



**MODELO PARA RENOVAÇÃO DE FROTA DE UMA EMPRESA DE ÔNIBUS
INTERESTADUAL: UMA ABORDAGEM PARA GESTÃO DE FROTA**

ANDRÉ GONÇALVES CORRÊA PEREIRA

**FACULDADE DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**MODELO PARA RENOVAÇÃO DE FROTA DE UMA
EMPRESA DE ÔNIBUS INTERESTADUAL: UMA
ABORDAGEM PARA GESTÃO DE FROTA**

ANDRÉ GONÇALVES CORRÊA PEREIRA

ORIENTADOR: Ph.D REINALDO CRISPINIANO GARCIA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TRANSPORTES

PUBLICAÇÃO: T.DM 001/2024

BRASÍLIA/DF: MAIO/2024

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**MODELO PARA RENOVAÇÃO DE FROTA DE UMA EMPRESA DE
ÔNIBUS INTERESTADUAL: UMA ABORDAGEM PARA GESTÃO DE
FROTA**

ANDRÉ GONÇALVES CORRÊA PEREIRA

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE
PÓS-GRADUAÇÃO EM TRANSPORTES DO DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA FACULDADE DE
TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE
MESTRE EM TRANSPORTES.**

APROVADA POR:

**REINALDO CRISPINIANO GARCIA, Ph.D (Universidade de Brasília)
(ORIENTADOR)**

**PASTOR WILLY GONZALES TACO, Dr. (Universidade de Brasília)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**REGINALDO SANTANA FIGUEIREDO, Dr. (Universidade Federal de Goiás)
(EXAMINADOR EXTERNO)**

BRASÍLIA/DF, 29 de MAIO de 2024.

FICHA CATALOGRÁFICA

PEREIRA, ANDRÉ GONÇALVES CORRÊA

Modelo para renovação de frota de uma empresa de ônibus interestadual: Uma abordagem para gestão de frota. Brasília, 2024.

xiv, 64 p., 210x297mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Transportes, 2024).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1 – Planejamento Operacional

2 – Logística

3 – Ônibus Diesel

4 – Gestão de Frota

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

PEREIRA, A. G. C. (2024). Modelo para renovação de frota de uma empresa de ônibus interestadual: Uma abordagem para gestão de frota. Publicação T.DM-001/2024. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 77 p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: ANDRÉ GONÇALVES CORRÊA PEREIRA

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Modelo para renovação de frota de uma empresa de ônibus interestadual: Uma abordagem para gestão de frota

GRAU: Mestre ANO: 2024

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

André Gonçalves Corrêa Pereira
gcp.andre@gmail.com

DEDICATÓRIA

*Bendita perseverança a do burrico de nora! - Sempre ao mesmo passo.
Sempre as mesmas voltas. - Um dia e outro; todos iguais. Sem isso, não
haveria maturidade nos frutos, nem louçania no horto, nem teria aromas o
jardim. Leva este pensamento à tua vida interior. (Caminho, 998)*

São Josemaria Escrivá

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por sua presença e por permitir que tudo fosse feito no seu tempo.

Agradeço pelo carinho e companhia da minha esposa, Ana Laura, por ser minha força e esperança; pelo seu sim diário.

Agradeço pelos meus pais, por sua educação, e meus irmãos, fonte de inspiração.

Agradeço imensamente ao Professor Reinaldo, que desde o tempo de graduação se mostrou como um exemplo de profissional e que não cessou para que esta tese fosse desenvolvida. Sou eternamente grato ao senhor.

Agradeço ao PPGT, no qual agradeço especialmente a Camila, por ter sido sempre disponível na ajuda da confecção deste trabalho e por sua generosidade.

RESUMO

As empresas de Transporte Rodoviário Interestadual de Passageiros (TRIP) do Brasil se destacam principalmente pela importância na operação realizada na sua extensa malha rodoviária, contribuindo para o desenvolvimento econômico e social do país. Com milhares de quilômetros de estradas, o transporte rodoviário é essencial para a conectividade entre regiões, permitindo a circulação de mercadorias e pessoas. O objetivo deste trabalho é propor um modelo para renovação de frota que avalia a eficiência de combustível dos ônibus, a manutenção adequada e a depreciação do ônibus, a fim de suportar uma gestão com maior eficiência, otimizando o plano orçamentário da empresa. O trabalho utilizou dados de uma empresa real de ônibus interestadual. Análises estatísticas foram realizadas com base em séries temporais para determinar o modelo de renovação de frota. A partir dos dados foi possível obter a perda de eficiência do motor e os custos gerados ao longo do tempo. Com a manutenção do veículo e a depreciação identificou-se o momento ótimo para venda do ônibus diminuindo os custos da empresa.

Palavras-chave: Planejamento operacional, Transporte Rodoviário Interestadual de Passageiros (TRIP), ônibus a diesel, gestão de frota.

ABSTRACT

Interstate Passenger Road Transport companies in Brazil stand out primarily for their importance in operating within the country's extensive road network, contributing to economic and social development. With thousands of kilometers of roads, road transport is essential for connectivity between regions, allowing the circulation of goods and people. Taxes, variations in the quality of Brazilian roads, and the volatility of diesel prices are some of the factors that prevent companies from optimizing their profits, leading to high costs inherent to the type of operation performed. The objective of this work is to propose a fleet renewal model that evaluates the fuel efficiency of buses, proper maintenance, and bus depreciation, to support more efficient management, optimize the budget plan. Statistical analyzes were performed based on time series to determine the fleet renewal model. The study used data from a real intercity bus company. Based on the data, it was possible to verify the loss of engine efficiency and to identify the costs generated over time. With vehicle maintenance and depreciation, it was possible to identify the optimal time to sell the bus, to minimize losses.

Keywords: Operational planning, Interstate Passenger Road Transport, Diesel buses, Fleet management.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 DEFINIÇÃO E DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA	2
1.2 OBJETIVOS.....	3
1.2.1 OBJETIVO GERAL.....	3
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.3 JUSTIFICATIVA	3
2. REFERENCIAL TEÓRICO	5
2.1 TRANSPORTE RODOVIÁRIO INTERESTADUAL DE PASSAGEIROS (TRIP).5	
2.1.1 REGULAÇÃO DO SERVIÇO DE TRIP	6
2.2 SERVIÇOS DE TRIP	7
2.3 GESTÃO DE ATIVO FÍSICO	8
2.3.1 INDICADORES DE GESTÃO DE FROTA.....	10
2.4 MANUTENÇÃO MECÂNICA	11
2.4.1 MANUTENÇÃO EM UMA FROTA DE ÔNIBUS.....	12
2.4.2 MANUTENÇÃO E ECONOMIA DE COMBUSTÍVEL	13
2.5 MUDANÇA DA FONTE ENÉRGICA	13
2.6 TÓPICOS CONCLUSIVOS	14
3. MÉTODO E MATERIAIS	15
3.1 BASE DE DADOS DA EMPRESA.....	15
3.2 COMPOSIÇÃO DOS CUSTOS.....	17
3.3 PERDA DE EFICIÊNCIA DO MOTOR.....	17
3.3.1 ANÁLISE DA PERDA DE EFICIÊNCIA.....	18
3.3.2 MODELO DE RENOVAÇÃO DE FROTA DE ÔNIBUS POR SÉRIE TEMPORAL.....	20
3.3.3 TESTE PARA VALIDAÇÃO DA SÉRIE TEMPORAL A PARTIR DE REGRESSÃO LINEAR	21
3.4 DEPRECIAÇÃO DO VEÍCULO	24
3.5 CUSTO DE MANUTENÇÃO	25
4. ANÁLISE DOS RESULTADOS	26
4.1 PERDA DE EFICIÊNCIA DO MOTOR – VEÍCULO 7311.....	26
4.1.1 TESTE DE REGRESSÃO LINEAR – VEÍCULO 7311	27
4.2 DEPRECIAÇÃO DO VEÍCULO	30
4.3 CUSTO DE MANUTENÇÃO	30
4.4 CUSTO TOTAL	30

4.5	APLICAÇÃO DO MODELO DE RENOVAÇÃO DE FROTA.....	34
5.	CONCLUSÕES	35
5.1	LIMITAÇÕES DO TRABALHO.....	36
5.2	RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS	36
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37
	APÊNDICE A – GRÁFICOS REFERENTES AOS VEÍCULOS FIGURA 17.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1: Custo de Operação – Veículo 7311.....	31
Tabela 4.2: Custo Veículo 7311 – 1 ano de vida útil	32
Tabela 4.3: Custo Veículo 7311 – 5 anos de vida útil.....	32
Tabela 4.4: Custo Total – Veículo 7311.....	33

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1: Variáveis registradas pela empresa.....	16
Quadro 4.1: Custo de Operação – Veículo 7311.....	31

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Demanda global de energia por ônibus e caminhões.....	14
Figura 3.1 – Base para o <i>dashboard</i>	15
Figura 3.2 – Consumo médio diário total em março/2024.....	16
Figura 3.3 – Exemplo de registro de abastecimento.....	19
Figura 4.1 – Regressão Linear – Veículo 7311.....	26
Figura 4.2 – Relação do resíduo e valor estimado – Veículo 7311.....	28
Figura 4.3 – Relação de resíduo e tempo – Veículo 7311.....	28
Figura 4.4 – <i>QQ Plot</i> – Veículo 7311.....	29
Figura 4.5 – Gráfico ACF – Veículo 7311.....	30
Figura 4.6 – Gráfico de Custos – Veículo 7311.....	33
Figura 4.7 – Relação de Intercepto e Coeficiente Angular.....	34
Figura A.0.1 – Análise Estatística Gráfica – Veículo 1601.....	44
Figura A.0.2 – Análise Estatística Gráfica – Veículo 1602.....	44
Figura A.0.3 – Análise Estatística Gráfica – Veículo 3701.....	45
Figura A.0.4 – Análise Estatística Gráfica – Veículo 3702.....	45
Figura A.0.5 – Análise Estatística Gráfica – Veículo 3703.....	46
Figura A.0.6 – Análise Estatística Gráfica – Veículo 3704.....	46
Figura A.0.7 – Análise Estatística Gráfica – Veículo 3705.....	47
Figura A.0.8 – Análise Estatística Gráfica – Veículo 3706.....	47
Figura A.0.9 – Análise Estatística Gráfica – Veículo 7117.....	48
Figura A.0.10 – Análise Estatística Gráfica – Veículo 7125.....	48
Figura A.0.11 – Análise Estatística Gráfica – Veículo 7133.....	49
Figura A.0.12 – Análise Estatística Gráfica – Veículo 7134.....	49
Figura A.0.13 – Análise Estatística Gráfica – Veículo 7135.....	50
Figura A.0.14 – Análise Estatística Gráfica – Veículo 7302.....	50
Figura A.0.15 – Análise Estatística Gráfica – Veículo 7311.....	51
Figura A.0.16 – Análise Estatística Gráfica – Veículo 7319.....	51
Figura A.0.17 – Análise Estatística Gráfica – Veículo 7320.....	52
Figura A.0.18 – Análise Estatística Gráfica – Veículo 7322.....	52
Figura A.0.19 – Análise Estatística Gráfica – Veículo 7401.....	53
Figura A.0.20 – Análise Estatística Gráfica – Veículo 7532.....	53
Figura A.0.21 – Análise Estatística Gráfica – Veículo 7611.....	54
Figura A.0.22 – Análise Estatística Gráfica – Veículo 7613.....	54
Figura A.0.23 – Análise Estatística Gráfica – Veículo 7614.....	55
Figura A.0.24 – Análise Estatística Gráfica – Veículo 7703.....	55
Figura A.0.25 – Análise Estatística Gráfica – Veículo 7709.....	56
Figura A.0.26 – Análise Estatística Gráfica – Veículo 7712.....	56
Figura A.0.27 – Análise Estatística Gráfica – Veículo 7713.....	57
Figura A.0.28 – Análise Estatística Gráfica – Veículo 7726.....	57
Figura A.0.29 – Análise Estatística Gráfica – Veículo 7733.....	58
Figura A.0.30 – Análise Estatística Gráfica – Veículo 7735.....	58
Figura A.0.31 – Análise Estatística Gráfica – Veículo 7737.....	59
Figura A.0.32 – Análise Estatística Gráfica – Veículo 7741.....	59
Figura A.0.33 – Análise Estatística Gráfica – Veículo 7747.....	60
Figura A.0.34 – Análise Estatística Gráfica – Veículo 7749.....	60
Figura A.0.35 – Análise Estatística Gráfica – Veículo 7752.....	61

Figura A.0.36 – Análise Estatística Gráfica – Veículo 7754.....	61
Figura A.0.37 – Análise Estatística Gráfica – Veículo 7755.....	62
Figura A.0.38 – Análise Estatística Gráfica – Veículo 7756.....	62
Figura A.0.39 – Análise Estatística Gráfica – Veículo 7758.....	63
Figura A.0.40 – Análise Estatística Gráfica – Veículo 7759.....	63

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIações

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACF	Função de Autocorrelação (<i>Auto Correlation Function</i>)
ANTT	Agência Nacional de Transporte Terrestre
CNT	Confederação Nacional de Transporte
CO ₂	Dióxido de Carbono
DNER	Departamento Nacional de Estradas e Rodagem
ESMAP	Programa de Assistência à Gestão do Setor Energético
FIPE	Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas
KM	Quilômetro
NBR	Norma Brasileira
NTU	Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos
PIB	Produto Interno Bruto
QQ <i>Plot</i>	Gráfico Quartil-Quartil
ROI	Retorno sobre Investimento
TRIIP	Transporte Rodoviário Interestadual e Internacional de Passageiros
TRIP	Transporte Rodoviário Interestadual de Passageiros

1. INTRODUÇÃO

A malha rodoviária brasileira desempenha um papel fundamental no funcionamento eficiente do país, interligando regiões geográficas vastas e conectando centros urbanos a áreas remotas. A sua importância é inquestionável, uma vez que a grande maioria das mercadorias e passageiros é transportada por estradas. Além disso, é notável seu impacto para o desenvolvimento econômico e social do Brasil, haja vista as dimensões continentais do país. No entanto, um dos principais desafios enfrentados pelas empresas de transporte rodoviário é o custo operacional, especialmente o gasto significativo com combustível diesel e que acaba sendo encarecendo o preço que chega ao consumidor (ANPTRLHOS, 2022).

Em 2022, de acordo com o Anuário Estatístico TRIIP 2022 da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) no serviço de transporte regular rodoviário, foram transportados aproximadamente 21 milhões de passageiros. Ao todo, foram registradas 4.095 linhas de operadas, por mais de 200 empresas (ANTT, 2023). De acordo com dados da Confederação Nacional de Transporte (CNT, 2023), o Brasil possui uma das maiores malhas rodoviárias do mundo, totalizando aproximadamente 1,7 milhão de quilômetros de estradas. A diversidade geográfica e social do país demanda um sistema de transporte rodoviário robusto e eficiente para atender às necessidades logísticas e de mobilidade da população.

Em 2022, o modo rodoviário foi responsável pela movimentação de 21 milhões de passageiros, tendo uma demanda total de 21% de movimentação total, considerando os modos ferroviário e aeroviário (BRASIL, 2023). Durante a pandemia do COVID-19, houve uma queda acentuada nas operações, dada as restrições sanitárias, caindo de 40,5 milhões de passageiros transportados para 17,3 milhões (ANTT, 2023). A partir de 2022, iniciou-se uma certa recuperação dos serviços rodoviários.

O setor de ônibus brasileiro emprega cerca de 140 mil pessoas em toda sua cadeia e, a cada mês, cerca de 2,4 milhões de pessoas utilizam o transporte rodoviário interestadual para suas viagens. Trabalho e lazer são os principais motivos pelos quais os brasileiros embarcam em um ônibus, um serviço que foi modernizado com vendas de passagens online, maior concorrência e veículos com mais recursos de segurança. Estima-se que existam 348 empresas autorizadas a fazer transporte interestadual, mas, efetivamente, existem 215 empresas ativas, tornando o

negócio de transporte rodoviário muito competitivo (SARAGIOTTO, 2023).

De acordo com a Resolução nº 4.770/2015 da ANTT, os ônibus rodoviários devem operar com idade máxima de 20 anos. No Brasil, com um total de 8.980 ônibus registrados, o perfil da frota do serviço rodoviário varia sendo dividido em: 1 a 5 anos, com 48,3%; 6 a 10, com 30,5%; 11 a 15 anos, com 17,6%; e 16 a 20, com 3,6% (ANTT, 2023).

Dentro desse contexto, se faz necessário acompanhar a eficiência operacional de cada ônibus utilizados pelas empresas. Ao longo do tempo, a partir do desgaste mecânico, o motor diminui rendimento e tem maior exigência de manutenção. De forma consequente, com um menor rendimento, há maior demanda de combustível, sendo este um dos principais custos das empresas de transporte (ARRUDA, 2014; VALENTE, 2011).

Os custos, de forma geral, podem ser calculados e possibilita a realização de projeções para controle estratégico da empresa. Porém, o custo com combustível é mais complexo de se calcular dada a sua dependência com o preço do petróleo e variação do câmbio.

Para Valente (2011), há grande exigência de uma gestão de frota robusta por parte das empresas de transporte. Os custos com manutenção, a perda de eficiência do motor e a variação do preço do combustível, por exemplo, impendem a maximização da eficiência dos recursos disponíveis pela empresa. Nessa perspectiva, as empresas possuem o desafio gerencial, com o objetivo de diminuir os custos com os veículos e ao mesmo tempo melhorar o serviço prestado através do gerenciamento dos seus recursos (FILHO *et al.*, 2015).

1.1 DEFINIÇÃO E DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA

As empresas de ônibus no Brasil, de forma geral, lidam com grandes desafios, no que diz respeito à burocracia de atendimento de normas e custos logísticos. Somado a estes fatores, a falta de uma gestão organizacional adequada pode trazer prejuízos econômicos e levar a empresa a falência (MÁRIO & CARVALHO, 2007)

A partir dessa realidade, foi apresentada a uma empresa de ônibus a possibilidade de identificar uma forma adequada para diminuir os custos referentes a obsolescência inerente à utilização

dos ônibus, que pode variar de acordo com a demanda da empresa, rotas utilizadas, quantidade de ônibus, qualidade e controle de manutenção.

O problema deste trabalho se encontra na estrutura operacional da empresa, que não possui uma diretriz estruturada para renovação da frota. A partir deste problema, este trabalho propõe um modelo para renovação de frota, a partir das informações operacionais registradas em banco de dados do *Power Business Intelligence, software* da empresa Microsoft. Além disso, foi necessário contato direto com a empresa para informações específicas, como tempo de operação de determinado ônibus, mudanças organizacionais que pudessem interferir nos dados, e custo de compra dos ônibus.

1.2 OBJETIVOS

Esta seção descreve o objetivo geral e os objetivos específicos desta dissertação.

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é desenvolver um modelo de renovação de frota a partir dos custos de manutenção, a perda de eficiência do motor e a perda por depreciação do veículo, fazendo uso de dados reais de uma empresa interestadual de ônibus.

1.2.2 Objetivos específicos

- Identificar o melhor momento temporal para adquirir um novo ônibus.
- Propor um modelo para renovação da frota da empresa, embasada na composição dos custos.

1.3 JUSTIFICATIVA

A ausência de uma gestão operacional eficaz nas empresas de transporte no Brasil tem sido uma preocupação recorrente. É necessário implementar uma estratégia de manutenção eficiente para assegurar a viabilidade do sistema (WANG *et al.*, 2020). A falta de controle adequado sobre variáveis críticas, como manutenção preventiva e monitoramento da eficiência do motor, resulta

em uma alta incidência de quebras inesperadas e períodos de inatividade prolongados. Além disso, a perda de eficiência operacional devido à falta de um modelo de gestão estruturado contribui para um aumento significativo nos custos de operação, comprometendo a viabilidade financeira das empresas e sua capacidade de investir em melhorias e expansão. Esta realidade ressalta a urgência de desenvolver e implementar estratégias eficazes de gestão de frota que abordem esses desafios de forma sistemática e proativa, de forma sustentável e eficiente.

Além de garantir a operação fluida da frota, a implementação de um modelo de renovação também apresenta benefícios financeiros significativos. Essa abordagem pró-ativa resulta em uma diminuição dos gastos operacionais a longo prazo, ao mesmo tempo em que aumenta a eficiência operacional. Com uma gestão de frota bem-sucedida, as empresas de transporte podem alcançar uma maior rentabilidade, direcionando recursos anteriormente destinados a reparos emergenciais para investimentos estratégicos que impulsionam o crescimento e a expansão dos negócios.

Por fim, a importância de um modelo de renovação de frota eficaz transcende os benefícios financeiros diretos, impactando positivamente a qualidade do serviço prestado e a satisfação do cliente. Ao garantir que os ônibus estejam operando de maneira confiável e eficiente, as empresas de transporte podem melhorar a experiência do passageiro, aumentando a fidelidade e a confiança do público em seus serviços. Além disso, uma frota bem gerida pode adaptar-se de forma mais ágil às demandas sazonais e às mudanças nas condições operacionais, garantindo que as necessidades da comunidade sejam atendidas de forma eficaz e oportuna.

2. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

O presente capítulo teve como objetivo apresentar o Transporte Rodoviário Interestadual de Passageiros (TRIP), onde se encontra o tipo de atividade exercida pela empresa de estudo. A revisão da literatura tem como objetivo situar o problema, contribuindo para o desenvolvimento da abordagem proposta e para a compreensão da aplicação da pesquisa.

2.1 TRANSPORTE RODOVIÁRIO INTERESTADUAL DE PASSAGEIROS (TRIP)

O transporte rodoviário interestadual de passageiros (TRIP) é uma atividade econômico-social fundamental que tem função de ligar as inúmeras cidades do Brasil, facilitando a mobilidade de milhões de pessoas anualmente. Regulado pela Lei nº 10.233/2001, o TRIP inclui uma variedade de serviços como o transporte regular interestadual e internacional, fretamento contínuo e eventual ou turístico, além de serviços acessório e emergencial. Complementando esses, existem ainda os serviços complementar e diferenciado, previstos em decretos específicos (BRASIL, 1993; BRASIL, 1998; BRASIL, 2001).

Em termos regulamentares e operacionais, o TRIP é classificado em oito categorias de serviços, baseadas no modelo de ônibus utilizado. Essas categorias incluem o semiurbano, convencional sem sanitário, convencional com sanitário, executivo, semileito, misto (*double-decker*), leito sem ar condicionado e leito com ar condicionado. Para facilitar a compreensão, essas categorias podem ser agrupadas em três classes principais: semiurbano, convencional e diferenciado (BRASIL, 2001). Cada classe oferece distintos níveis de conforto e serviços, adaptando-se às especificidades das viagens e às expectativas dos passageiros. Permitem uma oferta de serviços diversificados que promovem a competitividade e a qualidade do transporte rodoviário interestadual no Brasil.

Esta diversidade de serviços busca atender as variadas demandas de transporte, desde deslocamentos diários e rotineiros até viagens esporádicas e turísticas, garantindo que diferentes necessidades dos passageiros sejam contempladas de maneira eficiente e segura. Ao todo, em 2022, foram transportados mais de 21 milhões de passageiros, em aproximadamente 4 mil linhas (ANTT, 2023).

2.1.1 Regulação do serviço de TRIP

De acordo com a Constituição Federal de 1988, em seu Artigo 21, inciso XII (BRASIL, 1988), compete à União “explorar, diretamente ou mediante autorização, concessão ou permissão: e) os serviços de transporte rodoviário interestadual e internacional de passageiros”. Desde sua criação, em 2001, a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) é responsável pela regulação, supervisão e fiscalização do TRIP, pela Lei 10.233/2001 (BRASIL, 2001). Cabe a ela fiscalizar e celebrar os contratos referentes a prestação de serviço de TRIP junto as empresas privadas.

A ANTT foi fruto da busca de desestatização no Brasil, que começou a ocorrer na década de 90, criando agências reguladoras. Desde então, têm sido amplamente discutidas pela literatura as temáticas de eficiência e produtividade. O objetivo volta para a necessidade do Estado de oferecer condições favoráveis que estimulem as empresas a buscarem aumento de eficiência econômica, especificamente alocativa e a produtiva (ARAÚJO *et al.*, 2008).

O desenvolvimento do processo regulatório de TRIP começou em 1971, com a atribuição do serviço para o Departamento Nacional de Estradas e Rodagem (DNER) de o planejamento, a concessão, a autorização e a fiscalização dos serviços de TRIP (BRASIL, 1971). Até os dias atuais, o setor busca maior regulamentar e ao mesmo tempo estimular o transporte rodoviário nacional, tendo como o novo marco regulatório, que entrou em vigor em fevereiro de 2024 (RORIZ, 2024). Como cita Aragão *et al.* (2000) o desenho regulatório “é um processo cíclico, uma vez que a regulação, ao impor ao mercado uma nova realidade, transforma-o, cria novas situações e outras situações são criadas independente da regulação, assim, após algum tempo, a regulamentação haverá de ser revista”.

Martins (2007) apresentou a realidade e complexidade do sistema rodoviário brasileiro. Dada a extensão geográfica do Brasil e a quantidade de cidades a serem atendidas, 90% das linhas são operadas por apenas uma empresa. Porém, independente de toda a complexidade normativa do setor, é importante manter o monitoramento e o controle das empresas privadas que realizam o serviço de TRIP, a fim de que a promoção da competitividade leve a melhores serviços, bem como evitar a competição ruinosa (MARTINS *et al.*, 2005a; RIBEIRO & ROCHA, 2021).

2.2 SERVIÇOS DE TRIP

A exploração da atividade de TRIP abrange diversos serviços, conforme estabelecido pela Lei n.º 10.233/2001 (BRASIL, 2001). A heterogeneidade dos serviços oferecidos pelas empresas de TRIP é uma indicação do grau de diferenciação na oferta, sendo os serviços complementares e diferenciados particularmente importantes para atender à demanda de forma flexível e eficiente (BRASIL, 1985; BRASIL, 1998).

A diversidade dos serviços oferecidos pelas empresas de TRIP, como viagens diretas, semidiretas e em diferentes categorias de conforto, reflete a necessidade de atender a variadas demandas dos usuários. A legislação prevê oito categorias de serviços de TRIP, possibilitando às empresas oferecerem serviços que melhor se adaptem às necessidades dos passageiros (BRASIL, 1985). Essa diversidade é essencial para promover a competitividade no setor, pois permite que as empresas diferenciem seus serviços com base em, por exemplo, qualidade, conforto e eficiência, garantindo maior flexibilidade e competitividade entre as empresas (ARRUDA *et al.*, 2012).

A renovação e a manutenção da frota são aspectos críticos para as empresas de TRIP, dadas as exigências de segurança e eficiência operativa. O desgaste natural e o uso intensivo dos veículos aumentam os custos de manutenção com o tempo, e a substituição periódica dos ônibus é necessária para garantir a continuidade dos serviços de alta qualidade, como foi explorado pelo estudo de Jin & Kite-Powell (2000).

A decisão sobre a aquisição de novos veículos envolve uma análise cuidadosa dos custos de depreciação, financeiros e de manutenção (VALENTE, 2011; BARAT, 2007). Além disso, a escolha dos modelos de chassis e carrocerias, fabricados por marcas como Mercedes-Benz, Scania, Volvo e Volkswagen, é influenciada pelas características das linhas operadas e pelas preferências dos usuários, assegurando que a frota atenda às necessidades específicas de cada mercado atendido (BRASILEIRO & HENRY, 2003).

A gestão eficaz de frotas é fundamental para as empresas de TRIP manterem a qualidade do serviço e a competitividade. Essa gestão envolve monitoramento constante e manutenção regular dos veículos para evitar interrupções nos serviços e minimizar os custos operacionais.

Empresas bem-sucedidas no setor reconhecem a importância de um planejamento estratégico para a renovação da frota, levando em conta a vida útil dos veículos, os custos associados à manutenção e a necessidade de oferecer veículos modernos e confortáveis aos passageiros (VALENTE, 2011).

2.3 GESTÃO DE ATIVO FÍSICO

Segundo a Norma ABNT NBR ISO 55000 (2014), um ativo é “um item, algo ou entidade que tem valor real ou potencial para uma organização”. Os veículos, por exemplo, são considerados ativos físicos, pois são recursos tangíveis e necessários para as operações das empresas. Segundo Ataulo (2013), o ativo é aquilo que possui valor significativo à cadeia produtiva e ao negócio, onde se faz necessário desenvolver meios coordenados para equilibrar custos, riscos e desempenho.

O conceito de gestão de ativos tem evoluído ao longo do tempo, incorporando diferentes perspectivas sobre o que constitui um ativo e como ele deve ser gerenciado dentro das organizações. De acordo com Wijnia & De Croon (2015), a gestão de ativos envolve um enfoque sistemático para a operação, manutenção, renovação e descarte de ativos físicos de maneira eficiente e sustentável. Eles destacam que a gestão de ativos é de grande importância para assegurar que os ativos gerem valor ao longo de sua vida útil.

Kelly & Harris (1978) foram pioneiros na conceitualização de ativos dentro do contexto de manutenção industrial, enfatizando que os ativos não são apenas recursos físicos, mas também representam o valor que podem gerar para a organização. Eles argumentaram que a manutenção eficaz é um componente crítico da gestão de ativos, pois a falha em manter os ativos pode resultar em perdas significativas de valor e eficiência operacional.

Raposo (2017) faz reflexões relevantes sobre gestão de ativos físicos no setor de transporte, uma área que ainda necessita de maior sistematização e desenvolvimento de novos modelos que possam trazer benefícios relevantes às empresas, sendo tratado um fator estratégico. Esse estudo evidencia a importância de políticas bem estruturadas de avaliação e substituição da frota, destacando que a eficiência no uso dos ativos está diretamente ligada a esses processos.

Em empresas do setor de transportes rodoviários, o uso eficiente dos ativos está vinculado a uma política bem estruturada de avaliação e substituição da frota. Alguns casos de substituição da frota aplicados ao segmento de ônibus urbanos são reportados em diversos estudos, como os de Pinar & Hartman (2004), Khasnabis *et al.* (2002), Di & Hauke (2000), Francis *et al.* (2000), Beichelt (2001), Wijaya *et al.* (2012) e Raposo *et al.* (2014). Esses trabalhos exemplificam a aplicação prática de modelos de substituição, sublinhando, em geral, a importância de uma gestão de renovação da frota para a eficiência operacional das empresas de transporte.

Determinar o momento ideal para a renovação da frota é essencial para evitar gastos excessivos e prejuízos potenciais, refletindo-se em toda a administração da empresa. Feldens *et al.* (2010) ilustram que o uso eficiente dos ativos fixos, como veículos de transporte urbano, é um dos principais objetivos na gestão de empresas desse setor. A implementação de políticas eficazes para a avaliação e substituição da frota é fundamental para manter a competitividade e a sustentabilidade das operações de transporte. Assim, a gestão de frota e a substituição estratégica de veículos são elementos-chave para garantir serviços de transporte de alta qualidade, eficientes e economicamente viáveis.

Segundo Valente (2011), com o passar do tempo, o rendimento de uma frota – medido em termos de peso transportado por distância percorrida em um determinado período – tende a diminuir, enquanto as despesas com manutenção aumentam. Isso significa que os veículos que ficam parados deixam de gerar receita. Pozo (2015) também destaca que, além das despesas elevadas e do rendimento baixo, a má gestão das atividades de manutenção pode resultar em perdas na confiabilidade do equipamento, insegurança para o operador e insatisfação dos clientes, tornando o desempenho do veículo incerto e acarretando vários prejuízos.

Os veículos são substituídos devido ao desgaste natural e uso intensivo, e conforme aumenta a vida útil, também aumentam os custos de manutenção (VALENTE, 2011). Para determinar o período ideal de substituição dos veículos, é necessário considerar três tipos de custos: depreciação, financeiro e de manutenção. O custo de depreciação refere-se à desvalorização do veículo ao longo do tempo. O custo financeiro envolve o desembolso do valor investido em um veículo que poderia ser aplicado em outro investimento. Já o custo de manutenção relaciona o valor do veículo novo com as suas despesas de manutenção ao longo do tempo (BARAT, 2007).

2.3.1 Indicadores de Gestão de Frota

Segundo Alsyouf (2006), a medição de desempenho de manutenção está diretamente relacionada com os objetivos estratégicos da empresa. Implementar estratégias eficazes de manutenção pode melhorar significativamente o retorno sobre investimento (ROI) e reduzir perdas decorrentes de falhas e ineficiências na manutenção. A coleta e análise de dados de desempenho de manutenção, como a efetividade geral do equipamento, custos de manutenção e tempo de inatividade, são fundamentais para identificar precocemente desvios e resolver problemas antes que se agravem. Através do monitoramento contínuo desses indicadores, as empresas podem realizar melhorias contínuas e econômicas em seus processos de manutenção.

Raposo (2017) exemplificou alguns indicadores que podem ser utilizados pelas empresas para gestão de manutenção:

i) Indicadores de atividade

- Número de intervenções por tipo de manutenção;
- Grau de cumprimento dos planos de manutenção preventiva;
- Percentagem de Manutenção Preventiva versus Corretiva.

ii) Indicadores de eficácia

- Fiabilidade (*Mean Time Between Failures - MTBF*);
- Manutibilidade (*Mean Time To Repair - MTTR*);
- Disponibilidade.

iii) Indicadores financeiros

- Custo de reparação de avarias;
- Custo de manutenção por equipamento/autocarro;
- Custo/Km ou Hora do equipamento/autocarro;
- Custo da manutenção subcontratada.
- ROI do equipamento/autocarro.

Além destes indicadores, é necessário acompanhar as variáveis que influenciam o consumo de combustível, que interferem no desempenho dos ônibus e, conseqüentemente, a eficiência operacional das empresas de transporte. Oliveira & Filho (2004) destacam que a velocidade média é um dos principais determinantes do consumo de combustível, mas outras variáveis

como tecnologia, idade da frota, congestionamento e carregamento também desempenham papéis significativos. O Programa de Assistência à Gestão do Setor Energético (*Energy Sector Management Assistance Program*) acrescenta que as políticas organizacionais são fatores que conduzem a busca de uma empresa mais eficiente como um todo (ESMAP, 2011).

Analisar esta variável é importante, pois o custo elevado com combustível é uma das principais despesas operacionais das empresas de transporte, superando até mesmo a folha de pagamento (ARRUDA, 2014). Para controlar esses custos crescentes, as empresas precisam adotar ferramentas e técnicas eficazes que possibilitem a redução do consumo de combustível. Isso não apenas aumenta a competitividade, mas também é uma questão de sobrevivência no mercado atual.

2.4 MANUTENÇÃO MECÂNICA

O custo com manutenção é um dos principais custos de uma companhia de transporte, juntamente aos custos com pessoal e combustível. Para qualquer tipo de gestão de frota, é necessário delinear um planejamento operacional, a fim de que haja uma eficiente política de manutenção, bem como a ótimas tomadas de decisão, com o objetivo de diminuir os custos e aumentar o tempo de uso da frota (MACIÁN *et al.*, 2019; ŠKERLIČ & SOKOLOVSKIJ, 2020).

A manutenção se justifica de acordo com o tempo de uso do veículo, seja por data ou por quilometragem rodada. A depender do tipo de motor e da exigência da atividade realizada, a periodização de manutenção pode variar, aumentando os custos da empresa. Ainda, caso as manutenções não sejam feitas de forma eficiente, os custos com troca podem ser grandes, bem como a diminuição da vida útil do veículo.

De acordo com a NBR 5462 de 1994, as manutenções podem ser divididas em:

- i) Manutenção Preventiva: Ações periódicas com base no tempo ou ciclo de operação, substituindo peças, sem que seja necessário avaliá-las.
- ii) Manutenção Preditiva: Inspeção realizada a partir de testes, que tem como objetivo diminuir custos, a partir da identificação prévia de determinado sistema ou peça que necessita

de revisão ou troca, sem que haja retirada do equipamento em operação, bem como evitar algum defeito que pudesse gerar um custo imprevisto. Parâmetros como temperatura, pressão, nível, vibração, concentração de partículas no óleo, ruídos são analisados. Com a manutenção preventiva, é possível utilizar o equipamento com maior eficiência (ALMEIDA & ROCCA, 2021).

iii) Manutenção corretiva: Ação reativa a alguma falha que impossibilitou a continuidade de determinada operação, em que o equipamento precisa ser retirado para realização da manutenção, aumentando custos, tanto de peça quanto de produtividade. Ocorre de forma emergencial (DHILLON, 2002).

2.4.1 Manutenção em uma frota de ônibus

O tratamento da manutenção varia de acordo com a especificidade do equipamento e do fim de determinada operação. Diferentemente de um equipamento de linha industrial, um veículo, ou mais especificamente um ônibus interestadual, necessita de uma abordagem diferente, pois sua vida útil e necessidade de manutenção é mais complexo, que variam de acordo com as características e necessidades da empresa (PAKE *et al.*, 1985).

Os custos de manutenção podem chegar a 21% das despesas operacionais, o que o torna um dos custos mais altos da categoria. Além disso, quanto maior a quantidade da frota, maior será o custo (PURDY & WIEGMANN, 1987). De forma individual, para que se tenha uma base de cálculo, pode ser considerado que, no primeiro ano, o custo de manutenção é de 1,5% do valor do veículo no primeiro ano, com um aumento de 12,5% para os anos seguintes (FIGUEIREDO, 2020).

A gestão da frota de ônibus não está relacionada apenas com a escolha da melhor rota e programação do uso da frota, mas especialmente com a eficiência de cada veículo, que se relaciona com economia de combustível, disponibilidade, eficiência operacional e gestão da vida útil (BANCO MUNDIAL, 2011; BIVONA & MONTEMAGGIORE, 2010; ZHOU *et al.*, 2011; OSMAN *et al.*, 2013; VAUGHAN *et al.*, 2017).

A manutenção não pode ser composta apenas pelos ônibus que se encontram na frota ou os que

foram recém-adquiridos, mas se encontra dentro de uma relação organizacional, que de acordo com o Banco Mundial (2011), foi dividido em cinco níveis: gestão organizacional, coleta e análise de dados, manutenção e reparo do veículo, motorista dos veículos e comunicação com empregados e bonificações.

2.4.2 Manutenção e economia de combustível

A manutenção pode influenciar diretamente a eficiência do motor. Quando é identificado uma situação de baixa economia de combustível, é necessário desenvolver um plano para corrigir o problema e retornar aos padrões de performance. A partir de sistemas de *software*, é possível acompanhar a situação de eficiência energética dos ônibus e adequar a necessidade de manutenção por este parâmetro. Verificar a presença de erros é fundamental para um sistema robusto de controle. Mas para isso é necessário ter uma equipe que acompanhe adequadamente a coleta e a análise dos dados.

A forma mais simples de controle é registrar, diariamente, todos os abastecimentos realizados pela empresa, tendo as variáveis: Data/hora, Registro do veículo, Registro da rota, Registro do motorista, valor de entrada do hodômetro, valor de saída do hodômetro e quantidade de combustível abastecido (BANCO MUNDIAL, 2011). Nesse caso, é possível utilizar o método de regressão usado por Ang & Deng (1990) que avalia a relação de manutenção/quilometragem e eficiência de combustível.

2.5 MUDANÇA DA FONTE ENÉRGICA

Com as mudanças climáticas, as comissões mundiais têm buscado meios para diminuir a emissão de dióxido de carbono (CO₂). Uma dessas medidas é a emissão nula de novos ônibus a partir de 2030, proposta pela Comissão Europeia (2023), com o objetivo de alcançar 90% de redução de emissão de CO₂ até 2040. Porém, atualmente há uma grande quantidade de veículos pesados que utilizam combustível fóssil, que possui como principal subproduto o CO₂ (FIGURA 2.1).

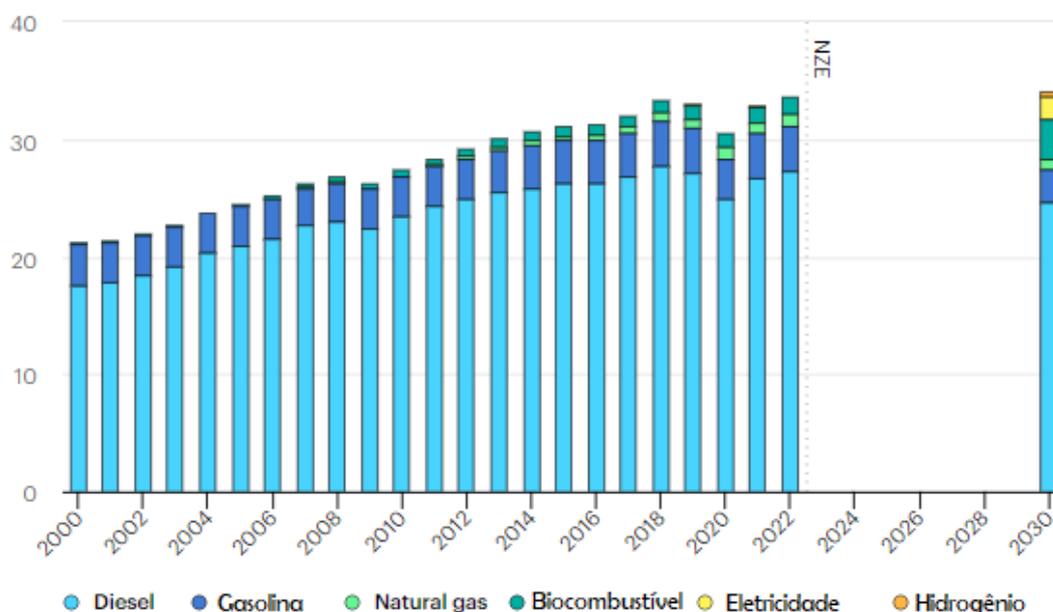


Figura 2.1: Demanda global de energia por ônibus e caminhões (Cenário de Zero Emissão)
 Fonte: *International Energy Agency* (2024).

Para que as medidas sejam alcançadas, é necessário alterar toda a cadeia logística de produção desse tipo de veículo. As mudanças precisam ser drásticas para que as exigências sejam acompanhadas de uma renovação de frota e de sistematização de abastecimento. Porém, ao longo dos próximos anos, a demanda operacional de veículos a diesel ainda será constante, dada a complexidade exigida para que a infraestrutura tecnológica de indústrias de veículos e de produção de energia limpa ocorra de forma economicamente sustentável (MURATORI *et al.*, 2023).

2.6 TÓPICOS CONCLUSIVOS

O transporte rodoviário interestadual de passageiros (TRIP) envolve viagens mais longas, menores frequências e maior valor agregado por passagem, operando com maior autonomia regulatória e ajustando preços conforme a demanda, resultando em margens de lucro potencialmente maiores. As empresas investem em conforto e segurança, e a lucratividade é robusta em rotas de alta demanda. Para o gestor público, a prioridade é garantir a segurança e qualidade dos serviços, incentivando a renovação da frota e melhorias nas rodovias, com regulação tarifária menos intensa, permitindo que as forças de mercado determinem os preços. Assim, enquanto o transporte urbano exige intervenção direta para acessibilidade e eficiência, o transporte interestadual é orientado pelo mercado, focando em conforto e segurança.

3. MÉTODO E MATERIAIS

Este capítulo apresenta a caracterização dos dados e como foram coletados para elaboração deste trabalho. As informações foram retiradas a partir do banco de dados da empresa Alfa LTDA. O nome da empresa é fictício, a fim de preservar a identidade da empresa. Porém todos os dados são reais.

3.1 BASE DE DADOS DA EMPRESA

A empresa Alfa LTDA. (nome fantasia da empresa) atende atualmente mais de 400 cidades no Brasil. Ao todo, em 2023, percorreu 7 milhões de quilômetros e atendeu mais de 500 mil clientes. No momento, a empresa possui em sua frota 159 ônibus operantes. Os ônibus possuem linhas especialmente na região centro-sul, como São Paulo, Minas Gerais, e alcança até a região norte, como Belém.

Desde o ano de 2019, iniciou a tabulação dos dados por meio do *software Power Business Intelligence*. Por meio desta ferramenta, é possível apresentar informações por meio de dashboards e facilitar a visualização das variáveis mais relevantes (FIGURA 3.1). O dashboard tem como base conjuntos de dados de diversas plataformas, que criam relatórios e, por fim, é apresentando uma tela de forma eficiente, contendo as principais informações da empresa, por meio principalmente de gráficos.

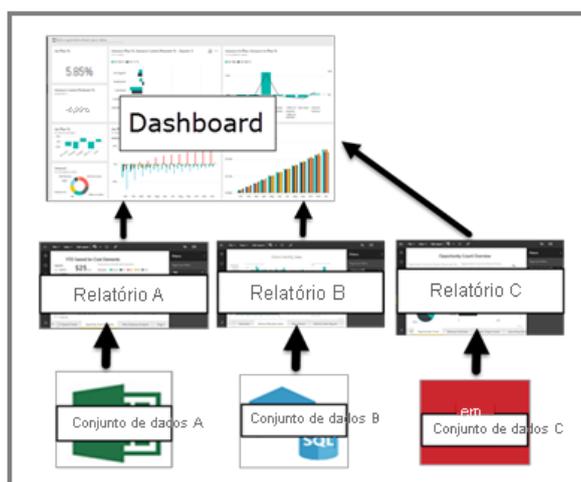


Figura 3.1: Base para o *dashboard* – *Microsoft Power BI*
Fonte: Microsoft (2023).

Para exemplificar como os dados são apresentados para a empresa, a Figura 3.2 apresenta o consumo médio diário da empresa em quilômetros por litro (Km/L) ao longo do mês de março de 2024. Este indicador é registrado a partir dos abastecimentos que ocorrem para cada ônibus. Ele é realizado pelo próprio motorista do veículo, que o registra dentro do sistema. As informações registradas estão listadas no Quadro 3.1.

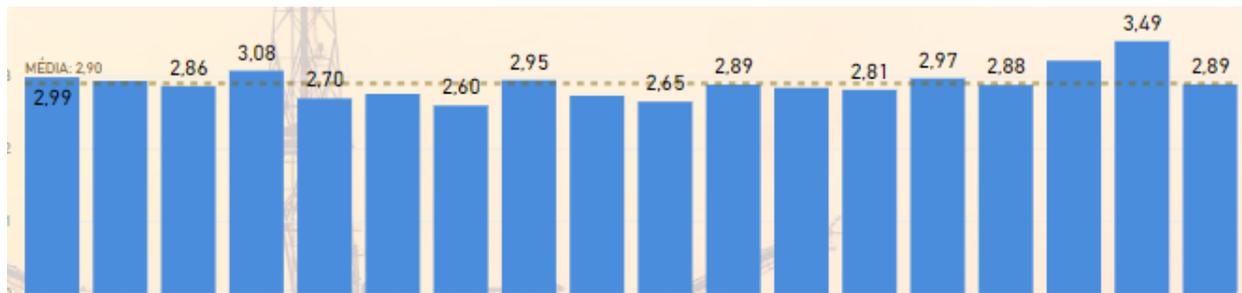


Figura 3.2: Consumo médio diário total em março/2024

Quadro 3.1: Variáveis registradas pela empresa

Variáveis	Unidades
Número do veículo	n
Data e horário do abastecimento	dd/mm/aaaa e hh:mm
Hodômetro inicial e final	Km
Quilômetro acumulado pelo veículo	Km
Local onde ocorreu o abastecimento	Cidade e Garagem
Litros na distância percorrida	Litros
distância percorrida (diferença entre a quilometragem do hodômetro inicial e final)	Km
Consumo do veículo dentro do trecho percorrido	Km/Litros
Valor abastecido	R\$
Preço médio por litro	R\$

Dentro do Ciclo de Análise de Dados, os dados já foram coletados pela empresa. O método nessa fase foi processar e analisar estatisticamente os dados, a fim de, posteriormente, criar um modelo para renovação de frota, que é o objetivo principal deste trabalho.

3.2 COMPOSIÇÃO DOS CUSTOS

Após a análise dos dados, foi elaborada um modelo de custos para analisar os custos e perdas do veículo ao longo do tempo. Esse trabalho teve como base:

- i) a perda de eficiência do motor, no que diz respeito a uma diminuição do consumo médio individual;
- ii) a depreciação do veículo ao longo do tempo e;
- iii) a variação do custo de manutenção, que aumenta anualmente.

3.3 PERDA DE EFICIÊNCIA DO MOTOR

Ao longo do tempo, o motor tende a variar o consumo de combustível por questões que são inerentes ao uso, bem como variáveis mais complexas, como poluição, tipo de via utilizada, a forma de pilotagem do condutor do veículo. Neste caso, a realização adequada da manutenção preventiva e corretiva emerge como um fator crítico na preservação da eficiência do motor de ônibus ao longo do tempo. Procedimentos preventivos, como a troca periódica de óleo, inspeção e substituição de filtros de ar e combustível, e ajustes de válvulas, são imperativos para mitigar o desgaste prematuro dos componentes do motor. Além disso, a intervenção corretiva oportuna é essencial para evitar danos irreversíveis, os quais poderiam comprometer a eficácia energética do motor.

Outro fator que interfere diretamente na variação da manutenção advém da fricção interna do motor, que constitui um dos principais determinantes na degradação da eficiência ao longo do tempo. A interação entre os elementos móveis do motor, como pistões, anéis de pistão, virabrequim e bielas, induz calor e desperdício de energia. O desgaste progressivo destes componentes, resultante da fricção, pode ocasionar aumento das folgas entre as peças, comprometendo a vedação adequada dos cilindros, reduzindo a compressão e, por conseguinte, elevando o consumo de combustível. Ademais, a contaminação do lubrificante por partículas metálicas, decorrentes do desgaste, potencializa a fricção entre as superfícies móveis, intensificando a perda de eficiência energética.

3.3.1 Análise da perda de eficiência

A análise do consumo do veículo ao longo do tempo, mediante a utilização de bases de dados, representa uma abordagem fundamental para compreender o comportamento operacional e a eficiência energética de uma frota de ônibus. A partir da coleta sistemática e da análise minuciosa de dados relacionados ao consumo de combustível, é possível obter insights valiosos sobre os padrões de uso, o desempenho do veículo e a eficácia das estratégias de manutenção e gestão adotadas.

A disponibilidade de dados detalhados, abrangendo diferentes períodos de tempo, permite identificar tendências significativas e variações sazonais no consumo de combustível. Essa análise longitudinal viabiliza a detecção de padrões de consumo anômalos, possibilitando a investigação de potenciais causas, como variações nas condições de operação, problemas mecânicos ou deficiências na manutenção. Além disso, a comparação do consumo entre diferentes veículos na frota ou entre diferentes rotas e horários de operação pode fornecer insights adicionais sobre a eficiência relativa e oportunidades de otimização.

Para evitar que os dados tenham influências na análise geral, foram excluídos *outliers* de consumo médio abaixo de 1 quilômetro por litro e acima de 6 quilômetros por litro. Esta decisão foi tomada em virtude de estudos terem demonstrado que o consumo médio de um ônibus interestadual é em torno de 2,5 quilômetro por litro (COPPTEC, 2016). A partir da Figura 3.3, é possível verificar como os dados são registrados e como se obtém as informações de consumo médio.

No exemplo, cada linha da figura é um registro de abastecimento de um ônibus. Nesta linha, há informação da data do registro, o horário que ocorreu o abastecimento, o registro da quilometragem antes e depois do abastecimento (hodômetro), litros abastecidos, a diferença entre a contagem no hodômetro inicial e final (quilômetros percorridos desde o último abastecimento) e o consumo médio durante aquele período, dada a divisão entre os quilômetros percorridos e a quantidade de litros abastecidos.

DATA	HORA	HODOMETRO INICIAL	HODOMETRO FINAL	KM ACUMULADO	LITROS	PERC.	KM/L
01/01/2023	08:30:00	1.243.053,00	1.244.033,00	1.242.103,98	269	980	3,64
01/01/2023	15:45:00	444.584,00	444.834,00	444.568,22	70	250	3,57
01/01/2023	11:27:00	802.869,00	803.692,00	805.937,00	313	823	2,63
01/01/2023	13:00:00	398.394,00	399.405,00	235.388,00	300	1.011	3,37
01/01/2023	18:13:00	116.184,00	116.738,00	116.738,00	163	554	3,40
01/01/2023	19:20:00	122.600,00	122.978,00	122.978,00	108	378	3,50
01/01/2023	09:00:00	126.476,00	127.006,00	127.006,00	206	530	2,57
01/01/2023	23:25:00	104.619,00	105.177,00	105.177,00	178	558	3,13
01/01/2023	00:10:00	119.445,00	120.362,00	120.362,00	252	917	3,64
01/01/2023	21:07:00	120.362,00	121.535,00	121.535,00	370	1.173	3,17
01/01/2023	08:30:00	106.778,00	107.139,00	107.139,00	330	361	1,09
01/01/2023	00:27:00	104.274,00	105.165,00	105.165,00	264	891	3,38
01/01/2023	07:16:00	108.696,00	109.701,00	109.701,00	305	1.005	3,29
01/01/2023	02:52:00	111.737,00	112.913,00	112.913,00	324	1.176	3,63
01/01/2023	09:20:00	103.159,00	104.227,00	104.227,00	349	1.068	3,06
01/01/2023	04:47:00	118.623,00	119.073,00	119.073,00	100	450	4,50
01/01/2023	20:10:00	119.073,00	119.994,00	119.994,00	329	921	2,80

Figura 3.3: Exemplo de registro de abastecimento

Fonte: Base de dados da empresa Alfa LTDA.

Além da exclusão de *outliers*, outra adaptação necessária foi realizada para minimizar erros e padronizar os dados. Por se tratar de abastecimentos diários, buscou-se utilizar técnicas de amostragem e agregação, a fim de diminuir a sensibilidade e o ruído dos dados. A escolha ocorreu a partir de 1% aproximadamente do total de abastecimentos. Valores maiores ou menores podem ser insuficientes para suavizar o ruído (GREENE, 2017; HYNDMAN & ATHANASOPOULOS, 2013).

A utilização de uma média ponderada dos registros de abastecimento é de muita importância para mitigar o impacto do erro padrão e garantir a precisão das análises estatísticas futuras. O termo "erro padrão" refere-se à variabilidade natural dos dados em relação à média, e sua minimização é essencial para assegurar a confiabilidade dos resultados obtidos.

Ao realizar uma média simples dos registros de abastecimento, cada ponto de dados contribui igualmente para o cálculo da média final, independentemente de sua representatividade em termos de volume de combustível abastecido ou frequência de ocorrência. Isso pode resultar em uma distorção da média final, especialmente se houver variações consideráveis entre os registros de abastecimento.

Por outro lado, ao utilizar uma média ponderada, atribui-se um peso apropriado a cada registro de abastecimento com base em sua relevância. Isso significa que os registros de abastecimento

com maior volume de combustível abastecido ou com maior frequência de ocorrência terão uma contribuição proporcional para o cálculo da média ponderada. Dessa forma, a média ponderada reflete de maneira mais precisa o padrão de consumo de combustível ao longo do tempo, reduzindo a distorção causada por variações significativas entre os registros individuais.

A aplicação de uma média ponderada não apenas proporciona uma estimativa mais precisa do consumo médio de combustível, mas também ajuda a minimizar a influência do erro padrão nos resultados das análises estatísticas subsequentes. Ao considerar adequadamente a variabilidade dos dados e atribuir pesos proporcionais à sua importância relativa, a média ponderada contribui para a obtenção de conclusões mais confiáveis e representativas.

A média ponderada foi feita seguindo a Equação 1:

$$\text{Consumo Ponderado} \left(\frac{KM}{L} \right) = \frac{\sum_{i=1}^{10} \frac{KM}{L} (\text{Individual}) \times \text{Litros abastecido} (\text{Individual})}{\sum_{i=1}^{10} \text{Litros abastecido} (\text{Individual})} \quad (1)$$

Onde KM/L na Equação 1 é obtido a partir dos quilômetros rodados desde o último abastecimento.

Desta forma, para cada dez registros de abastecimento, considera-se uma unidade abastecida, definida como o “Consumo Ponderado”. Além de diminuir o erro padrão da média de cada consumo, a variável “tempo” se altera para uma análise por unidade, já que a data do abastecimento para cada veículo pode variar, mas mantendo a ordem temporal dos abastecimentos.

A fim de determinar o comportamento do consumo de combustível do veículo, foram considerados os registros da empresa para cada abastecimento. Para que não houvesse qualquer viés temporal e de representação gráfica, o consumo foi calculado como a média ponderada de dez abastecimentos. No caso, a variável dependente é a unidade de abastecimento, no caso o consumo do veículo, e a variável independente são as contagens, de forma cronológica, das unidades.

3.3.2 Modelo de renovação de frota de ônibus por série temporal

As séries temporais são uma forma de organizar no tempo informações quantitativas, com o objetivo de estudar o seu padrão em determinada área de conhecimento (ANTUNES & CARDOSO, 2015). Para este estudo, a composição quantitativa do modelo teve como base, conforme já mencionado, três variáveis: a perda de eficiência do motor, a depreciação do valor do veículo e os custos com manutenção. A perda de eficiência do motor foi calculada a partir do banco de dados da empresa. A depreciação do veículo e os custos com manutenção foram obtidos a partir da literatura. O modelo será detalhado para o veículo 7311 (numeração utilizada pela empresa), da marca Marcopolo, modelo Paradiso G7 1200 42 poltronas, de 2013. A linha deste ônibus passava pelas cidades de São José do Rio Preto – SP, Brasília – DF, Catação – GO, Goiânia – GO, Itumbiara-GO e Uberlândia – MG. O valor de compra deste veículo foi de R\$ 1.300.000,00. Para este modelo, o ano zero do veículo é o mesmo do primeiro registro realizado dentro do sistema, ou seja, 01 de janeiro de 2019.

Toda a análise estatística e uso do estudo de regressão linear para desenvolvimento gráfico e dos resultados foi feito utilizando o *software* estatístico *R Studio*. A partir de uma linguagem própria do *software*, foi possível desenvolver uma análise robusta e rápida a partir dos dados disponíveis da empresa. A programação utilizada foi mantida para preservar os dados da empresa.

3.3.3 Teste para validação da série temporal a partir de regressão linear

A regressão linear é uma correlação entre uma variável dependente (eixo y) e uma variável independente (x), a fim de resumir um conjunto de dados (CHEIN, 2019). A equação de uma regressão linear pode ser definida como uma equação de reta $y = ax + b$, em que “a” é o coeficiente angular da reta, ou coeficiente de inclinação, e “b” o coeficiente linear, ou intercepto (BATISTA, 2004; CAVALCANTE, 2015).

A estimativa de uma regressão linear pode ser escrita como $\hat{Y} = b_0 + b_1X$, em que \hat{Y} é o valor estimado da regressão para um determinado X, que é uma variável independente. b_0 e b_1 são os parâmetros da função de regressão.

Para que uma regressão linear seja validada, é necessário que ela passe por testes estatísticos incluindo a verificação da presença de homocedasticidade. No desenvolvimento deste trabalho, foram feitos três testes para verificar a existência de anormalidades e presença de correlação temporal da regressão, com base nas teorias estatísticas relacionadas à regressão linear e série temporal (MONTGOMERY *et al.*, 2008; MONTGOMERY *et al.*, 2012).

Para a estruturação da regressão linear, a variável dependente é o consumo de combustível ponderado e a variável independente é o tempo.

i) Resíduos:

Na análise estatística, particularmente na modelagem por regressão linear, os resíduos desempenham um papel importante na avaliação da qualidade do modelo. Este teste verifica a diferença entre o valor estimado (\hat{Y}_i) e o valor observado (Y_i). Ou seja, para todo \hat{Y}_i a um Y_i . O resíduo (e_i) é a diferença entre esses dois valores: $e_i = Y_i - \hat{Y}_i = Y_i - b_0 - b_1 X_i$.

Os resíduos, que representam as diferenças entre os valores observados e os valores previstos pelo modelo, oferecem uma medida direta dos erros da regressão. Ao examinar os resíduos, é possível identificar a presença de padrões não aleatórios ou comportamentos anômalos nos dados, fornecendo informações sobre a adequação do modelo na relação entre as variáveis independentes e dependentes.

Outra análise a ser feita, é a relação dos resíduos e sua variação ao longo tempo. Os resíduos, que denotam as discrepâncias entre os valores observados e os valores previstos pelo modelo, podem apresentar padrões específicos ao longo do tempo, refletindo a presença de tendências, sazonalidades ou outros efeitos temporais não incorporados ao modelo. A análise da relação entre os resíduos e o tempo permite a detecção de padrões como a autocorrelação temporal, indicando a interdependência entre observações consecutivas no decorrer do tempo.

ii) Gráfico quantil-quantil (Q-Q Plot):

Na validação de uma regressão linear através do gráfico Q-Q (Quantile-Quantile), cada ponto no gráfico representa um par de quantis: um quantil teórico esperado, derivado da distribuição

normal padrão, e um quantil observado, que são os resíduos ordenados da regressão.

Idealmente, se os resíduos estiverem normalmente distribuídos, os pontos no gráfico Q-Q seguirão uma linha diagonal em 45°, indicando que os quantis observados correspondem aos quantis teóricos da distribuição normal. Quando os pontos se afastam da linha diagonal, isso sugere desvios da normalidade nos resíduos (VELEZ & MORALES, 2015).

Se os pontos se deslocam para cima da linha diagonal, indica que os resíduos são maiores (ou seja, mais positivos) do que o esperado para uma distribuição normal, possivelmente sugerindo caudas pesadas na distribuição dos resíduos. Por outro lado, se os pontos se deslocam para baixo da linha diagonal, os resíduos são menores (ou seja, mais negativos) do que o esperado, o que pode indicar caudas leves na distribuição.

As caudas leves e pesadas são características das distribuições de probabilidade que afetam a probabilidade de ocorrência de valores extremos. Em uma cauda leve, os valores extremos têm uma probabilidade menor de ocorrência em comparação com uma distribuição normal, enquanto em uma cauda pesada, os valores extremos têm uma probabilidade maior de ocorrência (FORD, 2015).

iii) Função de Autocorrelação:

A Função de Autocorrelação (ACF) é uma ferramenta estatística utilizada para analisar a dependência temporal em séries temporais. Ela quantifica a correlação entre observações em diferentes momentos no tempo dentro de uma série, fornecendo insights sobre a estrutura temporal dos dados. Na análise de regressão linear, a ACF desempenha um papel significativo na validação do modelo, permitindo a identificação de autocorrelação nos resíduos do modelo, o que pode indicar inadequações na modelagem da série temporal.

Ao investigar o consumo de combustível ao longo do tempo, a ACF se apresenta como uma ferramenta para auxiliar a compreensão da dinâmica desse fenômeno. Ao traçar a ACF dos dados de consumo de combustível, é possível identificar padrões de autocorrelação que revelam possíveis dependências entre os valores de consumo em diferentes intervalos de tempo. Além disso, a análise da ACF possibilita a detecção de tendências significativas e padrões sazonais

no consumo de combustível, fornecendo informações valiosas para a gestão eficiente da frota e para a implementação de estratégias que visem a otimização do consumo e a redução de custos operacionais.

Se uma série temporal é estacionária, isso significa que a distribuição de probabilidade conjunta de quaisquer duas observações, digamos, y_t e y_{t+k} , é a mesma para quaisquer dois períodos t e $t+k$ que são separados pelo mesmo intervalo k . Informações úteis sobre essa distribuição conjunta e, portanto, sobre a natureza da série temporal, podem ser obtidas traçando um diagrama de dispersão de todos os pares de dados y_t, y_{t+k} que estão separados pelo mesmo intervalo k . O intervalo k é chamado de atraso, ou *lag*.

3.4 DEPRECIÇÃO DO VEÍCULO

A depreciação ao longo do tempo é um fenômeno inerente à maioria dos ativos, incluindo veículos, bem como uma frota de ônibus. Com o passar dos anos e o uso contínuo, os ônibus gradualmente perdem valor devido à depreciação física, obsolescência técnica e desgaste geral. Consequentemente, a gestão adequada da frota de ônibus envolve não apenas a manutenção e a substituição oportuna de veículos, mas também uma compreensão clara da depreciação ao longo do tempo e de suas implicações financeiras.

É importante destacar a distinção entre variação contábil e venal no contexto da depreciação da frota de ônibus. A variação contábil refere-se à redução do valor contábil de um ônibus ao longo do tempo, refletida nas demonstrações financeiras da empresa. Isso é calculado com base na vida útil estimada do veículo e nas políticas contábeis adotadas pela empresa. De acordo com a Receita Federal (2017), a vida útil de um veículo de transporte para mais de dez passageiros é de quatro anos, com 25% de depreciação por ano.

Por outro lado, a variação venal representa a desvalorização do ônibus no mercado, refletindo seu valor de revenda. Essa variação é influenciada por uma variedade de fatores externos, como condições econômicas, demanda por veículos usados e mudanças nas regulamentações ambientais e de segurança. Portanto, enquanto a variação contábil é uma medida interna do valor do ativo, a variação venal reflete a percepção do mercado sobre o valor do ônibus. Para este estudo, foi considerado o valor médio de depreciação anual de um veículo de 15%,

depreciação determinada a partir das informações do valor de compra do veículo e o seu valor após 10 anos, a partir da tabela FIPE (2023), sendo utilizado os dados dispostos pela empresa. Não foram consideradas opções de financiamento, pois não fazia parte do escopo do projeto. A compra, dentro da simulação, foi calculada no preço a vista do ônibus.

3.5 CUSTO DE MANUTENÇÃO

Os custos de manutenção representam uma parte significativa dos gastos operacionais de uma empresa, especialmente em setores que dependem fortemente de ativos físicos, como veículos e equipamentos. Esses custos abrangem a reparação de danos e o desgaste natural dos ativos, além de incluir manutenção preventiva, a fim de garantir a confiabilidade e a longevidade dos equipamentos.

O custo de manutenção de veículos tende a aumentar ao longo do tempo. Internamente, o desgaste natural dos componentes do veículo resulta em uma necessidade crescente de reparos e substituições, à medida que o veículo envelhece. Além disso, a obsolescência tecnológica pode tornar as peças de reposição mais difíceis de encontrar e, conseqüentemente, mais caras. Externamente, fatores como o aumento dos custos de mão de obra, inflação de preços de peças e equipamentos, bem como mudanças nas regulamentações de segurança e ambientais, contribuem para o aumento dos custos de manutenção anual (PARK & SHAPE-BETTE, 1990).

Neste estudo, foi considerada a análise realizada por Figueiredo (2020), em que no primeiro ano de manutenção do veículo, há um custo de 12,5% do custo do veículo. Nos anos seguintes, há um aumento incremental de 1,5% ao ano.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo, será apresentado o modelo para renovação de frota a partir da metodologia desenvolvida no trabalho. O modelo terá como um exemplo um veículo específico, de forma que o desenvolvimento para o restante da frota seja implementado de forma semelhante aos demais veículos da empresa.

4.1 PERDA DE EFICIÊNCIA DO MOTOR – VEÍCULO 7311

No caso do veículo 7311, realizada a regressão com os dados de 2019 a 2023, o coeficiente angular é de “-0,0056” e o coeficiente linear de 3,37, tendo como equação de regressão linear $Y = 3,37 - 0,0056x$. Com essas informações, podemos assumir que no momento que o ônibus foi utilizado pela primeira vez, ele possuía um consumo médio de 3,37 quilômetros para cada litro de combustível. Ao longo do tempo, para cada unidade de abastecimento, há uma perda de 0,0056 Km/L, ou seja 0,17%, aproximadamente (FIGURA 4.1).

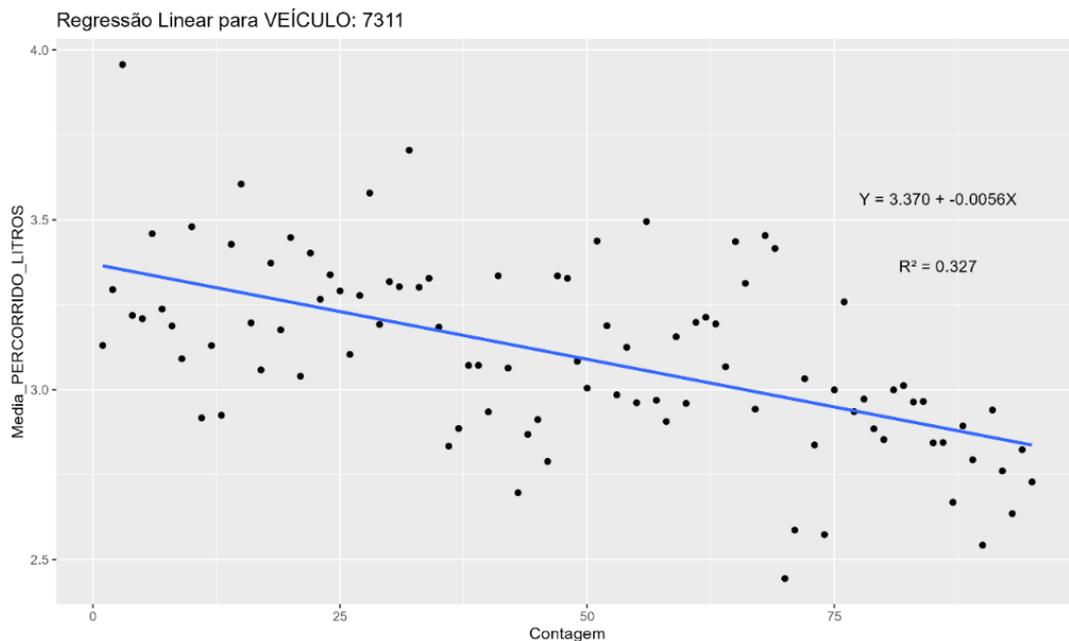


Figura 4.1: Regressão linear – Veículo 7311

O período de registro dos dados foi de 2019, momento em que iniciou o registro estruturado por banco de dados na empresa, até 31 de agosto de 2023. Nesse período, o veículo consumiu 165.356 litros de diesel, com custo médio no período de R\$ 4,00, em 933 abastecimentos. Neste

caso, para a realização da regressão linear, foram considerados 93 registros, uma vez que, conforme já mencionado, cada registro corresponde a 10 abastecimentos e se aproximou de 1% do total dos abastecimentos para realizar a aglomeração dos dados. O cálculo do consumo ponderado foi calculado a partir da Equação 2:

$$\text{Consumo Ponderado} \left(\frac{KM}{L} \right) = \frac{\sum_{i=1}^{10} \frac{KM}{L} (\text{Individual}) \times \text{Litros abastecido} (\text{Individual})}{\sum_{i=1}^{10} \text{Litros abastecido} (\text{Individual})} \quad (2)$$

A Regressão com os 93 registros proporcionou um resultado de regressão mais robusto do que a regressão com os 933 abastecimentos devido a alta variação nos abastecimentos, já que a composição da rota, os locais de abastecimentos interferem no consumo de combustível. O R^2 de 0.327 é relativamente baixo. Porém, ao considerar todas as variáveis que podem influenciar na variação negativa de consumo de combustível, o coeficiente de determinação possui valor expressivo.

Tendo como base o consumo inicial de 3,37 quilômetros, houve uma perda média de R\$ 2,24 por litro para cada contagem, sendo projetada para 10 anos pela equação da regressão linear e mantendo a quantidade anual de consumo de combustível. Ao todo, teve um custo em perda de eficiência de R\$ 793.863,13.

4.1.1 Teste de Regressão Linear – Veículo 7311

Foram realizados três testes para verificar a robustez da regressão linear realizada. Os testes para o veículo 7311 são de Resíduos; Q-Q *Plot*; e Função de Autocorrelação. Os Resíduos possuem dois tipos de análise: uma em comparação ao valor estimado pela regressão linear e outro pela sua variação ao longo do tempo, ou de forma sequencial dos registros de abastecimento realizado.

i) *Resíduos:*

A partir da interpretação do gráfico de resíduos da teoria de séries temporais, é possível verificar a presença de *outliers* e a variação dos valores estimados em relação à estimativa feita pela regressão linear. Quanto mais próximo o valor observado estiver de zero, menor será a variação

que aquele ponto terá em comparação à regressão. No caso do veículo 7311 (FIGURA 4.2), os valores são projetados em volta de $Y = 0$, com baixa variação ao longo deste valor, trazendo certa normalidade à regressão feita.

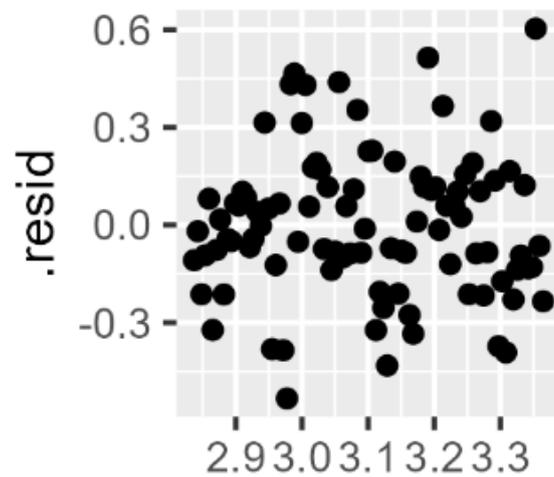


Figura 4.2: Relação do resíduo e valor estimado – Veículo 7311

No caso específico do estudo, de alteração do consumo médio de combustível, esta análise se assemelha a anterior, já que a tendência é de que os valores estimados pela regressão diminuam ao longo do tempo, em que os pontos no gráfico se encontram em posição inversa ao anterior (FIGURA 4.3).

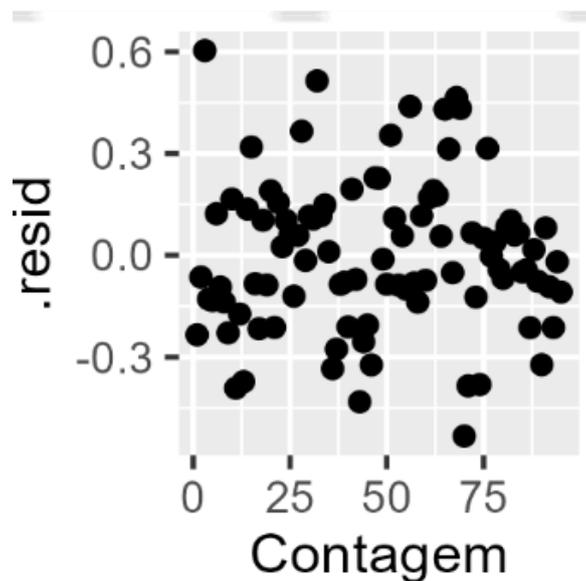


Figura 4.3: Relação do resíduo e tempo – Veículo 7311

ii) *Q-Q Plot*

O gráfico Q-Q permite examinar se os resíduos do modelo de regressão seguem uma distribuição normal (MARDEN, 2004), o que é fundamental para confiar nas previsões feitas pelo modelo (FIGURA 4.4). Dessa forma, ao utilizar o gráfico Q-Q para validar a regressão linear no contexto da relação de consumo de combustível ao longo do tempo, é possível garantir a precisão e a confiabilidade das análises e inferências feitas com base nesse modelo estatístico.

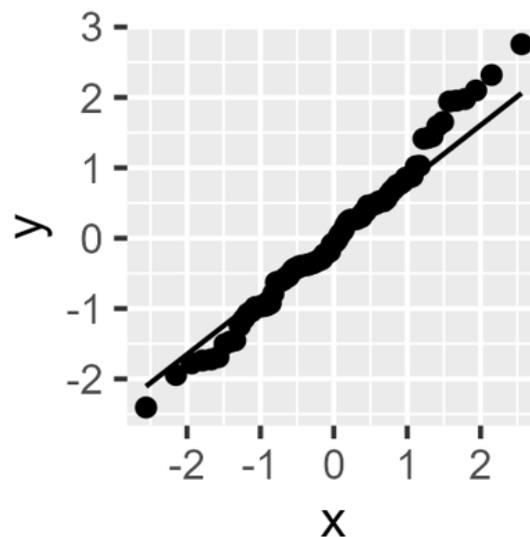


Figura 4.4: *QQ Plot* – Veículo 7311

No caso do veículo 7311, a cauda se inicia abaixo da linha diagonal e termina acima desta mesma linha. A análise que pode ser inferida é que no início do seu uso o consumo é mais eficiente por ser um veículo ainda não usado e que possui perdas significantes de rendimento após alcançar o *status quo*. Além disso, com o passar do tempo, há uma perda significativa, seja pelo início da operação do ônibus, de ter um peso maior sobre a regressão, ou que há uma diminuição da qualidade da manutenção, ou até mesmo uma perda de eficiência acentuada pelo tempo. O resultado da correlação negativa entre tempo e consumo de combustível era esperado, dado o desgaste inerente ao tempo.

iii) *Função de Autocorrelação (ACF)*

No caso do veículo 7311, o gráfico ACF (FIGURA 4.5) não apresenta uma clara autocorrelação. Mesmo que a regressão linear tenha uma angulação negativa, a variação do consumo ao longo

do tempo pode ter uma variação sem correlação. Isso pode acontecer por conta de variações que não dependem apenas do desgaste crônico do motor, mas por variações de rota, manutenção, condições de condução, entre outros.

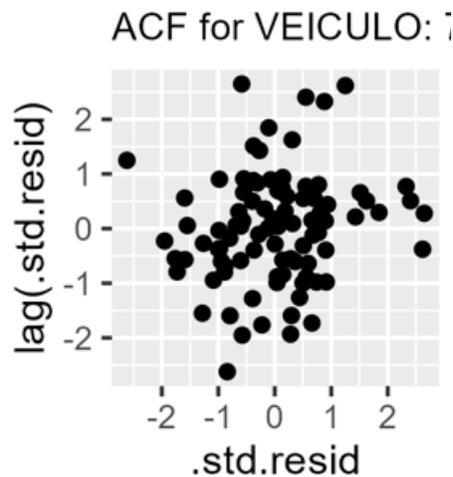


Figura 4.5: Gráfico ACF – Veículo 7311

4.2 DEPRECIAÇÃO DO VEÍCULO

De acordo com as informações da empresa, o veículo foi comprado novo, com custo de R\$ 1.300.000,00. De acordo com a tabela FIPE (2023), o veículo em questão tem um custo, após 10 anos, de R\$ 250.000,00 aproximadamente. Para que o veículo chegasse a esse valor em 10 anos, era necessário que ele depreciasse em média 15% ao ano.

4.3 CUSTO DE MANUTENÇÃO

De acordo com Figueiredo (2020), o custo com manutenção do veículo no seu primeiro ano de operação é de 12,5% o custo de compra do veículo. Anualmente, este custo tem um valor incremental de 1,5%. Contudo, para 10 anos de operação, o veículo tem um custo total de R\$ R\$ 181.317,27.

4.4 CUSTO TOTAL

Ao considerar os custos e perdas expostos nos cálculos anteriores, tem-se que após 10 anos, o

veículo 7311 terá um custo total de R\$ 2.205.637,16. Considera-se, neste caso, que a empresa optou por utilizar o tempo máximo de vida útil do ônibus. Nesses 10 anos, comparado a um ônibus novo, a empresa teve oneração em manutenção, perda de eficiência e depreciação deste valor para o veículo exemplificado.

Porém, a fim de determinar o melhor momento para adquirir um novo ônibus, foi realizada uma simulação de compra, variando o ano, a fim de verificar se há um ano ótimo para diminuir os custos. Foram simuladas dez possibilidades temporais para que fosse feita a compra e venda do veículo. A venda seria a partir do final do tempo de uso, definindo uma vida ótima para o ônibus. Por exemplo, definindo como tempo ótimo 1 ano de uso, o veículo seria utilizado por 1 ano e ao fim do ano seria comprado um novo. Isso seria feito por dez anos a fim de comparar o tempo máximo que um único ônibus poderia ser utilizado.

Foi tomado como base a Tabela 4.1, que consta as informações das variações de depreciação, manutenção e perda de eficiência para cada ano de vida útil do veículo 7311.

Tabela 4.1: Custo de operação – Veículo 7311

Ano	Perda de eficiência	Manutenção	Depreciação	Total
1	R\$ 9.313,72	R\$ 16.250,00	R\$ 195.000,00	R\$ 220.563,72
2	R\$ 35.391,91	R\$ 16.524,22	R\$ 360.750,00	R\$ 412.666,13
3	R\$ 78.279,66	R\$ 16.837,92	R\$ 501.637,50	R\$ 596.755,08
4	R\$ 137.976,42	R\$ 17.197,54	R\$ 621.391,88	R\$ 776.565,83
5	R\$ 214.482,08	R\$ 17.610,74	R\$ 723.183,09	R\$ 955.275,92
6	R\$ 307.796,61	R\$ 18.086,77	R\$ 809.705,63	R\$ 1.135.589,01
7	R\$ 417.920,00	R\$ 18.636,78	R\$ 883.249,79	R\$ 1.319.806,56
8	R\$ 544.852,24	R\$ 19.274,35	R\$ 945.762,32	R\$ 1.509.888,91
9	R\$ 688.593,32	R\$ 20.016,16	R\$ 998.897,97	R\$ 1.707.507,45
10	R\$ 849.143,25	R\$ 20.882,81	R\$ 1.044.063,27	R\$ 1.914.089,33

Para as simulações, foi considerado que ao fim do ano da vida útil do veículo há também uma compra, pois a atividade operacional do veículo precisa se manter, a fim de não perder qualquer dia de trabalho pela empresa (QUADRO 4.1).

Quadro 4.1: Compra e venda do Veículo 7311 – Operação em 10 anos

Vida útil (anos)	Compra/Venda									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2		x		x		x		x		x
3			x			x			x	x
4				x				x		x
5					x					x
6						x				x
7							x			x
8								x		x
9									x	x
10										x

Para melhor compreensão do Quadro 4.1, a Tabela 4.2 exemplifica os cálculos para os casos em que se considera a vida útil do veículo de 1 ano, ou seja, ao fim de cada ano será trocado o veículo. Neste caso, os custos com perda de eficiência e manutenção são menores. Porém há maior custo com depreciação do veículo, já que será vendido logo no primeiro ano de uso. Tem-se como base para os cálculos da Tabela 4.2 os valores estimados no ano 1 da Tabela 4.1.

Neste caso, em que se considera a vida útil do veículo de 1 ano, os valores se repetem ano a ano, considerando que não haverá nenhuma variação monetária externa. Assim, a Tabela 4.2 possui 10 linhas iguais, em que cada linha representa o custo de um ônibus novo.

Tabela 4.2: Custo Veículo 7311 - 1 ano de vida útil

Ano	Perda de eficiência	Manutenção	Depreciação	Total
1	R\$ 9.313,72	R\$ 16.250,00	R\$ 195.000,00	R\$ 220.563,72
2	R\$ 9.313,72	R\$ 16.250,00	R\$ 195.000,00	R\$ 220.563,72
3	R\$ 9.313,72	R\$ 16.250,00	R\$ 195.000,00	R\$ 220.563,72
4	R\$ 9.313,72	R\$ 16.250,00	R\$ 195.000,00	R\$ 220.563,72
5	R\$ 9.313,72	R\$ 16.250,00	R\$ 195.000,00	R\$ 220.563,72
6	R\$ 9.313,72	R\$ 16.250,00	R\$ 195.000,00	R\$ 220.563,72
7	R\$ 9.313,72	R\$ 16.250,00	R\$ 195.000,00	R\$ 220.563,72
8	R\$ 9.313,72	R\$ 16.250,00	R\$ 195.000,00	R\$ 220.563,72
9	R\$ 9.313,72	R\$ 16.250,00	R\$ 195.000,00	R\$ 220.563,72
10	R\$ 9.313,72	R\$ 16.250,00	R\$ 195.000,00	R\$ 220.563,72
Total			R\$	2.205.637,16

Considerando os 10 anos de operação, com 10 veículos sendo utilizados durante este período, o custo total de operação, considerando as variáveis do estudo, é de R\$ 2.205.637,16.

A partir dessas possibilidades, foi possível identificar o melhor ano, no que diz respeito ao custo

gerados por manutenção, perda de eficiência e depreciação do veículo. O melhor ano, para o veículo 7311, após realização dos cálculos, foi o ano em que o veículo possui 5 anos de vida útil (TABELA 4.3).

Tabela 4.3: Custo Veículo 7311 - 5 anos de vida útil

Ano	Perda de eficiência	Manutenção	Depreciação	Total
5	R\$ 214.482,08	R\$ 17.610,74	R\$ 723.183,09	R\$ 955.275,92
10	R\$ 214.482,08	R\$ 17.610,74	R\$ 723.183,09	R\$ 955.275,92
Total			R\$	1.910.551,83

Para fins de comparação, a Figura 4.6 apresenta o custo total considerando os anos possíveis de vida útil do veículo, como consta na Tabela 4.4. Os custos para todos os anos foram calculados como feito nas vendas de ano 1 e ano 5. O maior custo entre os anos é o caso do ano 1, em que se compra e vende um novo ônibus a cada ano. Há um decréscimo de custo até o ano 5, em que tem o seu menor valor. A partir do ano 6, os custos aumentam novamente.

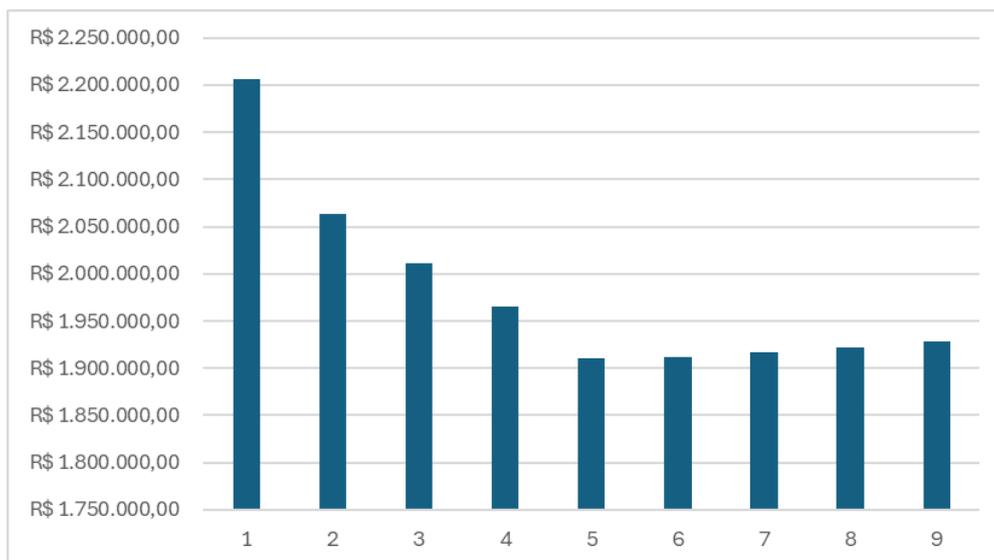


Figura 4.6: Gráfico de Custos – Veículo 7311

Tabela 4.4: Custo Total – Veículo 7311

Ano	Custo
1	R\$ 2.205.637,16
2	R\$ 2.063.330,65
3	R\$ 2.010.828,96
4	R\$ 1.965.797,79
5	R\$ 1.910.551,83
6	R\$ 1.912.154,84
7	R\$ 1.916.561,64
8	R\$ 1.922.555,04
9	R\$ 1.928.071,16
10	R\$ 1.914.089,33

O veículo com 5 anos de vida útil teve um custo total calculado de R\$ 1.910.551,83. Em comparação a utilização operacional de um veículo de 10 anos de vida útil, há uma diferença de R\$ 3.537,49, com um custo total de R\$ 1.914.089,33.

4.5 APLICAÇÃO DO MODELO DE RENOVAÇÃO DE FROTA

A empresa em si possui mais de 150 ônibus em gestão. O trabalho realizado foi utilizando apenas um único ônibus. A análise realizada para o veículo 7311 seria projetada para todos os ônibus, buscando, a partir da análise dos custos estudados, o melhor ano para adquirir um novo ônibus sem pausar a atividade operacional.

A fim de exemplificar o acompanhamento dos ônibus e da realização de regressão linear para outros ônibus, foi feita uma análise da relação do coeficiente angular com o intercepto dos quarenta ônibus com maior quantidade de abastecimento (FIGURA 4.7). Esta análise permite verificar que os ônibus com menor coeficiente de inclinação possuem maior intercepto. Uma das possibilidades deste resultado é a alta quantidade demandada do veículo, já que contrário ao intercepto, o coeficiente angular é relativamente baixo para os veículos que possuem intercepto próximo de zero. Neste caso, o veículo chegou ao seu platô de desgaste. As informações estatísticas e gráficas da Figura 4.7 estão no Apêndice A.

Além disso, os ônibus 3, 37 e 38 possuem um padrão diferente dos demais. Ao verificar a situação dos ônibus, verificou-se que eles não fazem viagem de passageiros, mas de carga, tendo

uma estrutura diferente de manutenção e de rota de viagem, possuindo menor custo de combustível, mesmo não tendo mais perda de eficiência. O objetivo desta figura é demonstrar uma outra forma de análise da resposta dos ônibus que se encontram na frota da empresa.

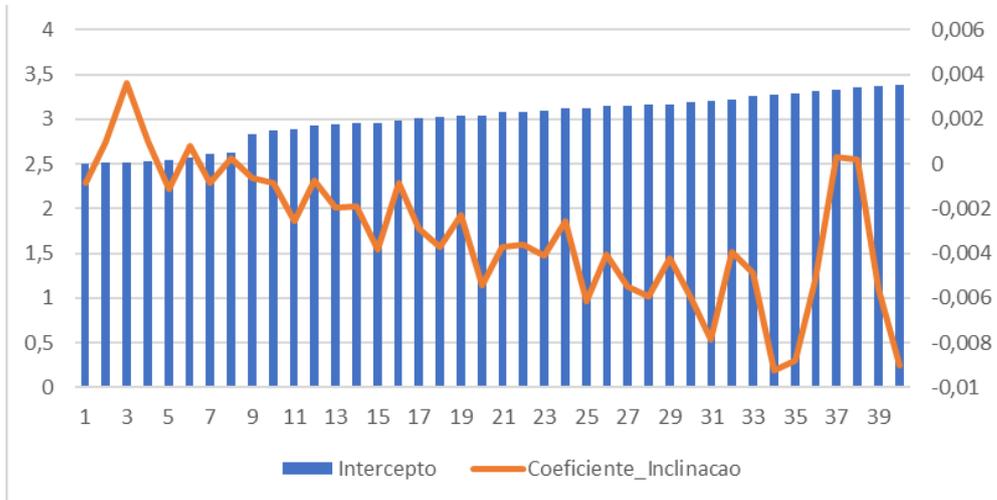


Figura 4.7: Relação de Intercepto e Coeficiente Angular

5. CONCLUSÕES

O objetivo desta dissertação foi propor um modelo de renovação de frota de ônibus para uma empresa interestadual de transporte de passageiros. O ônibus utilizado como exemplo no desenvolvimento do trabalho representa o uso padrão da empresa e pode-se aplicar este modelo para o restante da frota de ônibus. Com isso, o trabalho permite que a empresa mantenha os ônibus com seu melhor desempenho e ao mesmo tempo o serviço não fica obsoleto, determinando o melhor momento de troca do veículo, a fim de diminuir custos e utilizar os ônibus de forma eficiente.

A apresentação do modelo foi feita a partir de um veículo com maior rodagem e, dentro da frota, relativamente novo, a fim de utilizá-lo como exemplo para projeção aos demais veículos da empresa. Variações como poluição, via trafegada, condutor, qualidade do combustível, podem interferir de forma consistente alterando o tempo ótimo de cada veículo, mesmo que sejam próximos. Além disso, o modelo obtido poderá possibilitar o acompanhamento da diminuição do rendimento dos veículos. Nesse caso, a manutenção entra como ferramenta fundamental para manter a qualidade da operação dos motores.

O estudo foi realizado com 201 ônibus, que totalizaram, entre 01 de janeiro de 2019 a 31 de agosto de 2023, um montante de mais de 10 milhões de litros abastecidos. Ressalta-se que os ônibus que estavam em 2019 não operavam necessariamente em 2023, já que alguns ônibus estavam no último ano de operação. Em 2023, havia 150 ônibus operando, aproximadamente.

O estudo apresenta em alguns casos a diminuição de custos apenas na escolha do melhor momento para troca de um veículo. De acordo com a magnitude da empresa, a diminuição de custos será mais relevante de acordo com a quantidade de veículos na frota. Os dados positivos de diminuição de custo e maior exatidão para a troca do veículo traz relevância significativa para o trabalho.

Outra questão a se considerar, é o valor da empresa apresentada ao cliente, tendo sempre a troca de veículos e a qualidade do serviço empregado. Ou seja, a partir de análises e decisões operacionais é possível aumentar a lucratividade da empresa e a constância da qualidade do serviço apresentada.

5.1 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

A empresa que forneceu os dados possuía registro a partir de 2019. Então foram avaliados veículos que possuíam operação antes desta data. Porém, para continuação do estudo, foi considerado que os veículos começaram sua operação de forma conjunta. Ao mesmo tempo, foi possível avaliar a qualidade e variação do rendimento dos veículos mais novos e mais antigos.

O registro dos dados variou ao longo dos anos, melhorando a qualidade dos registros, especialmente na época da pandemia, em que os registros foram prejudicados, havendo momentos em que os abastecimentos não foram computados.

Em relação a manutenção e a depreciação do veículo, os dados foram computados a partir de estudos externos com automóveis e o preço de compra da empresa e venda pela tabela FIPE (2023), respectivamente. Para que os resultados sejam mais exatos, é necessário acompanhar ano a ano a variação dos preços do veículo. Em relação a manutenção, a empresa não conseguiu apresentar estes custos por veículo. Aparentemente os custos com manutenção aumentam significativamente nos últimos anos possíveis de uso, ou seja, após o sétimo ano, o que aumenta a relevância do modelo.

5.2 RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Para estudos futuros, seria importante registrar o custo com manutenção próprio da empresa. Além disso, determinar os tipos de rota e verificar a variação do rendimento dos ônibus nas diferentes rotas. Caso haja alterações significantes, é possível que a implementação de rodízios entre os ônibus seja uma alternativa interessante para manter a média de rendimento de combustível.

Outro fator a ser considerado é o local de abastecimento, a fim de comparar se a qualidade do combustível pode interferir no rendimento e na variação de gasto com manutenção. Outro fator não considerado, foram períodos de baixa do veículo e sua motivação. O tempo em que o veículo não está em operação também interfere nos resultados, já que o uso de um ônibus reserva, ou até mesmo a diminuição da vida útil do veículo, podem elevar os seus custos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT (2014) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ISO 55000: Gestão de Ativos. Rio de Janeiro.
- ANTT (2023) Anuário do Estatístico TRIIP 2022. AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES, Brasília: ANTT, 2023. 37 p. Disponível em: <https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/passageiros/anuario-estatistico-dos-transportes-de-passageiro/AnurioEstatsticoTRIIP2022.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2024.
- ALMEIDA, P. S., ROCCA, J. E. (2021) Manutenção Mecânica Industrial Princípios técnicos e operações. Saraiva Educação S.A..
- ALSYOUF, I. (2006) Measuring Maintenance Performance Using a Balanced Scorecard Approach. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 12(2), 133—149.
- ANG, B.W.; DENG, C.C. (1990) The effects of maintenance on the fuel efficiency of public buses. *Energy*, [S.L.], v. 15, n. 12, p. 1099-1105. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0360-5442\(90\)90101-7](http://dx.doi.org/10.1016/0360-5442(90)90101-7).
- ANPTRILHOS (2022) Diesel: os impactos da alta dos preços do combustível. Disponível em: <https://anptrilhos.org.br/diesel-os-impactos-da-alta-dos-precos-do-combustivel/>. Acesso em: 10 jun. 2024.
- ANTUNES, J. L. F.; CARDOSO, M. R. A. (2015) Uso da análise de séries temporais em estudos epidemiológicos. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, [S.L.], v. 24, n. 3, p. 565-576. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.5123/s1679-49742015000300024>.
- ARAGÃO J., BRASILEIRO, A. SANTOS, E., ORRICO, R. (2000) Sacudindo a poeira e construindo o novo ciclo de desenvolvimento do transporte público por ônibus em: *Transporte em tempos de reforma*, LGE Editora.
- ARAÚJO, C. E. F., MARTINS, F. G. D., SILVA, F. G. F. (2008) Análise Exploratória da Eficiência Operacional de Empresas do Transporte Rodoviário Interestadual de Passageiros por Ônibus no Brasil. XXII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes – XII ANPET. Panorama Nacional de Pesquisa em Transportes – CD-ROM, 03 a 07 de novembro de 2008, Fortaleza-CE.
- ARRUDA, B. D. L.; SILVA, L. R.; ANTUNES, R. T.; GOMES, H. A. S.; YAMASHITA, Y. (2012) Uma proposta de avaliação de desempenho para os sistemas de transporte rodoviário interurbano de passageiros. *Transportes*, [S.L.], v. 20, n. 1. Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes. <http://dx.doi.org/10.4237/transportes.v20i1.531>.

- ARRUDA, J.S. (2014). Desenvolvimento de um método para redução do consumo de combustível no transporte rodoviário de cargas. Capacitação, aplicações de torque e telemetria para veículos pesados. Dissertação de Mestrado em Transportes, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- ATAULO, R.S.S. (2013) Gestão de ativos industriais: matriz informacional de apoio à decisão tática. Dissertação (especialista em engenharia de produção) – ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO.
- BANCO MUNDIAL (2011) Transit Bus Operational and Maintenance Practices to Maximize Fuel Economy. Washington: Energy Sector Management Assistance Program.
- BATISTA, J. L. F. (2004) Análise de Regressão Aplicada. Departamento de Ciências Florestais, ESALQ – USP.
- BIVONA, E.; MONTEMAGGIORE, G. B. (2010) Understanding short- and long-term implications of “myopic” fleet maintenance policies: a system dynamics application to a city bus company. *System Dynamics Review*, [S.L.], v. 26, n. 3, p. 195-215. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/sdr.450>.
- BARAT, J. (2007). Logística, transporte e desenvolvimento econômico: a visão macroeconômica. São Paulo: Editora CLA.
- BEICHELT, F. (2001) A replacement policy based on limiting the cumulative maintenance cost. Department of Statistics and Actuarial Science, University of Witwatersrand, Johannesburg, South Africa; *International Journal of Quality & Reliability Management*. MCB University Press, 0265-671X, Volume. 18 No. 1, pp. 76-83.
- BRASIL (1971). Decreto nº 68.961, de 20 de julho de 1971. Regulamenta o transporte coletivo de passageiros de caráter interestadual e internacional por estradas de rodagem. Brasília, DF: Senado.
- BRASIL (1985). Decreto nº 90.958, de 7 de fevereiro de 1985. Dispõe sobre a exploração de serviços de transporte rodoviário interestadual e internacional de passageiros e dá outras providências. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 1985. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D90958.htm. Acesso em: 13 jun. 2024.
- BRASIL (1988). Constituição 1988. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 25 jun. 2024.
- BRASIL (1993). Decreto n.º 952, de 5 de outubro de 1993. Dispõe sobre a organização dos serviços de transporte rodoviário interestadual e internacional de passageiros e dá outras providências. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 1993. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D0952.htm. Acesso em: 13 jun. 2024.

- BRASIL (1998). Decreto nº 2.521, de 20 de março de 1998. Regulamenta a prestação dos serviços de transporte rodoviário interestadual e internacional de passageiros. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d2521.htm. Acesso em: 13 jun. 2024.
- BRASIL (2001). Lei nº 10.233, de 5 de junho de 2001, que dispõe sobre a reestruturação dos transportes aquaviário e terrestre, cria a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) e a Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ), e dá outras providências.
- BRASIL (2023). Ministério dos Transportes. Anuário Estatístico de Transportes 2013-2022. 2023. Disponível em: https://ontl.infrasa.gov.br/wp-content/uploads/2023/07/Anuario-Estatistico-de-Transporte-2013-2022_VF.pdf. Acesso em: 13 jun. 2024.
- BRASILEIRO, A.; HENRY, E. (2023) Secretaria de Viação, Fabricação e Promoção do Sistema de ônibus brasileiro. In: BRASILEIRO A. e HENRY E. (Org.) Viação Ilimitada: ônibus das cidades brasileiras, 5ª ed., São Paulo: Cultura Editores Associados.
- CAVALCANTE, L. M. (2015) Geometria analítica I / Luciano Moura Cavalcante. 3. ed. – Fortaleza : EdUECE.
- CHEIN, F. (2019) Introdução aos Modelos de Regressão linear: um passo inicial para compreensão da econometria como uma ferramenta de avaliação de políticas públicas. Brasília: ENAP.
- CNT (2023) Pesquisa CNT de rodovias 2023. – Brasília: CNT: SEST SENAT: ITL, 2023.
- COMISSÃO EUROPEIA (2023) Pacto Ecológico Europeu: Comissão propõe uma meta de emissões nulas para 2030 para os autocarros urbanos novos e reduções de 90 % das emissões para os camiões novos até 2040. Disponível em: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/pt/ip_23_762. Acessado em: 26 jun. 2024.
- COPPTEC (2016) Fundação COPPTEC. Comparativo de consumo de combustível entre ônibus equipados com aparelhos de ar condicionado e ônibus convencionais. COPPE UFRJ, Rio de Janeiro.
- DI, J.; HAUKE, L. (2000) Optimal fleet utilization and replacement. Transportation Research Part E, Volume 36, Issue 1, pp. 3–30. ISSN: 1366-5545.
- DHILLON, B. S. (2002) Engineering Maintenance: A Modern Approach. CRC Press.
- ESMAP (2011) Energy Sector Management Assistance Program. Best Operational and Maintenance Practices for City Bus Fleets to Maximize Fuel Economy. Energy Efficient Cities Initiative.
- FELDENS, A. G.; MULLER, C. J.; FILOMENA, T. P.; NETO, F. J. K.; CASTRO, A. S.; ANZANELLO, M. J (2010) Política para Avaliação e Substituição de Frota por Meio da Adoção de Modelo Multicritério. Porto Alegre, Brazil. ISSN 1980-4814.

- FIGUEIREDO, C. (2020) Custo operacional de um veículo: como calcular? Disponível em: <https://www.cobli.co/blog/calculo-custo-do-veiculo/>. Acesso em: 13 mar. 2024.
- FIPE (2023). Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas. Preço Médio de Veículos. Disponível em: <https://veiculos.fipe.org.br/>. Acesso em: 13 mar. 2024.
- FORD, C. (2015) University of Virginia. Understanding QQ Plots. 2015. Disponível em: <https://library.virginia.edu/data/articles/understanding-q-q-plots>. Acesso em: 01 abr. 2024.
- FRANCIS, K. N.; LEUNG, A.; CHENG, L.M. (2000) Determining replacement policies for bus engines. City University of Hong Kong, Hong Kong; International Journal of Quality & Reliability Management, MCB University Press, 0265-671X, Volume 17 No. 7, pp. 771-783.
- GREENE, W. H. (2017) Econometric Analysis. 8. ed. Nova Iorque: Pearson Global Edition, 2017.
- HYNDMAN, R. J.; ATHANASOPOULOS, E. (2013) Forecasting: Principles and Practice. 2. ed. Australia: Otexts, 2013.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2024) Trucks and Buses. Disponível em: <https://www.iea.org/energy-system/transport/trucks-and-buses>. Acesso em: 14 mar. 2024.
- JIN, D.; KITE-POWELL, H. L. (2000) Optimal fleet utilization and replacement. Transportation Research Part e: Logistics and Transportation Review, [S.L.], v. 36, n. 1, p. 3-20. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s1366-5545\(99\)00021-6](http://dx.doi.org/10.1016/s1366-5545(99)00021-6).
- KELLY, A.; HARRIS, M. J. (1978) Management of Industrial Maintenance. Butterworth-Heinemann. p. 50-60. Londres: Butterworth-Heinemann. Disponível em: <https://www.elsevier.com/books/management-of-industrial-maintenance/kelly/978-0408005154>. Acesso em: 12 jun. 2024.
- KHASNABIS, S.; ALSAIDI, E.; ELLIS, R. (2002) Optimal allocation of resources to meet transit fleet requirements. Journal of Transportation Engineering, Volume 128, Issue 6, pp. 509-518.
- MACIÁN, V.; TORMOS, B.; HERRERO, J. (2019) Maintenance management balanced scorecard approach for urban transport fleets. Eksploatacja I Niezawodność – Maintenance And Reliability, [S.L.], v. 21, n. 2, p. 226-236. Polskie Naukowo-Techniczne Towarzystwo Eksploatacyjne. <http://dx.doi.org/10.17531/ein.2019.2.6>.
- MARDEN, J. I. (2004) Positions and QQ Plots. Statistical Science, [S.L.], v. 19, n. 4. Institute of Mathematical Statistics. <http://dx.doi.org/10.1214/088342304000000512>.

- MÁRIO, P. C.; CARVALHO, L. N. G. (2007) O fenômeno da falência numa abordagem de análise de causas. 2007, Anais. São Paulo: EAC/FEA/USP. Acesso em: 20 jun. 2024.
- MARTINS, F. G. D.; SILVA, F. G. F.; YAMASHITA, Y.; CARNEIRO, L. G.; GONZÁLES-TACO, P. W. (2005a) Diagnóstico Espacial da Oferta de Serviços Regulares de Transporte Rodoviário Interestadual de Passageiros. Anais do XIX Congresso da ANPET. Recife.
- MARTINS, H. E.; RIBEIRO, J. P.; ROCHA, L. G. (2005b) Competitividade no transporte rodoviário de passageiros. São Paulo: Atlas.
- MARTINS, H. E. (2007) Sistema rodoviário brasileiro: realidade e complexidade. São Paulo: Atlas.
- MICROSOFT (2023) Introdução a dashboards para designers do Power BI. Disponível em: <https://learn.microsoft.com/pt-br/power-bi/create-reports/service-dashboards>. Acesso em: 20 mar. 2024.
- MONTGOMERY, D. C.; JENNINGS, C. L.; KULACHI, M. (2008) Introduction to Time Series Analysis and Forecasting. New Jersey: Wiley.
- MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A.; VINING, G. G. (2012) Introduction to Linear Regression Analysis. 5. ed. New Jersey: Wiley.
- MURATORI, M.; BORLAUG, B.; LEDNA, C.; JADUN, P.; KAILAS, A. (2023) Road to zero: research and industry perspectives on zero-emission commercial vehicles. *Isience*, [S.L.], v. 26, n. 5, p. 106751. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.isci.2023.106751>.
- NBR 5462 (1994) Confiabilidade e Mantabilidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1994. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.
- OLIVEIRA, G. S.; FILHO, R. D. O. (2004) Análise do consumo de combustível de ônibus Urbano. XVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. Florianópolis.
- OSMAN, M.; SULTANA, R.; SULTHANA, S. (2013) Enhancement of Public Transportation Services Using Wireless Technologies. *International Journal Of Engineering Trends And Technology*. Thennur, p. 344-348.
- PAKE, B; DEMETSKY, M.; HOEL, L. (1985) Evaluation of bus maintenance operations. *Transportation Research Board*, v. 1019. pp 77-84.
- PARK, C. S.; SHARP-BETTE, G. P. (1990) *Advanced Engineering Economics*. John Wiley & Sons, Inc.
- PINAR, K.; HARTMAN, J. (2004) Case Study: Bus Fleet Replacement. *The Engineering Economist*, Volume 49, Issue 3, pp. 253-278.
- POZO, H. (2015) Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos: Um enfoque para cursos superiores de tecnologia. São Paulo: Atlas.

- PURDY, J.; WIEGMANN, J. (1987) Vehicle Maintenance: Cost Relationship And Estimating Methodology. Transportation Research Board. Washington, p. 1-17.
- RAPOSO, H.D.N. (2017) Modelos de Optimização do Tempo de Substituição de Autocarros de Transporte Urbano com Indexação à Frota de Reserva. 00500; Universidade de Coimbra: Coimbra, Portugal.
- RAPOSO H. D. N.; FARINHA, J. T.; OLIVEIRA, R.; FERREIRA, L. A.; ANDRÉ, J. (2014): Time Replacement Optimization Models for Urban Transportation Buses with Indexation to Fleet Reserve. MPM – Maintenance Performance Measurement and Management; Coimbra, Portugal. ISBN 978-972-8954-43-7; http://dx.doi.org/10.14195/978-972-8954-42-2_7.
- RECEITA FEDERAL (2017) INSTRUÇÃO NORMATIVA RFB Nº 1700, DE 14 DE MARÇO DE 2017. Brasília.
- RIBEIRO, H. A. S.; ROCHA, C. H. (2021) Método para identificar concorrência ruínoza no setor de transporte rodoviário interestadual de passageiros. Revista Planejamento e Políticas Públicas, [S.L.], n. 57, p. 289-313. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA. <http://dx.doi.org/10.38116/ppp57art10>.
- RORIZ, A. (2024) A palavra-chave é segurança. Edição Informativa CNT. Disponível em: <https://cdn.cnt.org.br/diretorioVirtualPrd/68dff22c-513d-477d-becf-966366f3b5e7.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2024.
- SARAGIOTTO, D. (2023) Transporte rodoviário interestadual: pesquisa revela o perfil dos passageiros em todo o Brasil. Disponível em: <https://mobilidade.estadao.com.br/mobilidade-para-que/transporte-rodoviario-interestadual-pesquisa-revela-o-perfil-dos-passageiros-em-todo-o-brasil/>. Acesso em: 25 jun. 2024.
- ŠKERLIČ, S.; SOKOLOVSKIJ, E. (2020) Analysis of heavy truck maintenance issues. Pomorstvo, [S.L.], v. 34, n. 1, p. 24-31. University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies. <http://dx.doi.org/10.31217/p.34.1.3>.
- VALENTE, A. M. (2011) Gerenciamento de transporte e frotas. São Paulo: Cengage Learning.
- VAUGHAN, M. L.; FAGHRI, A.; LI, M. (2017) An Interactive Expert System Based Decision Making Model for the Management of Transit System Alternate Fuel Vehicle Assets. Intelligent Information Management, [S.L.], v. 09, n. 01, p. 1-20. Scientific Research Publishing, Inc. <http://dx.doi.org/10.4236/iim.2017.91001>.
- VELEZ, J. I.; MORALES, J. C. C. (2015) A modified Q-Q plot for large sample sizes. Comunicaciones En Estadística, [S.L.], v. 8, n. 2, p. 163. Universidad Santo Tomas. <http://dx.doi.org/10.15332/s2027-3355.2015.0002.02>.
- WANG, N.; HU, J.; MA, L.; XIAO, B.; LIAO, H. (2020) Availability Analysis and Preventive Maintenance Planning for Systems with General Time Distributions. Reliability

Engineering & System Safety, [S.L.], v. 201, p. 106993. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ress.2020.106993>.

WIJAYA, A. R.; LUNDBERG, J.; KUMAR, U. (2012): Robust-optimum multi-attribute age-based replacement policy. Division of Operation and Maintenance Engineering, Lulea University of Technology, Lulea, Sweden; Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 18 No. 3, 2012 pp. 325-343, Emerald Group Publishing Limited 1355-2511, DOI 10.1108/13552511211265910.

WIJNIA, Y.; DE CROON, J. (2015) Asset Management: The State of the Art in Europe from a Life Cycle Perspective. In: Asset Management Conference. European Network for Asset Management. p. 1-15.

ZHOU, C.; SU, Z.; HUI, Z. (2011) Bus Fleet Management System for BRT Based on Platform Screen Doors. Ictis 2011, [S.L.]. American Society of Civil Engineers.
[http://dx.doi.org/10.1061/41177\(415\)4](http://dx.doi.org/10.1061/41177(415)4).

APÊNDICE A – GRÁFICOS REFERENTES AOS VEÍCULOS FIGURA 17

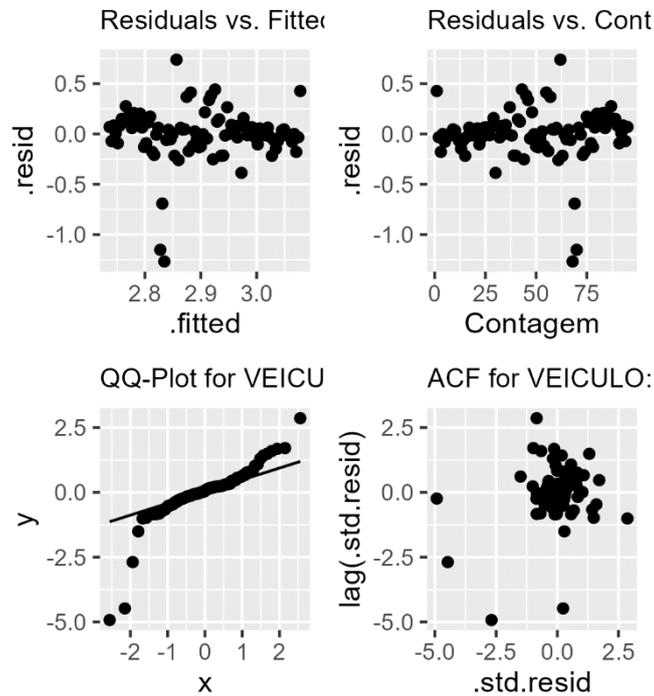


Figura A.0.1: Análise Estatística Gráfica – Veículo 1601

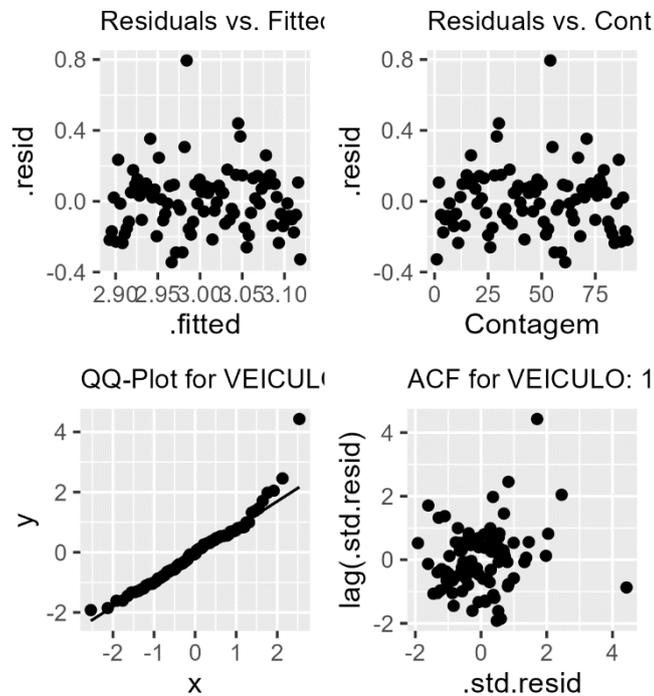


Figura A.0.2: Análise Estatística Gráfica – Veículo 1602

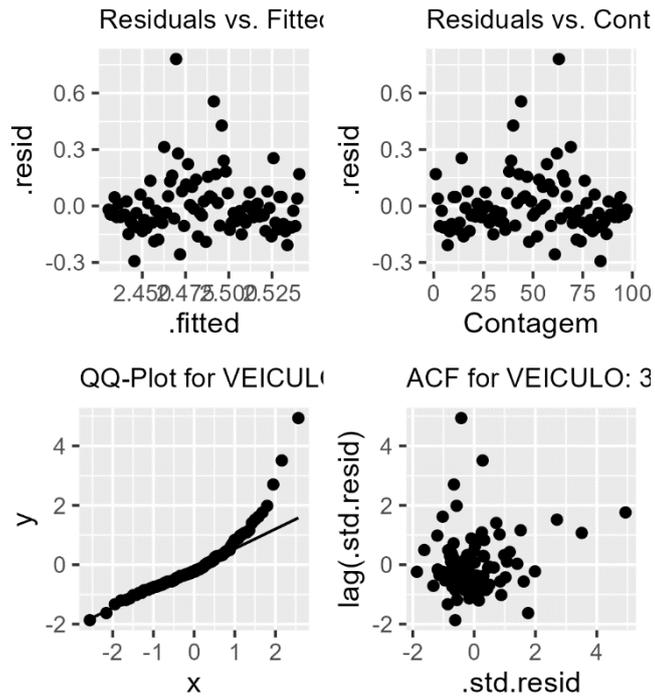


Figura A.0.3: Análise Estatística Gráfica – Veículo 3701

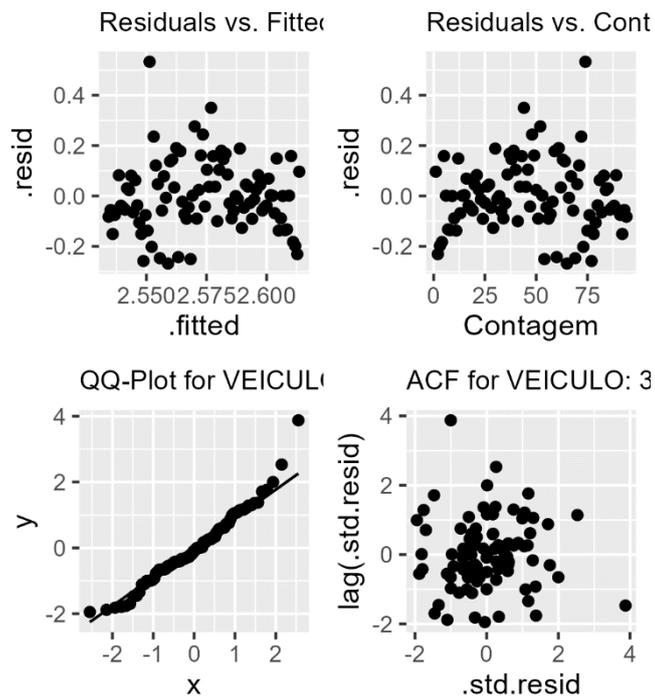


Figura A.0.4: Análise Estatística Gráfica – Veículo 3702

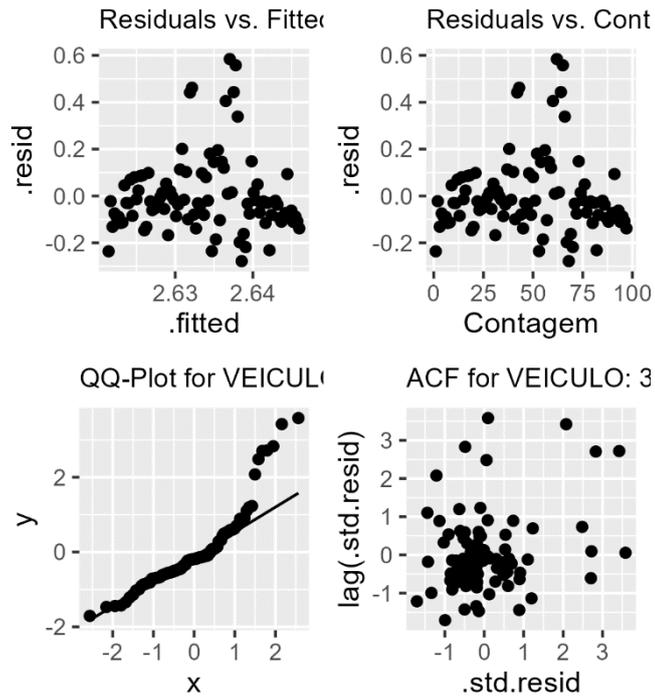


Figura A.0.5: Análise Estatística Gráfica – Veículo 3703

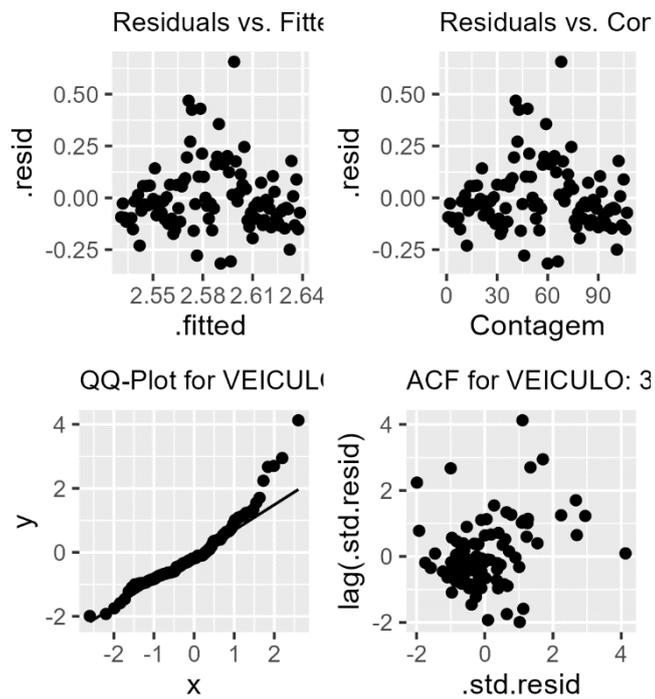


Figura A.0.6: Análise Estatística Gráfica – Veículo 3704

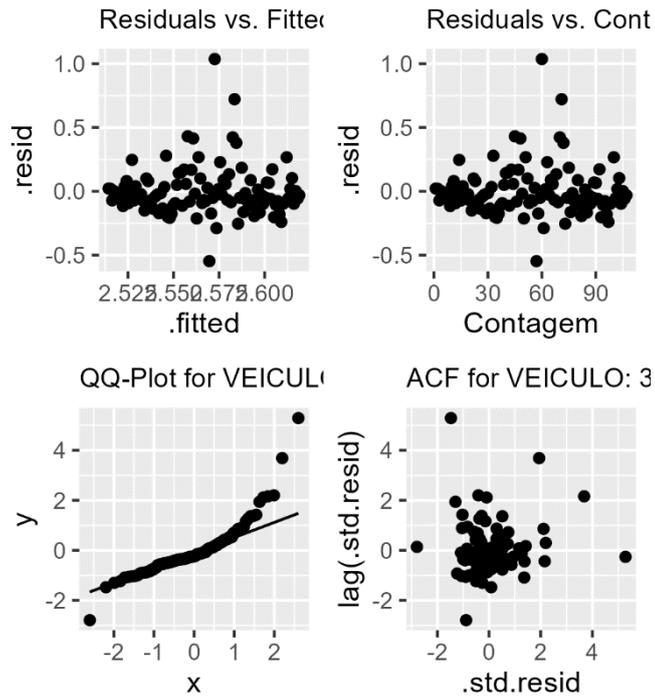


Figura A.0.7: Análise Estatística Gráfica – Veículo 3705

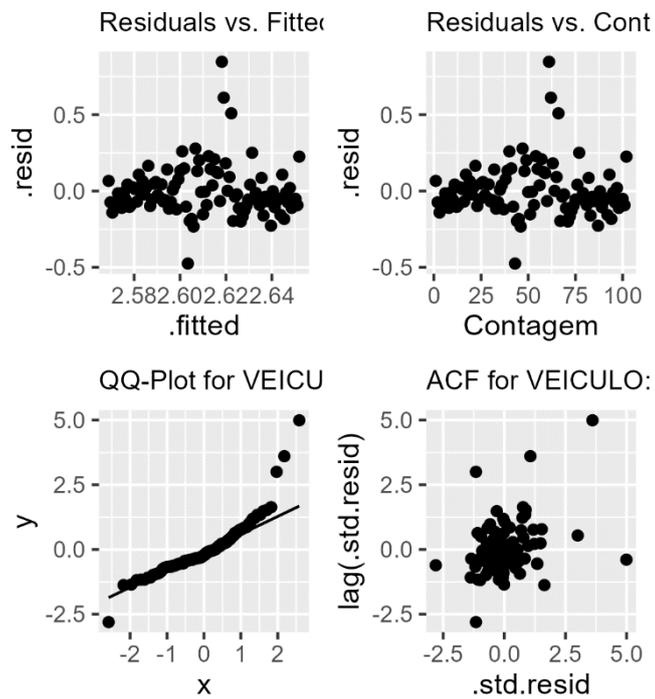


Figura A.0.8: Análise Estatística Gráfica – Veículo 3706

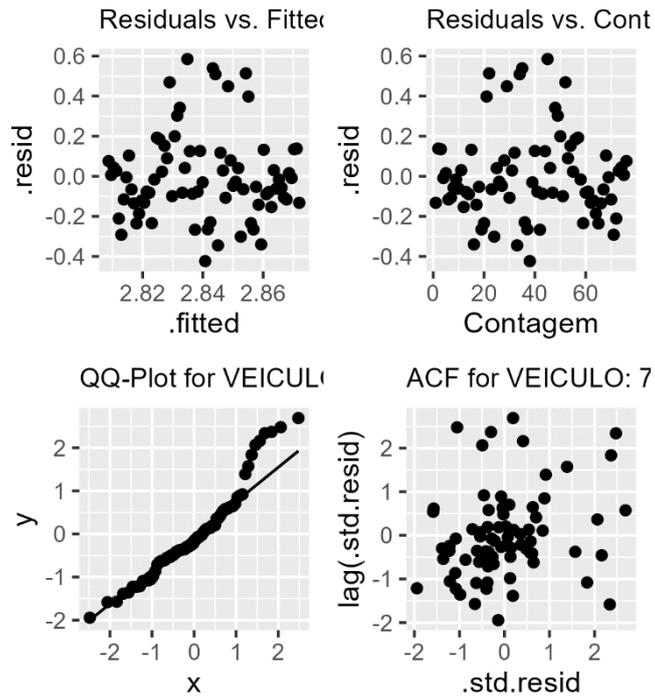


Figura A.0.9: Análise Estatística Gráfica – Veículo 7117

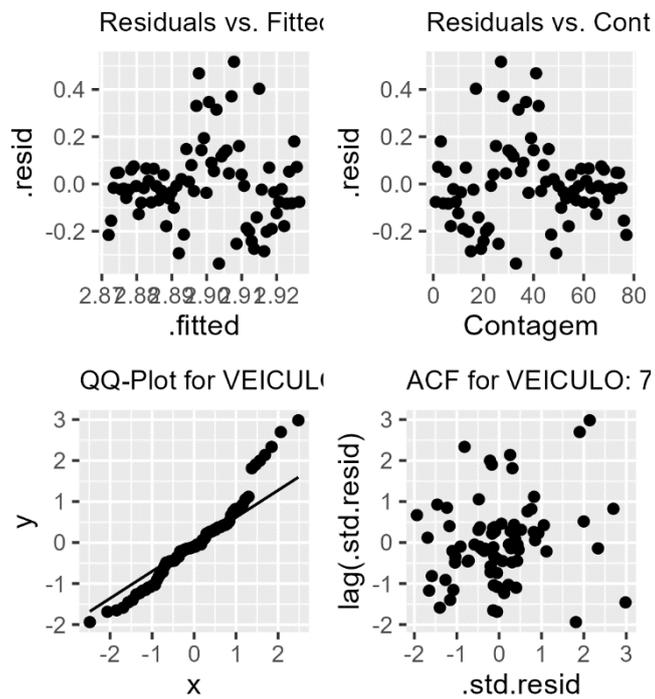


Figura A.0.10: Análise Estatística Gráfica – Veículo 7125

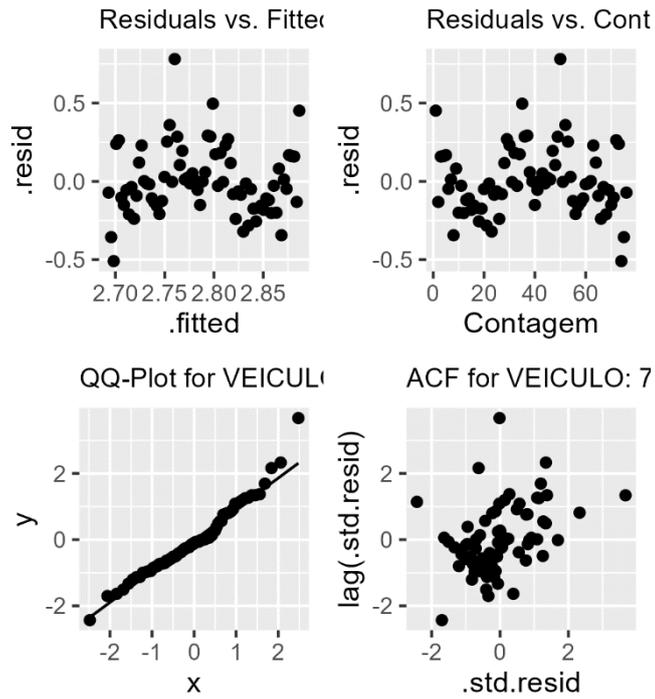


Figura A.0.11: Análise Estatística Gráfica – Veículo 7133

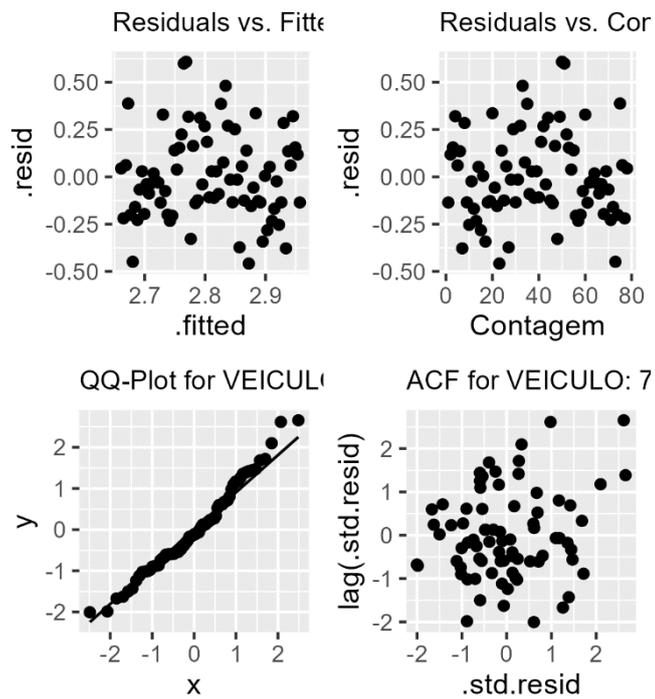


Figura A.0.12: Análise Estatística Gráfica – Veículo 7134

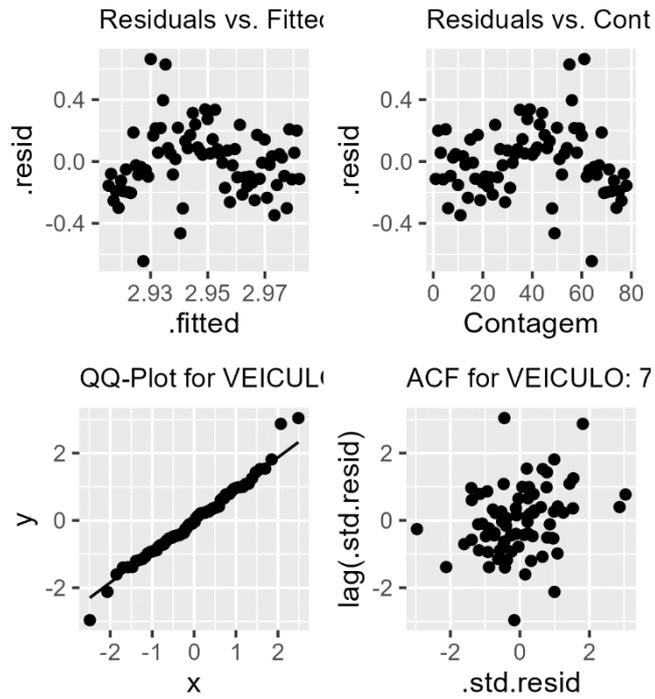


Figura A.0.13: Análise Estatística Gráfica – Veículo 7135

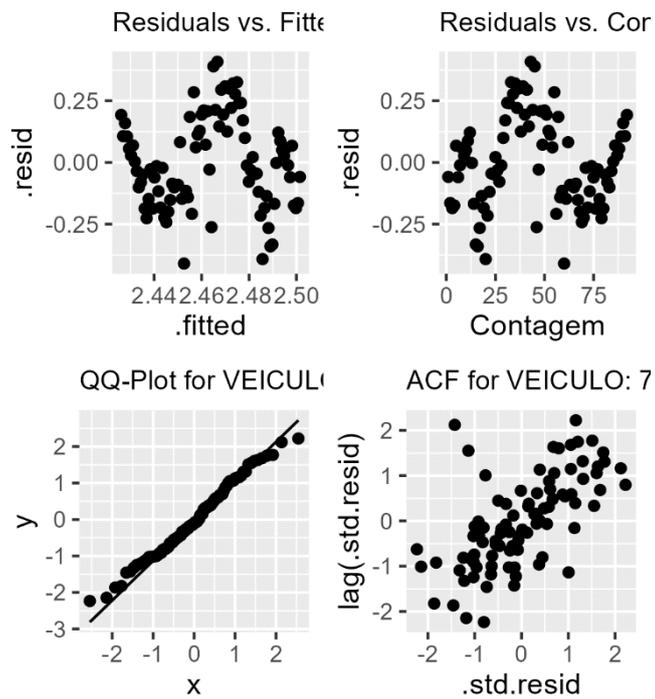


Figura A.0.14: Análise Estatística Gráfica – Veículo 7302

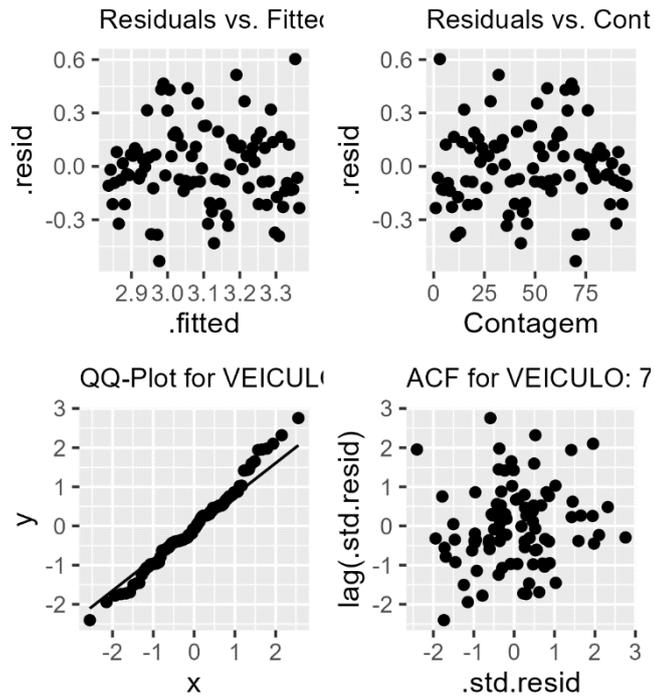


Figura A.0.15: Análise Estatística Gráfica – Veículo 7311

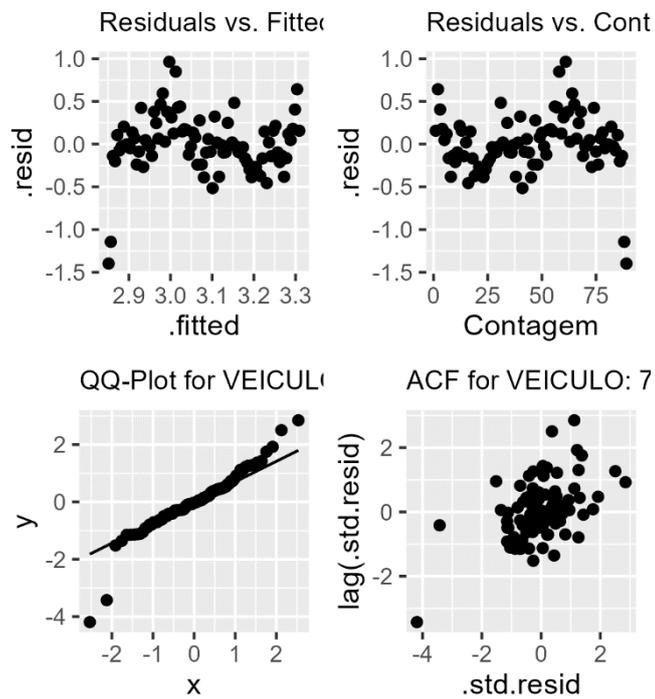


Figura A.0.16: Análise Estatística Gráfica – Veículo 7319

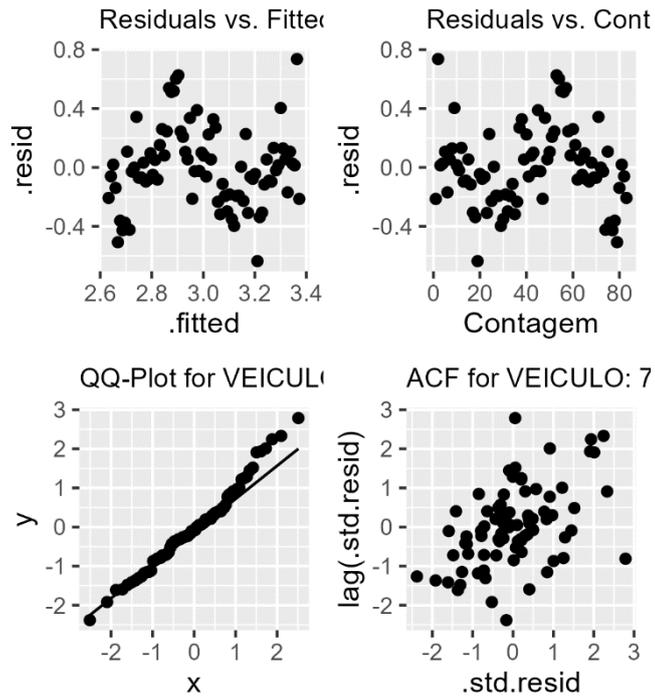


Figura A.0.17: Análise Estatística Gráfica – Veículo 7320

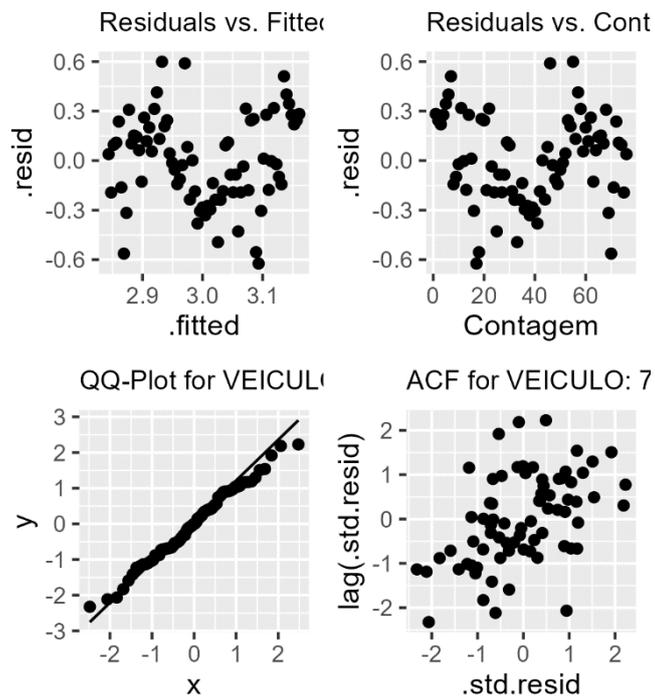


Figura A.0.18: Análise Estatística Gráfica – Veículo 7322

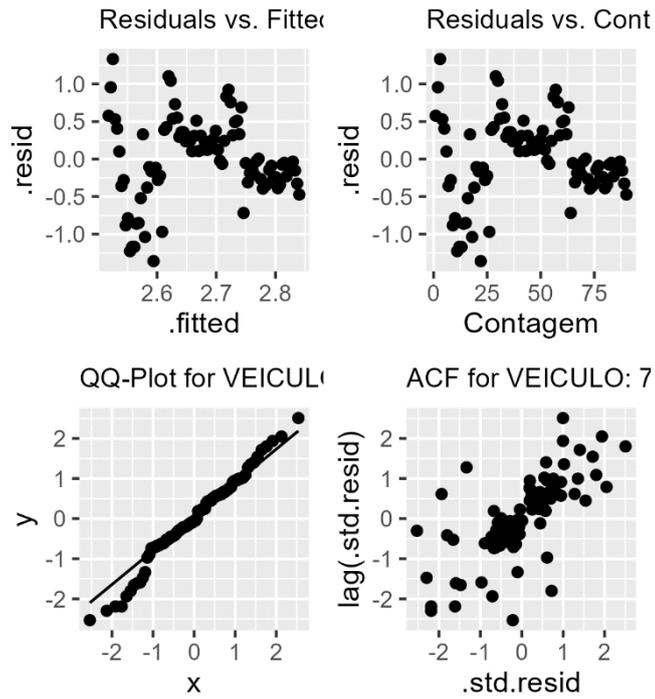


Figura A.0.19: Análise Estatística Gráfica – Veículo 7401

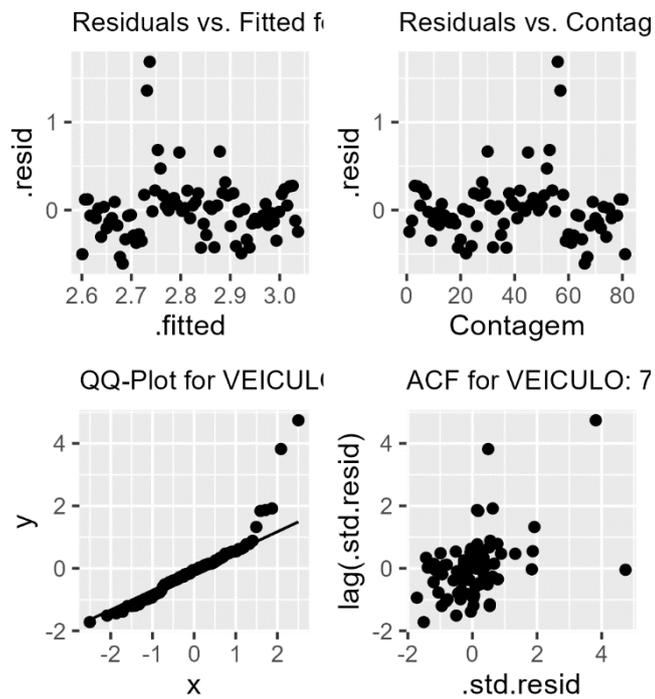


Figura A.0.20: Análise Estatística Gráfica – Veículo 7532

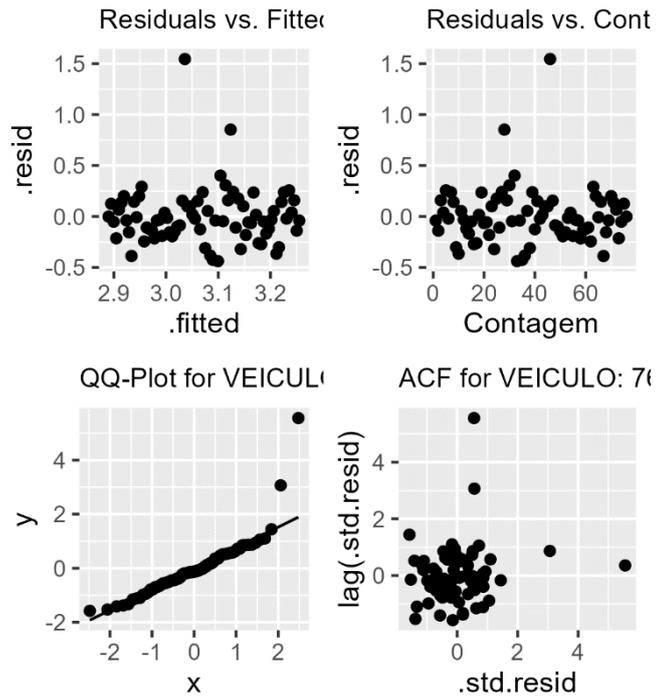


Figura A.0.21: Análise Estatística Gráfica – Veículo 7611

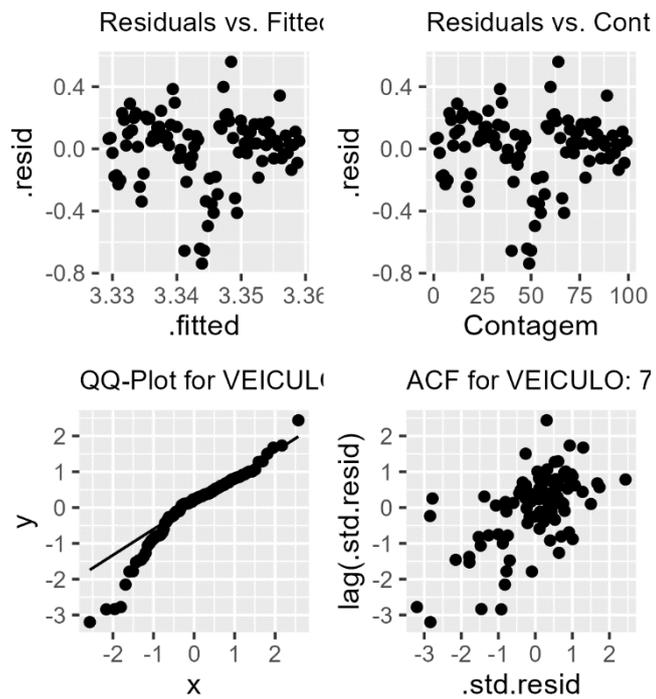


Figura A.0.22: Análise Estatística Gráfica – Veículo 7613

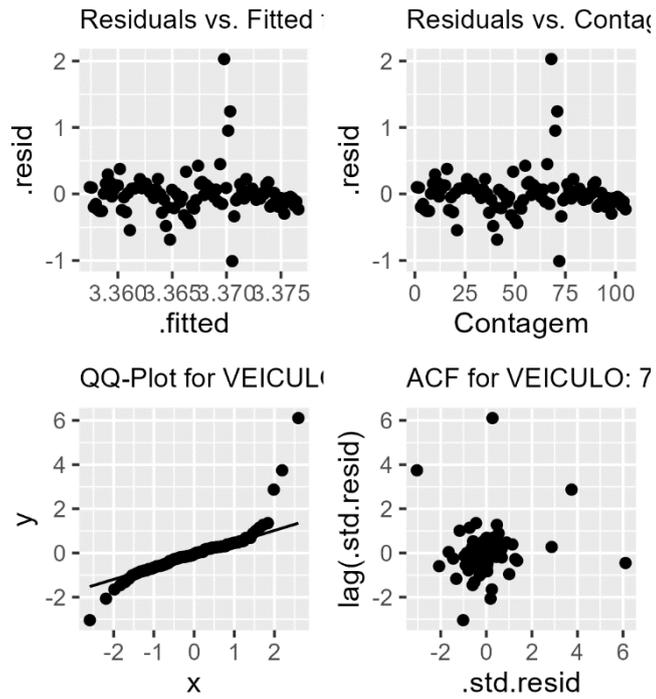


Figura A.0.23: Análise Estatística Gráfica – Veículo 7614

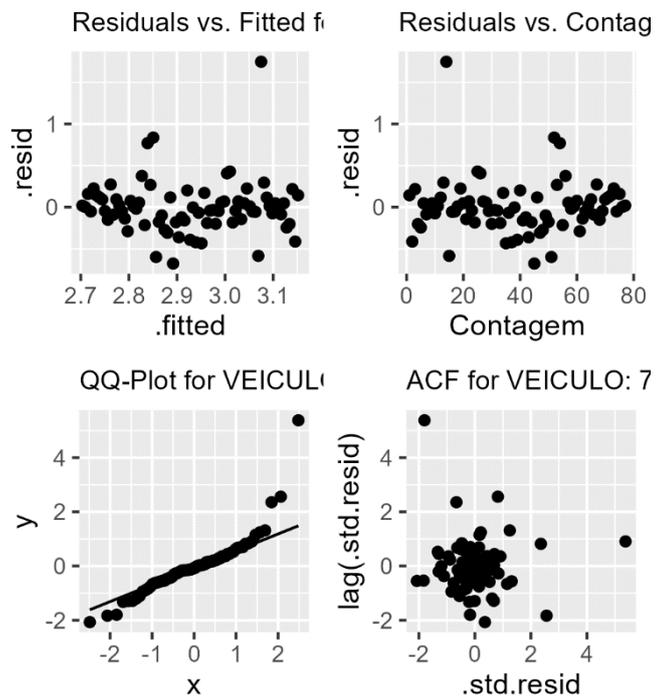


Figura A.0.24: Análise Estatística Gráfica – Veículo 7703

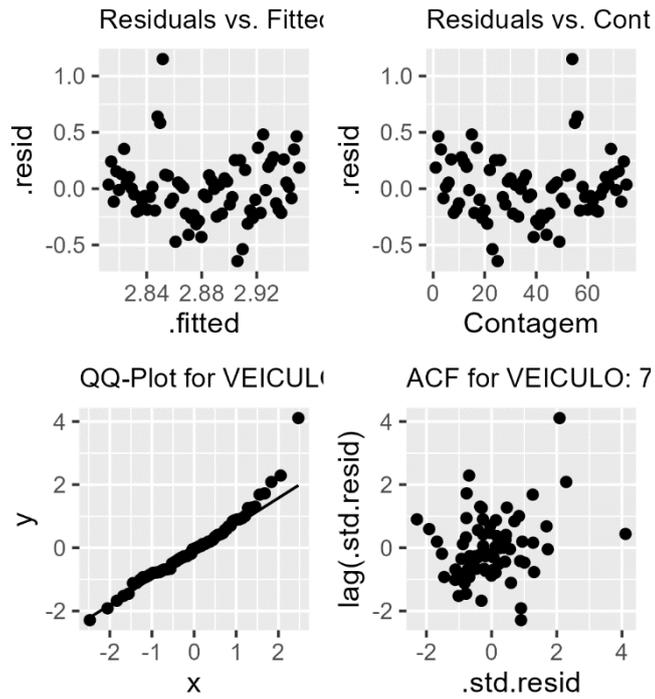


Figura A.0.25: Análise Estatística Gráfica – Veículo 7709

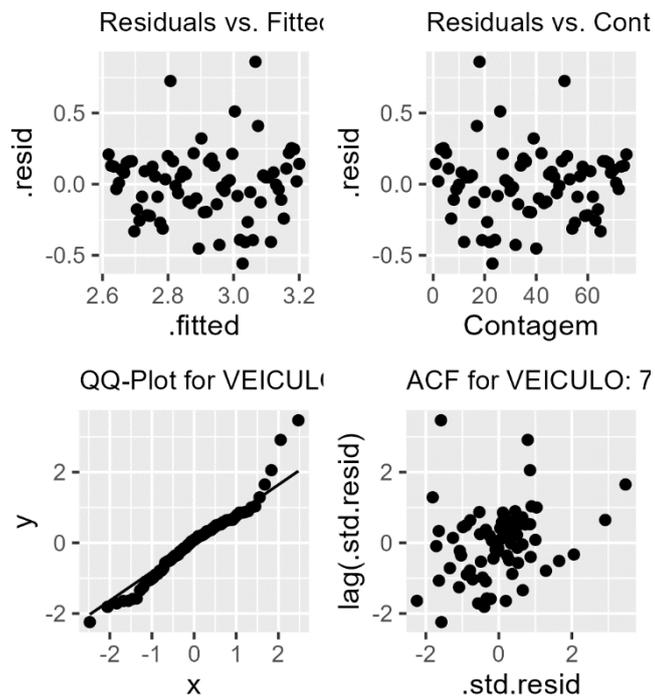


Figura A.0.26: Análise Estatística Gráfica – Veículo 7712

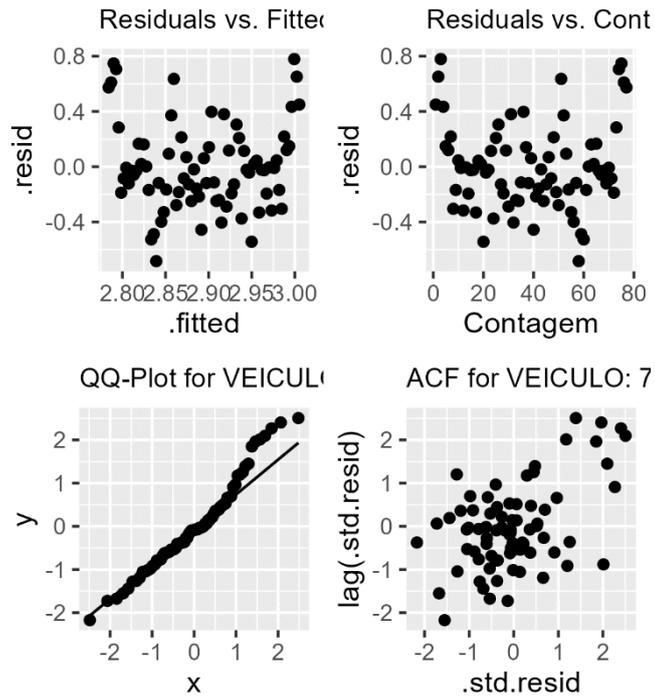


Figura A.0.27: Análise Estatística Gráfica – Veículo 7713

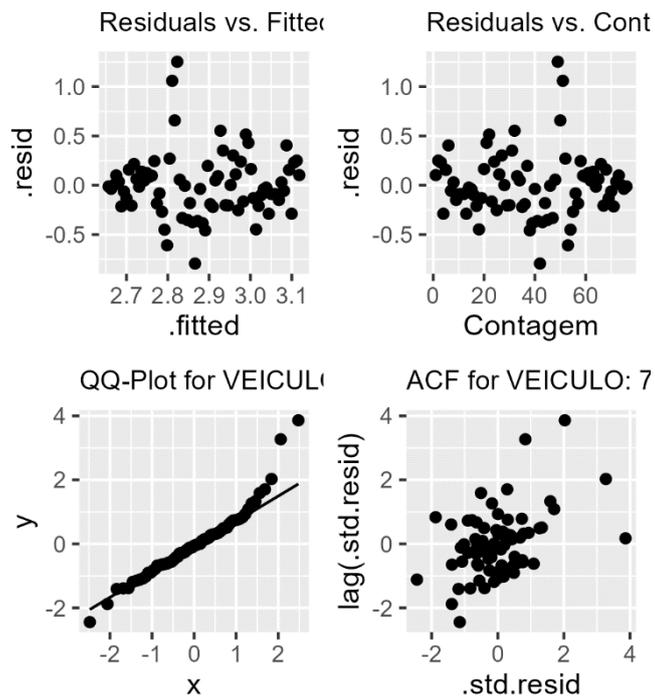


Figura A.0.28: Análise Estatística Gráfica – Veículo 7726

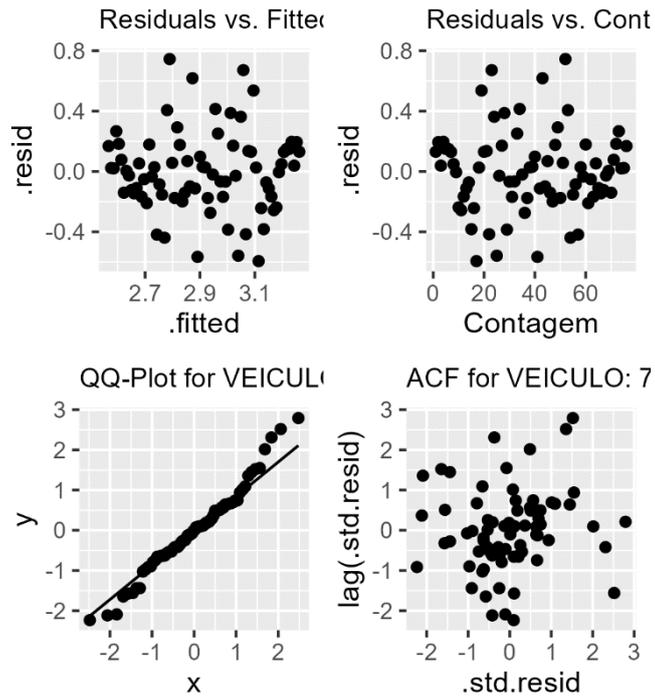


Figura A.0.29: Análise Estatística Gráfica – Veículo 7733

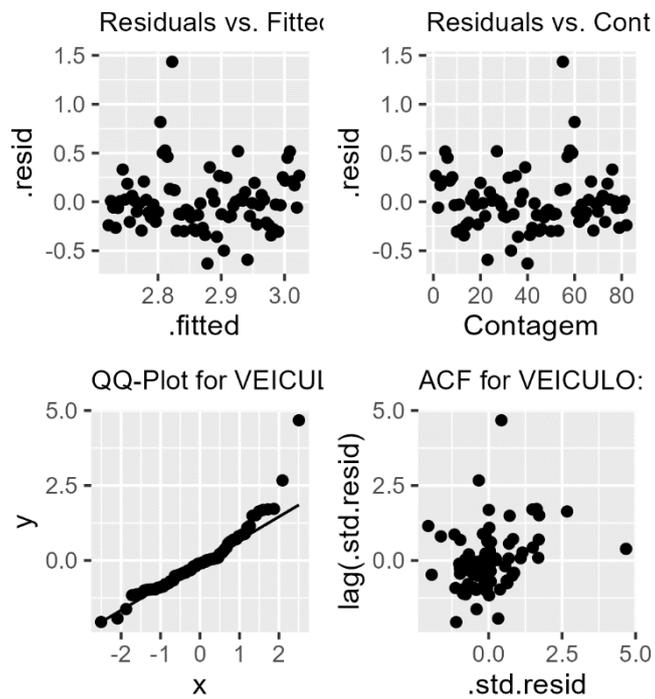


Figura A.0.30: Análise Estatística Gráfica – Veículo 7735

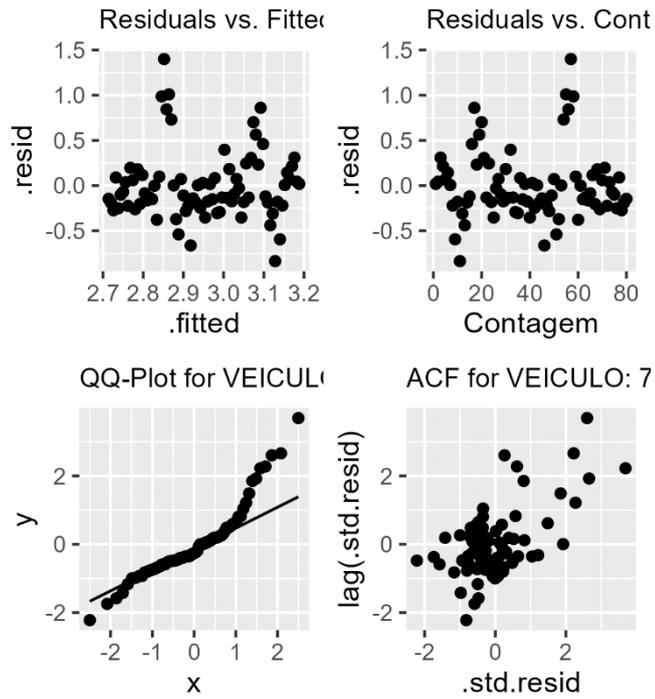


Figura A.0.31: Análise Estatística Gráfica – Veículo 7737

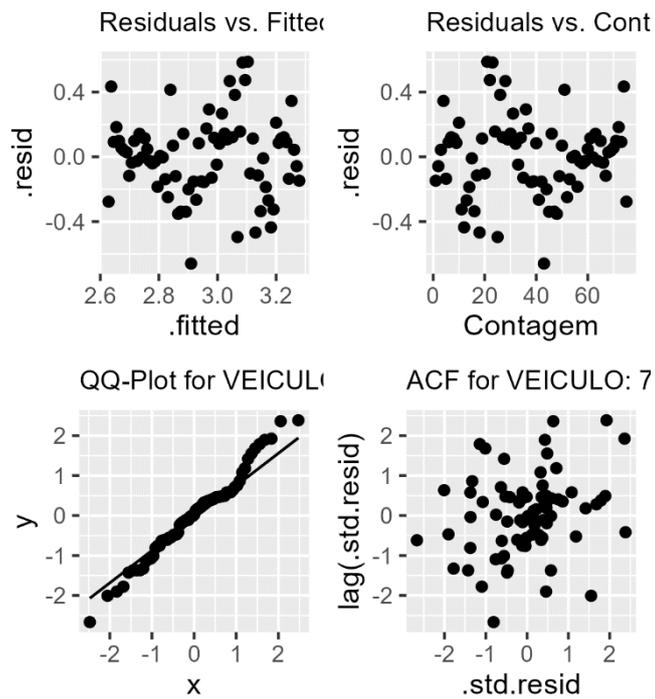


Figura A.0.32: Análise Estatística Gráfica – Veículo 7741

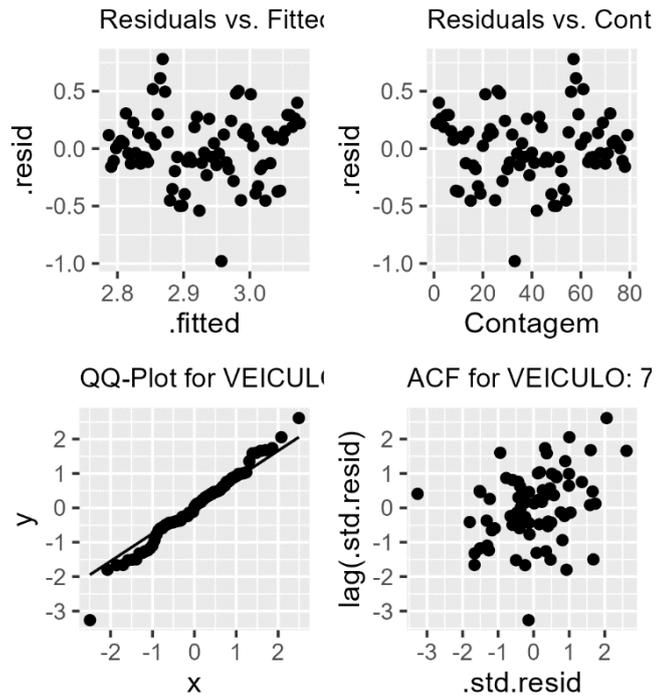


Figura A.0.33: Análise Estatística Gráfica – Veículo 7747

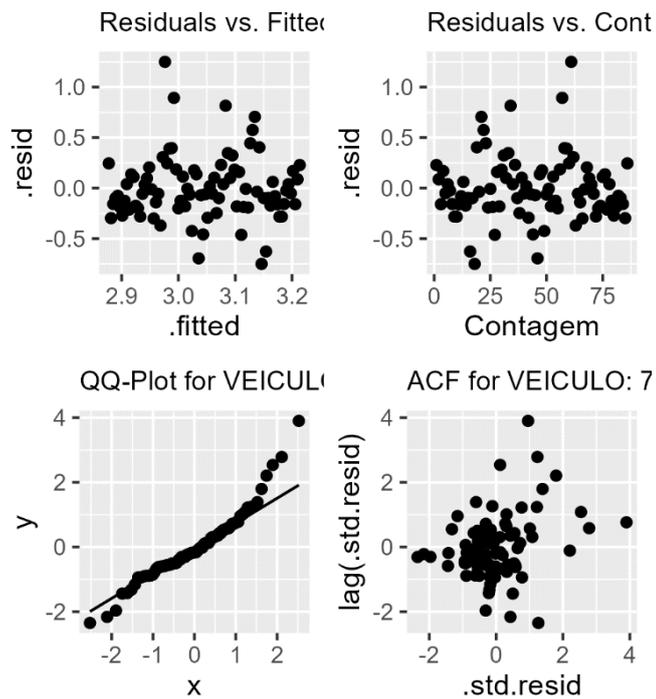


Figura A.0.34: Análise Estatística Gráfica – Veículo 7749

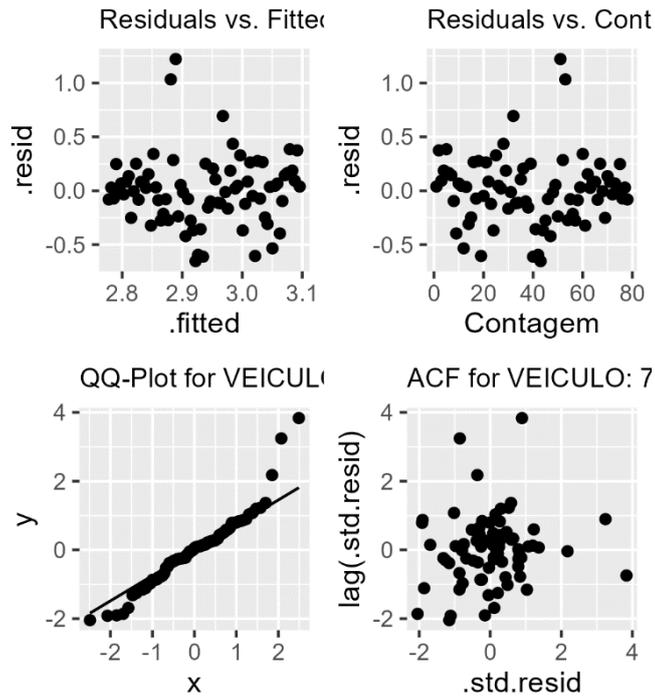


Figura A.0.35: Análise Estatística Gráfica – Veículo 7752

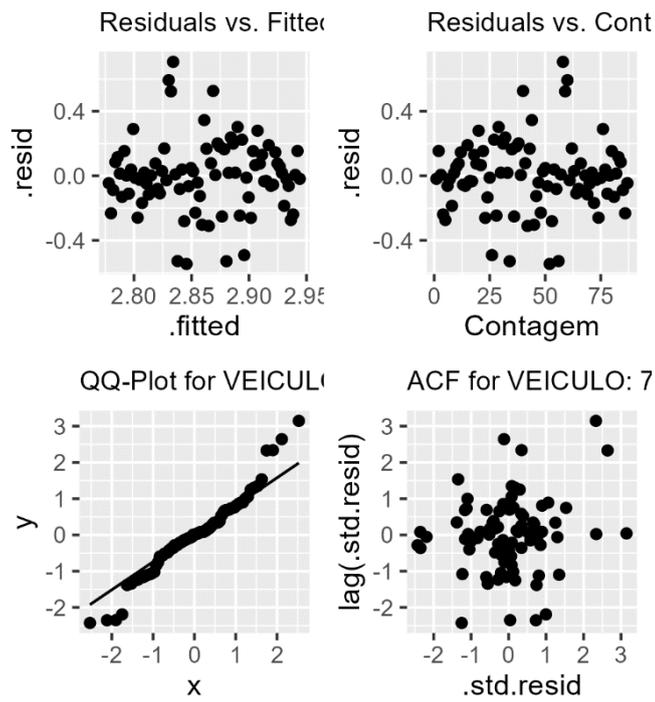


Figura A.0.36: Análise Estatística Gráfica – Veículo 7754

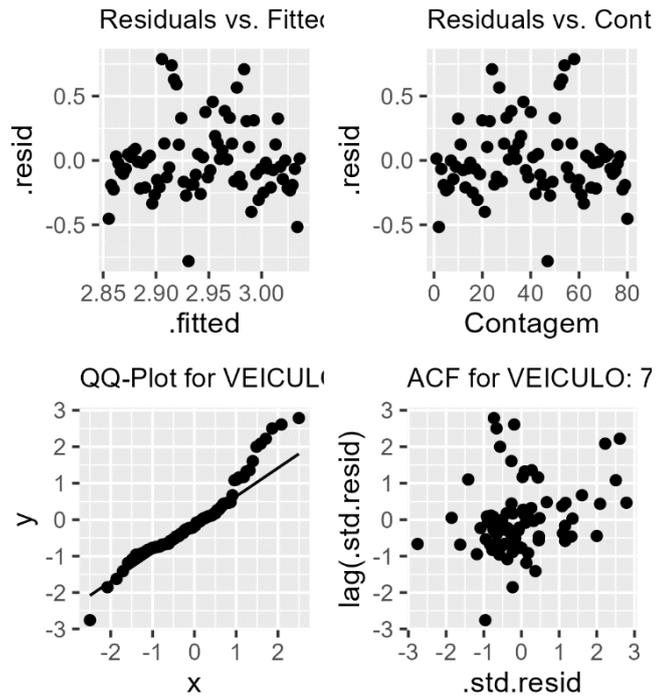


Figura A.0.37: Análise Estatística Gráfica – Veículo 7755

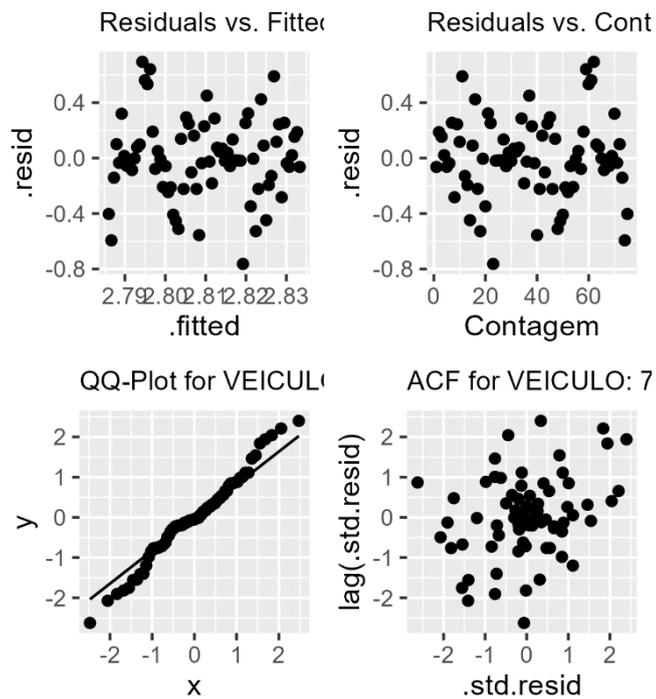


Figura A.0.38: Análise Estatística Gráfica – Veículo 7756

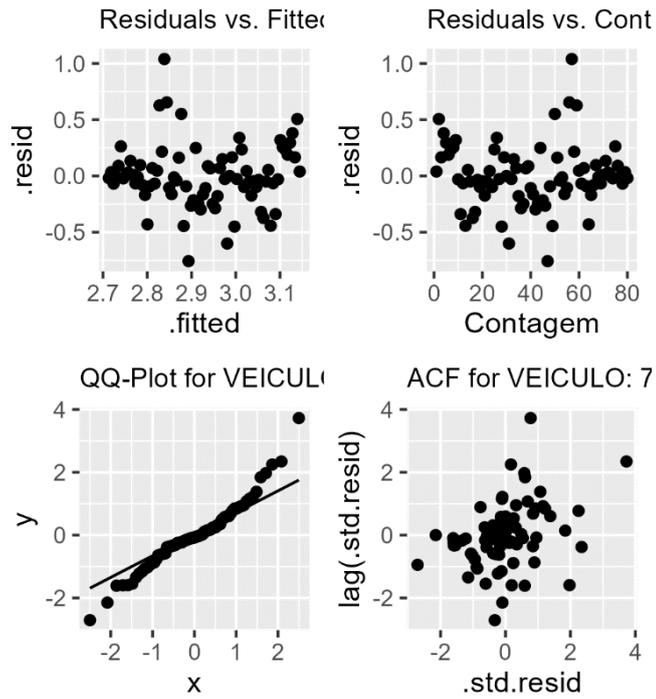


Figura A.0.39: Análise Estatística Gráfica – Veículo 7758

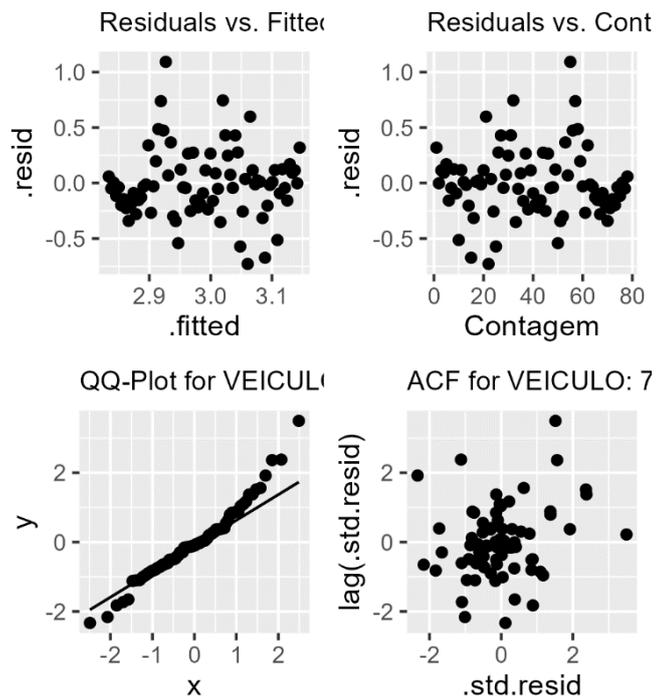


Figura A.0.40: Análise Estatística Gráfica – Veículo 7759