARZANEH, H. Model for developing an eco-driving strategy of a passenger vehicle based on the least fuel consumption. **Applied Energy**, v. 86, p. 1925–1932, 2009.

SANTAELLA, L. **Comunicação e pesquisa: projetos para mestrado e doutorado**. Hacker, 2001.

SHANKARANARAYAN, G.; ZIAD, M.; WANG, R. Y. Managing data quality in dynamic decision environments: An information product approach. **Journal of Database Management**, v. 14, n. 4, p. 14–32, 2003.

SILVOLA, R.; JAASKELAINEN, O.; KROPSU-VEHKAPERÄ, H.; HAAPASALO, H. Managing one master data—challenges and preconditions. **Industrial Management & Data Systems**, 2011. Emerald Group Publishing Limited.

SIMON, H. A. A Behavioral Model of Rational Choice. **The Quarterly Journal of Economics**, v. 69, n. 1, p. 99–118, 1955.

SIMON, H. A. **Comportamento administrativo: estudo dos processos decisórios nas organizações administrativas**. Tradução de Aluizio Loureiro Pinto. 2º ed. Rio de Janeiro, RJ: Fundação Getúlio Vargas, 1970.

SIMON, H. A. **Comportamento administrativo: estudo dos processos decisórios nas organizações administrativas**. Tradução de Aluizio Loureiro Pinto. 3º ed. São Paulo: FGV, 1979.

SIMON, H. A. **A Razão nas Coisas Humanas**. Lisboa: Gradiva, 1989.

SLOMSKI, V.; CAMARGO, G. B. DE; AMARAL FILHO, A. C. C. DO; SLOMSKI, V. G. A demonstração do resultado econômico e sistemas de custeamento como instrumentos de evidenciação do cumprimento do princípio constitucional da eficiência, produção de governança e accountability no setor público: uma aplicação na PG do Município de São P. **Revista de Administração Pública**, 2010. Scielo.

SMIL, V. The two prime movers of globalization: history and impact of diesel engines and gas turbines. **Journal of Global History**, v. 2, n. 3, p. 373, 2007. Cambridge University Press.

SMITH, J. F.; RIDA, T. Heuristics and biases: Expertise and task realism in auditing. **Psychological Bulletin**, v. 109, n. 3, p. 472–489, 1991.

STEWART, R. **Managers and their Jobs. A Study of the Similarities and Differences in the Ways Managers Spend their Time**. Second Edition. London: MACMILLAN PRESS, 1988.

SUZUKI, Y.; LAN, B. Cutting fuel consumption of truckload carriers by using new enhanced refueling policies. **International Journal of Production Economics**, v. 202, p. 69–80, 2018. Elsevier B.V.

THE AMERICAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE. **The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism**, v. 10, n. 10, p. 1361–1362, 1950.

TUKEY, J. Comparing individual means in the analysis of variance. **Biometrics**, v. 5 2, p. 99–114, 1949.

TUKEY, J. W. **Exploratory Data Analysis**. Princeton: Addison-wesley Longman, Inc, 1977.

TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P. Metodologia de pesquisa em engenharia de produção: estratégias, métodos e técnicas para condução de pesquisas quantitativas e qualitativas. **Itajubá: Unifei**, 2012.

TVERSKY, A.; KAHNEMAN, D. Judgment under Uncertainty: Heuristics and Biases. **Science**, v. 185, n. 4157, p. 1124–1131, 1974.

TZU, S. **The Art of War: New Translation by Ralph D. Sawyer**. New York: Barnes & Noble, 1994.

UGUR, M. Risk, uncertainty and probabilistic decision making in an increasingly volatile world. **Handbook of Business Strategy**, v. 6, n. 1, p. 19–24, 2005.

URBS. URBANIZAÇÃO DE CURITIBA S/A. Anexo III - Lote 1 - Planilha de Cálculo do Custo Quilômetro. Disponível em: <<https://www.urbs.curitiba.pr.gov.br/institucional/andamentoDownload/arquivo/698>>. Acesso em: 9/8/2021.

URBS. URBANIZAÇÃO DE CURITIBA S/A. Composição do Custo/Km por Tipo de Veículo - Média - RIT de Curitiba - Planilha de Remuneração das Empresas. Disponível em: <https://www.urbs.curitiba.pr.gov.br/pdf/transporte/rit/Custo_km_por_tipo_de_onibus.pdf>. Acesso em: 29/12/2020.

URBS. URBANIZAÇÃO DE CURITIBA S/A. Metodologia de Cálculo da Tarifa Técnica. Disponível em: <https://www.urbs.curitiba.pr.gov.br/images/provisional/downloads/4_metodologia_e_calculo_da_tarifa_tecnica.pdf>. Acesso em: 29/12/2020.

URBS. URBANIZAÇÃO DE CURITIBA S/A. Rede Integrada de Transporte. Disponível em: <<https://www.urbs.curitiba.pr.gov.br/transporte/rede-integrada-de-transporte>>. Acesso em: 9/8/2021.

VINUTHA, H. P.; POORNIMA, B.; SAGAR, B. M. Detection of Outliers Using Interquartile Range Technique from Intrusion Dataset. In: Satapathy S., Tavares J., Bhateja V., Mohanty J. **Information and Decision Sciences. Advances in Intelligent Systems and Computing**. p.511–518, 2018. Singapore: Springer.

WEI, T.; FREY, H. C. Factors affecting variability in fossil-fueled transit bus emission rates. **Atmospheric Environment**, v. 233, p. 117613, 2020.

WILLIAMS, C. Research methods. **Journal of Business & Economics Research (JBER)**, v. 5, n. 3, 2007.

YUAN, R.; YANG, X.; WANG P. Carbon Emission of Urban Passenger Traffic in Taiyuan, China. **Climate Change Research Letters**, v. 7, p. 1–11, 2018. Hans Publishers.

ZOET, M.; VERSENDAAAL, J.; RAVESTEYN, P.; WELKE, R. Alignment of Business Process Management and Business Rules. **ECIS 2011 Proceedings**, v. 34, 2011. Disponível em: <<https://aisel.aisnet.org/ecis2011/34/>>. .

APÊNDICE 1 – SCRIPT T-SQL UTILIZADO PARA TRATAMENTO DOS DADOS

```

Select
    TipoVeiculo          as "Veículo Tipo",
    IdadeVeiculo          as "Veículo Idade",
    MarcaChassi           as "Veículo Marca",
    ModeloChassi          as "Veículo Modelo",
    Cambio                as "Veículo Câmbio",
    PotenciaCV            as "Veículo Potência",
    IDLinha               as "Linha Código",
    LinhaNome             as "Linha Nome",
    TipoDeLinha           as "Linha Grupo Operação",
    Regiao                as "Linha Região",
    ParadasPossiveis      as "Linha Paradas Possíveis",
    DistanciaMediaParadas as "Linha Distância Média Paradas (km)",
    DataOperacao          as "Operação Data",
    TipoDia               as "Operação Tipo Dia",
    IDTabela              as "Operação Tabela",
    IDJornada             as "Operação Jornada",
    VelocidadeMedia       as "Operação Velocidade Média (km/h)",
    TipoCalculo           as "Cálculo Tipo",
    KmCalculado           as "Km",
    LitrosProporcionais   as "Litros",
    KmLtProporcional      as "Média Km/l",
    DeslocamentoDia      as "Deslocamento Dia",
    VolumeDia             as "Volume Dia",

    --Início do Cálculo do BoxPlot
    PERCENTILE_DISC(0.25) WITHIN GROUP (ORDER BY AO.KmLtProporcional)
                           OVER (PARTITION BY TipoVeiculo) AS PrimeiroQuartil,
    PERCENTILE_DISC(0.5)  WITHIN GROUP (ORDER BY AO.KmLtProporcional)
                           OVER (PARTITION BY TipoVeiculo) AS Mediana,
    PERCENTILE_DISC(0.75) WITHIN GROUP (ORDER BY AO.KmLtProporcional)
                           OVER (PARTITION BY TipoVeiculo) AS TerceiroQuartil,
    PERCENTILE_DISC(0.75) WITHIN GROUP (ORDER BY AO.KmLtProporcional)
                           OVER (PARTITION BY TipoVeiculo) -
    PERCENTILE_DISC(0.25) WITHIN GROUP (ORDER BY AO.KmLtProporcional)
                           OVER (PARTITION BY TipoVeiculo) AS FaixaInterquartilica,
    --Primeiro Quartil - Faixa Interquartilica = LimiteInferior (Bigode)
    PERCENTILE_DISC(0.25) WITHIN GROUP (ORDER BY AO.KmLtProporcional)
                           OVER (PARTITION BY TipoVeiculo) -
    (PERCENTILE_DISC(0.75) WITHIN GROUP (ORDER BY AO.KmLtProporcional)
      OVER (PARTITION BY TipoVeiculo) -
    PERCENTILE_DISC(0.25) WITHIN GROUP (ORDER BY AO.KmLtProporcional)
      OVER (PARTITION BY TipoVeiculo)) as LimiteInferior,
    --Terceiro Quartil + Faixa Interquartilica = LimiteSuperior (Bigode)
    PERCENTILE_DISC(0.75) WITHIN GROUP (ORDER BY AO.KmLtProporcional)
                           OVER (PARTITION BY TipoVeiculo) +
    (PERCENTILE_DISC(0.75) WITHIN GROUP (ORDER BY AO.KmLtProporcional)
      OVER (PARTITION BY TipoVeiculo) -
    PERCENTILE_DISC(0.25) WITHIN GROUP (ORDER BY AO.KmLtProporcional)
      OVER (PARTITION BY TipoVeiculo)) as LimiteSuperior,

Case
    When KmLtProporcional <=
        --LimiteInferior (Bigode)
        PERCENTILE_DISC(0.25) WITHIN GROUP (ORDER BY AO.KmLtProporcional)
                               OVER (PARTITION BY TipoVeiculo) -
        (PERCENTILE_DISC(0.75) WITHIN GROUP (ORDER BY AO.KmLtProporcional)
          OVER (PARTITION BY TipoVeiculo) -
        PERCENTILE_DISC(0.25) WITHIN GROUP (ORDER BY AO.KmLtProporcional)
          OVER (PARTITION BY TipoVeiculo))
    Then 'Discrepante (Inferior)'

    When KmLtProporcional >=
        --LimiteSuperior (Bigode)
        PERCENTILE_DISC(0.75) WITHIN GROUP (ORDER BY AO.KmLtProporcional)
                               OVER (PARTITION BY TipoVeiculo) +
        (PERCENTILE_DISC(0.75) WITHIN GROUP (ORDER BY AO.KmLtProporcional)
          OVER (PARTITION BY TipoVeiculo) -
        PERCENTILE_DISC(0.25) WITHIN GROUP (ORDER BY AO.KmLtProporcional)
          OVER (PARTITION BY TipoVeiculo))
    Then 'Discrepante (Superior)'

```

```

Else 'Dentro do Boxplot' End as BoxPlot

From

(SELECT
    Round(Cast(P.VelocidadeMédia as Float),0) as VelocidadeMedia,
    L.ParadasPossiveis,
    Round(Cast( (L.KmTotal / L.ParadasPossiveis) as Float),1) DistanciaMediaParadas,
    L.Regiao,
    L.TipoDeLinha,
    L.Nome as LinhaNome,
    IsNull(P.TipoDia, 'Dia Útil') as TipoDia,
    O.IDBem,
    V.Cambio,
    2019 - V.AnoChassi as IdadeVeiculo,
    V.MarcaChassi,
    V.ModeloChassi,
    V.PotenciaCV,
    O.IDLinha,
    O.IDTabela,
    O.IDJornada,
    DataOperacao,
    (SELECT SUM(DeslocamentoDia) AS Expr1
     FROM    trAbastecimento AS A
     WHERE    (DtOperacao = O.DataOperacao) AND (IDBem = O.IDBem)) AS
[KmVeiculoDia],
    [KmRealizadaDia],
    [KmRealizadaJornada],
    (SELECT SUM(Volume) AS Expr1
     FROM    trAbastecimento AS A
     WHERE    (DtOperacao = O.DataOperacao) AND (IDBem = O.IDBem)) AS
[LitrosVeiculoDia],

    (SELECT SUM(DuracaoColaborador) AS Expr1
     FROM    trOperacao AS xO
     WHERE    (DataOperacao = O.DataOperacao) AND (IDBem = O.IDBem)) AS
[MinutosOperacaoVeiculoDia],

    (SELECT SUM(DuracaoColaborador) AS Expr1
     FROM    trOperacao AS xO
     WHERE    (DataOperacao = O.DataOperacao) AND (IDBem = O.IDBem) AND (IDLinha =
O.IDLinha) AND (IDTabela = O.IDTabela) AND (IDJornada = O.IDJornada)) AS
[MinutosOperacaoJornada],

    DuracaoColaborador AS [MinutosOperacaoLinhaTabela],

    CASE WHEN
    ((SELECT COUNT(*)
     FROM    trOperacao yO
     WHERE    yO.DataOperacao = O.DataOperacao AND yO.IDBem = O.IDBem AND yO.IDLinha
= O.IDLinha AND yO.IDTabela = O.IDTabela AND yO.IDJornada = O.IDJornada) = 1)
    THEN 'Km Jornada' ELSE 'Proporcional Tempo' END AS [TipoCalculo],
    CASE WHEN
    ((SELECT COUNT(*)
     FROM    trOperacao yO
     WHERE    yO.DataOperacao = O.DataOperacao AND yO.IDBem = O.IDBem AND yO.IDLinha =
O.IDLinha AND yO.IDTabela = O.IDTabela AND yO.IDJornada = O.IDJornada) = 1)
    THEN O.KmRealizadaJornada ELSE CAST(DuracaoColaborador AS Float) /
    ((SELECT SUM(DuracaoColaborador)
     FROM    trOperacao xO
     WHERE    xO.DataOperacao = O.DataOperacao AND xO.IDBem = O.IDBem AND xO.IDLinha =
O.IDLinha AND xO.IDTabela = O.IDTabela AND xO.IDJornada = O.IDJornada)
* CAST(O.KmRealizadaJornada AS Float) END AS KmCalculado,

    (CASE WHEN
    ((SELECT COUNT(*)
     FROM    trOperacao yO
     WHERE    yO.DataOperacao = O.DataOperacao AND yO.IDBem = O.IDBem AND yO.IDLinha =
O.IDLinha AND yO.IDTabela = O.IDTabela AND yO.IDJornada = O.IDJornada) = 1)
    THEN O.KmRealizadaJornada ELSE CAST(DuracaoColaborador AS Float) /
    ((SELECT SUM(DuracaoColaborador)
     FROM    trOperacao xO
     WHERE    xO.DataOperacao = O.DataOperacao AND xO.IDBem = O.IDBem AND xO.IDLinha =
O.IDLinha AND xO.IDTabela = O.IDTabela AND xO.IDJornada = O.IDJornada) *
CAST(O.KmRealizadaJornada AS Float) END) /

    (SELECT SUM(DeslocamentoDia) AS Expr1

```

```

FROM          trAbastecimento AS A
WHERE          (DtOperacao = O.DataOperacao) AND (IDBem = O.IDBem)) *
  (SELECT      SUM(Volume) AS Expr1
FROM          trAbastecimento AS A
WHERE          (DtOperacao = O.DataOperacao) AND (IDBem = O.IDBem)) AS
[LitrosProporcionais],

-- Cálculo da Média proporcional; depois de aplicar todos os critérios de
proporcionalidade

(CASE WHEN
  ((SELECT      COUNT(*)
FROM          trOperacao yO
WHERE          yO.DataOperacao = O.DataOperacao AND yO.IDBem = O.IDBem AND yO.IDLinha =
O.idLinha AND yO.IDTabela = O.IDTabela AND yO.IDJornada = O.IDJornada) = 1)
  THEN O.KmRealizadaJornada ELSE CAST(DuracaoColaborador AS Float) /
  (SELECT      SUM(DuracaoColaborador)
FROM          trOperacao xO
WHERE          xO.DataOperacao = O.DataOperacao AND xO.IDBem = O.IDBem AND xO.IDLinha =
O.IDLinha AND xO.IDTabela = O.IDTabela AND xO.IDJornada = O.IDJornada)
    * CAST(O.KmRealizadaJornada AS Float) END)
  /
  ((CASE WHEN
  ((SELECT      COUNT(*)
FROM          trOperacao yO
WHERE          yO.DataOperacao = O.DataOperacao AND yO.IDBem = O.IDBem AND yO.IDLinha =
O.idLinha AND yO.IDTabela = O.IDTabela AND yO.IDJornada = O.IDJornada) = 1)
  THEN O.KmRealizadaJornada ELSE CAST(DuracaoColaborador AS Float) /
  (SELECT      SUM(DuracaoColaborador)
FROM          trOperacao xO
WHERE          xO.DataOperacao = O.DataOperacao AND xO.IDBem = O.IDBem AND xO.IDLinha =
O.IDLinha AND xO.IDTabela = O.IDTabela AND xO.IDJornada = O.IDJornada) *
CAST(O.KmRealizadaJornada AS Float) END) /
  (SELECT      SUM(DeslocamentoDia) AS Expr1
FROM          trAbastecimento AS A
WHERE          (DtOperacao = O.DataOperacao) AND (IDBem = O.IDBem)) *
  (SELECT      SUM(Volume) AS Expr1
FROM          trAbastecimento AS A
WHERE          (DtOperacao = O.DataOperacao) AND (IDBem = O.IDBem))) AS
[KmLtProporcional],
  V.TipoVeiculo as TipoVeiculo,
  (SELECT      SUM(DeslocamentoDia) AS Expr1
FROM          trAbastecimento AS A
WHERE          (DtOperacao = O.DataOperacao) AND (IDBem = O.IDBem)) as
DeslocamentoDia,
  (SELECT      SUM(Volume) AS Expr1
FROM          trAbastecimento AS A
WHERE          (DtOperacao = O.DataOperacao) AND (IDBem = O.IDBem)) as VolumeDia

FROM trOperacao AS O
  Inner Join msVeiculo V on O.IDBem = V.IDBem
  Left Outer Join trProgramacao P on O.DataOperacao = P.Data and
  Cast(O.IDLinha as nchar) = Cast(P.IDLinha as nchar) And
  Cast(O.IDTabela as nchar) = Cast(P.IDTabela as nchar) And
  Cast(O.IDJornada as nchar) = Cast(P.IDJornada as nchar)
  Left Outer Join msLinha L on L.IDLinha = O.IDLinha
WHERE
--Regra de Negócio: Não considerar veículos que rodaram mas não abasteceram
  (SELECT      SUM(Volume) AS Expr1
FROM          trAbastecimento AS A
WHERE          (DtOperacao = O.DataOperacao) AND (IDBem = O.IDBem)) > 0

--Regra de Negócio: Não considerar veículos que abasteceram mas não rodavam
And  ((SELECT      SUM(DeslocamentoDia)
FROM          trAbastecimento AS A
WHERE          (DtOperacao = O.DataOperacao) AND (IDBem = O.IDBem)) ) >
0

--Regra de Negócio: Não considerar abastecimentos maiores que o volume do tanque
And (SELECT      SUM(Volume) AS Expr1
FROM          trAbastecimento AS A
WHERE          (DtOperacao = O.DataOperacao) AND (IDBem =
O.IDBem)) <= V.CapacidadeCombustivel

--Regra de Negócio: Não considerar deslocamentos maiores do que um ônibus pode rodar num
dia

```

```
And          ((SELECT          SUM(DeslocamentoDia)
                  FROM          trAbastecimento AS A
                  WHERE          (DtOperacao = O.DataOperacao) AND (IDBem = O.IDBem)) )
<= V.MaximoDeslocamento

--Regra de Negócio: Considerar apenas linhas com Velocidade média cadastrada
And Len(P.VelocidadeMédia) > 0

) AO
```