



PROJETO DE GRADUAÇÃO

**ESTUDO DOS PARÂMETROS DE INFLUÊNCIA
NO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL DE ÔNIBUS
URBANO**

Por,

Lucas Ferreira Lopes

Brasília, 26 de novembro de 2014

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia Mecânica

PROJETO DE GRADUAÇÃO

ESTUDO DOS PARÂMETROS DE INFLUÊNCIA NO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL DE ÔNIBUS URBANO

POR,

Lucas Ferreira Lopes

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção
do grau de Engenheiro Mecânico.

Banca Examinadora

Prof. Alberto C. G. C. Diniz, UnB/ ENM (Orientador)

Prof. Adriano Todorovic Fabro, UnB/ENM
(coorientador)

Prof. Antônio Piratelli Filho, UnB/ENM

Prof. Eder Lima de Albuquerque, UnB/ENM

Brasília, 26 de novembro de 2014

RESUMO

O presente trabalho apresenta uma metodologia para a quantificação dos parâmetros operacionais de uma frota de ônibus urbanos, tais como perfis de linha e características técnicas dos veículos, e posterior análise estatística para avaliar sua influência, no desempenho de consumo de combustível e consequente redução de custos. As séries de dados utilizados nesta análise foram levantados em uma operadora de transporte público do Distrito Federal, em situações reais de operação, utilizando as ferramentas de controle e acompanhamentos típicos já implementados na empresa, tais como os sistemas eletrônicos embarcados no motor do veículo. Utilizando a metodologia apresentada, sugestões de mudanças nos parâmetros operacionais foram apresentadas e seus consequentes efeitos no desempenho de diferentes linhas analisadas. Ao fim foram apresentadas propostas que possibilitam a redução do consumo de combustível e levantado questionamentos para futuros estudos.

Palavras-chaves: Consumo de combustível, ônibus urbano, parametrização de rotação por marcha, grupos de linhas e motoristas.

ABSTRACT

This paper presents and analyses how the fuel efficiency is affected by the routes profiles and the technical and operational characteristics of urber buses. The data acquired comes from a Brazilian bus company, which has been looking for a way to minimize its fuel consumption, specially for the minibuses. The electronic systems attached to the engine were the most important tool used to provide better fuel results. In the end, lower fuel consumptions were reached and presented a statistical methodology to evaluate the routes, buses and drivers effects on the fleet energetic efficiency.

Keywords: Fuel consumption, public buses, upper limit engine speed for each gear, groups of routes and drivers.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	METODOLOGIA	13
1.2	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	14
2	PRINCÍPIOS DE CONSUMO EFICIENTE DE COMBUSTÍVEL EM ÔNIBUS URBANOS	16
2.1	PERFIL DAS LINHAS.....	17
2.1.1	<i>Topografia</i>	17
2.1.2	<i>Pontos de parada e Congestionamento</i>	18
2.1.3	<i>Velocidade operacional</i>	18
2.1.4	<i>Carregamento de passageiros</i>	22
2.1.5	<i>Índice de passageiros por quilômetro</i>	25
2.2	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS OPERACIONAIS DO VEÍCULO	25
2.2.1	<i>Relação Força na Roda / Potência / Torque</i>	25
2.2.2	<i>Influência da marcha</i>	27
2.2.3	<i>Parametrização da rotação por marcha</i>	29
2.2.3.1	<i>Velocidade de cruzeiro por marcha em função da rotação do motor</i>	30
2.2.3.2	<i>Relação entre velocidade e rotação no momento da troca de marcha</i>	32
2.2.3.3	<i>Definição do limite de rotação por marcha</i>	33
2.3	MANUTENÇÃO PREVENTIVA.....	36
2.4	ESTILO DE DIREÇÃO	37
3	CARACTERÍSTICAS DO TRANSPORTE URBANO POR ÔNIBUS – EMPRESA EM ESTUDO	39
3.1	CARACTERÍSTICAS DOS VEÍCULOS.....	39
3.2	PERFIL DAS LINHAS EM OPERAÇÃO	40
3.3	MONITORAMENTO DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL.....	40
3.4	SISTEMA DE MONITORAMENTO POR SATÉLITE	41
4	LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE DADOS – EXPERIMENTAL	43
4.1	SELEÇÃO DOS VEÍCULOS E LINHAS A SEREM ANALISADOS.....	43

4.2	MONITORAMENTO DOS VEÍCULOS SELECIONADOS	44
4.2.1	<i>Procedimento de monitoramento</i>	44
4.2.2	<i>Aplicação do checklist de manutenção</i>	44
4.2.3	<i>Sincronização entre veículo, rota e motorista</i>	45
4.2.4	<i>Levantamento do perfil da linha</i>	45
4.3	PRIMEIRO MÓDULO DE ACOMPANHAMENTO	47
4.3.1	<i>Desafios</i>	48
4.3.2	<i>Dados</i>	49
4.3.3	<i>Análise de dados</i>	50
4.4	SEGUNDO MÓDULO DE ACOMPANHAMENTO	52
4.4.1	<i>Desafios</i>	54
4.4.2	<i>Dados</i>	55
4.4.3	<i>Análise de dados</i>	58
4.5	COMPARAÇÃO ENTRE MÓDULO 1 E 2	65
5	LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE DADOS – ESTATÍSTICO	66
5.1	METODOLOGIA ESMAP	66
5.2	COLETA DE DADOS	68
5.3	SELEÇÃO DE DADOS	70
5.4	ANÁLISE DE DADOS	72
6	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	78
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
8	ANEXOS	82

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama de Corpo Livre (Resistência ao aclave)	17
Figura 2 - Consumo de Diesel x Velocidade para ônibus de acordo com a metodologia ANTP.....	19
Figura 3 - Consumo de Diesel x Velocidade para ônibus de acordo com a metodologia de Lamure (1994 <i>apud</i> Vasconcellos e Lima, 1998).....	19
Figura 4 - Velocidade econômica da primeira à sexta marcha.....	20
Figura 5 - Desenvolvimento de velocidade entre paradas	20
Figura 6 - Velocidades médias de ônibus por tipo de via nos períodos da manhã e tarde	21
Figura 7 - Velocidade operacional por tipo modal.....	22
Figura 8 - Peso bruto total	23
Figura 9 – Resistência ao rolamento	23
Figura 10 – Efeitos do aclave.....	23
Figura 11 - Forças resistivas ao arrasto	24
Figura 12 - Conexões do motor até a roda	26
Figura 13 - Curva de Torque, com indicação da região de maior torque e menor consumo.....	27
Figura 14 - Força aplicada na roda para as marchas 1 a 6.....	28
Figura 15 – Gráfico aclave x velocidade, mostrando a relação de cada marcha com a rigorosidade do aclave, em porcentagem, e o aumento da velocidade.	29
Figura 16 - Representação da igualdade entre a velocidade tangencial na roda e a velocidade angular da mesma.....	31
Figura 17 - Porcentagem de TM a ser desenvolvida durante a 3ª marcha ao começar em 1.243 rpm ..	34
Figura 18 - Porcentagem de TM a ser desenvolvida durante a 2ª marcha ao começar em 1.120 rpm ..	34
Figura 19 - Tipos de linhas urbanas: alimentadoras (amarelo), radiais (vermelho), diametrais (preto), circulares (azul), troncais (amarelo escuro), intermunicipais (roxo) e rurais (azul claro).....	40
Figura 20 – Trajeto percorrido pelo miniônibus na linha A (ciano), obtido via software de monitoramento da empresa.	46
Figura 21 - Perfil topográfico da linha A	46

Figura 22 – Trajeto percorrido na linha B (roxo), obtido via software de monitoramento da empresa.	47
Figura 23 - Perfil topográfico da linha B.....	47
Figura 24 - Chave geral quebrada do suporte.....	54
Figura 25 - Chave de emergência com o seu acionamento burlado	55
Figura 26 - Perfil topográfico da linha A sobreposto por triângulos retângulos para análise	61
Figura 27 - Perfil topográfico da linha B sobreposto por triângulos retângulos para análise	61
Figura 28 – Relação percentual nas variáveis consideradas na análise das linhas A e B, assim como nas respectivas autonomias.....	64
Figura 29 - Gráfico comparativo do desempenho dos grupos de motoristas	75
Figura 30 - Gráfico comparativo do desempenho dos grupos de motoristas	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Nomenclatura das rotações com destaque para a faixa verde operacional.....	32
Tabela 2 - Velocidade por marcha de acordo com a rotação.....	32
Tabela 3 - Relação entre velocidade e rotação no momento de troca e entrada da 1ª para a 2ª marcha	33
Tabela 4 - Relação entre velocidade e rotação no momento de troca e entrada da 2ª para a 3ª marcha com porcentagem de permanência dentro da faixa de torque máximo	35
Tabela 5 - Relação entre velocidade e rotação no momento de troca e entrada da 2ª para a 3ª marcha com a força na roda.	35
Tabela 6 - Relação sugerida entre velocidade e rotação nos momentos de troca e entrada da 1ª até a 6ª marcha	36
Tabela 7 - Especificações Técnicas dos Miniônibus do presente estudo	39
Tabela 8 - Veículos monitorados.....	44
Tabela 9 – Lista de inspeção de manutenção para os módulos 1 e 2.	45
Tabela 10 - Perfil das linhas monitoradas	46
Tabela 11 - Parametrização Módulo 1 - 1ª semana	48
Tabela 12 - Parametrização Módulo 1 - 2ª semana	48
Tabela 13 – Resultados do monitoramento do miniônibus 953- Módulo 1	50
Tabela 14 - Resultados do monitoramento do miniônibus 957 - Módulo 1	50
Tabela 15 - Resultados do monitoramento do miniônibus 958 - Módulo 1	50
Tabela 16 - Diferença da autonomia média dos miniônibus em relação à meta	51
Tabela 17 - Autonomia média do módulo 1	51
Tabela 18 - Parametrização da rotação por marcha no módulo 2	52
Tabela 19 - Tipo de parametrização por veículo nas linhas A e B	53
Tabela 20 – Resultados do monitoramento do miniônibus 953 - Módulo 2.	56
Tabela 21 – Resultados do monitoramento do miniônibus 924 - Módulo 2.	56
Tabela 22 – Resultados do monitoramento do miniônibus 958 - Módulo 2.	56
Tabela 23 – Resultados do monitoramento do miniônibus 939 - Módulo 2.	56

Tabela 24 – Resultados do monitoramento do miniônibus 957 - Módulo 2.	57
Tabela 25 – Resultados do monitoramento do miniônibus 940 - Módulo 2.	57
Tabela 26 – Resultados do monitoramento do miniônibus 955 - Módulo 2.	57
Tabela 27 – Resultados do monitoramento do miniônibus 928 - Módulo 2.	57
Tabela 28 - Diferença da autonomia média em relação à meta - Módulo 2.....	58
Tabela 29 - Diferença percentual entre as propostas do módulo 1 e 2 - Linha A	58
Tabela 30 - Diferença percentual entre as propostas do módulo 1 e 2 - Linha B.....	58
Tabela 31 - Perspectiva dos fatores operacionais linha x proposta	60
Tabela 32 - Perfil comparativo das linhas A e B.....	60
Tabela 33 - Aclives e suas inclinações ao longo do percurso da linha A.....	62
Tabela 34 - Aclives e suas inclinações ao longo do percurso da linha B	62
Tabela 35 – Variáveis consideradas na análise das linhas A e B e impacto nas respectivas autonomies.	64
Tabela 36 - Comparação geral do módulo 1 x veículo 955.....	65
Tabela 37 - Dados operacionais e de consumo compilados	69
Tabela 38 - Relação consumo, motorista e ônibus em 2 meses para um veículo.....	71
Tabela 39 - Relação consumo, motorista e ônibus em 2 meses após filtros de consumo e motorista para um veículo	72
Tabela 40 - Relação consumo, motorista e ônibus com variações de 1 a 4.....	73
Tabela 41 - Composição do número de equações para 1 dia de consumo	73
Tabela 42 - Número de grupos por variável.....	74
Tabela 43 - Média do consumo de combustível por grupo de motoristas do veículo 957	75
Tabela 44 - Relação consumo, motorista e ônibus em 2 meses após filtros de consumo e motorista para o veículo 958	76
Tabela 45 - Média do consumo de combustível por grupo de motoristas do veículo 958	76

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolos

V	Velocidade	[km/h]
C	Consumo	[km/L]
$carr$	Carregamento (sentado + em pé)	[passageiros]
F_{rol}	Força resistiva ao rolamento	[N]
F_i	Força resistiva a inclinação	[N]
F_a	Força resistiva ao arrasto	[N]
F_{roda}	Força na roda	[N]
R_{rol}	Resistência ao rolamento	[kgf/ton]
i	Inclinação	[decimal]
C_a	Coefficiente aerodinâmico	[adimensional]
w	Velocidade angular da roda	[rpm]
r	Raio dinâmico do pneu	[m]
N	Número de voltas da roda por segundo	[voltas/s]
n	Rotação do motor	[rpm]
P	Carga de passageiros	[kg]
R	Redutores de velocidade	[quantidade]
T	Topografia	[adimensional]
β_0	Constante de regressão	[adimensional]
R_i	Coefficiente de correção das linhas	[adimensional]
B_j	Coefficiente de correção dos ônibus	[adimensional]
D_k	Coefficiente de correção dos motoristas	[adimensional]

Siglas

ANTP	Associação Nacional dos Transportes Públicos
------	----------------------------------------------

ESMAP	Energy Sector Management Assistance Program
PBT	Peso Bruto Total
IPK	Índice de Passageiros por quilômetro
RRC	Relação de redução por marcha
RRD	Relação de redução do diferencial
TM	Faixa de Torque Máximo
GPS	Global Positioning System
VALC	Vehicle Acceleration Limitation and Control
BCO	Boletim de Controle de Operação

1 INTRODUÇÃO

O transporte público é classificado como item de primeira necessidade em uma sociedade. Sendo que atualmente no Brasil o sistema de transporte público urbano por ônibus é responsável pelo deslocamento de 40 milhões de passageiros diariamente, representando 87% da demanda de transporte público coletivo, Oliveira *et al* (2013). A demanda pelo transporte público urbano é crescente em escala mundial, setor o qual consome 23% da energia mundial, de acordo com o estudo realizado pela ESMAP (2011b). É neste contexto que surge a necessidade de operações mais eficientes, buscando a redução do consumo de combustível dos ônibus em prol da redução dos custos operacionais e da diminuição direta da emissão de poluentes.

Segundo Mialhe (1996 apud Fender Neto, 2010), o consumo de combustível representa uma grande parcela dos custos operacionais de uma operadora de transporte, sendo de fundamental importância a identificação dos parâmetros que impactam diretamente na autonomia do veículo. O alto consumo se dá pela exigência de utilização do motor fora da faixa econômica, podendo ser influenciada por diversas variáveis, tais como as expostas pela ESMAP (2011b): tamanho do veículo, capacidade de passageiros, potência do motor, temperatura, especificidades da rota e estilo de direção do motorista.

Em resposta à alta representatividade do consumo de combustível nos custos operacionais de uma operadora de ônibus urbano do Distrito Federal, cerca de 20%, a Viação São José iniciou um estudo buscando minimizar o consumo de diesel dos seus veículos. O presente trabalho de graduação decorre do desenvolvimento desse estudo juntamente com a empresa citada, como parte de um programa de estágio. O foco do trabalho é dado para veículos da categoria miniônibus, os quais apresentam um consumo médio entre 2,7 e 3,0 km/L, semelhante ao de ônibus convencional. Baseado na experiência da empresa e em pesquisas de mercado, tais veículos deveriam desempenhar a autonomia média de 3,5 km/L, uma vez que estes tem uma capacidade de carga 30% menor que um ônibus convencional. Os respectivos veículos são embarcados com tecnologias que permitem parametrizar os limites de rotação das marchas, assim como limitar eletronicamente quesitos operacionais e técnicos do motor, no presente momento tais ferramentas não são exploradas ao máximo, a fim de otimizar o desempenho de seus miniônibus.

O objetivo do presente estudo é levantar e analisar os dados e variáveis que impactam no consumo de combustível, em especial na categoria miniônibus. Espera-se que ao fim dessa análise seja possível apresentar os benefícios da utilização adequada dos recursos eletrônicos embarcados nos veículos quanto ao consumo de combustível, sendo assim, possível propor uma parametrização para limitar a rotação das marchas e apresentar possíveis medidas corretivas. De forma complementar ao estudo, propor à empresa a utilização de uma metodologia estatística para avaliação da interação entre as linhas, veículos e motoristas, de modo a obter uma melhor autonomia.

1.1 METODOLOGIA

Para classificação de pesquisa do presente trabalho foi adotado um perfil de estudo em que se busca um entendimento sobre a natureza geral de um problema. Optou-se por uma linha de pesquisa descritiva e explicativa. Descritiva, no sentido em que visa descrever sobre os fatores que impactam o consumo de combustível dos ônibus urbanos. Já a característica explicativa do trabalho se justifica pela exposição das ferramentas e métodos utilizados no mercado para otimizar a autonomia dos veículos comerciais. Trata-se, portanto, de um estudo apoiado em uma revisão bibliográfica e em pesquisas de campo.

O estudo bibliográfico foi embasado em livros, artigos, teses, normas e recomendações de organismos nacionais e internacionais. Aprofundando-se em temas relacionados ao impacto dos fatores técnicos e operacionais de maiores influência no consumo de combustível de veículos de transporte urbano. Yin (2002 *apud* Yen-Tsang *et al*, 2012) apresenta o estudo de caso como uma forma de investigação empírica, onde se utiliza múltiplas formas de evidência a fim de fazer o exame detalhado de uma situação em particular. A pesquisa também é de campo, pois houve coleta de dados e informações da empresa a ser analisada.

A caracterização do estudo de caso para o presente trabalho se dá pelo acompanhamento das atividades da empresa relacionadas ao desempenho dos veículos selecionados para a coleta de dados. Além do desenvolvimento de possíveis soluções e identificação de gargalos referente ao consumo de combustível da frota, abrangendo aspectos do planejamento à operação.

A coleta de dados se deu entre os meses de agosto e novembro e foi dividida em duas formas. Uma voltada a uma análise experimental, acompanhando a operação dos veículos *in loco* e coletando os dados referentes à quilometragem percorrida, quantidade de litros abastecida e número de passageiros transportados. Já a segunda forma, de viés estatístico seguindo de modo adaptado a metodologia proposta pela a ESMAP (Energy Management Assistance Program), instituição ligada ao Banco Mundial.

A coleta de dados deu-se por meio de questionários semiestruturados, reuniões de pequeno porte e principalmente observações direcionadas aos fatos em estudo. Por questionários semiestruturados entende-se como um roteiro de perguntas e tópicos a serem discutidos com especialistas das áreas, essas entrevistas foram conduzidas interativamente, onde novos tópicos e perguntas foram abordados conforme o assunto era aprofundado. Os questionários, assim como as entrevistas e reuniões foram feitas em grande parte com os colaboradores da empresa de ônibus, engenheiros e técnicos da montadora e concessionária dos veículos analisados. Dessa forma, entrevistou-se: diretores da empresa, programadores, encarregados (manutenção, elétrica, planejamento e compras), despachantes, motoristas, manobristas, mecânicos, abastecedores, responsáveis pela soltura e recolhimento dos veículos, vendedores da montadora, engenheiros mecânico e eletrônico.

A parte experimental do estudo foi dividida em dois módulos de acompanhamento, 1 e 2, ambos realizados em um período de 2 semanas, havendo 2 meses de diferença entre eles. O módulo 1 contemplou a aquisição de dados de 3 veículos e 1 linha, já no segundo módulo foram avaliados 8 veículos e 2 linhas, a fim de ter um maior espectro de análise. Optou-se por um número reduzido de veículos, uma vez que o acompanhamento destes influenciava na rotina operacional da empresa. A coleta de dados para a aplicação da metodologia ESMAP se deu em partes, uma vez que a empresa não dispunha dos dados de quilometragem, consumo em litros e informações operacionais que relacionassem motoristas, linhas, veículos e data todos compilados em um só sistema. Dessa forma, foi necessária a interação com diversos departamentos, de modo a obter as informações separadas e às compilar em um só arquivo. O respectivo levantamento de dados foi feito para o período de dois meses (18/08 - 18/10) para 68 miniônibus, 16 linhas e 335 motoristas.

Os dados coletados foram analisados contrapondo o embasamento teórico adquirido por meio dos referenciais bibliográficos citados no perfil de estudo, com aplicação e criticidade dos aspectos operacionais que os veículos estão submetidos. Entendendo que a parametrização da rotação por marcha é uma importante ferramenta para o desempenho do veículo, aprofundou-se na teoria por trás deste conceito. Foi desenvolvida uma metodologia para explicar a necessidade da determinação do limite de rotação máxima por marcha, a partir da faixa de torque máximo do motor e da força na roda. O desenvolvimento dessa metodologia se deu, uma vez que a montadora não pode revelar como ela define os limites de parametrização.

A análise dos dados levantados no monitoramento dos veículos nos módulos 1 e 2, foram realizadas frente à meta de autonomia da empresa e confrontando-a com as variáveis operacionais, de modo a justificar o resultado de cada módulo. Ao fim da análise individual de cada módulo, ambos são analisados de forma conjunta, expressando qual a melhor opção de parametrização, dentre as propostas testadas. Já para a análise de dados segundo a metodologia ESMAP, foi apresentado o conceito de regressão linear múltipla com variáveis qualitativas, usando as chamadas variáveis dicotômicas ou *dummies*.

1.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho está dividido em 6 capítulos, consistindo o primeiro em introduzir a motivação do estudo, seus objetivos e a metodologia adotada para tal. O capítulo 2 dá embasamento ao trabalho, apresentando a teoria que rege os princípios de consumo eficiente em ônibus urbanos, levantando aspectos do perfil das linhas, assim como das características técnicas operacionais dos veículos. A apresentação do problema sob a ótica da empresa base deste estudo é feita no capítulo 3, expondo algumas especificidades da mesma. Os capítulos 4 e 5 apresentam as análises feitas, dificuldades encontradas e seus impactos, e conclusões parciais. Finalmente, o capítulo 6 apresenta as conclusões e

recomendações. Informações sobre as relações entre velocidade e rotação dos veículos objeto de estudo são apresentados no Anexos.

2 PRINCÍPIOS DE CONSUMO EFICIENTE DE COMBUSTÍVEL EM ÔNIBUS URBANOS

Araújo (2011, p.70) cita que “o conceito de engenharia não é apenas construir sistemas complexos, mas antes de tudo construir com economia”. Assim, o desempenho do produto ônibus depende das condições de operação a qual este está exposto, tal como a sua capacidade técnica de responder a tais solicitações de forma econômica e segura. O respectivo autor também expõe que o desempenho adequado de um veículo comercial está relacionado à escolha da categoria do veículo para determinada operação, sendo que na engenharia de aplicação veicular isso se dá mediante a classificação do peso bruto total (PBT), faixa de potência/torque e considerações operacionais (topografia, tráfego, carregamento de passageiros, manutenção preventiva e forma de condução).

Oliveira e Orrico Filho (2004) apontam que em busca de um consumo ótimo de combustível, estudos almejam desenvolver modelos econométricos de ajuste de uma curva de consumo de combustível relacionando as diferentes variáveis e características operacionais. Observa-se frequentemente, como *output* desses estudos, a variável velocidade média como a principal determinante para a explicação do comportamento do índice de consumo. Outras variáveis frequentemente levantadas, ainda de acordo com Oliveira e Orrico Filho (2004) são: tecnologia, idade da frota, congestionamento, rampa e carregamento. ESMAP (2011b) apresenta fatores semelhantes aos citados, quando abordado programas de otimização do consumo de combustível, fazendo especial referência à idade média da frota, política organizacional voltada ao consumo eficiente e por último às características das rotas.

Ang e Deng (1990) apresentam também como variável de influência no índice do consumo as condições meteorológicas, uma vez que esta influencia na resistência ao movimento do veículo e principalmente no estilo de direção do motorista. Entretanto, este fator não será considerado no presente estudo, principalmente pela falta de recursos para avaliar o impacto da mesma. A variável idade da frota também será descartada deste estudo, visto que todos os veículos foram fabricados no ano de 2013, tendo aproximadamente 1 ano de uso.

Este capítulo tem como objetivo apresentar os fatores de maior influência no consumo de combustível. É apresentada a influência das características das linhas, assim como parâmetros técnicos e sua relação com o desempenho do veículo. No Item 2.2.3 é descrita a importância da parametrização por marcha e também explicada uma metodologia desenvolvida neste trabalho para definir os limites de rotação por marcha a partir da faixa de torque máximo e da força na roda.

2.1 PERFIL DAS LINHAS

2.1.1 Topografia

A variável topografia é apresentada por Araújo (2012, p.71) relacionada como uma das forças resistivas ao movimento, a resistência ao aclive. Sendo esta, a componente da força peso que atua no plano paralelo ao deslocamento do veículo, assim como ilustrada na Figura 1.

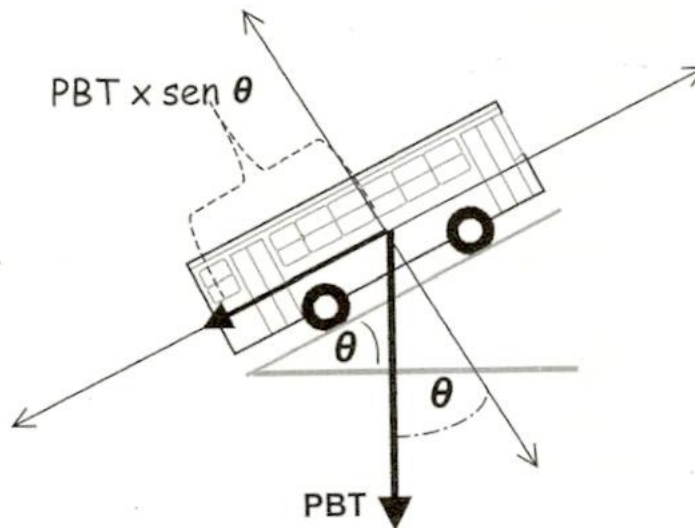


Figura 1 - Diagrama de Corpo Livre (Resistência ao aclive)
Araújo (2012, p.71)

Ainda citando Araújo (2012,p.71),

Os maiores aclives encontram-se nas vias urbanas e rurais, temos ruas com aclives de até 20%. Nas estradas pavimentadas o aclive máximo permitido é de 8%, mesmo assim em regiões de serra temos aclives médios na ordem de 6%.

Devido à necessidade de aparelhos especiais para o levantamento preciso dessa variável, diversos estudos fazem adaptações para analisa-las. Oliveira e Orrico Filho (2004) optaram por segregar os seus veículos em duas categorias, as do que operam em linhas com rampa e em linhas sem a presença de rampa, atribuindo variáveis binárias a estes, rampa igual a 1 e sem rampa igual a 0. Já Fender Neto (2010) utilizou a variação da pressão atmosférica ao longo da linha, para o cálculo da elevação da pista. Empresas de consultoria automobilística possuem aparelhos mais desenvolvidos, capazes de fazer o levantamento topográfico de uma linha.

Devido à escassez de recursos para fazer esse levantamento com a precisão, a variável topografia será avaliada com uma perspectiva de análise experimental. Na qual as linhas são selecionados primeiramente e depois com visitas de campo e entrevistas com analistas de tráfego, despachantes e

motoristas as linhas são classificadas quanto às suas características topográficas. Outra ferramenta utilizada para agregar valor à análise são os gráficos dos perfis topográficos levantados a partir do traçado das linhas em sites específicos.

2.1.2 Pontos de parada e Congestionamento

De acordo com ANTP (1999) “o consumo de combustível, assim como a emissão de poluentes estão relacionados à variação da velocidade”. Linhas com alto número de paradas para embarque ou desembarque, redutores de velocidade ou tráfego intenso tendem a ter um alto consumo de combustível. Romero et al (2005) monitorou em seu estudo o desempenho energético de um veículo na condição de trecho livre e congestionamento, concluindo que as condições de congestionamento e excesso de ônibus na via, podem resultar em um aumento de até 8 vezes no consumo de combustível.

Um impacto operacional do congestionamento exposto pela ANTP (1999) é a necessidade de um maior número de veículos na operação para que o mesmo número de viagens possa ser realizado em um determinado período de tempo. Dessa forma, parte dos veículos atua apenas em horários de picos, fazendo o que é chamado de meia viagem, tais veículos apresentam uma menor eficiência energética, visto que atuam em situação de alto carregamento e tráfego intenso, além do fator consumo fixo (tempo ligado no terminal, na garagem da empresa e consumo relacionado ao deslocamento até o terminal) representar uma grande parcela do consumo desses veículos (ANG; DENG, 1990).

Araújo (2014, comunicado em reunião) discorreu que a influência dos pontos de paradas e redutores de velocidade no consumo deve-se além da variação de velocidade, ao uso da primeira e segunda marcha, uma vez que são marchas de alto torque e que devem ser trocadas em altas rotações, impactando negativamente o consumo de combustível. O congestionamento, assim como a variação de velocidade, contribuem para o aumento da temperatura do motor, demandando energia para o seu resfriamento.

2.1.3 Velocidade operacional

Vasconcellos e Lima (1998) citam em seu estudo que as externalidades mais comuns na área de transporte são o congestionamento, a poluição e os acidentes de trânsito. Externalidades essas diretamente associadas com a velocidade dos veículos, a qual é umas das principais influências no consumo de combustível, e que é tema presente em diversos estudos. ANTP (1999) propõe empiricamente a Eq.(1), entre o consumo C , em L/km, velocidade V , em km/h, e carregamento de passageiros $carr$, em passageiros. A Figura 2 mostra como o consumo varia com a velocidade utilizando a Eq.(1), onde a velocidade foi variada de 5 a 50 km/h. Dessa forma, observa-se que a função para o consumo de diesel em ônibus é decrescente com o aumento da velocidade média,

passando por um valor mínimo em 43 km/h sofrendo um leve crescimento para velocidades maiores que 43 km/h e menores que 50 km/h.

$$C = 0,4428 + 0,00008V^2 + \frac{1,37911}{V} + 0,00107carr \quad (1)$$

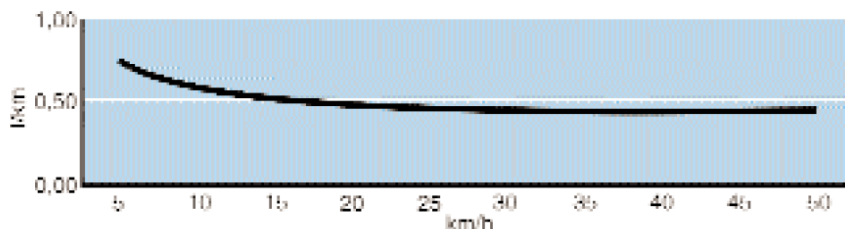


Figura 2 - Consumo de Diesel x Velocidade para ônibus de acordo com a metodologia ANTP ANTP (1999)

Lamure (1994 *apud* Vasconcellos e Lima, 1998) quantificam a relação entre consumo e velocidade para ônibus a diesel de acordo com a Eq.(2).

$$C = 17 + \frac{95}{V} \quad (2)$$

De modo a criar um critério de comparação entre Lamure (1994 *apud* Vasconcellos e Lima, 1998) e ANTP (1999) plotou-se a Figura 3 seguindo as mesmas diretrizes da Figura 2. Observa-se que a metodologia usada pela ANTP aproxima-se mais da realidade, uma vez que a Lamure apresenta autonomia extremamente altas, chegando a 0,19 L/km (5,34 km/L) a 55 km/h, autonomia improvável na operação. Além de não considerar o carregamento de passageiros.

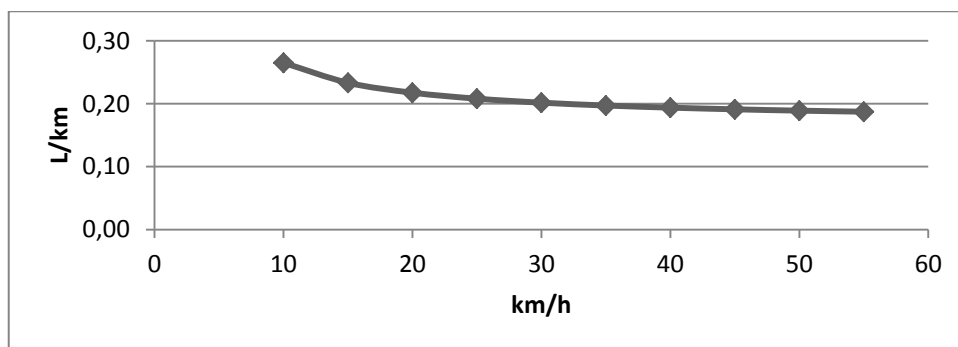


Figura 3 - Consumo de Diesel x Velocidade para ônibus de acordo com a metodologia de Lamure (1994 *apud* Vasconcellos e Lima, 1998)

Araújo (2012, p.79) apresenta um gráfico de velocidade econômica por marcha, Figura 4, com o intuito de mostrar qual seria a velocidade em que cada marcha deve ser trocada a fim de otimizar o consumo de combustível. O respectivo autor não apresentou qual foi a condição operacional em que o estudo foi feito.

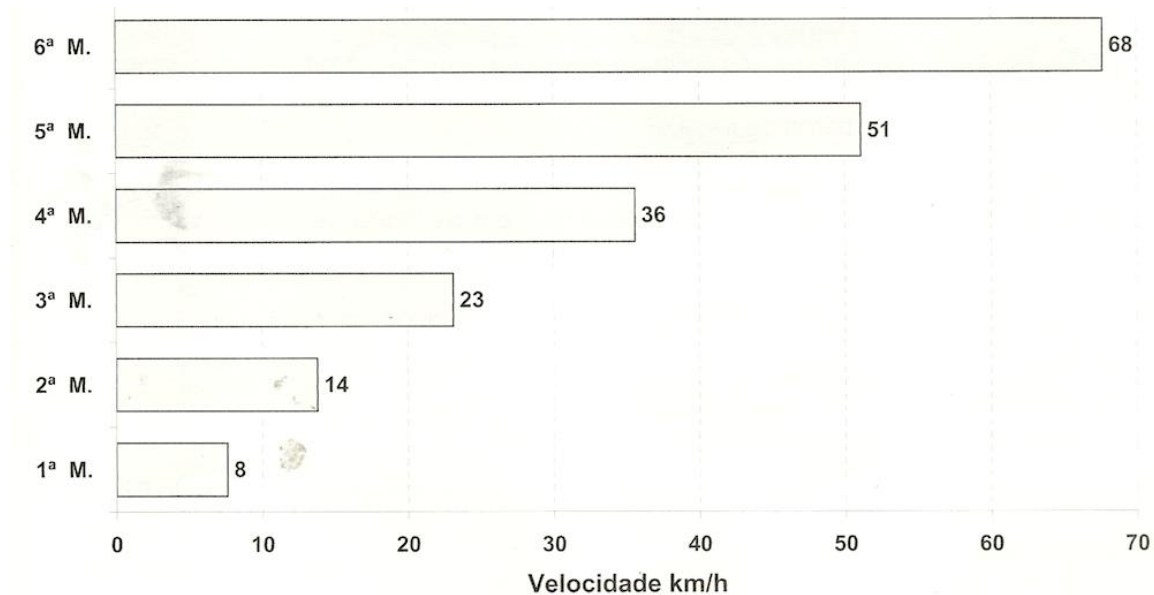


Figura 4 - Velocidade econômica da primeira à sexta marcha
Araújo (2012, p. 79)

O autor ainda apresenta um gráfico que relaciona a velocidade com o tempo, Figura 5, em função do comportamento do veículo entre uma parada e outra. Exemplificando também a relação descrita entre o consumo e o número de paradas no Item 2.1.2.

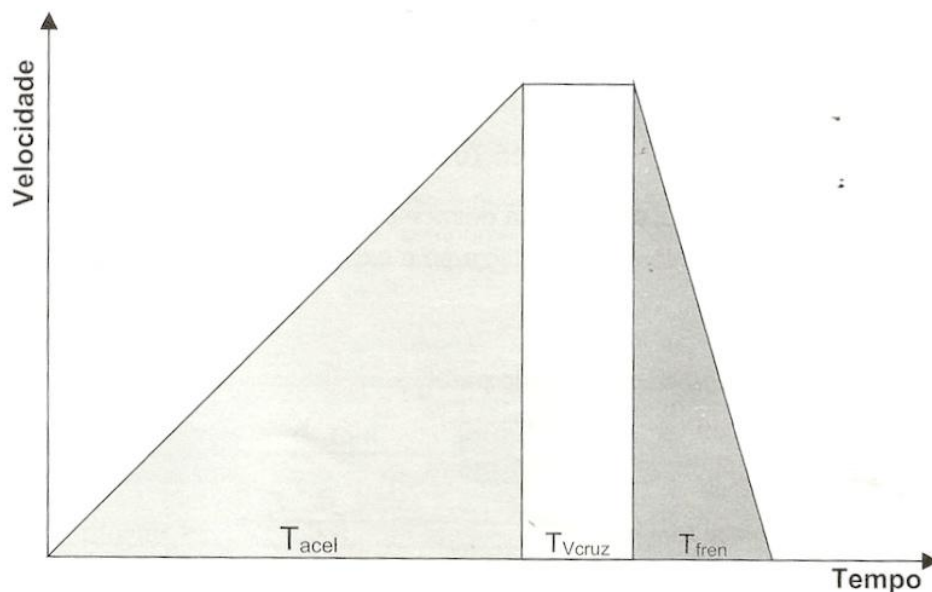


Figura 5 - Desenvolvimento de velocidade entre paradas
Araújo (2012, p.84)

É importante ressaltar que a velocidade de cruzeiro, obtida no tempo em marcha na velocidade de cruzeiro $T_{V_{cruz}}$, é diferente da velocidade operacional, sendo que a velocidade de cruzeiro é aquela que o veículo desenvolve em determinado período de tempo, entre o tempo de aceleração T_{acel} e o tempo de frenagem T_{fren} . Já a velocidade operacional é a dita velocidade média, a qual é obtida através da divisão do somatório dos quilômetros operados em cada viagem pelo tempo total gasto, excluindo o tempo de parada nos pontos de controle (terminais).

ANTP (1999) a fim de estimar a velocidade média dos ônibus e os limites de congestionamento dividiu as vias em quatro tipos: sendo a via expressa aquela com tráfego sem interrupções, permitindo velocidades elevadas; via arterial I como duas pistas e canteiro central, velocidades elevadas, cruzamentos semaforizados, estacionamento proibido e tráfego de ônibus razoavelmente controlado; via arterial II é semelhante à anterior, mas com velocidades mais inferiores, estacionamento eventualmente permitido e tráfego de ônibus com baixo nível de controle; por último as vias coletoras, pista simples, estacionamento permitido e sem controle do tráfego de ônibus. Para cada tipo de via, a agência estimou o tempo de percurso e as velocidades que melhor representariam suas condições, sendo a densidade de semáforos o principal fator determinante da velocidade média quando os volumes da via estão abaixo da sua capacidade. Já em situações em que a via está próximo ao seu limite, outras condições juntamente com a densidade de semáforos passam a ser fatores de grande impacto na velocidade média, tais como condições geométrica e funcionais da via. Ao fim ANTP (1999) mostra na Figura 6 os valores decrescentes das velocidades médias, conforme se passa da via expressa para as vias com semáforos. Outro fator agregado ao gráfico é a diferença de velocidade em relação aos picos de maior movimento nas vias. Araújo (2012, p.97) também menciona a relação da velocidade operacional com o tipo modal, Figura 7.

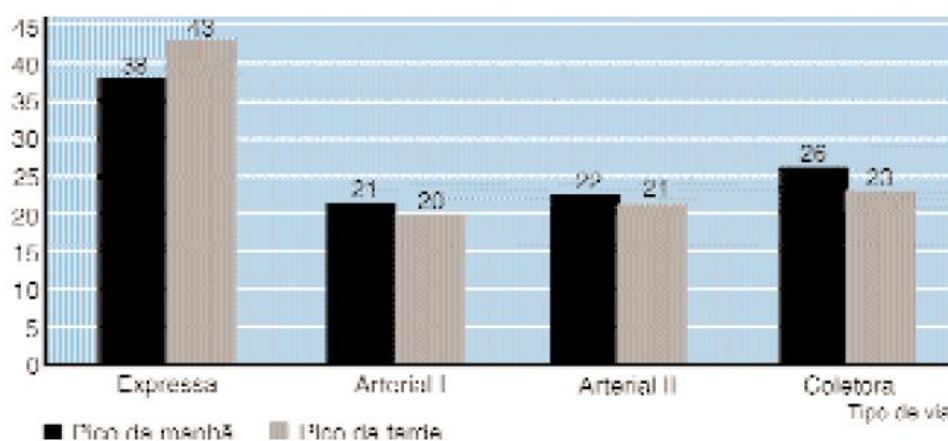


Figura 6 - Velocidades médias de ônibus por tipo de via nos períodos da manhã e tarde ANTP (1999)

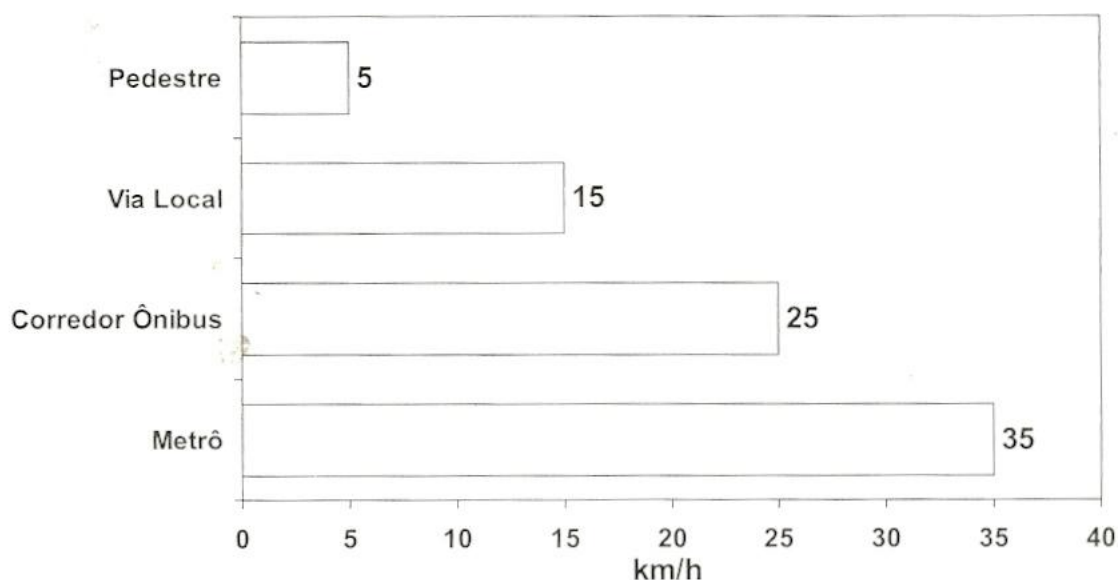


Figura 7 - Velocidade operacional por tipo modal
Araújo (2012, p.97)

O consumo do veículo também está relacionado com o tipo de linha que este atua, uma vez que a linha está diretamente conectada com a velocidade desenvolvida e com características operacionais, tais como intensidade do tráfego e pontos redutores de velocidade (lombadas, semáforos e pontos de parada).

2.1.4 Carregamento de passageiros

O veículo comercial é projetado a partir de limitações dimensionais e peso por eixo, de acordo com a legislação do país, que no caso do Brasil, é estabelecido pela resolução CONTRAN N° 210. Depetris (1986 apud Fender Neto, 2010) cita como outros fatores importantes de projeto, a capacidade de carga líquida e a tara (peso em ordem de marcha), sendo de extrema importância na definição das características técnicas do veículo, uma vez que um veículo com baixa tara consegue transportar mais carga dentro de um mesmo valor de PBT.

Araújo (2012, p.23) explica que “a capacidade de passageiros é função do Peso Bruto Total (PBT) do veículo que é resultado da soma dos pesos máximos permitido por eixo”, não relacionado diretamente com o tamanho do veículo. Dessa forma, cabe ao operador, juntamente com a montadora definir o layout dos assentos, de forma a maximizar o número de passageiros a serem transportados. O chamado PBT de um veículo é a resultante do peso do veículo vazio, em ordem de marcha, somado com o peso da carroceria que equipa esse veículo e o peso dos passageiros mais bagagens, Figura 8. O veículo em estudo tem um PBT de 15.000 kg e uma capacidade de 44 passageiros (25 sentados e 19 em pé).

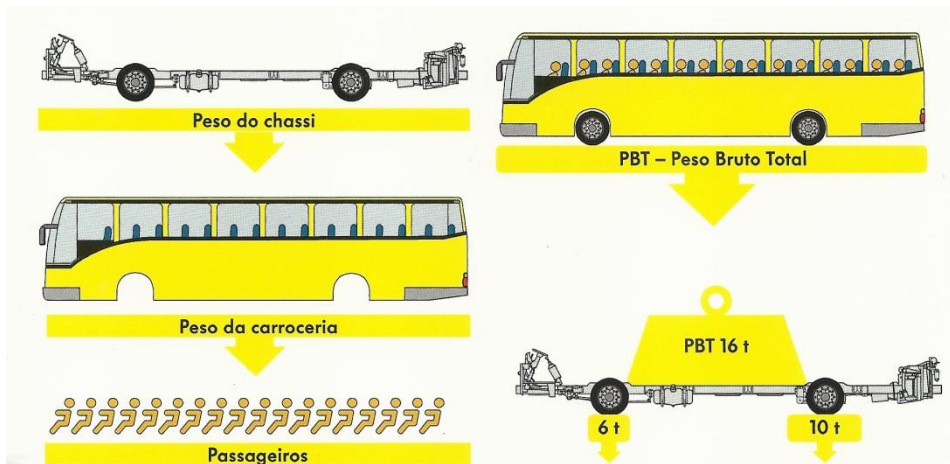


Figura 8 - Peso bruto total
Material exclusivo e confidencial de treinamento da montadora

As forças resistivas ao movimento e conseqüentemente impactantes no consumo de combustível apresentadas por Araújo (2012, p.70), são a resistência ao rolamento, ao aclave e resistência ao arrasto. As Figura 9, Figura 10 e Figura 11 ilustram situações de resistência ao movimento.

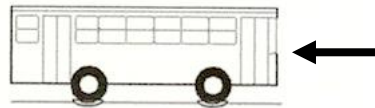


Figura 9 – Resistência ao rolamento

$$F_{rol} = R_{rol} \times PBT \tag{3}$$

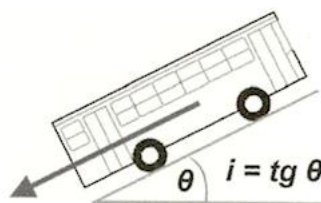


Figura 10 – Efeitos do aclave

$$F_i = i \times PBT \tag{4}$$

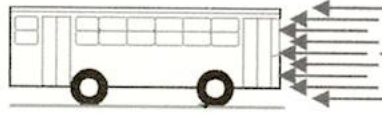


Figura 11 - Forças resistivas ao arrasto

$$F_a = \frac{C_a \times A_f \times V^2}{212} \quad (5)$$

Onde,

R_{rol} é o coeficiente de resistência ao rolamento (kgf/ton),

PBT é o peso bruto total (ton),

i é a inclinação em decimais,

C_a é o coeficiente aerodinâmico,

A_f é a área frontal do ônibus (m²) e

V é a velocidade de cruzeiro (km/h).

A Eq.(3) mostra que a resistência ao rolamento é relacionada às forças de atrito que existem entre a roda e a superfície de rolamento de um veículo. De acordo com Araújo (2012, p.71), a rugosidade do asfalto ou concreto tem maior influência na resistência referente ao pavimento, do que pela sua deformação. A considerada deformação é associada à pressão nos pneus, isto é, maior a deformação, quanto mais abaixo do recomendado estiver a pressão de inflação, resultando em uma maior resistência ao rolamento e por conseguinte maior consumo de combustível.

Com base no discorrido a respeito da topografia no Item 2.1.1 e na Eq.(4), quanto mais inclinada uma superfície maior a resistência contra o movimento, principalmente devido ao fator peso. Sendo assim, o veículo necessita de mais força para vencer o aclive, o que resulta em um maior gasto energético. No caso de aclive negativo, o veículo tende a ganhar velocidade, consumindo menos combustível, mas consumindo mais lona de freio. Ainda deve-se levar em conta a força de arrasto, uma vez que o ônibus não apresenta uma estrutura com perfil aerodinâmico vantajoso ao movimento, Eq.(5).

Visto que os ônibus urbanos aceleram e param várias vezes ao longo da sua operação, Araújo (2012, p.72) também considera a resistência à inércia. Sendo que há uma aceleração mínima a ser considerada nos projetos desses veículos para atender a legislação de trânsito brasileira, a qual não permite que veículos trafeguem com velocidade inferior à metade da máxima estabelecida.

Os passageiros compõe parte do PBT, o qual é diretamente proporcional à resistência ao rolamento e ao aclive.

2.1.5 Índice de passageiros por quilômetro

O principal indicador de produtividade do transporte público é o Índice de Passageiro por Quilômetro (IPK), segundo Oliveira *et al* (2013), uma vez que medir o grau de renovação de passageiros ao longo de uma linha é mais complexo e ainda não existem soluções práticas o suficiente para tal. Araújo (2012, p.39) define IPK como a razão entre o total de passageiros pagantes pela quilometragem total percorrida. O IPK é importante para a determinação da tarifa, onde se divide o custo por quilômetro pelo IPK.

O IPK não impacta diretamente no consumo, pois ele não leva em conta a renovação de passageiros, mas é possível associar que linhas com alto IPK possuem alto índice de carregamento de passageiros em algum ponto e essa carga impacta o consumo. Entretanto, o IPK é interessante para a introdução do parâmetro consumo de combustível por passageiro (litros/passageiros).

2.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS OPERACIONAIS DO VEÍCULO

2.2.1 Relação Força na Roda / Potência / Torque

Araújo (2012, p.72) define a força na roda como

a força disponível nas rodas de tração que permitem que o veículo saia da inércia e acelere. Ela é o resultado da multiplicação do torque do motor pela relação de redução da caixa de transmissão e do eixo traseiro (diferencial).

Sendo equacionada como

$$F_{roda} = \frac{(Torque\ Motor \times Rel.\ Redu\c{c}o\ da\ Marcha \times Rel.\ Redu\c{c}o\ Diferencial) \times 90\%}{Raio\ din\c{a}mico\ do\ pneu} \quad (6)$$

O torque indica a força do motor, a qual se aplica diretamente à força na roda. Entretanto, antes da força do motor ser transmitida para a roda, ela passa por reduções para que a rotação do motor seja transferida ao eixo de acordo com as solicitações de velocidade e carga exigidas. Para isso, têm-se a relação de redução da marcha, onde cada marcha tem um tamanho de engrenagem diferente, permitindo a redução da velocidade do eixo do motor para o eixo de transmissão em diferentes relações, dependendo da marcha engatada. A relação de redução das marchas é inversa à sua ordem, a 1ª marcha possui a maior redução e conseqüentemente o maior torque, enquanto a 6ª a menor redução e por fim o menor torque. Por exemplo, a redução da 1ª marcha do miniônibus em estudo é 6,75:1, o que significa que o eixo de transmissão gira 1 vez a cada 6,75 voltas do eixo do motor. A Figura 12 ilustra os mecanismos responsáveis por transmitir a força do motor até a roda.

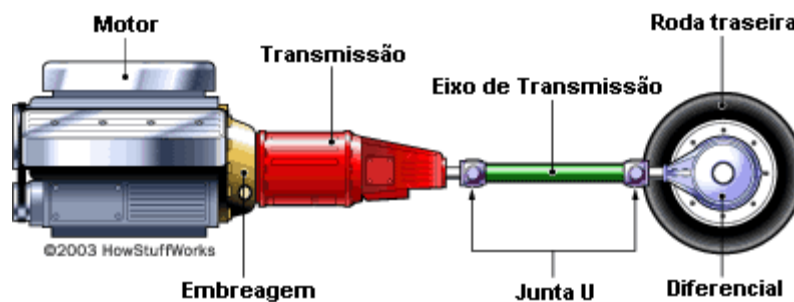


Figura 12 - Conexões do motor até a roda
<http://carros.hsw.uol.com.br/transmissoes-manuais.htm>

Após a força do motor ser reduzida na caixa de marchas, ela é reduzida novamente no diferencial antes de ser transmitida por este às rodas. A relação de redução do diferencial segue a mesma lógica da caixa de marchas, ou seja, a redução 6,43:1 significa que o pinhão no fim do eixo de transmissão dá 6,43 voltas para um volta da coroa. Algumas montadoras de veículos pesados permitem que o cliente escolha a relação de redução do diferencial, sendo esta, fundamental na economia e no bom desempenho do veículo. Araújo (2012, p.59) explica que o diferencial pode ser classificado em longo ou curto. O diferencial longo proporciona maior velocidade final e menor força na roda, uma vez que sua relação de redução é menor, onde o passo frontal da coroa é longo, isto é, uma coroa com poucos dentes. Já um diferencial curto, coroa com passo frontal curto e muitos dentes, apresenta uma relação de redução alta, proporcionando menor velocidade final e maior força na roda. Os miniônibus em estudo tem um diferencial curto, com uma redução de 6,43:1.

No processo de transmissão de força do motor até a roda, há perdas, estima-se que essas perdas são da ordem de 10%, justificando o numerador da Eq. (6) ser multiplicado por 90%. Uma vez que torque é a resultante da força multiplicada pelo braço de alavanca, para obter a força na roda em N (newton) é necessário dividir o torque do motor pelo raio dinâmico do pneu.

É comum que os motoristas de ônibus associem erroneamente a potência ao desempenho do veículo, acelerando até altas rotações quando precisam de força. A potência é o resultado da força do motor à medida que se aumenta a rotação, não sendo um valor absoluto de desempenho, uma vez que está relacionada de forma mais incisiva com a velocidade do que com a força na roda. Já o torque é relacionado à capacidade de vencer a inércia, superar aclives e tracionar o veículo. A máxima força na roda é obtida quando o veículo está na rotação de torque máximo e na primeira marcha, maior relação de redução da caixa de marchas. Já quando o veículo está na potência máxima e na última marcha, tem-se a mínima força na roda.

Considerando os altos níveis de exigência dos veículos comerciais, quanto ao seu desempenho e capacidade de carga, deve haver força na roda suficiente para vencer os esforços resistivos ao movimento, tais como aclives e ainda deve restar força para a aceleração do veículo. Dessa forma, justifica-se a redução de marcha quando há uma ultrapassagem ou um aclive no percurso.

A Figura 13 mostra a curva de torque de um motor de ônibus, ilustrando que após a rotação de 1.600 rpm há uma queda no torque do motor e conseqüentemente na força na roda. Isto é, não é efetivo acelerar mais o veículo quando se deseja mais força, após uma determinada rotação. A Figura 13 também ilustra que a faixa de maior torque também corresponde à faixa de menor consumo, uma vez que nessa região o veículo vence as resistências ao movimento mais facilmente do que fora dela.

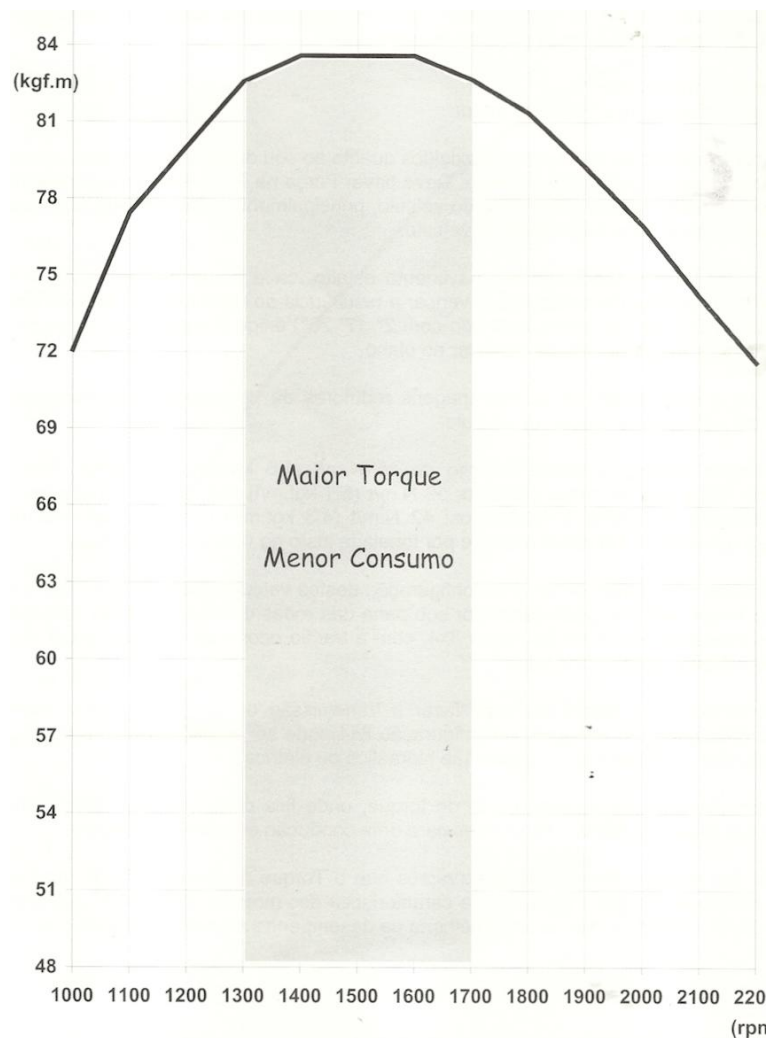


Figura 13 - Curva de Torque, com indicação da região de maior torque e menor consumo
Araújo (2012, p.44)

2.2.2 Influência da marcha

A troca de marcha se dá em função da necessidade de transformar a potência do motor em força ou em velocidade, uma vez que o motor a combustão não oferece o mesmo torque em todos os regimes de rotação. Isto é, a transmissão tem como maior função fazer com que o motor trabalhe sempre próximo ao ponto de maior eficiência, Fender Neto (2010). Sendo as primeiras marchas, relações de alto torque e as últimas marchas relações que proporcionam mais velocidade, ou seja, a potência máxima não corresponde ao torque máximo.

A Figura 14 ilustra a força aplicada na roda para a 1ª a 6ª marcha, para uma condição não especificada. É interessante observar que ao trocar da 1ª para a 2ª marcha o veículo perde quase metade da força na roda. Neste caso, não seria interessante o motorista trocar para a segunda marcha logo ao sair em um ponto em aclive acentuado, pois o veículo cairia em uma faixa de rotação do motor que não proporcionaria força na roda suficiente para vencer o aclive. A brusca queda de força entre a 1ª e 2ª marcha se dá devido a relação de redução da 1ª marcha ser 6,75:1 e a da 2ª marcha 3,60:1, Tabela 7, como apresentado na Eq. (6) a força na roda é diretamente proporcional à relação de redução da transmissão.

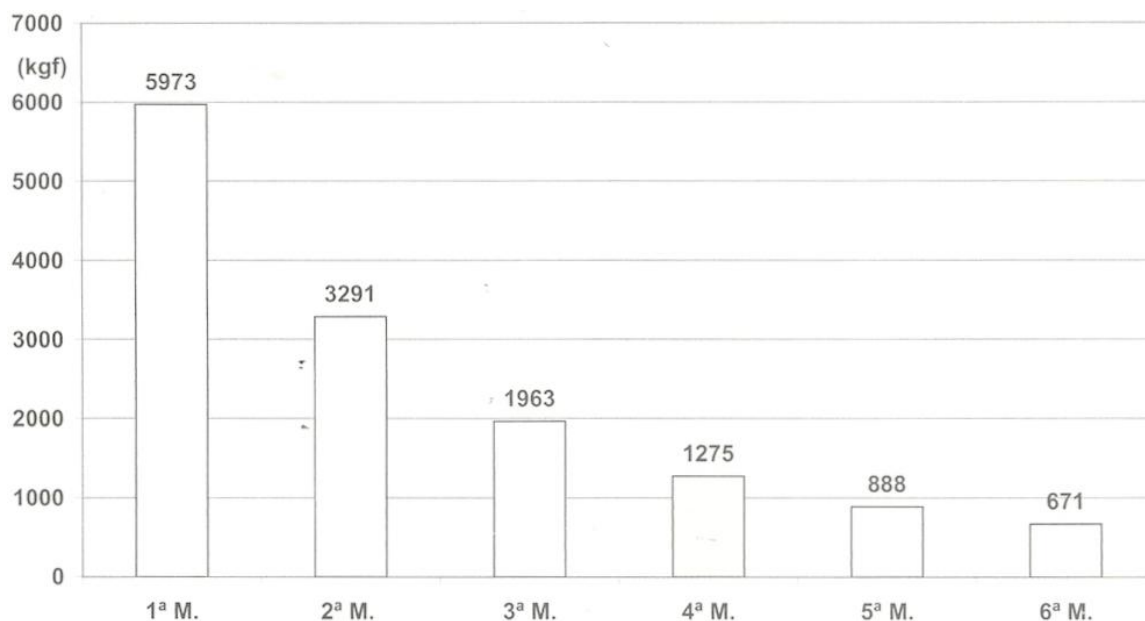


Figura 14 - Força aplicada na roda para as marchas 1 a 6
Araújo (2012, p.79)

As transmissões mecânicas são as mais utilizadas no mercado de ônibus, sendo a estratégia de troca de marchas de extrema importância para o consumo. Fender Neto (2010) define transmissão manual como

A transmissão manual é um conjunto mecânico de engrenagens cuja função específica é transmitir a potência pela multiplicação do torque gerado pelo motor, cujo rendimento é significativamente baixo em função das perdas existentes.

Araújo (2012, p.74) mostra a relação da marcha que o veículo está operando com a velocidade e as forças resistivas que este está sujeito. Explicitando que o veículo só consegue vencer as forças resistivas até a última marcha, devido a este já estar em velocidade de cruzeiro, com baixa ou quase sem aceleração. Uma das forças resistivas que impacta em grande escala na escolha da relação das marchas é a resistência ao aclive, a qual o autor plota em um gráfico aclive x velocidade (Figura 15) ou

também chamado de gradeabilidade. Observa-se no gráfico que quanto maior o aclave, menor é a marcha usada, de acordo com a Eq.(4) que mostra que quando maior a inclinação, maior é a força de resistência ao aclave. Quanto maior a força resistiva, maior a força na roda requerida, isto é, maior o torque para vencer as resistências e consequentemente, de acordo com a Eq.(6), maior a relação de redução de marcha.

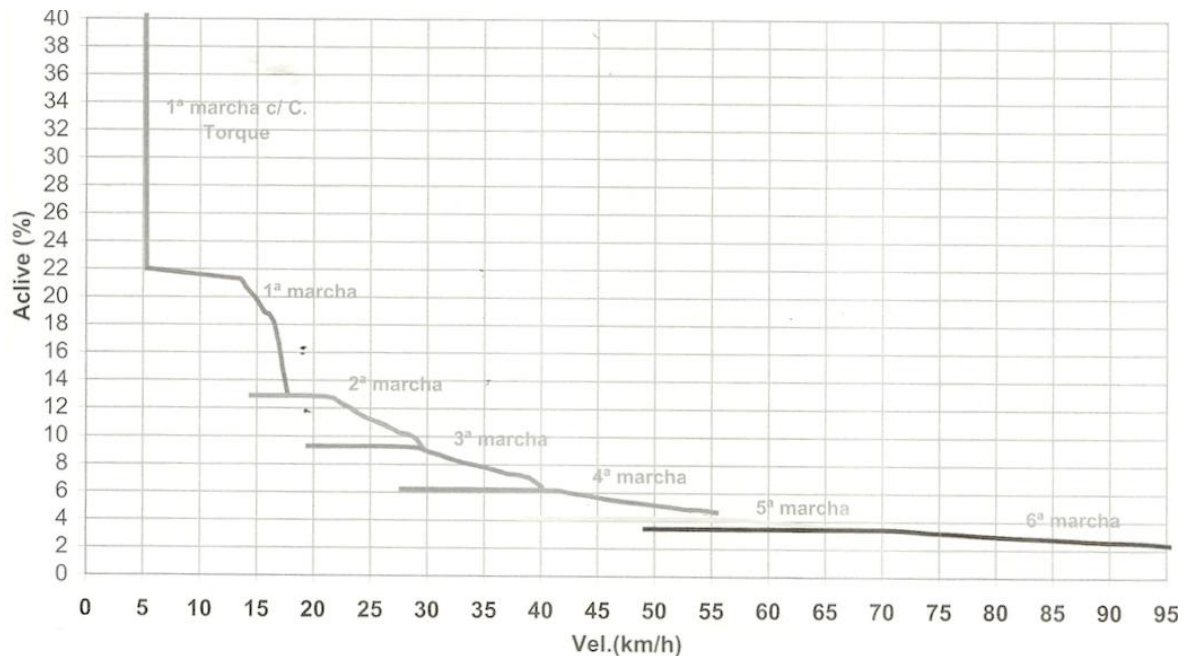


Figura 15 – Gráfico aclave x velocidade, mostrando a relação de cada marcha com a rigorosidade do aclave, em porcentagem, e o aumento da velocidade.
Araújo (2012, p.75)

2.2.3 Parametrização da rotação por marcha

Considerando que a força na roda do veículo está diretamente ligada com a relação de redução da transmissão e indiretamente com a velocidade de rotação do motor, isto é, em marchas finais (5ª e 6ª por exemplo) e em alta rotação o veículo tem pouca força na roda, a recíproca procede a partir de uma rotação mínima. Sendo assim, entende-se que há uma faixa de melhor desempenho do motor, em que se tem máximo torque e mínimo consumo. Essa faixa é comumente chamada pelas montadoras de faixa verde e conforme visto na Figura 13, a faixa de maior torque e menor consumo se dá por volta de 1.300 a 1.700 rpm para ônibus, variando minimamente de acordo com o motor. É possível observar que após 1.600 rpm o veículo começa a perder força na roda.

Com base na significativa influência do estilo de direção do motorista e do escalonamento das marchas no consumo de combustível, as montadoras desenvolveram uma ferramenta eletrônica para parametrização da rotação máxima por marcha. De acordo com a experiência da empresa e da montadora, frequentemente os motoristas ultrapassam a faixa verde de consumo ou limites de rotação por marcha recomendados pela montadora, o que acarreta na menor vida útil de algumas peças e

mecanismos, assim como na baixa eficiência energética. Com essa tecnologia é possível limitar cada marcha para a rotação desejada. Existem planos de parametrização sugeridos para diferentes tipos de operação, sendo que a diferença entre esses planos levam em conta questões operacionais da linha, tal como a topografia do trajeto. Os veículos que são vendidos para Brasília são os mesmos que são vendidos para Belo Horizonte, entretanto as condições topográficas são extremamente diferentes, não sendo viável a utilização dos mesmos limites de rotação por marcha.

Embora a faixa verde do motor acabe em 1.700 rpm, as limitações de rotação por marcha sugeridas pela montadora sempre são com limites superiores a este valor. Isto se dá devido a queda da rotação do motor na troca da marcha ser muito rápida, dessa forma, ao limitar a rotação da marcha considera-se a rotação ideal para a marcha seguinte entrar.

A montadora sugere uma parametrização, mas não revela como o limite de rotação para cada marcha é determinado ou o que é considerado como fatores de influência. Baseado no conhecimento adquirido durante o período de estágio e no desenvolvimento do presente estudo, propõe-se uma metodologia para determinar os limites de rotação para as marchas serem trocadas. Primeiramente, deve-se determinar a velocidade de cruzeiro para cada marcha em função da rotação do motor. A queda de rotação no momento da troca de uma marcha de maior torque para uma de menor (por exemplo, da 2^a para 3^a) pode ser calculada uma vez que se relaciona a velocidade do veículo e a rotação do motor com a marcha. Conhecendo o comportamento da rotação do motor em relação à troca de marcha para uma determinada faixa de rotações, deve-se determinar o limite de rotação para cada marcha, de modo a obter o melhor desempenho.

2.2.3.1 Velocidade de cruzeiro por marcha em função da rotação do motor

Araújo (2012, p.60) relaciona a velocidade do veículo com a rotação do motor por meio do movimento circular, igualando a velocidade tangencial na roda com a velocidade angular da roda, conforme demonstrado a seguir.

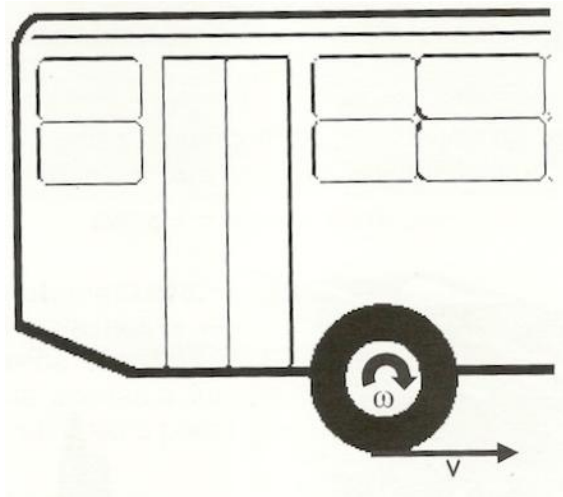


Figura 16 - Representação da igualdade entre a velocidade tangencial na roda e a velocidade angular da mesma.

$$V = wr \tag{7}$$

$$V = N \times 2 \times \pi \times r \tag{8}$$

Onde,

V é a velocidade do veículo ou velocidade tangencial na roda,

w é a velocidade angular da roda (rpm),

N é o número de voltas da roda por segundo e

r é o raio dinâmico do pneu (m).

A Eq. (9) descreve o número de voltas da roda em função da velocidade angular do motor (rotação), que ao passar pela caixa de transmissão e pelo diferencial perde velocidade angular, mas em contrapartida se ganha força.

$$N = \frac{n}{RRC \times RRD} \tag{9}$$

Os valores de RRC e RRD encontram-se na Tabela 7, onde,

n é a rotação do motor (rpm),

RRC é a relação de redução da caixa por marcha e

RRD é a relação de redução do diferencial.

A Eq.(10) é obtida a partir da Eq.(9) e Eq.(8), convertendo-se a velocidade de m/s para km/h.

$$V = \frac{n}{RRC \times RRD} \times \frac{1}{60} \times 2 \times \pi \times r \times \frac{3600}{1000} \quad (10)$$

$$V = \frac{n \times r}{RRC \times RRD} \times 0.377 \quad (11)$$

A partir da Eq.(11), determina-se a velocidade de cruzeiro para cada marcha em função da faixa de rotação do motor, conforme a Tabela 2. Via montadora, obteve-se uma classificação das rotações, com destaque para a chamada faixa verde de troca, a qual propõe uma faixa ideal para trocar as marchas em prol do desempenho, Tabela 1.

Tabela 1 - Nomenclatura das rotações com destaque para a faixa verde operacional

Nomenclatura	rpm
Rotação máxima governada (rpm)	2.500
Rotação de potência máxima (rpm)	2.400
Rotação intermediária (rpm)	2.200
Rotação intermediária (rpm)	2.100
Rotação final faixa verde pontilhada (rpm)	2.000
Rotação intermediária (rpm)	1.900
Rotação intermediária (rpm)	1.800
Rotação final de faixa verde (1.700 rpm)	1.700
Rotação de torque máximo final (rpm)	1.600
Rotação de consumo mínimo (rpm)	1.350
Rotação de torque máximo início (rpm)	1.200

Tabela 2 - Velocidade por marcha de acordo com a rotação

	1ª marcha	2ª marcha	3ª marcha	4ª marcha	5ª marcha	6ª marcha
Velocidade de consumo mínimo (km/h)	5,82	10,91	18,44	28,26	39,28	50,35
Velocidade de torque máximo final (km/h)	6,90	12,93	21,85	33,49	46,55	59,68
Velocidade final faixa verde (1700 rpm) (km/h)	7,33	13,74	23,22	35,58	49,46	63,41
Velocidade rotação intermediária de 1800 rpm (km/h)	7,76	14,55	24,59	37,67	52,37	67,14
Velocidade de rotação intermediária de 1900 rpm (km/h)	8,19	15,35	25,95	39,77	55,28	70,87
Velocidade final faixa verde pontilhada 2000 rpm (km/h)	8,62	16,16	27,32	41,86	58,19	74,60
Velocidade final faixa verde pontilhada 2100 rpm (km/h)	9,05	16,97	28,68	43,95	61,10	78,33
Velocidade rotação intermediária de 2200 rpm (km/h)	9,48	17,78	30,05	46,05	64,00	82,06
Velocidade de potência máxima 2400 rpm (km/h)	10,34	19,40	32,78	50,23	69,82	89,52
Velocidade máxima de corte (km/h)	10,78	20,20	34,15	52,33	72,73	93,25

2.2.3.2 Relação entre velocidade e rotação no momento da troca de marcha

Para saber o quanto a rotação diminui na troca de marchas, isto é, a rotação do motor no momento de entrada da marcha seguinte, isola-se a rotação do motor n na Eq.(11), obtendo-se a Eq.(12). A queda

de velocidade no momento da troca de marcha é considerada irrelevante para este cálculo, devido ao curto espaço de tempo em que a troca é realizada. A marcha só deve ser trocada depois de 1.700 rpm, de modo a utilizar a faixa do motor de maior torque e menor consumo e antes de atingir a máxima rotação, região de maior consumo. Sendo assim, aplica-se a Eq. (12) para a situação de troca com as rotações entre 1.700 e 2.200 rpm, não é considerado 2.400 rpm neste caso, por ser a rotação máxima e consequentemente uma das regiões de maior consumo. A Tabela 3 mostra a queda da rotação na troca da 1ª para a 2ª marcha, variando entre em 1.700 e 2.200 rpm. A rotação foi variada para todas as trocas de marcha, seguindo o mesmo modelo apresentado na Tabela 3, as outras tabelas se encontram no Anexo I.

$$n = \frac{V \times RRC \times RRD}{r \times 0.377} \quad (12)$$

Tabela 3 - Relação entre velocidade e rotação no momento de troca e entrada da 1ª para a 2ª marcha

	Momento da troca	Momento de Entrada
	1ª marcha	2ª marcha
Velocidade (km/h)	7,33	7,33
Rotação final de faixa verde (1.700 rpm)	1.700	907
	1ª marcha	2ª marcha
Velocidade (km/h)	7,76	7,76
Rotação intermediária (rpm)	1.800	960
	1ª marcha	2ª marcha
Velocidade (km/h)	8,19	8,19
Rotação intermediária (rpm)	1.900	1.013
	1ª marcha	2ª marcha
Velocidade (km/h)	8,62	8,62
Rotação final faixa verde pontilhada (rpm)	2.000	1067
	1ª marcha	2ª marcha
Velocidade (km/h)	9,05	9,05
Rotação intermediária (rpm)	2.100	1120
	1ª marcha	2ª marcha
Velocidade (km/h)	9,48	9,48
Rotação intermediária (rpm)	2.200	1173

2.2.3.3 Definição do limite de rotação por marcha

Uma vez que todas as trocas de marchas estão apresentadas no formato da Tabela 3, foram testadas 2 formas de definir qual a rotação ideal para trocar a marcha, dentro do intervalo de 1.700 a 2.000 rpm.

Pela indicação do painel do veículo assim como pelo embasamento teórico, entende-se que idealmente a marcha deveria ser trocada no final da faixa verde pontilhada (2.000 rpm) e a marcha seguinte entrar no começo da faixa de verde (1.200 rpm), em virtude das perdas e das relações de redução. De acordo com a Tabela 1, 1.200 rpm é o início da rotação de torque máximo e 1.600 rpm o fim. Dessa forma, o primeiro critério consiste em selecionar a rotação de troca de marcha, de modo que a marcha seguinte permaneça o maior tempo possível dentro da faixa de 400 rpm de torque máximo (1.200 a 1.600 rpm)

a qual adotou-se a nomenclatura TM. Para isso é interessante que o chamado momento de entrada esteja sempre o mais próximo de 1.200 rpm.

A Tabela 4 exemplifica a primeira forma de definir a rotação limite, onde a rotação ideal para a troca da 2ª marcha é 2.000 rpm, segundo a porcentagem da faixa de torque máximo que a 3ª marcha terá para se desenvolver. Este conceito de porcentagem de desenvolvimento dentro da TM é visual quando a rotação do momento de entrada está acima de 1.200 rpm. A Figura 17 ilustra que ao trocar a 2ª marcha a 2.100 rpm, a 3ª marcha entra em 1.243 rpm, tendo 89% da faixa de maior torque para evoluir, partindo da consideração que o desenvolvimento ideal da marcha deveria ser 100% dentro da TM. Já para casos em que a rotação da marcha no momento de entrada é inferior a 1.200 rpm, como observado na Tabela 3, calcula-se a representação da diferença entre a rotação de entrada e 1.200 rpm dentro da TM. Por exemplo, ao trocar a 1ª marcha a 2.100 rpm, a 2ª marcha entraria a 1.120 rpm, o que significa que no mesmo tempo em que uma marcha evoluiria 100% dentro da TM, ela utilizaria apenas 80% do faixa de torque máximo, Figura 18.

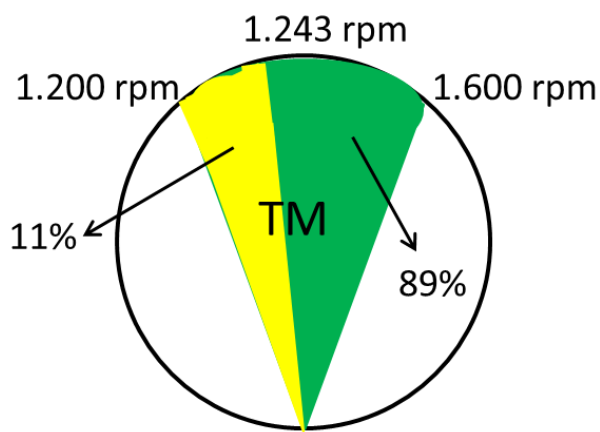


Figura 17 - Porcentagem de TM a ser desenvolvida durante a 3ª marcha ao começar em 1.243 rpm

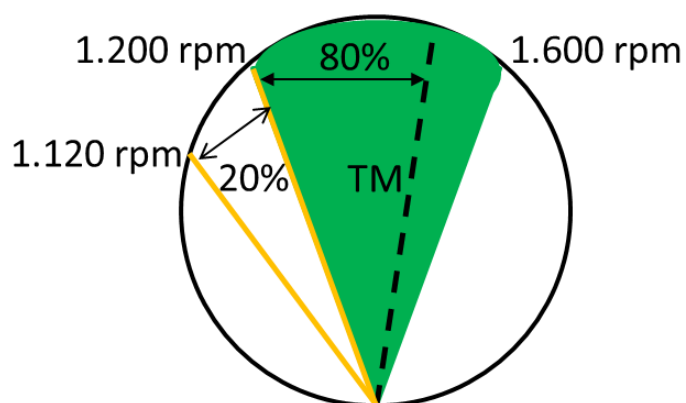


Figura 18 - Porcentagem de TM a ser desenvolvida durante a 2ª marcha ao começar em 1.120 rpm

Tabela 4 - Relação entre velocidade e rotação no momento de troca e entrada da 2ª para a 3ª marcha com porcentagem de permanência dentro da faixa de torque máximo

	Momento da troca	Momento de Entrada	% TM
	2ª marcha	3ª marcha	
Velocidade (km/h)	13,74	13,74	51%
Velocidade de rotação intermediária de 1900 rpm (km/h)	1.700	1.006	
	2ª marcha	3ª marcha	
Velocidade (km/h)	14,55	14,55	66%
Velocidade rotação intermediária de 1800 rpm (km/h)	1.800	1.065	
	2ª marcha	3ª marcha	
Velocidade (km/h)	15,35	15,35	81%
Rotação intermediária (rpm)	1.900	1124	
	2ª marcha	3ª marcha	
Velocidade (km/h)	16,16	16,16	96%
Rotação final faixa verde pontilhada (rpm)	2.000	1183	
	2ª marcha	3ª marcha	
Velocidade (km/h)	16,97	16,97	89%
Rotação intermediária (rpm)	2.100	1243	
	2ª marcha	3ª marcha	
Velocidade (km/h)	17,78	17,78	75%
Rotação intermediária (rpm)	2.200	1302	

O segundo modo de determinar o limite de rotação da marcha é pela força na roda, utilizando a Eq.(6) calcula-se a força na roda no momento da troca e no momento da entrada da marcha. Sendo assim, compara-se qual a queda percentual da força da roda entre o momento da troca e de entrada da marcha para cada rotação da faixa verde de troca da Tabela 1. A Tabela 5 exemplifica a aplicação desse segundo modelo para determinar qual a rotação limite para trocar a segunda marcha. A montadora não forneceu a curva de torque do motor, para análise e teste do modelo adotou-se a curva de torque da Figura 13. Observa-se no exemplo que ao trocar da 2ª para a 3ª marcha a 2.000 rpm, perde-se 41% de força na roda, a mesma troca a 2.100 rpm resulta em uma perda na roda de 1% maior. Sendo assim, a rotação limite indicada para a troca da 2ª marcha é 2.000 rpm, resultado obtido tanto levando em conta a porcentagem de utilização da TM como a queda da força roda.

Tabela 5 - Relação entre velocidade e rotação no momento de troca e entrada da 2ª para a 3ª marcha com a força na roda.

	Momento da troca	Momento de entrada	% TM	Força na roda (N)		% queda F_roda
	2ª marcha	3ª marcha		2ª marcha	3ª marcha	
Velocidade (km/h)	16,16	16,16	96%	3337,85	1969,92	41%
Rotação da faixa verde pontilhada (rpm)	2.000	1.183				
Velocidade (km/h)	16,97	16,97	89%	3421,82	1999,73	42%
Rotação intermediária (rpm)	2.100	1.243				

Acredita-se que ao utilizar a curva de torque característica do próprio motor, a diferença das perdas de força na roda serão maiores, confirmando o resultado dado pela queda percentual da TM. Os cálculos da coluna “% TM” da Tabela 5 foram embasados por dados reais do motor, já os da coluna “% queda F_roda” por uma curva de torque genérica, não proporcionando a mesma precisão. A metodologia foi aplicada em todas as marchas, chegando à proposta de limite de rotação da Tabela 6, onde as células verdes representam a rotação em que cada marcha deve ser trocada. Uma vez que a relação de redução

da 6ª marcha é semelhante a da 5ª, 0,78:1 e 1,00:1, considera-se a mesma limitação de 1.800 rpm para a 6ª marcha.

Tabela 6 - Relação sugerida entre velocidade e rotação nos momentos de troca e entrada da 1ª até a 6ª marcha

	Momento da troca	Momento de Entrada
	1ª marcha	2ª marcha
Velocidade (km/h)	9,48	9,48
Rotação (rpm)	2.200	1.173
	2ª marcha	3ª marcha
Velocidade (km/h)	16,16	16,16
Rotação (rpm)	2.000	1.183
	3ª marcha	4ª marcha
Velocidade (km/h)	25,95	25,95
Rotação (rpm)	1.900	1.240
	4ª marcha	5ª marcha
Velocidade (km/h)	35,58	35,58
Rotação (rpm)	1.700	1.223
	5ª marcha	6ª marcha
Velocidade (km/h)	37,67	37,67
Rotação (rpm)	1.800	1.295

É importante destacar que os limites de rotação propostos na Tabela 6 é baseado apenas em cálculos de velocidade, rotação e força na roda, existindo ferramentas computacionais que abrangem outras variáveis impactantes no desempenho do veículo, propondo uma parametrização mais precisa.

2.3 MANUTENÇÃO PREVENTIVA

ESMAP (2011b) apresenta um estudo focado na manutenção preventiva de ônibus, no qual obteve um ganho de 4 a 5% de economia de combustível em ônibus na faixa etária de 4 a 7 anos e um ganho um pouco superior em ônibus com idade mais avançada (7 a 14 anos), sendo de até 8% de ganho na eficiência energética.

Para o estudo apresentado o autor desenvolveu um plano de eficiência energética que contemplava desde o envolvimento de gerentes do consumo de combustível, coleta e análise de dados, manutenção focada em veículos com baixo consumo, treinamento de motoristas e até mesmo na bonificação dos colaboradores que atingissem as metas propostas. A aplicação da metodologia de manutenção preventiva proposta será parcialmente aplicada, uma vez que todos os ônibus da empresa em estudo começaram a operar em 2013, ou seja, por volta de um ano de utilização. Não havendo assim necessidade de realizar o checklist de manutenção 2, o qual aborda aspectos mais específicos,

requerendo mão-de-obra especializada, tais como tempo de injeção de combustível, anéis de óleo do pistão, anéis de compressão do cilindro, dentre outros.

2.4 ESTILO DE DIREÇÃO

Segundo ESMAP (2011a) o estilo de direção do motorista tem se apresentado com uma das peças-chaves nos estudos de otimização do consumo de combustível. Ao longo desses estudos, programas de treinamentos de motoristas foram realizados, mostrando uma melhora de consumo de 5 a 15%. A maior parte desses treinamentos é realizada juntamente ao motorista, durante a própria operação. Como citado anteriormente, as montadoras juntamente com outros integrantes da cadeia automobilística, segmento ônibus, estão frequentemente desenvolvendo tecnologias que permitam monitorar o motorista e impedir/minimizar o estilo de direção mais agressivo. Com a ajuda da eletrônica embarcada nos motores, limitadores de velocidade e aceleração podem ser implementados, junto com definições de rotações máximas por marcha, além de softwares de rastreamento por satélite, que estão cada vez mais desenvolvidos e disponíveis para o acompanhamento de estilo de direção dos motoristas.

Seis passos básicos para serem abordados em um primeiro treinamento de motorista com o foco na redução de combustível são apresentados pela ESMAP (2011b), sendo esses:

- reduzir o tempo que o veículo fica ligado sem se movimentar por um período maior que dois minutos (tais como nos terminais);
- operar o veículo dentro dos limites de velocidade e manter a rotação do motor dentro da chamada faixa verde;
- acelerar e frear de maneira suave;
- usar o momento do próprio veículo para manter a velocidade de cruzeiro;
- evitar “bombear” o acelerador;
- desenvolver uma visão de trânsito, de forma a planejar a condução, minimizando freadas e acelerações.

Beusen e Denys (2008 apud Fender Neto, 2010) fizeram um estudo a fim de quantificar o ganho na autonomia de uma frota após o treinamento dos motoristas. O treinamento foi feito com 8 motoristas de modo a operar o motor sempre nas faixas de melhor rendimento (chamada faixa verde), evitando acelerações e desacelerações repentinas, com trocas de marcha o mais breve possível, evitando que a rotação do motor caísse muito. Foi observada uma redução de aproximadamente 7% no consumo.

O estilo de direção econômica proporciona ganhos além da redução do consumo de combustível, reduzindo os custos com a manutenção, uma vez que o veículo trabalha dentro das faixas adequadas de exigência, emite menos poluentes e ainda propicia um trânsito mais seguro. Em conversa com Araújo, o fator motorista e sua influência no consumo de combustível foram discutidos, na qual ele expôs que o estilo de direção representa 20% de influência no consumo do veículo, informação por sua vez confirmada pela operadora de ônibus base deste estudo.

3 CARACTERÍSTICAS DO TRANSPORTE URBANO POR ÔNIBUS – EMPRESA EM ESTUDO

Este capítulo discorre a respeito das características técnicas e operacionais observada na operadora de ônibus base deste estudo. Ao longo do capítulo, são apresentadas as especificações técnicas dos veículos avaliados, assim como o perfil geral das linhas em operação pela empresa. Ao fim, descrevem-se os procedimentos de monitoramento do combustível sob a perspectiva da operadora.

3.1 CARACTERÍSTICAS DOS VEÍCULOS

Como citado anteriormente, os 68 veículos estudados pertencem à categoria miniônibus todos com aproximadamente um ano de utilização, fabricados em 2013, com quilometragem média de 39.000 km. O veículo possui PBT de 15.000 kg e 190 cv. As características técnicas dos veículos estão apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 - Especificações Técnicas dos Miniônibus do presente estudo

Motor		
Nº de cilindros / Cilindrada (L)	4 / 4,6	
Potência Líq. Máx - cv (kW) @ 2 rpm	186 (137) @ 2.400	
Torque Líq. Máx. - Nm (kgf.m) @ rpm	700 (71) @ 1.100-1.600	
Transmissão		
Tipo / Acionamento	Mecânica / Cabo	
Nº de marchas	6 à frente, 1 a ré	
Relação de transmissão	1ª	6,75 : 1
	2ª	3,60 : 1
	3ª	2,13 : 1
	4ª	1,39 : 1
	5ª	1,00 : 1
	6ª	0,78 : 1
	Ré	6,06 : 1
Sistema de tração	4 x 2	
Eixo traseiro Motriz		
Relação de Redução	6,43 : 1	
Rodas e Pneus		
Tipo (Aros da Rodas)	Aço (7,5" x 22,5")	
Pneus	275/80R22,5	
Dimensões (mm)		
Distância entre-eixos	4.300	
Balanço dianteiro	2.300	
Balanço traseiro	2.500	
Comprimento total	9.100	
Desempenho		
Velocidade máxima (km/h)	97	
Capacidade de Rampa em PBT (%)	40	
Partida em rampa em PBT (%)	33	

De acordo com Oliveira e Orrico Filho (2004), os ônibus de menor porte são importantes para combater o transporte clandestino, além de terem uma expectativa de consumo significativamente inferior ao dos convencionais. ANTP (2003) apresenta valores encontrados para o consumo micrônibus é da ordem de 0,21 L/km (4,76 km/L) a 0,38 L/km (2,63 km/L) e para os convencionais de 0.42 L/km (2,38 km/L) a 0.62 L/km (1,61 km/L).

3.2 PERFIL DAS LINHAS EM OPERAÇÃO

São comumente apresentadas 7 tipos de linhas urbanas, sendo classificadas pelo manual de treinamento da montadora (2013) como: alimentadoras, radiais, diametrais, circulares, troncais, intermunicipais e rurais, conforme ilustrado na Figura 19. A montadora recomenda a utilização dos miniônibus em 4 dos 7 tipos de linhas, alimentadoras, circulares, intermunicipais e rurais.

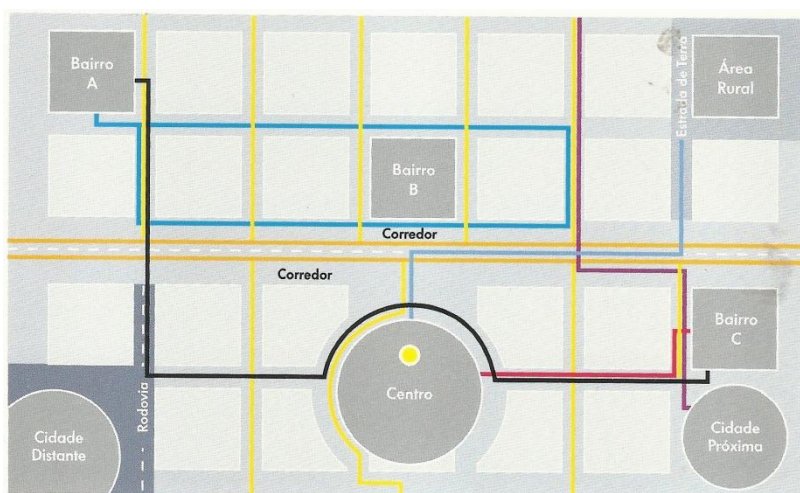


Figura 19 - Tipos de linhas urbanas: alimentadoras (amarelo), radiais (vermelho), diametrais (preto), circulares (azul), troncais (amarelo escuro), intermunicipais (roxo) e rurais (azul claro).
Material de treinamento da montadora (2013)

A empresa em estudo adotou a utilização dos 68 micrônibus para linhas do tipo circulares. Atualmente esses veículos atuam em 16 linhas diferentes, com variações de perímetros de 19 km a 72 km, com perímetro médio de 41 km por viagem. Segundo a equipe de tráfego da empresa a maioria dessas linhas é de características topográficas planas, não exigindo demasiadamente do veículo.

3.3 MONITORAMENTO DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL

A empresa opta por fazer o monitoramento de combustível baseado na razão entre a quantidade de quilômetros rodados no dia e a quantidade de litros abastecida no mesmo dia. Os veículos marcam a autonomia no computador de bordo, entretanto, conferências feitas pela própria empresa, mostrou que não são confiáveis.

O procedimento adotado pela empresa é interessante apenas para uma macroanálise, uma vez que o processo está sujeito a diversas variáveis e há um custo desnecessário para gerar uma base de dados confiável em uma escala diária. Foram observados dois principais pontos que inviabilizam a utilização dos dados em uma escala diária. Primeiro, o próprio processo de aquisição dos dados de quilometragem e da quantidade de litros, é dado manualmente, sujeito a erros ou mau entendimento do responsável por passar esses dados para o computador. Segundo, utiliza-se uma bomba de alta vazão (400 L/min) e por normas da empresa e recente lei, no momento que a bomba indica que o tanque está cheio (popularmente chamado de primeiro disparo) deve-se parar e fazer a leitura da quantidade de litros colocados no tanque. Entretanto, esse disparo nem sempre acontece no mesmo nível do tanque, uma vez que o veículo se encontra levemente inclinado no momento do abastecimento ou mesmo observa-se geração de espuma ou variação do nível de fluido devido à alta vazão da bomba.

O fator consumo de combustível tem uma representatividade de custo muito alta na empresa, podendo chegar a 24% dos custos operacionais de um ônibus, Araújo (2012, p.106). Dessa forma, a empresa deve ter um controle assertivo de tal custo, mas que não demande medidas custosas e operacionalmente inviáveis para tal controle. A empresa base deste estudo entende que a visão mensal do consumo de combustível é mais importante do que a diária, uma vez que a média mensal de um veículo engloba todas as adversidades que um veículo pode enfrentar em um mês que impactam o consumo, problemas de manutenção, motoristas com perfis de direção distintos, chuva, diferentes linhas e carregamentos, dentre outros. Visto o alto número de dados inconsistentes nos relatórios de consumo, tais como médias de 10 km/L ou de 0,6 km/L, o corpo técnico da empresa adotou uma média de correção desses erros, chamado de média estatística. A qual consiste de um desvio de 20% para mais ou para menos do consumo do dia anterior e posterior, isto é, para o dado analisado no momento a ser considerado na média mensal, ele deve estar dentro da faixa de 20% de variação para um período de 3 dias. Após acompanhamentos mais próximos a empresa comprovou que tal metodologia se aproxima o suficiente para a análise de custo e operacionalidade do veículo.

3.4 SISTEMA DE MONITORAMENTO POR SATÉLITE

Conforme citado anteriormente os ônibus foram adquiridos em 2013 e juntamente com eles um pacote de monitoramento. A partir deste é possível melhorar operacionalmente o sistema, controle de manutenções e também melhor planejar e monitorar o consumo de combustível. O equipamento demanda uma estrutura de controle e monitoramento a ser desenvolvida e também a instalação dos equipamentos e o treinamento de todos os envolvidos.

Com esse equipamento é possível medir o consumo de combustível de forma mais precisa, medindo o quanto de combustível seria injetado na mistura e assim permitindo um levantamento exato e preciso do consumo. Entretanto, por questões comerciais, até o momento a montadora não permitiu a

instalação dessa funcionalidade, uma vez que seria necessário um processo de intervenção em ligações do motor.

Acredita-se que o uso adequado de tal ferramenta propicia um melhor controle das variáveis que afetam o consumo de combustível, resultando em uma maior autonomia.

4 LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE DADOS – EXPERIMENTAL

O presente capítulo está dividido em quatro partes principais. A primeira parte se refere à aplicação da metodologia desenvolvida para o acompanhamento experimental da operação dos miniônibus, visando identificar os gargalos de consumo de combustível e as possíveis fontes de otimização. Já a segunda e terceira parte apresentam os dados e a análise destes para cada módulo de acompanhamento. Nessas duas partes são descritas as especificidades de cada módulo, assim como as dificuldades encontradas e os resultados obtidos. A última parte faz uma breve comparação entre os resultados nos módulos 1 e 2.

4.1 SELEÇÃO DOS VEÍCULOS E LINHAS A SEREM ANALISADOS

Como já apresentado no início deste estudo, o consumo dos miniônibus estão bem acima do esperado pela empresa, observou-se um consumo médio de 2,7 km/L enquanto a expectativa da empresa ao adquirir tais veículos era o de uma autonomia de aproximadamente 3,5 km/L. Nesse contexto, surge a necessidade de fazer um acompanhamento mais incisivo dos veículos de modo a identificar e corrigir os gargalos de consumo.

Desse modo, o acompanhamento foi feito em linhas caracterizadas como “ruim”, isto é, que demanda mais do veículo, tanto em aspectos físicos (topografia e extensão), como operacionais (congestionamento e carregamento de passageiros). Foram selecionadas duas linhas, A e B, descritas no Item 4.2.4.

A empresa tem os 68 miniônibus distribuídos por 16 linhas destinadas a este tipo de veículo. Em especial, para a linha A destina-se 7 veículos, dos quais 3 foram escolhidos para o módulo 1 de acompanhamento e 4 para o módulo 2; já para a linha B associa-se 5 veículos, fazendo o acompanhamento de 4. A escolha de acompanhamento de 3 a 4 veículos e não de todos, deve-se ao fato do horário de recolhimento destes variarem bastante, devido à escala de horários baseada na demanda de passageiros. Para o acompanhamento, procurou-se que os veículos retornassem à garagem por volta do mesmo horário, para que o abastecimento fosse acompanhado e também para garantir que os veículos percorreriam aproximadamente a mesma quilometragem diária e seria dirigido pelo mesmo número de motoristas. Assim, viabilizando também algum reparo, caso necessário, de forma que o veículo operasse durante todo o acompanhamento.

A Tabela 8 apresenta os veículos acompanhados ao longo do teste de consumo. O Item 4.4 discorre sobre a motivação de monitorar 2 linhas e 8 veículos no módulo 2.

Tabela 8 - Veículos monitorados

	Módulo 1	Módulo 2	
	Linha A	Linha A	Linha B
Ônibus	953	953	924
	957	955	928
	958	957	939
		958	940

4.2 MONITORAMENTO DOS VEÍCULOS SELECIONADOS

4.2.1 Procedimento de monitoramento

Primeiramente foi necessário conscientizar a todos os envolvidos, despachantes, encarregados de manutenção e tráfego, manobristas, responsáveis pelo recolhimento e soltura dos veículos e abastecedores, da importância do acompanhamento. Entretanto, na primeira semana não se deixou explícito que o acompanhamento seria com foco no consumo de combustível, pois queria observar o comportamento rotineiro da equipe.

A rotina diária de acompanhamento se resume em andar nos veículos como passageiro, de modo a identificar os fatores da linha e operação que possivelmente impactam o consumo. Foram acompanhados na média 3 viagens por dia, sendo cada viagem com um motorista diferente, não no mesmo veículo. A partir da segunda semana de acompanhamento os motoristas foram instruídos a realizar a direção econômica. Outro aspecto de extrema importância na rotina de monitoramento consiste em participar do processo de recolhimento e abastecimento dos veículos. No recolhimento é verificado se o ônibus não apresenta nenhum dano e escuta-se a percepção do motorista quanto ao veículo. Já no abastecimento, garante-se que em todos os dias do teste, os veículos serão abastecidos até uma marca pré-determinada. Sendo assim, é garantido que os veículos sairão da garagem todos os dias com a mesma quantidade de combustível, eliminando a hipótese do erro levantado no Item 3.3. Outro aspecto de controlar o abastecimento é diminuir a chance de erro de preenchimento das informações de quilometragem e quantidade de litros colocada no tanque.

Durante todo o período de teste a equipe de manutenção foi instruída a dar prioridade no reparo dos veículos monitorados, de forma que ao ser identificada qualquer falha, esses veículos seriam prontamente consertados e colocados de volta em operação.

4.2.2 Aplicação do checklist de manutenção

O primeiro dia de acompanhamento de cada módulo (primeiro módulo - 18/08; segundo módulo - 20/10) foi destinado à seleção dos veículos e linha, assim como para a aplicação do checklist de

manutenção nos veículos selecionados. ESMAP (2011a) propõe duas etapas de inspeção de manutenção, de forma a eliminar possíveis problemas que afetariam o consumo de combustível ou o desempenho operacional do veículo. Visto que os veículos são muito novos, faixa etária de 1 ano, e que a metodologia desenvolvida pela ESMAP foi aplicada em ônibus com idade entre 4 e 14 anos, entende-se como pertinente a adaptação apenas da primeira etapa de inspeção, conforme a necessidade da empresa. De modo que foram feitas as conferências dos itens da Tabela 9.

Tabela 9 – Lista de inspeção de manutenção para os módulos 1 e 2.

Componente	Inspecionar	Critério
Pneus/Rodas	Pressão nos pneus	Pressão de 110 lbs
	Liberdade de rolagem das rodas	Rodas rodando facilmente com mão
	Lubrificação dos rolamentos	Sem nenhum ruído
Freios	Folga nos pedais	O uso excessivo pode requerer ajustes
	Folga entre a lona de freio e o tambor	Folga deve ser visível
	Retorno do pedal de freio	Em caso de não voltar, checar as conexões de ar
Acelerador / embreagem	Conexão da embreagem	O uso excessivo pode requerer ajustes
	Conexão do acelerador	O uso excessivo pode requerer ajustes
	Retorno do pedal acelerador	Retorno do pedal do acelerador, após ser acionado
Relacionado ao motor	Filtro de ar	Excesso de sujeira
	Escapamento	Se há alguma restrição
	Diagnóstico do módulo	Falhas apontadas pelo módulo eletrônico
	Emissão de fumaça escura ao acelerar	Opacidade da fumaça maior que 20%

4.2.3 Sincronização entre veículo, rota e motorista

Nos primeiros dias de acompanhamento, observou-se uma resistência muito grande dos despachantes e motoristas quanto à utilização dos miniônibus. Os despachantes alegavam que tais veículos não comportavam a demanda de passageiros das linhas determinadas pelo órgão regulamentador como destinadas a esses veículos de menor porte. Já os motoristas alegavam que eram agredidos verbalmente por passageiros, por conta da superlotação. Dessa forma, buscou conscientizar os colaboradores envolvidos que a determinação de onde os miniônibus operam é decisão do órgão regulamentador, hierarquicamente superior ao planejamento da empresa, mas que ao rodar nessas linhas, podem-se levantar dados suficientes para entrar com um pedido de realocação desses veículos em outras linhas. Com a conscientização destes e um controle mais rígido, conseguiu-se que os veículos operassem em suas respectivas linhas.

4.2.4 Levantamento do perfil da linha

O levantamento do perfil das linhas se deu por meio do uso do GPS, entrevista ao encarregado de tráfego, motoristas e despachantes, além de percorrer as linhas. A linha A e B são classificadas como linhas circulares, com trechos planos e bem pavimentados. A Tabela 10 apresenta as características levantadas durante os testes das linhas avaliadas.

Tabela 10 - Perfil das linhas monitoradas

Características	Linha A	Linha B
Extensão do percurso (km)	59	53
Tempo de percurso (h)	2,5	2,0
Velocidade Média (km/h)	24	27
Nº de pontos de parada	176	139
Nº de semáforos	32	22
Nº de lombadas	152	73

Pode-se observar a partir da Tabela 10 o alto índice de redutores de velocidade. Como descrito ao longo do Capítulo 2, o alto número de paradas impactam diretamente no consumo de combustível, exigindo o uso excessivo das marchas de alto torque, altas taxas de aceleração, além de reduzir a velocidade média da linha. A quantidade de redutores de velocidade impacta não somente o consumo de combustível, mas também a vida útil de vários outros itens (freio e embreagem), além de afetar a condução do motorista.

Quanto à topografia da linha A, observa-se aclives de baixa inclinação, porém longos, o número de aclives na linha B e a inclinação destes é menor. Na linha A foram observadas com frequência lombadas ao longo dos aclives. O trânsito é intenso em parte do percurso e o carregamento de passageiros se intensifica nos horários de picos, a linha A fica sujeita a congestionamento e superlotação nos picos. A partir do traçado da linha A e B, Figura 20 e Figura 22, respectivamente, com os recursos de uma ferramenta online foi possível traçar o perfil topográfico das linhas estudadas nas Figura 21 e Figura 23. Como as linhas A e B são caracterizadas como circulares, só foi levantado para o trecho equivalente ao do percurso.

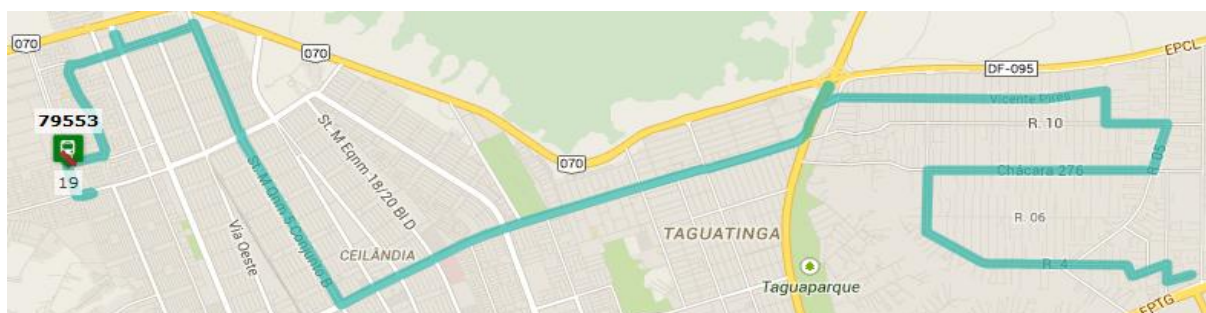


Figura 20 – Trajeto percorrido pelo miniônibus na linha A (ciano), obtido via software de monitoramento da empresa.

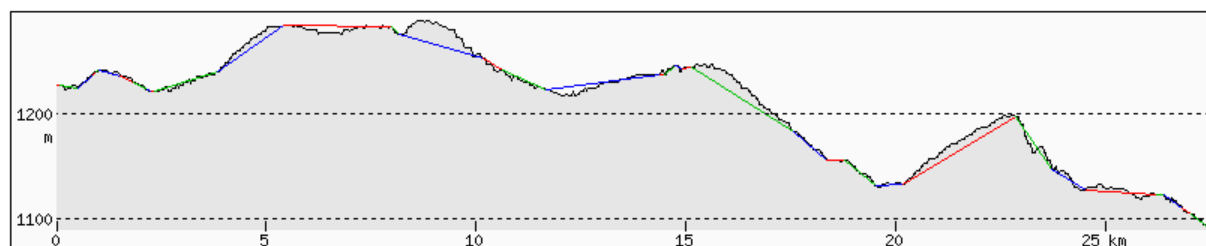


Figura 21 - Perfil topográfico da linha A
<http://www.heywhatsthat.com/>

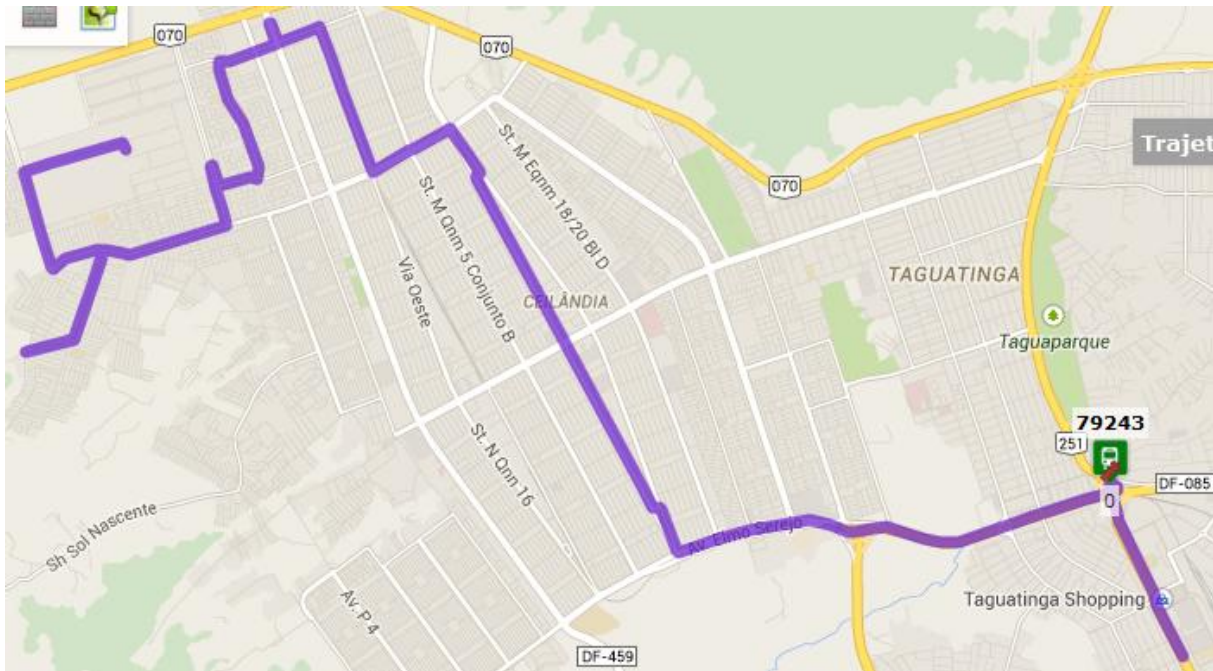


Figura 22 – Trajeto percorrido na linha B (roxo), obtido via software de monitoramento da empresa.

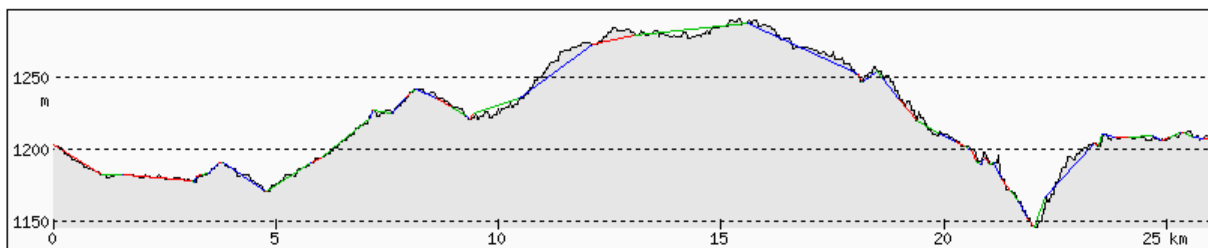


Figura 23 - Perfil topográfico da linha B
<http://www.heywhatsthat.com/>

4.3 PRIMEIRO MÓDULO DE ACOMPANHAMENTO

O primeiro módulo do acompanhamento se deu entre 18 e 30 de agosto, sendo o dia 18/08 destinado à seleção dos veículos, checklist de manutenção e acompanhamento do abastecimento. Inicialmente os veículos selecionados para o teste tinham sido os 952, 953 e 954, entretanto, mesmo com a aplicação do checklist de manutenção citado no Item 4.2.2, os veículos 952 e 954 apresentaram problemas no sistema de embarque de deficientes físicos, inviabilizando a operação destes no segundo dia. Sendo assim, os mesmos foram substituídos pelos 957 e 958. No primeiro dia de acompanhamento observou-se uma resistência dos despachantes e outros encarregados em colocar os veículos para rodarem exclusivamente na linha A, sendo assim, no momento da substituição dos veículos, optou-se pelos que já tinham o GPS funcionando, para garantir os miniônibus na devida linha. Foi decidido que os veículos monitorados não operariam no domingo, visto que a demanda de passageiros é bem menor, o que afetaria o resultado final do teste.

O maior objetivo do acompanhamento é melhorar a autonomia dos miniônibus, para isso acredita-se que o recurso da montadora de limitar a rotação máxima do veículo para cada marcha é uma importante ferramenta. Na primeira semana foi decidido fazer o acompanhamento de acordo com a parametrização sugerida pela montadora na aquisição dos veículos, Tabela 11. Entretanto, ao longo da primeira semana observou o baixo consumo e em contato com a concessionária, foi sugerida uma nova parametrização, Tabela 12.

Tabela 11 - Parametrização Módulo 1 - 1ª semana

Módulo de Acompanhamento 1 - 1ª semana						
Neutro	1ª marcha	2ª marcha	3ª marcha	4ª marcha	5ª marcha	6ª marcha
1.900 rpm	1.900 rpm	2.100 rpm	2.000 rpm	2.000 rpm	2.000 rpm	2.000 rpm

Tabela 12 - Parametrização Módulo 1 - 2ª semana

Módulo de Acompanhamento 1 - 2ª semana						
Neutro	1ª marcha	2ª marcha	3ª marcha	4ª marcha	5ª marcha	6ª marcha
1.900 rpm	1.800 rpm	2.200 rpm	2.000 rpm	2.000 rpm	1.900 rpm	1.900 rpm

4.3.1 Desafios

Nos primeiros dias de acompanhamento foi observado que os motoristas burlavam o sistema de modo a desparametrizar o veículo, desconectando o sensor da embreagem. Sensor este com a função de informar o módulo eletrônico algumas características do estilo de direção do motorista, tais como se o motorista ficou com o pé na embreagem por mais tempo que deveria, quantificar as trocas de marcha, dentre outros. Ao desligar esse sensor o motor entende que está em neutro e como em neutro não existia limitação de rotação, o motorista poderia dirigir sem nenhuma limitação. Como modo de tornar menos interessante a sabotagem, os miniônibus foram reparametrizados de forma que a rotação do neutro fosse limitada em 1.900 rpm. Parametrização essa que permitia os veículos operarem em caso de algum problema, mas que operacionalmente se torna menos interessante do que a parametrização proposta.

Foi observado em campo que os motoristas acionam a chave de emergência para permitir que os veículos rodem com as portas abertas. Como mecanismo de segurança, o módulo eletrônico do motor não permite que o veículo se desloque com a porta aberta, cortando a aceleração deste, de forma a evitar queda de passageiros e outros acidentes. Entretanto, ao acionar a chave de emergência, o módulo permite a abertura da porta e aceleração ao mesmo tempo. Essa prática é executada pelo motorista na tentativa de deixar o embarque e desembarque de passageiro mais rápido. Paralelamente ao acionamento da chave de emergência, observou-se o uso indiscriminado da chave geral do veículo, mecanismo este que tem a função de reiniciar o sistema eletrônico do veículo em caso de pane. Sendo assim, qualquer problema que o veículo apresentava o motorista acionava a chave geral, causando

danos ao módulo e conseqüentemente ao controle das rotações. De forma a combater esse uso indiscriminado, ambas as chaves foram lacradas de modo que em caso de real emergência os lacres podem ser facilmente rompidos. O uso indiscriminado de tais mecanismos ocasionam falhas no módulo eletrônico, vindo a causar problemas, tal como corte da aceleração.

Os motores embarcados com eletrônica oferecem diversos recursos de controle, entretanto tais geram uma série de critério que frequentemente inviabilizam a operação do veículo por problemas eletrônicos. A aceleração desses veículos está ligada a diversos fatores, como o citado abrir e fechar das portas e utilização do sistema de embarque de deficientes físicos. Problemas no elevador para deficientes físicos influenciaram no teste, sendo que em mais de um dia alguns dos veículos operaram apenas parcialmente por conta de problemas com o elevador. Em uma dessas ocorrências um dos veículos foi diagnosticado como sem aceleração, após os procedimentos básicos de conferência não foi identificado o problema. Depois de várias horas de trabalho, descobriu que a tomada do acelerador tinha sido propositalmente desligada e posicionada de forma que visualmente não fosse possível identificar essa desconexão.

Na primeira semana de acompanhamento efetivo (19 - 23/08) observou que o estilo de direção dos motoristas era muito diferente. Essa irregularidade entre motoristas de diferentes turnos impactam no consumo do veículo, não permitindo identificar com segurança se a parametrização proposta é econômica ou não, além de não obter um resultado claro se o baixo consumo decorre das características técnicas do próprio veículo, pelo perfil da linha ou mesmo pelo estilo de direção. Frente a isso, foi decidido a partir da segunda semana trabalhar com motoristas que já eram conhecidos pelo seu estilo de direção mais econômico e paralelamente instruí-los quanto a possíveis melhoras no modo de conduzir. Esse acompanhamento de motoristas, só foi feito no veículo 953 e 957. Com essa medida objetivava-se isolar ao máximo a variável motorista e uma vez que a linha era conhecida, trabalhar apenas com as características técnicas do veículo.

4.3.2 Dados

Os dados levantados entre 18/08 e 30/08 estão compilados nas Tabela 13, Tabela 14 e Tabela 15, representando os veículos 953, 957 e 958, respectivamente. O veículo 953 possui um dia a mais de controle do que os demais, devido à troca de veículos já relatada anteriormente. O acompanhamento também foi feito no dia 30/08, entretanto, ele foi desconsiderado de modo a deixar as duas semanas com o mesmo número de dias monitorados. E também, pelo fato de 30/08 ser sábado, o que não representa um dia normal de operação.

Tabela 13 – Resultados do monitoramento do miniônibus 953- Módulo 1

Data	Veículo	km	Diesel(L)	Autonomia (km/L)	Autonomia Geral (km/L)	L/passageiro	Passageiros	IPK	IPK médio		
19/ago	953	297,9	109,30	2,73	2,59	0,20	536	1,8	1,7		
20/ago		298	109,20	2,73		0,22	506	1,7			
21/ago		175	72,30	2,42		0,34	210	1,2			
22/ago		155,1	69,80	2,22		0,32	217	1,4			
23/ago		252,7	101,00	2,50		0,20	505	2,0			
24/ago		Domingo				Domingo					
25/ago		341,1	118,70	2,87		0,23	512	1,5			
26/ago		185,5	78,50	2,36		0,26	297	1,6			
27/ago		125,7	44,00	2,86		0,17	264	2,1			
28/ago		283,1	112,20	2,52		0,22	510	1,8			
29/ago		238,5	88,00	2,71		0,23	382	1,6			

Tabela 14 - Resultados do monitoramento do miniônibus 957 - Módulo 1

Data	Veículo	km	Diesel(L)	Autonomia (km/L)	Autonomia Geral (km/L)	L/passageiro	Passageiros	IPK	IPK médio		
20/ago	957	306	115,00	2,66	2,68	0,27	428	1,4	1,5		
21/ago		197,2	77,30	2,55		0,28	276	1,4			
22/ago		242,4	90,50	2,68		0,27	339	1,4			
23/ago		360,3	143,70	2,51		0,27	540	1,5			
24/ago		Domingo				Domingo					
25/ago		186,9	69,40	2,69		0,26	262	1,4			
26/ago		189,9	69,70	2,72		0,23	304	1,6			
27/ago		244,2	82,60	2,96		0,21	391	1,6			
28/ago		246,5	89,20	2,76		0,24	370	1,5			
29/ago		243,6	93,50	2,61		0,26	365	1,5			

Tabela 15 - Resultados do monitoramento do miniônibus 958 - Módulo 1

Data	Veículo	km	Diesel(L)	Autonomia (km/L)	Autonomia Geral (km/L)	L/passageiro	Passageiros	IPK	IPK médio		
20/ago	958	245,9	90,40	2,72	2,64	0,22	418	1,7	1,6		
21/ago		249,9	88,00	2,84		0,19	475	1,9			
22/ago		244,6	87,90	2,78		0,20	440	1,8			
23/ago		181,5	66,70	2,72		0,26	254	1,4			
24/ago		Domingo				Domingo					
25/ago		127,4	51,30	2,48		0,25	204	1,6			
26/ago		246,2	102,60	2,40		0,28	369	1,5			
27/ago		245,1	91,20	2,69		0,23	392	1,6			
28/ago		243,9	91,40	2,67		0,22	415	1,7			
29/ago		185,2	75,60	2,45		0,31	241	1,3			

4.3.3 Análise de dados

O monitoramento dos três veículos mostrou a baixa autonomia destes, bem abaixo da expectativa de 3,5 km/L, conforme mostrado na Tabela 16, ficando a autonomia do período monitorado 32,7% abaixo da autonomia meta.

Tabela 16 - Diferença da autonomia média dos miniônibus em relação à meta

Ônibus	km/L	Diferença da meta
953	2,59	-35,0%
957	2,68	-30,5%
958	2,64	-32,6%
Média Geral	2,64	-32,7%

Apesar de verificar que o consumo ainda se encontra bastante elevado, observou-se uma melhora de 5,8% entre a primeira e segunda semana nos dois veículos que tiveram os motoristas instruídos quanto ao estilo de direção, conforme mostrado na Tabela 17. A melhora dos veículos 953 e 957 comprovam a importância do estilo de direção no consumo de combustível, acredita-se que a segunda parametrização (Tabela 12) também contribuiu para a redução do consumo médio. Entretanto, o miniônibus 958 sofreu uma queda de autonomia expressiva entre a primeira e a segunda semana. Como possível explicação para tal, tem-se que o evento descrito no Item 484.3.1 de ter a tomada de aceleração desligada propositalmente aconteceu com este veículo. O segundo fato que possivelmente influenciou no consumo do 958, foi que o sensor de embreagem foi desligado e esse veículo rodou por mais de um dia com rotação limitada a 1.900 rpm, além do fator estilo de direção do motorista.

Tabela 17 - Autonomia média do módulo 1

Ônibus	1ª semana		2ª semana		% autonomia
	km/L	IPK	km/L	IPK	
953	2,52	1,6	2,67	1,7	5,80%
957	2,6	1,4	2,75	1,5	5,70%
958	2,77	1,7	2,54	1,5	-8,20%
Média	2,63	1,58	2,65	1,59	0,80%

A variável motorista (estilo de direção) ainda pode ser melhorada, com um acompanhamento mais incisivo, mas não se espera que apenas a otimização desta possibilite o crescimento dos 30% necessários para atingir o índice de 3,5 km/L. Foi observado durante o período estipulado que os veículos ficam funcionando por longos períodos. Como por exemplo, nos terminais entre uma viagem e outra, na fila para o abastecimento e lavagem. De acordo com o manual do veículo, nessas situações há o consumo de um litro de diesel por hora ligado, sendo assim, tal prática também impacta na autonomia. Outro fator levantado foi a potência do veículo, a qual é muito alta para o tipo de operação que este está submetido, sendo uma possível redução de potência, um contribuinte para a redução do consumo. O quarto fator é a otimização da parametrização utilizada, criar uma parametrização mais específica para a situação da empresa. Como quinto ponto analisado é o perfil da linha, que hipoteticamente pode demandar do veículo de forma inviabilizar a autonomia de 3,5 km/L. O sexto fator levantado é a possibilidade que as próprias características técnicas do veículo propiciem um consumo muito elevado. O último questionamento é sobre a bomba de combustível, se essa estava

aferida, uma vez que não aferida poderia estar marcando uma quantidade de diesel no visor, mas liberando outra, o que interfere no cálculo da autonomia. Caso a bomba estivesse liberando mais diesel do que ela marca, o consumo estaria mais baixo ainda, a situação contrária é aplicável.

4.4 SEGUNDO MÓDULO DE ACOMPANHAMENTO

O primeiro módulo de acompanhamento apresentou melhora na autonomia de dois veículos, mas ainda está muito aquém do esperado pela operadora de ônibus. Frente a essa situação de alto consumo, mesmo em uma situação com as variáveis em controle, a montadora e a concessionária foram acionadas de modo a intervir de forma conjunta ao estudo de consumo, antes de iniciar um novo período de acompanhamento, 20/10 a 01/11.

A primeira medida tomada, foi a limitação do neutro para 1500 rpm, de modo a inviabilizar a operação caso o sensor de embreagem seja desligado, para não repetir o ocorrido com 958 no primeiro módulo, conforme descrito no Item 4.3.1. Adicionalmente, parametrizou o veículo para desligar sozinho (low-idle shutdown) após 150 segundos (2,5 min) e temperatura acima de 70 °C, o ônibus só se desliga se o freio de estacionamento estiver acionado e nem um dos pedais e funções forem acionadas.

A montadora juntamente com uma equipe de engenheiros visitou a empresa e acompanhou a rota A e B, de modo a apresentar algumas propostas de parametrização que propicie um ganho na autonomia. Foram estabelecidas três propostas, entretanto todas com os mesmos limites de rotação, Tabela 18. Não houve a possibilidade de diminuir a potência do veículo, visto que tal medida demandaria uma programação específica para o caso e teria que ser validada para liberar a sua utilização, o que acarretaria em custos extras e um longo período de tempo. Entretanto, ao limitar a rotação máxima do veículo a 2.100 rpm, esse não atingirá a potência máxima de 186 cavalos, a qual só acontece a 2.400 rpm, conforme descrito na Tabela 7.

Tabela 18 - Parametrização da rotação por marcha no módulo 2

Módulo de Acompanhamento 2						
Neutro	1ª marcha	2ª marcha	3ª marcha	4ª marcha	5ª marcha	6ª marcha
1.500 rpm	2.100 rpm	2.000 rpm	2.000 rpm	1.900 rpm	1.900 rpm	1.800 rpm

A montadora não pode fornecer com detalhes o que tinha sido alterado entre as parametrizações, por questões de estratégia de mercado, dando apenas algumas diretrizes das modificações. Sendo a diferença fundamental entre as propostas 1 e 2, na estratégia de injeção de combustível que visa a otimização da combustão em dois modos distintos. A alteração se deu na curva de tempo da injeção de combustível, isto é, na proposta 2 o tempo de injeção de combustível é mais longo do que na proposta 1 (mesma quantidade de combustível injetada, sem alteração na riqueza da mistura), o que teoricamente propicia um menor consumo, em contrapartida, há perda de força. Já a proposta 3 possui

a mesma parametrização da proposta 1, adicionada da função de limite de aceleração por marcha VALC (Vehicle Acceleration Limitation and Control). A função VALC controla a aceleração do veículo, dependendo se está vazio ou carregado. Em sua programação, a função identifica o quão carregado o veículo está, determinando um intervalo de velocidade e monitorando a aceleração neste intervalo. Caso o módulo identifique uma alta taxa de aceleração, este entende que o veículo está vazio, limitando a aceleração, uma vez que com baixa carga de passageiros a demanda de potência é menor, o que colabora para uma condução mais segura e econômica. O oposto também se aplica, ao identificar uma taxa de aceleração menor no intervalo estabelecido, entende-se que o ônibus está carregado e que requer mais potência para operar adequadamente.

Neste módulo foram acompanhados 8 veículos e 2 linhas, diferentemente do módulo 1 onde acompanhou-se 3 veículos e apenas 1 linha. A motivação de monitorar 2 linhas advém do anseio de identificar a influência do perfil da linha no consumo de combustível; secundariamente, tem-se uma maior base de dados, uma vez que neste módulo cada veículo por linha carrega uma proposta diferente. Oito veículos foram acompanhados neste módulo, sendo 4 por linha. No total tem-se 4 propostas, sendo 3 delas apresentadas anteriormente, já a proposta 4 é a mesma parametrização testada na segunda semana do módulo 1, Tabela 12. A decisão de monitorar um quarto miniônibus com a parametrização do módulo anterior se dá de forma a verificar se alguma das propostas do módulo 2 é energeticamente mais interessante, mediante às mesmas condições operacionais. Neste contexto, a proposta 4 apresenta-se como uma referência, isto é, um veículo controle. A relação entre os veículos e o tipo de parametrização está descrito na Tabela 19. Todos os motoristas que conduziram os veículos em monitoramento durante o módulo 2 foram instruídos quanto ao estilo de direção mais econômico e seguro desde o primeiro dia.

Tabela 19 - Tipo de parametrização por veículo nas linhas A e B

	Linha A	Linha B
Proposta 1	953	924
Proposta 2	958	939
Proposta 3	957	940
Proposta 4	955	928

Antes de começar o acompanhamento dos 8 veículos, foi feita a aferição da bomba de diesel, sendo esta de alta vazão, 400 L/min. A aferição da bomba foi feita a partir da quantidade média de 100 litros de diesel que é abastecida por veículo. Para tal foram utilizados um aferidor de 20 litros, uma proveta de 1 litro e 2 tambores de 150 litros. O diesel foi colocado em um dos tambores até o visor da bomba se aproximar de 100 litros, neste momento o bico da pistola da bomba foi imerso no tambor para simular o disparo automático da bomba, mostrando no visor 98,73 litros. A pistola foi acionada cuidadosamente até se aproximar de 100 litros, simulando também a situação deste teste em que o abastecedor coloca combustível de pouco em pouco, até atingir a marca determinada, citada no Item

4.2.1. Ao final, a bomba marcou 100,08 litros e liberou 101,1 litros, estando descalibrada 1,01% para menos, isto é, é libera 1,01% a mais de combustível do que é mostrado no visor da bomba. Considerada a grande vazão da bomba e a pequena diferença percentual, considerou que a bomba está suficientemente calibrada para o teste, devido a margem de erro existente na aferição.

4.4.1 Desafios

As dificuldades encontradas no módulo 2 foram semelhantes às citadas para o módulo 1 (Item 4.3.1). Encontrou-se dificuldade para a implementação do experimento na linha B quanto a conscientização dos colaboradores envolvidos na operação dos veículos, semelhante a encontrada na linha A no módulo 1.

O comportamento inapropriado dos motoristas também foi observado, no qual estes constantemente tentavam burlar o sistema de parametrização desconectando o sensor de embreagem, mesmo sendo esse isolado por meio de um conduíte e tendo o neutro parametrizado a 1500 rpm. Esta ação dos motoristas provocou o retorno de alguns carros à garagem para reparo. Os lacres da chave geral e de emergência tiveram que ser recolocados algumas vezes ao longo do teste. Em uma das situações a chave geral como um todo foi quebrada, Figura 24, e em outra o motorista acionou a chave de emergência com o uso de um fio dobrado de forma que não rompesse o lacre Figura 25.



Figura 24 - Chave geral quebrada do suporte



Figura 25 - Chave de emergência com o seu acionamento burlado

Os veículos 957 e 940 eram frequentemente devolvidos pelos motoristas para a garagem, com a reclamação que o veículo estava sem força. Ambos os veículos foram parametrizados com a proposta 3, a qual devido a equação VALC, deixa o veículo mais “fraco” quando vazio. Mesmo tendo instruído motoristas, despachantes e garagistas, os veículos ao longo das duas semanas frequentemente eram recolhidos com a errônea alegação.

Problemas com vazamento de ar, módulo eletrônico e ligações elétricas foram detectados ao longo do período avaliado, inviabilizando a operação completa ou parcialmente durante o dia. O problema com vazamento de ar foi observado como sendo generalizado, principalmente no sistema pneumático do elevador de embarque e desembarque de deficientes físicos, e no sistema de abertura das portas. Foi constatado que tais problemas são decorrentes dos fabricantes. Veículos com vazamento de ar tendem a consumir mais, pois o chamado balão de ar está vazio ao ligar os ônibus, enchendo apenas com o funcionamento do motor. Desse modo, é comum a prática de acelerar o veículo em ponto morto para que o balão se encha mais rápido ou deixar o veículo ligado por longos períodos para impedir que ele esvazie. Ambas as práticas contribuem para o aumento do consumo de combustível, distanciando a empresa cada vez mais de atingir a meta de 3,5 km/L.

4.4.2 Dados

Os dados do módulo 2 foram adquiridos por 10 dias, 20 a 31/10, os quais estão dispostos nas Tabela 20 e Tabela 21, proposta 1, Tabela 22 e Tabela 23, proposta 2, Tabela 24 e Tabela 25, proposta 3 e Tabela 26 e Tabela 27, proposta 4. A lógica dos dias analisados segue a mesma descrita para o módulo 1.

Tabela 20 – Resultados do monitoramento do miniônibus 953 - Módulo 2.

Proposta 1 - Linha A										
Data	Veículo	km	Diesel(L)	Autonomia (km/L)	Autonomia Geral (km/L)	Passageiros	L/passageiro	IPK	IPK médio	
21/out	953	27,3	9,50	-	2,72	-	-	-	1,6	
22/out		244	84,14	2,90		395	0,21	1,6		
23/out		239	93,77	2,55		379	0,25	1,6		
24/out		345,8	117,27	2,95		552	0,21	1,6		
25/out		239,1	95,30	2,51		429	0,22	1,8		
26/out		Domingo				Domingo				
27/out		-	-	-		-	-	-		
28/out		-	-	-		-	-	-		
29/out		239,3	88,67	2,70		346	0,26	1,4		
30/out		239,7	87,81	2,73		325	0,27	1,4		
31/out		239,2	87,51	2,73		387	0,23	1,6		

Tabela 21 – Resultados do monitoramento do miniônibus 924 - Módulo 2.

Proposta 1 - Linha B										
Data	Veículo	km	Diesel(L)	Autonomia (km/L)	Autonomia Geral (km/L)	Passageiros	L/passageiro	IPK	IPK médio	
21/out	924	7,6	7,60	-	3,06	-	-	-	1,1	
22/out		-	4,69	-		-	-	-		
23/out		170	54,79	3,10		168	0,33	1,0		
24/out		365,8	114,80	3,19		412	0,28	1,1		
25/out		0,8	5,99	-		0	-	0,0		
26/out		Domingo				Domingo				
27/out		7	3,12	-		-	0,00	-		
28/out		200,3	67,61	2,96		330	0,20	1,6		
29/out		142,7	51,90	2,75		226	0,23	1,6		
30/out		312	97,76	3,19		356	0,27	1,1		
31/out		304,2	95,58	3,18		352	0,27	1,2		

Tabela 22 – Resultados do monitoramento do miniônibus 958 - Módulo 2.

Proposta 2 - Linha A										
Data	Veículo	km	Diesel(L)	Autonomia (km/L)	Autonomia Geral (km/L)	Passageiros	L/passageiro	IPK	IPK médio	
21/out	958	244,3	98,07	2,49	2,61	417	0,24	1,7	1,6	
22/out		244,5	88,65	2,76		381	0,23	1,6		
23/out		244,4	101,09	2,42		451	0,22	1,8		
24/out		186,7	72,78	2,57		297	0,25	1,6		
25/out		202,8	70,98	2,86		307	0,23	1,5		
26/out		Domingo				Domingo				
27/out		244,5	93,49	2,62		365	0,26	1,5		
28/out		244,7	93,89	2,61		386	0,24	1,6		
29/out		244,5	98,74	2,48		378	0,26	1,5		
30/out		244,5	90,40	2,70		373	0,24	1,5		
31/out		245,7	93,83	2,62		384	0,24	1,6		

Tabela 23 – Resultados do monitoramento do miniônibus 939 - Módulo 2.

Proposta 2 - Linha B										
Data	Veículo	km	Diesel(L)	Autonomia (km/L)	Autonomia Geral (km/L)	Passageiros	L/passageiro	IPK	IPK médio	
21/out	939	272,8	83,55	3,27	3,27	416	0,20	1,5	1,2	
22/out		263,3	84,86	3,10		391	0,22	1,5		
23/out		260,8	78,54	3,32		373	0,21	1,4		
24/out		322,3	97,56	3,30		413	0,24	1,3		
25/out		308,5	95,10	3,24		244	0,39	0,8		
26/out		Domingo				Domingo				
27/out		319,4	101,95	3,13		361	0,28	1,1		
28/out		272	77,19	3,52		316	0,24	1,2		
29/out		363,3	108,91	3,34		527	0,21	1,5		
30/out		319,8	103,30	3,10		460	0,22	1,4		
31/out		212,5	63,81	3,33		138	0,46	0,6		

Tabela 24 – Resultados do monitoramento do miniônibus 957 - Módulo 2.

Proposta 3 - Linha A											
Data	Veículo	km	Diesel(L)	Autonomia (km/L)	Autonomia Geral (km/L)	Passageiros	L/passageiro	IPK	IPK médio		
21/out	957	92,5	33,06	2,80	2,85	141	0,23	1,5	1,4		
22/out		245,4	77,93	3,15		324	0,24	1,3			
23/out		244,7	93,52	2,62		317	0,30	1,3			
24/out		186,1	68,66	2,71		249	0,28	1,3			
25/out		244,7	99,00	2,47		502	0,20	2,1			
26/out		Domingo				Domingo					
27/out		14,1	5,10	-		-	-	-			
28/out		244,7	81,63	3,00		321	0,25	1,3			
29/out		243,4	82,36	2,96		372	0,22	1,5			
30/out		265,3	86,46	3,07		292	0,30	1,1			
31/out		245,2	85,08	2,88		350	0,24	1,4			

Tabela 25 – Resultados do monitoramento do miniônibus 940 - Módulo 2.

Proposta 3 - Linha B											
Data	Veículo	km	Diesel(L)	Autonomia (km/L)	Autonomia Geral (km/L)	Passageiros	L/passageiro	IPK	IPK médio		
21/out	940	245,9	89,09	2,76	3,20	389	0,23	1,6	1,2		
22/out		255,2	79,64	3,20		364	0,22	1,4			
23/out		161,8	50,95	3,18		257	0,20	1,6			
24/out		269,3	81,59	3,30		289	0,28	1,1			
25/out		202,5	61,16	3,31		209	0,29	1,0			
26/out		Domingo				Domingo					
27/out		265,5	82,96	3,20		293	0,28	1,1			
28/out		117	35,78	3,27		114	0,31	1,0			
29/out		127,7	42,45	3,01		117	0,36	0,9			
30/out		275,5	77,53	3,55		316	0,25	1,1			
31/out		152,3	47,86	3,18		132	0,36	0,9			

Tabela 26 – Resultados do monitoramento do miniônibus 955 - Módulo 2.

Proposta 4 - Linha A											
Data	Veículo	km	Diesel(L)	Autonomia (km/L)	Autonomia Geral (km/L)	Passageiros	L/passageiro	IPK	IPK médio		
21/out	955	248,2	101,02	2,46	2,66	392	0,26	1,6	1,6		
22/out		241,4	89,01	2,71		381	0,23	1,6			
23/out		242	86,21	2,81		445	0,19	1,8			
24/out		386	134,71	2,87		579	0,23	1,5			
25/out		65,6	22,96	2,86		54	0,43	0,8			
26/out		Domingo				Domingo					
27/out		192,2	86,87	2,21		351	0,25	1,8			
28/out		240,8	90,32	2,67		450	0,20	1,9			
29/out		241,6	90,65	2,67		389	0,23	1,6			
30/out		242,4	90,75	2,67		371	0,24	1,5			
31/out		241,6	89,3	2,71		379	0,24	1,6			

Tabela 27 – Resultados do monitoramento do miniônibus 928 - Módulo 2.

Proposta 4 - Linha B											
Data	Veículo	km	Diesel(L)	Autonomia (km/L)	Autonomia Geral (km/L)	Passageiros	L/passageiro	IPK	IPK médio		
21/out	928	305,4	104,67	2,92	3,05	363	0,29	1,2	1,3		
22/out		313,3	108,97	2,88		407	0,27	1,3			
23/out		202,2	70,50	2,87		267	0,26	1,3			
24/out		269,2	88,92	3,03		319	0,28	1,2			
25/out		110,5	39,70	2,78		156	0,25	1,4			
26/out		Domingo				Domingo					
27/out		106,9	29,21	3,66		102	0,00	1,0			
28/out		256,7	81,42	3,15		370	0,22	1,4			
29/out		316,2	101,56	3,11		369	0,28	1,2			
30/out		266,1	83,35	3,19		399	0,21	1,5			
31/out		306,8	105,82	2,90		459	0,23	1,5			

4.4.3 Análise de dados

Nenhuma das propostas de parametrização atingiu a meta de 3,5 km/L, Tabela 28, mas chegou a uma média de 3,27 km/L com o veículo 939, ficando apenas 7.18% abaixo da meta. Entretanto, observa-se uma melhora significativa na autonomia em relação ao módulo 1, conforme exposto nas Tabela 29 e Tabela 30, descartando a proposta de parametrização 4 como modelo a ser seguida na otimização da autonomia média.

Tabela 28 - Diferença da autonomia média em relação à meta - Módulo 2

Veículo	km/L	Diferença da meta
Linha A		
953 (P1)	2,72	-28,6%
955 (P4)	2,66	-31,5%
957 (P3)	2,85	-22,8%
958 (P2)	2,61	-34,0%
Linha B		
924 (P1)	3,06	-14,3%
928 (P4)	3,05	-14,8%
939 (P2)	3,27	-7,2%
940 (P3)	3,20	-9,5%

Tabela 29 - Diferença percentual entre as propostas do módulo 1 e 2 - Linha A

	Linha A		
	Autonomia (km/L)		% entre P4 e P(i)
	Propostas	P4 (955)	
P1 (953)	2,72	2,66	2,3%
P2 (958)	2,61		-1,9%
P3 (957)	2,85		7,1%

Tabela 30 - Diferença percentual entre as propostas do módulo 1 e 2 - Linha B

	Linha B		
	Autonomia (km/L)		% entre P4 e P(i)
	Propostas	P4 (928)	
P1 (924)	3,06	3,05	0,4%
P2 (939)	3,27		7,1%
P3 (940)	3,20		4,8%

Analisando as Tabela 29 e Tabela 30 tem-se que apenas o veículo 958 não obteve uma média superior à proposta de referência ao módulo 1. Entretanto, o veículo 939, o que apresentou a melhor média, estava também submetido à proposta 2. No geral o veículo 958 operou normalmente ao longo do teste, não sendo submetido a nenhum reparo expressivo, tendo como incidentes, apenas uma parada para

troca do retrovisor e outra para ligar o sensor de embreagem que foi encontrado desligado. O mesmo veículo também obteve baixa autonomia média no módulo 1. Dessa forma, entende-se que é possível que haja alguma especificidade com o respectivo veículo que fuja do alcance de entendimento do presente estudo.

Neste módulo, no geral a proposta 1 foi a que apresentou a menor performance, obtendo um ganho de apenas 2,28% e 0,45% nas linhas A e B, respectivamente. Ambos os veículos submetidos a essa proposta, foram os que ficaram mais tempo parados por problemas técnicos ou operacionais. A autonomia levantada no dia 21/10 para esses dois veículos não foi considerada para a autonomia geral, uma vez que estes não chegaram a fazer nem mesmo uma viagem completa. O ônibus 924 foi recolhido algumas vezes com o diagnóstico de baixa aceleração, sendo uma das vezes ocasionado pelo desligamento do sensor da embreagem e outra por falha na “cebolinha” da porta, cortando a aceleração do veículo. No dia 27/10 o veículo não operou por falha de comunicação interna, entre a equipe de manutenção e de tráfego. Já o veículo 953 apresentou problemas quanto ao elevador (problema recorrente desde o módulo 1) e desligamento ao entrar em marcha lenta, o que requereu a troca do módulo eletrônico, qual não estava permitindo a aceleração do veículo. Acredita-se que tais fatores possam ter impactado a desenvoltura da proposta 1, mas não a ponto de invalidar o experimento.

De acordo com dados coletados, a proposta 3 é a que em uma perspectiva geral a que melhor se adequa à operação da empresa em estudo, conforme mostrado na Tabela 31, obtendo uma autonomia média para as duas linhas de 3,02 km/L. O veículo 957 apresentou problemas com o elevador e com a chave geral, já o veículo 940 foi recolhido com problemas de falha no módulo eletrônico. A proposta 3 é a que adicionalmente à parametrização possui a função VALC, limitando a aceleração do veículo por marcha mediante à sua condição de carga. Ambos os veículos com essa proposta tiveram o seu desempenho questionado pelos motoristas, frequentemente alegando a falta de força no motor. Tal reclamação já era esperada, uma vez que o motor tem seu torque limitado quando o veículo se encontra com baixa carga.

Acredita-se que o consumo ainda possa ser reduzido se testando uma nova parametrização, aplicando a função VALC na proposta 2. O veículo da linha B com a proposta 2, foi o que obteve o maior ganho, sendo 2,3% a mais do que a segunda colocada proposta 3, Tabela 30. Entretanto, a respectiva proposta apresentou um baixo desempenho na linha A, Tabela 29, embora, como já exposto, há razões para acreditar que possa ser alguma especificidade do veículo. A proposta 3 é a proposta 1 com a função VALC aplicada, o ganho percentual médio da proposta 3 em relação a 1 foi de 4,6%, uma vez que as condições operacionais estavam padronizadas, presume-se que esse ganho é decorrente da função VALC.

Tabela 31 - Perspectiva dos fatores operacionais linha x proposta

Linha	Proposta 1		Proposta 2		Proposta 3		Proposta 4		Total
	A	B	A	B	A	B	A	B	
Veículo	953	924	958	939	957	940	955	928	
Média autonomia (km/L)	2,89		2,94		3,02		2,86		2,93
Autonomia (km/L)	2,72	3,06	2,61	3,27	2,85	3,20	2,66	3,05	
km/L de B/A	12,5%		25,1%		12,2%		14,5%		16,2%
IPK	1,6	1,1	1,6	1,2	1,4	1,2	1,6	1,3	1,37
IPK de B/A	-30,6%		-22,5%		-18,3%		-17,6%		-22,6%
km médio	226,68	167,82	234,66	291,47	202,61	207,27	234,18	245,33	226,25
km médio de B/A	-26,0%		24,2%		2,3%		4,8%		1,3%

A partir da Tabela 31 é possível observar que se obteve um melhor consumo de combustível na linha B independentemente da proposta, tendo em média a autonomia da linha B superior à da linha A em significativos 16,2%. Frente ao respectivo dado é plausível afirmar que os fatores que compõem o perfil de linha, conforme exposto no Item 2.1, da linha A impactam o consumo de combustível mais negativamente do que os de B. O IPK é um indicador diretamente proporcional à carga transportada pelo veículo (é considerado pelo mercado 70 kg por passageiro), carga essa que impacta no consumo de combustível. Ao longo do período de monitoramento pode-se afirmar que os veículos da linha B operaram em média com 22,6% a menos de peso do que os veículos da linha A.

Como visto no Item 2.1.2, os pontos de parada e congestionamento possuem importante parcela no consumo de combustível. Dessa forma, para melhor análise, consideram-se os dados expostos na Tabela 32 tais como número de pontos de parada, de semáforos e de redutores de velocidade todos como fatores desfavoráveis ao movimento contínuo do veículo, redutores de velocidade. Somando todos esses redutores de velocidade, tem-se a quantidade de 360 para a linha A e 234 para linha B, ou seja, a linha B possui 35,0% (126) pontos contrários ao movimento dos ônibus a menos que a A.

Tabela 32 - Perfil comparativo das linhas A e B

Características	Linha A	Linha B	% B/A
Extensão do percurso (km)	59	53	-10,2%
Tempo de percurso (h)	2,5	2,0	-20,0%
Velocidade Média (km/h)	24	27	12,5%
Nº de pontos de parada	176	139	-21,0%
Nº de semáforos	32	22	-31,3%
Nº de lombadas	152	73	-52,0%

O Item 2.1.3 abrange a influência da velocidade média no consumo de combustível, quanto maior a velocidade média, melhor a autonomia. Ao analisar este fator na Tabela 31 tem-se que a velocidade média da linha B é 12,5% maior que na linha A.

Conforme já explicado anteriormente, por insuficiência de recursos não foi possível fazer o levantamento do parâmetro topografia com equipamentos que permitissem uma profunda análise quantitativa. Sendo assim, de modo a ter uma medida de comparação topográfica entre as linhas A e B, sobrepõe-se triângulos retângulos aos perfis topográficos das Figura 21 e Figura 23, de modo a estimar a inclinação dos aclives ao longo do trajeto, Figura 26 e Figura 27. Cada triângulo foi identificado, sendo o prefixo referente à linha (A ou B), o sufixo atrelado a em que parte do percurso o aclive é positivo, na ida “I” e na volta “V”, já o dígito só tem função de contagem.

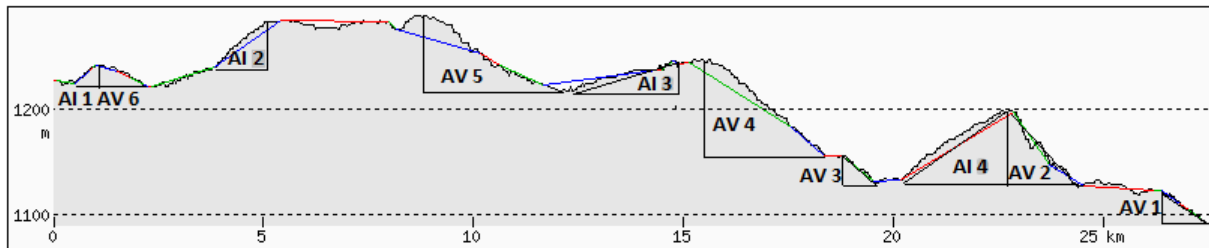


Figura 26 - Perfil topográfico da linha A sobreposto por triângulos retângulos para análise

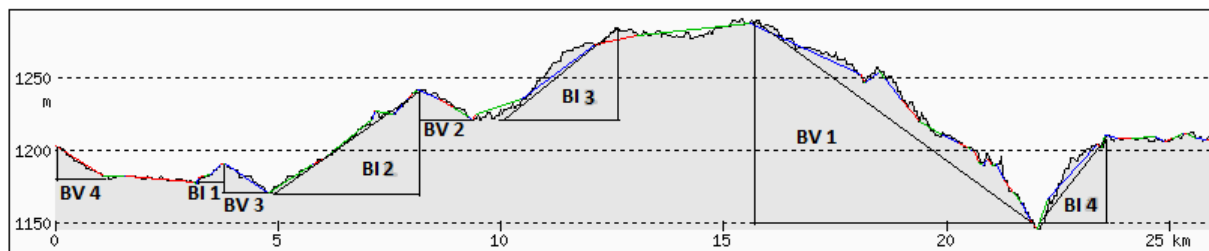


Figura 27 - Perfil topográfico da linha B sobreposto por triângulos retângulos para análise

Os catetos dos retângulos representam a distância percorrida (cateto base) e a diferença de altitude ao longo dessa distância (cateto altura). Para estimar corretamente os catetos, foi utilizado um programa de edição de fotos que gera uma escala de medida. A partir do comprimento do aclive e da diferença de altitude foram calculadas as inclinações dos aclives dividindo o percurso pela altura, conforme as Figura 26 e Figura 27.

Tabela 33 - Aclives e suas inclinações ao longo do percurso da linha A

Linha A				
Active	Percurso (m)	Altura (m)	i	Inclinação
AI 1	537	21,42	0,040	4%
AI 2	1253	50	0,040	4%
AI 3	2506	35,7	0,014	1%
AI 4	2506	71,4	0,028	3%
AV 1	1074	28,56	0,027	3%
AV 2	1611	71,4	0,044	4%
AV 3	716	28,56	0,040	4%
AV 4	2864	92,82	0,032	3%
AV 5	3222	70,14	0,022	2%
AV 6	895	21,42	0,024	2%

Tabela 34 - Aclives e suas inclinações ao longo do percurso da linha B

Linha B				
Active	Percurso (m)	Altura (m)	i	Inclinação
BI 1	537	14,25	0,027	3%
BI 2	3401	100,66	0,030	3%
BI 3	2864	85,68	0,030	3%
BI 4	1611	78,54	0,049	5%
BV 1	6623	249,9	0,038	4%
BV 2	1253	28,56	0,023	2%
BV 3	1074	28,56	0,027	3%
BV 4	1253	28,56	0,023	2%

No Item 2.1.4 é apresentada a Eq. (4), força resistiva ao aclive, que é o produto da inclinação i com o PBT. Sendo o PBT a soma do peso do veículo (chassi mais carroceria) e do peso dos passageiros, considera-se o PBT o mesmo ao longo do percurso, visto que o peso do veículo é o mesmo e que o peso dos passageiros é diretamente conectado com o IPK. Isto é, o peso bruto total da linha B (PBT_B) é 22,6% menor que PBT_A . O único fator da força resistiva que muda ao longo de cada linha é a inclinação, Eqs.(13) e (14).

$$F_{iA} = (i_{AI1} + i_{AI2} + i_{AI3} + i_{AI4} + i_{AV1} + i_{AV2} + i_{AV3} + i_{AV4} + i_{AV5} + i_{AV6}) \times PBT_A \quad (13)$$

$$F_{iB} = (i_{BI1} + i_{BI2} + i_{BI3} + i_{BI4} + i_{BV1} + i_{BV2} + i_{BV3} + i_{BV4}) \times PBT_A \quad (14)$$

Ao substituir os valores de i das Tabela 33 e Tabela 34 nas Eqs. (13) e (14), e desenvolvê-las levando em conta a diferença do PBT entre as linhas, tem-se a Eq.(15). Considerando F_i o indicador direto de

quão acidentada é a topografia, isto é, quanto maior F_i mais demandante é a topografia e consequentemente maior o consumo de combustível. Sendo assim, considerando as equações apresentadas, infere-se que a topografia da linha B é 39.1% menos acidentada que a da linha A.

$$F_{iB} = 0,786i_{A_total} \times (Peso_{veículo} + 0,774Peso_{passageiros_A}) \quad (15)$$

A Tabela 31 mostra que a autonomia dos veículos que rodaram na linha B sob as mesmas condições de operação e parametrizações é aproximadamente 16% maior que a dos veículos da linha A. Ao longo desta análise de dados também foram comparados 4 parâmetros operacionais das linhas A e B que impactam no consumo de combustível, conforme descrito no Capítulo 2, carga de passageiros P , redutores de velocidade R , velocidade média V e topografia T . Foi diagnosticado que todos esses parâmetros se comportam favoravelmente a autonomia da linha B, conforme relacionados a seguir.

$$P_B = 0,774P_A$$

$$R_B = 0,650R_A$$

$$V_B = 1,125V_A$$

$$T_B = 0,608T_A$$

A partir das relações anteriores e do que foi apresentado ao longo deste trabalho, pode-se afirmar que existe uma função regida por esses 4 parâmetros citados mais o fator estilo de direção M que justifica a diferença de autonomia A entre as linhas, Eq.(16). Não é possível determinar o tipo da função ou o peso que cada variável representa na autonomia, por ter só duas linhas analisadas, não havendo dados significativos o suficiente. A variável estilo de direção é considerada igual para as duas linhas, uma vez que os motoristas foram instruídos e monitorados de forma a terem o mesmo estilo de direção. Entretanto, de acordo com a experiência da montadora e da operadora de ônibus o fator motorista tem um peso de 20% na autonomia.

$$f(P, R, V, T, M) = A \quad (16)$$

A Figura 28 apresenta graficamente, de forma comparativa, os indicadores criados para quantificar as disparidades entre as linhas A e B. O gráfico foi plotado a partir dos dados compilados na Tabela 35, para a melhor visualização do gráfico algumas variáveis foram multiplicadas por constantes para ter a mesma ordem de grandeza.

Tabela 35 – Variáveis consideradas na análise das linhas A e B e impacto nas respectivas autonomias.

Variáveis	Indicadores		% B/A
	A	B	
IPK (x10)	15,5	12,0	-22,6%
Veloc. média - km/h	24	27	12,5%
Nº de Red. de veloc. (÷10)	36,0	23,4	-35,0%
Topografia (x100) - F _i	48,2	29,4	-39,1%
Autonomia (x10) - km/L	27,1	31,5	16,2%

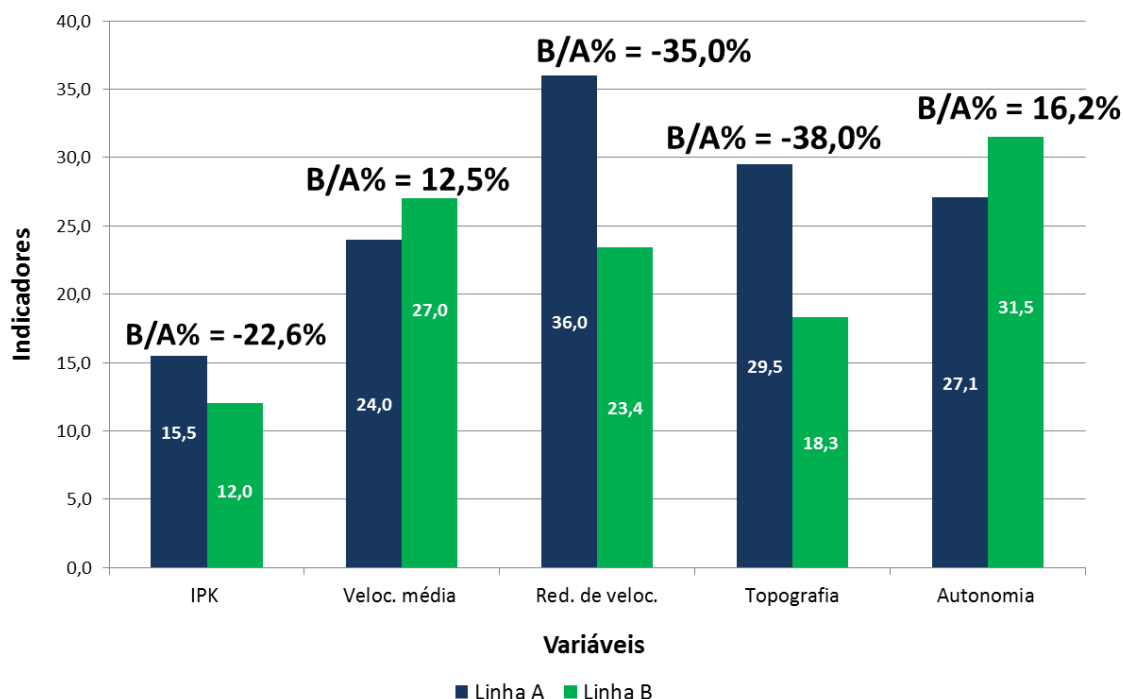


Figura 28 – Relação percentual nas variáveis consideradas na análise das linhas A e B, assim como nas respectivas autonomias.

As linhas A e B possuem características operacionais distintas, que como mostrado pela Eq.(16) impactam no consumo. Viabilizar alterações nas 5 variáveis apresentadas para aumentar a autonomia é complicado, uma vez que é necessário a intervenção frente ao órgão gestor de transporte ou são características intrínsecas da própria linha. Dos 5 parâmetros de influência o mais acessível a mudança em curto prazo é o estilo de direção, podendo ser melhorado com treinamentos, políticas de incentivo e medidas de controle mais rigorosas. Os redutores de velocidade e a velocidade média demanda uma ação a médio ou longo prazo, por precisar de intervenções estruturais. Isto é, remoção das lombadas, otimização das paradas de ônibus, implantação de medidas que dê prioridade ao ônibus, como corredores exclusivos e o sistema onda verde de sinais, diminuindo assim o número de paradas e aumentando a velocidade média. A variável carga de passageiros não tem motivação para ser reduzida em prol do consumo, uma vez que esta é diretamente ligada ao faturamento da empresa e não está

afetando o veículo tecnicamente, pois está abaixo da capacidade de transporte do mesmo. A variável topografia é inalterável, uma vez que é de característica geográfica. Sendo assim, pode-se afirmar que a linha A não atingirá a meta de 3,5 km/L, já a linha B é mais propícia.

As metas de consumo de combustível não devem ser definidas por tipo de veículo somente, mas também por linhas. As linhas devem ser divididas em grupos de linhas, que apresentam características topográficas e operacionais (IPK, velocidade média e redutores de velocidade) semelhantes, estabelecendo metas mais pertinentes. Ao dividir as linhas em grupos, também se ganha a opção de customizar os veículos para determinado tipo de operação, fazendo uma parametrização de limite de rotação específicas, interferências eletrônicas ou mesmo mecânicas, como alterar a relação de redução do diferencial.

4.5 COMPARAÇÃO ENTRE MÓDULO 1 E 2

O módulo 1 e 2 de monitoramento dos veículos proporcionaram um melhor entendimento dos parâmetros técnicos e operacionais que influenciam no consumo de combustível. O procedimento de monitoramento dos dois foi extremamente semelhantes, diferindo apenas na quantidade de veículos e linhas acompanhadas e que no módulo 2 o motorista foi instruído durante as duas semanas, apresentando melhora na autonomia. Nos dois módulos foram observados problemas técnicos e disciplinares, que impactaram negativamente no experimento. Problemas com o elevador de deficientes físicos e corte de aceleração por problemas eletrônicos foram recorrentes nas 4 semanas totais de testes, mostrando que a empresa deve se atentar à esses gargalos.

Não é pertinente a comparação dos resultados obtidos nos dois módulos, uma vez que os veículos operaram com diferentes parametrizações. Entretanto, é plausível afirmar que o veículo 955 no módulo 2 representou fielmente a parametrização do módulo 1, uma vez que a autonomia final de ambos diferem em 0,75%, conforme a Tabela 36.

Tabela 36 - Comparação geral do módulo 1 x veículo 955

	Módulo 1	955
Autonomia geral (km/L)	2,64	2,66
IPK	1,6	1,6

5 LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE DADOS – ESTATÍSTICO

Este capítulo aborda a metodologia desenvolvida por um programa de auxílio ao desenvolvimento de técnicas que permitem uma maior eficiência energética dos ônibus. Primeiramente a metodologia é apresentada, ressaltando o aspecto da análise com o uso de variáveis dicotômicas. Posteriormente discorre-se a respeito de como os dados foram coletados e filtrados para a aplicação da metodologia no cenário da empresa analisada neste trabalho. Por último são apresentadas as dificuldades e adaptações para implementação da metodologia, frente a uma base de dados não sólida.

5.1 METODOLOGIA ESMAP

Metodologia ESMAP é um termo criado para este estudo de forma a fazer referência ao estudo desenvolvido pelo Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP). O programa é administrado pelo Banco Mundial e tem como objetivo auxiliar países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento na elaboração e aplicação de técnicas que propicie o crescimento econômico por meio da eficiência energética. A ESMAP desenvolveu um guia de boas práticas focado na redução do consumo de combustível de ônibus urbano. O guia foi feito a partir de uma revisão bibliográfica dos fatores que afetam a eficiência energética do transporte urbano por ônibus, sendo conduzidas avaliações em oito cidades em quatro países.

O estudo aponta 5 princípios para otimizar o consumo de combustível de uma frota de ônibus, sendo esses:

1. Gerenciamento do consumo de combustível. A empresa deve ter um colaborador para ser responsável pelo consumo, de forma a traçar metas de eficiência dos veículos; criar e gerenciar planos de ação para atingir essas metas. Este também é responsável pela análise e divulgação dos resultados.
2. Coleta de dados e análise. A coleta de dados, preferencialmente, deve ser automatizada, reduzindo as chances de erros e potencializando a utilização dos dados para dar suporte às metas e planos de manutenção. É interessante estabelecer programas de qualidade do controle e análise dos procedimentos. Os dados devem ser analisados estatisticamente de forma a esclarecer os efeitos do motorista, da rota e do ônibus no consumo de combustível.
3. Plano de manutenção focado nos ônibus com baixo desempenho. Os 10% da frota com maior consumo médio devem ser submetidos à *checklists* de manutenção focado em aspectos que podem colaborar para a baixa autonomia. Todos os procedimentos realizados nesses veículos

devem ser devidamente registrados de forma a acompanhar o desenvolvimento destes ao longo dos meses seguintes.

4. Treinamento dos motoristas identificados com alto consumo médio. Selecionar 5% dos motoristas caracterizados pelo estilo de direção não econômico e submetê-los a um treinamento intensivo teórico e prático (na operação cotidiana).
5. Comunicação e bonificação. Os resultados do consumo de combustível devem ser comunicados aos colaboradores periodicamente, bonificando os motoristas e mecânicos em caso de atingimento das metas propostas, criando assim uma cultura de economia de combustível.

As questões de gerenciamento, treinamento e bonificação fogem do escopo deste trabalho. Os princípios apresentados de coleta e análise de dados e plano de manutenção cabem a este estudo de modo adaptado para a empresa e para o tempo disponível para a realização deste projeto de graduação. Conforme descrito no Item 3.3 a coleta de dados é manual e passível de erros, comprometendo a confiabilidade de algumas análises. Já foi citado anteriormente que a frota da empresa é nova, com apenas 1 ano de uso, devido a baixa faixa etária da frota não há necessidade de um plano de manutenção bastante profundo neste momento. Sendo assim, adaptou-se o plano de manutenção proposto pela ESMAP, conforme descrito no Item 4.2.2.

O segundo princípio da metodologia ESMAP é a coleta e análise de dados, com os seguintes objetivos:

- Determinar a autonomia média por linha;
- Determinar a autonomia média para cada ônibus e motorista;
- Comparar a autonomia de cada ônibus e motorista com a autonomia média da linha que estão relacionados pela empresa;
- Selecionar os 10% dos ônibus com o maior consumo de combustível em relação à rota.

Os objetivos podem ser atingidos usando dois tipos de análises. O primeiro, utilizando médias simples, mas para isso é necessário que motoristas e linha sejam fixas por veículo, isto é, todo dia o veículo só opere com os mesmos motoristas nas mesmas linhas. Já o segundo, mais aplicável para o contexto atual da empresa, seria usando regressão linear múltipla para variáveis qualitativas, usando variáveis dicotômicas ou as chamadas *dummies*. O modelo de regressão para esse caso pode ser especificado pela Eq.(17), onde β_0 é a constante de regressão, R_i o coeficiente que corrige o consumo em relação aos efeitos das linhas, B_j o coeficiente de correção dos efeitos dos ônibus e D_k o coeficiente que corrige os efeitos do motorista para um ônibus específico, sendo as variáveis independentes e o consumo a variável dependente.

$$\text{Consumo} \left(\frac{km}{L} \right) = \beta_0 + R_i \times \text{linha}(i) + B_j \times \text{ônibus}(j) \times D_k \times \text{motorista}(k) \quad (17)$$

Sendo assim, quanto menor ou mais negativo o coeficiente de uma das 3 categorias, maior o consumo de combustível da linha, ônibus ou motorista. A partir dos coeficientes é possível classificar as melhores linhas, ônibus e motoristas em relação ao consumo de combustível. Por exemplo, quanto mais alto D_z , mais o respectivo motorista contribui positivamente para a autonomia, vice e versa, se aplicando para todas as outras variáveis. Esse método indica em que variável a atenção deve ser dada, selecionando motoristas para treinamento, melhorando a manutenção dos veículos ou mesmo propondo novos trajetos para as linhas.

Segundo Peternelli (s.d.), a regressão linear múltipla é uma análise estatística que busca verificar a existência de uma relação funcional entre uma variável dependente e mais de uma variável independente. As variáveis dicotômicas ou dummies são utilizadas para discretizar e agregar valores de variáveis contínuas ou politômicas, Bragança (1977). Tais análises são formuladas a partir da codificação das variáveis qualitativas independentes em respeito ao acontecimento ou não de um evento genérico. Sendo 1 se o evento ocorrer e 0 se não ocorrer. No contexto do trabalho, as variáveis a serem codificadas são linhas, ônibus e motoristas, aplicando 1 para cada tipo de linha, ônibus e motorista que estiver sendo especificamente analisado.

5.2 COLETA DE DADOS

Para ESMAP, o desenvolvimento e sucesso de qualquer programa de redução de consumo de combustível deve-se a uma base de dados robusta e sólida. Os dados de operação dos ônibus devem ser coletados diariamente de forma automatizada, por meio dos diversos softwares disponíveis no mercado, e não manualmente, uma vez que a possibilidade de erros no processo de registro dos dados e armazenamento destes é alta. O uso dos softwares provém dados mais confiáveis e acurados, além de ferramentas e registros de análises dispostos de forma padronizada. Independente do modo de coleta dos dados, para um estudo de otimização da autonomia é essencial que se tenha os dados da viagem do ônibus, linha, consumo de combustível e relatos de manutenção em uma escala diária.

A empresa em estudo já adquiriu um software mais avançado para o monitoramento do veículo, entretanto, este ainda não está em operação plena. Os registros de todas as informações necessárias para o programa de consumo descritas no parágrafo anterior são feitos manualmente e posteriormente digitados para um *software*. Os dados de quilometragem, consumo em litros e informações operacionais são levantados por diferentes áreas e armazenados em diferentes plataformas, dificultando a visualização destes em uma única perspectiva. A quilometragem e a quantidade de

diesel abastecidos no veículo são anotados no momento do abastecimento e posteriormente passados para um sistema que gera um relatório com a média do veículo já calculada. As informações referentes ao deslocamento dos veículos, tais como linhas percorridas, viagens realizadas, tempo de operação e motoristas são registradas no chamado BCO (Boletim de Controle de Operação) e posteriormente oficializadas em um sistema.

A compilação desses dados em uma só tabela foi dificultada pelo fato dos relatórios serem gerados apenas em formato *.txt*, com informações conflitantes, além do fato dos números de viagens, motoristas e linhas relacionadas a um veículo não obedecerem a um padrão. De modo a exemplificar, observou-se a variação de veículos operando de 1 até 4 linhas diferentes por dia, a mesma variação observadas para os motoristas. A compilação desses dados foi feita com o auxílio do *Microsoft Excel*, gerando uma tabela que permitisse a visualização por dia de operação do consumo, das linhas, do veículo e dos motoristas que conduziram um determinado ônibus. Para tal foi necessário gerar planilhas específicas para cada dia e depois agrega-las. A quantidade de viagens realizadas no dia não foi abordada pela tabela, por não haver necessidade da mesma e para facilitar o entendimento da situação descrita na tabela. Os dados compilados para dois meses de operação (18/08 a 18/10) resultam em uma tabela com o número de linhas na casa do milhar, sendo assim, apenas parte da tabela será mostrada de forma a exemplificar o feito, Tabela 37.

Tabela 37 - Dados operacionais e de consumo compilados

Data	Consumo (km/L)	Linha				Ônibus	Motorista			
18/ago	2,54	44				79278	1600	3839		
18/ago	2,53	44	333			79286	3718	3812		
18/ago	2,60	46				79308	3758			
18/ago	3,11	44	46			79324	3915	5082	4571	
18/ago	2,73	46	332			79332	3913	3909		
18/ago	3,23	332				79341	3911	5808		
18/ago	2,88	332	333			79359	3741	4913		
18/ago	2,43	332				79375	5611			
18/ago	3,03	44	333			79383	4894	4354		
18/ago	2,80	333				79391	2841	5411		
18/ago	2,61	333				79405	4016	4040		
18/ago	2,73	353	360			79413	4903	4981		
18/ago	3,51	47				79430	5039	5622		
18/ago	3,00	333				79448	5663			
18/ago	2,20	44	333			79456	3828	3917		
18/ago	2,65	333				79472	4533	5666		
18/ago	2,81	44	333			79481	3868	2429		
18/ago	2,37	333				79499	1090			

É importante citar que a empresa iniciou um trabalho de controle com o departamento de planejamento e operação de modo a associar os veículos a linhas específicas, diminuindo a variação da quantidade de linhas operadas por um ônibus em um dia.

5.3 SELECÃO DE DADOS

Para chegar aos dados no formato da Tabela 37, foram necessários estabelecer alguns critérios quanto a validade desses.

Os dados referentes ao consumo não são diretamente conectados ao BCO, ocorrendo com frequência de ter a quilometragem e a quantidade de diesel para determinado veículo em um dia, mas sem ter linha ou motorista associado a este. Neste caso, consideram-se duas opções: o veículo apresentou algum defeito na soltura e a quilometragem rodada refere-se ao teste da manutenção; ou erro de preenchimento. Criou-se uma condicional na compilação da tabela de consumo, de modo que apenas valores com quilometragem superior ao perímetro da menor linha são considerados. Se a quilometragem diária é inferior a este valor, certamente o veículo não chegou a realizar nenhuma viagem completa o que estatisticamente infere-se que o miniônibus apresentou alguma falha técnica, não sendo interessante assim o dado do respectivo dia.

Paralelamente ao procedimento descrito no parágrafo anterior, foi criada uma função para filtrar os dados fornecidos pelo BCO de forma, a saber, a quantidade de linhas e motoristas diferentes que são atreladas a cada veículo, naquele dia. Originalmente só se tinha acesso aos dados de cada viagem, dificultando a visualização das variações ao longo do dia. É interessante citar que tal recurso em uma operação ideal não é pertinente, visto que os veículos devem sempre operar nas linhas destinadas a eles ou pelo menos em um grupo restrito de linhas.

Uma vez com todos os dados compilados em uma mesma tabela e ordenados por data, Tabela 37, segmentou-se a tabela por veículo para ter a visão geral do desempenho, variações de linha e motoristas por miniônibus ao longo do mês. Com os dados dispostos de forma segmentada por veículo, foram observados consumos muito destoantes, variando entre 0,6 e 10 km/L, valores que são impraticáveis. Frente a esses dados que certamente estão errados, adota-se o desvio de 20% do dado analisado em relação ao dia anterior e posterior, descartando os dados desse dia se não estiver dentro da faixa estipulada. Cada motorista trabalha somente um turno, sendo assim, veículos que aparecem associados a só um motorista significa que este veículo apresentou algum problema e foi recolhido. Esse dado então é descartado após o desvio, pois em operação regular os veículos rodam de 2 a 3 turnos em média. De modo a exemplificar, a Tabela 38 mostra os dados de operação e consumo do veículo 957 ao longo de dois meses, os dias faltantes significam fim de semana ou que o veículo apresentou algum problema. Já a Tabela 39 apresenta os dados da Tabela 38 com o desvio e o filtro de

mais de um motorista aplicados. Observa-se que o número de dias válidos para a análise reduz de 30 para 10 dias.

Tabela 38 - Relação consumo, motorista e ônibus em 2 meses para um veículo

Data	Consumo (km/L)	Linha	Ônibus	Motorista		
18/ago	2,14	333	79570	4105		
19/ago	2,30	3591	79570	3469	3244	
20/ago	2,78	957	79570	4270	5733	3522
21/ago	2,81	957	79570	4270	3483	
22/ago	2,70	957	79570	4270	3483	
25/ago	2,66	957	79570	3719	3244	
26/ago	2,74	957	79570	4270	3244	
27/ago	3,04	957	79570	4270	3244	
28/ago	2,74	957	79570	4385	3244	
29/ago	2,70	957	79570	4385	3244	
01/set	3,49	957	79570	4385	5785	
03/set	2,72	957	79570	4385	5785	
04/set	2,21	957	79570	4385	5785	
05/set	3,01	957	79570	4385	5746	
08/set	2,08	957	79570	4385	5768	
09/set	6,10	957	79570	4385	5768	
10/set	2,62	957	79570	4385	5768	
11/set	2,71	957	79570	4385	5768	
12/set	2,52	957	79570	4385		
15/set	3,13	957	79570	4385		
17/set	4,85	957	79570	4385	5152	
18/set	2,45	957	79570	4385	5768	
19/set	2,44	957	79570	4385	5768	
22/set	2,88	957	79570	4385		
30/set	2,54	957	79570	4370		
02/out	2,79	957	79570	4370	3272	
03/out	2,72	957	79570	4385	5768	
10/out	2,45	957	79570	4385	5768	
13/out	2,21	957	79570	4385	5785	
15/out	3,20	957	79570	5785		

Tabela 39 - Relação consumo, motorista e ônibus em 2 meses após filtros de consumo e motorista para um veículo

Data	Consumo (km/L)	Linha	Ônibus	Motorista	
21/ago	2,81	957	79570	4270	3483
22/ago	2,70	957	79570	4270	3483
25/ago	2,66	957	79570	3719	3244
26/ago	2,74	957	79570	4270	3244
27/ago	3,04	957	79570	4270	3244
28/ago	2,74	957	79570	4385	3244
11/set	2,71	957	79570	4385	5768
19/set	2,44	957	79570	4385	5768
03/out	2,72	957	79570	4385	5768
10/out	2,45	957	79570	4385	5768

5.4 ANÁLISE DE DADOS

A regressão linear requerida para a análise da influência no consumo de combustível mediante as variáveis qualitativas linha, ônibus e motorista é complexa, uma vez que há mais de uma variável qualitativa, sendo cada uma com mais de uma classe. A Eq.(18) exemplifica a situação hipotética de uma análise com 2 linhas, 2 ônibus e 2 motoristas, sendo C_n o coeficiente de regressão associado à combinação entre as três variáveis. A aplicação das variáveis dummies nesse exemplo, consistem em associar 1 a cada uma das variáveis, quando L_1 for igual a 1, todas as outras são zero. A associação do número 1 deve se replicar a todas as variáveis e suas combinações, resultando para esse caso em 14 equações para apenas uma entrada de dado de consumo. Adota-se a terminologia de termo básico para o $R_i L_{xi}$ por exemplo, onde o i refere-se ao índice de associação da variável e o x ao índice de associação da variável dependente, para o contexto analisado sendo o consumo do dia. Para os termos que relacionam todas as variáveis independentes são chamados de termo combinatório, $C_n L_{xi} O_{xj} M_{xk}$.

$$\begin{aligned}
 Consumo_1 = & \beta_0 + R_1 L_{11} + R_2 L_{12} + B_1 O_{11} + B_2 O_{12} + D_1 M_{11} + D_2 M_{12} \\
 & + C_1 L_{11} O_{11} M_{11} + C_2 L_{11} O_{11} M_{12} + C_3 L_{11} O_{12} M_{11} + C_4 L_{11} O_{12} M_{12} \\
 & + C_5 L_{12} O_{11} M_{11} + C_6 L_{12} O_{11} M_{12} + C_7 L_{12} O_{12} M_{11} + C_8 L_{12} O_{12} M_{12}
 \end{aligned} \tag{18}$$

Para o caso em análise neste trabalho, tem-se 16 linhas, 68 ônibus e 325 motoristas. Sendo assim, a aplicação de uma regressão linear múltipla de variáveis qualitativas, resultaria em 364.899 equações para um dia, em 60 dias de análise resultaria em 21.893.940 equações, em uma operação ideal em que o veículo opere em apenas 1 linha e com apenas 1 motorista. Entretanto, os dados levantados da operação apresentam uma variação de 1 a 4 linhas e de 1 a 4 motoristas por ônibus em um dia de operação, conforme mostrado na Tabela 40. Essa variação resulta em uma permutação entre os

motoristas e linhas, não permitindo avaliar o impacto de um só motorista, uma vez que eles trabalham em turnos e que a autonomia é levantada por dia e não por turno. Sendo assim, a variável motorista deve ser avaliada por grupos de motoristas, resultante das possíveis combinações entre os 325 motoristas, e não pelo código do motorista individualmente. Todos os motoristas são considerados, pois cada motorista é capacitado para rodar em todas as linhas e em todos os veículos. Frente a tais considerações, para 1 dia de consumo tem-se $3,6742 \times 10^{16}$ equações, o número de equações é igual ao número de termos por equação, sendo esse o somatório dos termos básicos e os termos combinatórios, Tabela 41. Para chegar ao número de grupos de linhas e motoristas, foi feito o fatorial das 16 linhas e dos 335 motoristas dentro da possível variação de até 4 por veículo. O número de termos básicos é dado pelo somatório dos grupos de linhas, motoristas e ônibus, já os termos combinatórios pela multiplicação desses termos, Tabela 42.

Tabela 40 - Relação consumo, motorista e ônibus com variações de 1 a 4

Data	Consumo (km/L)	Linha				Ônibus	Motorista			
19/ago	3,50	333				79260	3940	3764		
20/ago	2,96	44	332			79260	4028	5601		
21/ago	3,00	44				79260	4028	3839		
22/ago	2,77	44	332	333		79260	4028	5683	5556	
25/ago	3,32	44	46	332	333	79260	4028	3828	5761	4382
26/ago	2,69	44				79260	4028	4387		
27/ago	2,89	44	333			79260	4028	4105		
28/ago	3,08	44	46	332		79260	4028	4571	5761	
29/ago	2,75	44	332			79260	4028	3828	4088	
01/set	3,22	44	332			79260	4028	3839	4057	
02/set	2,86	44				79260	4028	3839	5672	
03/set	3,45	44	333			79260	4028	4105	5809	
04/set	2,81	44	332	333		79260	4028	4105	4153	
05/set	2,67	44	46	332		79260	4028	5761	5683	
08/set	3,40	44				79260	4028	3839		
09/set	2,89	44	332			79260	4028	3839	4306	
10/set	2,60	44				79260	4028			
11/set	1,68	332				79260	4713			
12/set	3,27	44				79260	4028	3839	3915	
16/set	2,89	44	46	332		79260	4028	3839	4089	
17/set	2,91	44	333			79260	4028	4105	4709	
18/set	3,27	44	332	333		79260	4028	5683	5556	

Tabela 41 - Composição do número de equações para 1 dia de consumo

Nº de termos básicos	12.370.154.588
Nº de termos combinatórios	$3,6742 \times 10^{16}$
Nº de equações para 1 dia de consumo	$3,6742 \times 10^{16}$

Tabela 42 - Número de grupos por variável

Fatorial da Linha				Nº de grupos de linhas	Nº de ônibus	Fatorial do Motorista				Nº de grupos de motoristas
16	15	14	13	43.680	68	335	334	333	332	12.370.154.588

A base de dados se mostrou muito pobre para viabilizar uma análise com o alto número de variáveis e equações. Se mostrando também incompatível pelo grau de complexidade e tempo designado a este trabalho.

De forma a adequar a metodologia ESMAP à realidade desse trabalho, optou-se por reduzir o número de variáveis e veículos a serem analisados. Foram selecionados os 8 miniônibus analisados no módulo de acompanhamento 2, Item 4.4. A escolha desses veículos foi motivada pelo objetivo de contribuir com a variável motorista para análise experimental, de forma a classificar os melhores grupos de motoristas, isto é, aqueles que mais contribuiriam positivamente para a redução do consumo de combustível. Ao selecionar esses veículos, a expectativa era de haver um padrão a ser seguido pelas variáveis, com menor variância entre elas. Isto é, o universo de variação de linhas e motoristas seria menor, proporcionando maior significância das variáveis com consumo. Entretanto, 6 dos 8 veículos apresentaram alto número de grupos de linhas e motoristas para a quantidade de dados válidos, o que resultou em uma significância igual a zero. Os dois veículos com maior número de dados foram o 957 e 958. A justificativa para tal se dá devido a alta cobrança relacionada a esses 2 veículos para saírem apenas na linha A (957) e para operarem apenas até por volta das 20 horas, os despachantes mantiveram a rotina do veículo mesmo após a conclusão do teste, Tabela 38. Os dados levantados compreendem o período de 18/08 a 18/10, sendo 18/08 o primeiro dia do módulo 1 de monitoramento.

De modo a poder avaliar apenas o impacto dos motoristas, mesmo que em uma escala reduzida, optou-se por considerar apenas os dias em que o veículo rodou na linha 957 e operado por 2 motoristas, sendo essas duas considerações as de maior repetitividade. Sendo assim, é possível aplicar o método das médias simples para calcular o grupo de motoristas com o melhor consumo. A partir da Tabela 39, foram identificados os grupos de motoristas e sua frequência de repetição, os separando e classificando na Tabela 43. O resultado encontrado que o grupo 1, motoristas 4270 e 3244 são os que mais contribuem positivamente para a autonomia do veículo e da linha não é significativo, uma vez que a frequência dos dados é muito baixa, não permitindo tirar nenhuma conclusão válida para a empresa. A Figura 29 ilustra de modo comparativo o desempenho dos grupos de motoristas.

Tabela 43 - Média do consumo de combustível por grupo de motoristas do veículo 957

	Grupos de motoristas		Frequência	Média de consumo do grupo (km/L)
	1º turno	2º turno		
Grupo 1	4270	3244	2	2,89
Grupo 2	4270	3483	2	2,76
Grupo 3	4385	3244	1	2,74
Grupo 4	3719	3244	1	2,66
Grupo 5	4385	5768	3	2,53

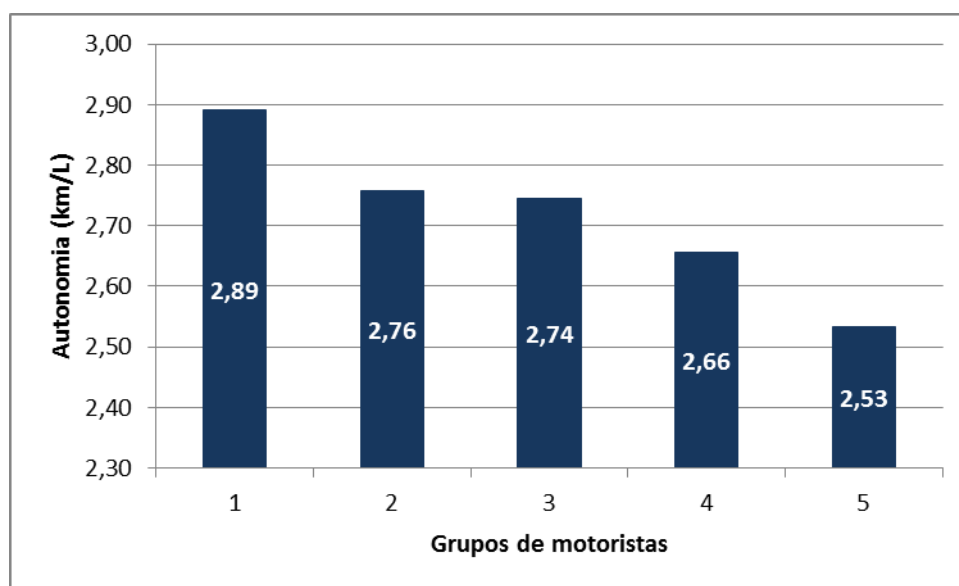


Figura 29 - Gráfico comparativo do desempenho dos grupos de motoristas

O mesmo procedimento foi conduzido para o veículo 958, o qual apresentou uma base de dados mais extensa (Tabela 44), entretanto, não grande o suficiente para os 8 grupos de motoristas. O grupo 8 se repetiu 16 vezes, enquanto os outros variaram entre 1 e 2 repetições, Tabela 45. Não sendo possível assim apresentar nenhuma classificação de motoristas válida, com exceção da informação que a autonomia média da combinação dos motoristas 5525 e 4349 na linha 957, com o veículo 958 é de 2,76 km/L. A Figura 30 ilustra de modo comparativo o desempenho dos grupos de motoristas.

Tabela 44 - Relação consumo, motorista e ônibus em 2 meses após filtros de consumo e motorista para o veículo 958

Data	Consumo	Linha	Ônibus	Motorista	
19/ago	2,63	39	79588	3243	4374
20/ago	3,09	957	79588	5525	4349
22/ago	2,72	957	79588	5525	3272
26/ago	2,44	957	79588	5525	4349
27/ago	2,76	957	79588	4271	3272
28/ago	2,71	957	79588	3719	4370
29/ago	2,30	957	79588	3719	4368
01/set	2,71	957	79588	3719	3272
02/set	2,44	957	79588	3719	5785
04/set	2,45	957	79588	3719	3272
08/set	2,23	957	79588	3719	5785
11/set	2,72	957	79588	3719	5785
12/set	2,44	957	79588	3719	5785
15/set	2,48	957	79588	3719	5785
16/set	2,37	957	79588	3719	5785
17/set	2,44	957	79588	3719	5785
18/set	2,44	957	79588	3719	5785
26/set	2,51	957	79588	3719	5785
29/set	2,37	957	79588	3719	5768
30/set	2,79	957	79588	3719	5785
01/out	2,49	957	79588	3719	5785
02/out	2,34	957	79588	3719	5785
03/out	2,50	957	79588	3719	5785
10/out	2,45	957	79588	3719	5785
16/out	2,70	957	79588	3719	5785

Tabela 45 - Média do consumo de combustível por grupo de motoristas do veículo 958

	Grupos de motoristas		Frequência	Média de consumo do grupo (km/L)
	1º turno	2º turno		
Grupo 2	5525	4349	2	2,76
Grupo 4	4271	3272	1	2,76
Grupo 3	5525	3272	1	2,72
Grupo 5	3719	4370	1	2,71
Grupo 1	3243	4374	1	2,63
Grupo 7	3719	3272	2	2,58
Grupo 8	3719	5785	16	2,48
Grupo 6	3719	4368	1	2,30

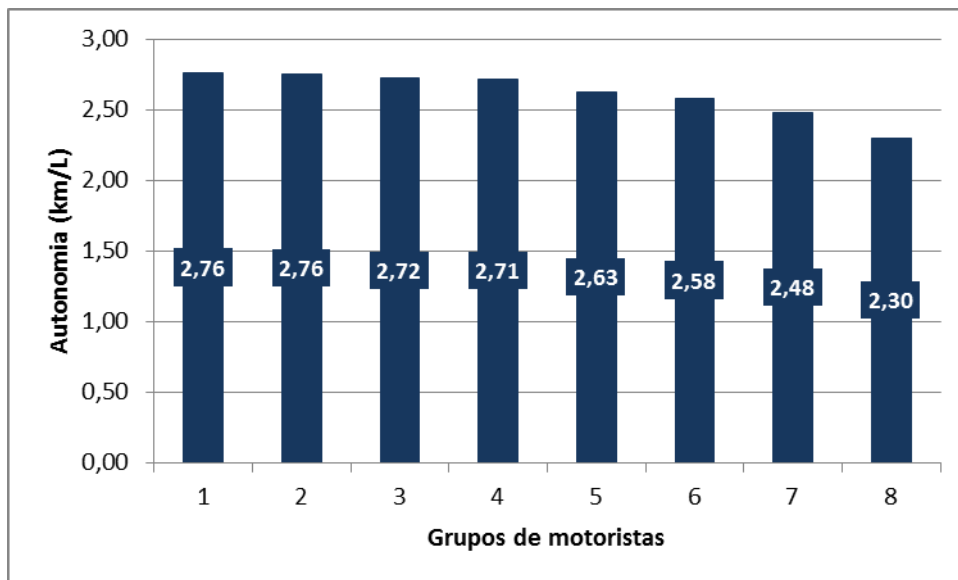


Figura 30 - Gráfico comparativo do desempenho dos grupos de motoristas

Não foi possível atingir os objetivos propostos pela metodologia ESMAP, uma vez que a base de dados não é extensa e nem sólida o suficiente, conforme requisitado para o desenvolvimento correto da metodologia. Embora, não tenha sido gerado nenhum resultado significativo o suficiente para classificar a *performance* dos motoristas, foram identificados os gargalos da base de dados da empresa, apresentando possíveis adaptações para que uma análise mais profunda ocorra em um futuro próximo. Como citado, dois dos veículos que tiveram um controle mais rigoroso quanto à linha que deveriam operar, apresentaram uma alta frequência de um grupo de motoristas e de uma linha determinada. Sendo assim, acredita-se que ao controlar mais rigorosamente a relação linha, ônibus e motorista, será possível fazer uma análise em que seja verificada a interação entre essas 3 variáveis e o consumo de combustível. Uma vez que se terá uma base de dados sólida e confiável o suficiente para estender a análise por um período longo o suficiente, não havendo a combinação de até 4 linhas diferentes para um ônibus em um dia.

6 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Este estudo teve por finalidade levantar e analisar dados e variáveis que impactam no consumo de combustível de ônibus urbano. Para isso foi feito um levantamento bibliográfico sobre o tema, abrangendo a influência das características das linhas e dos aspectos técnicos operacionais dos veículos na autonomia. O desenvolvimento do trabalho ocorreu com base na operação de uma empresa de ônibus do Distrito Federal, na qual foram acompanhados alguns veículos da categoria miniônibus, identificando gargalos de consumo e testando alternativas para otimizar a autonomia dos veículos. De forma complementar, as informações de linhas, veículos, motoristas e consumo foram compiladas de modo a expor uma visão geral da operação da empresa, buscando relacionar estatisticamente os efeitos dessas variáveis no consumo de combustível.

Foram desenvolvidas algumas metodologias ao longo do trabalho, principalmente em virtude da montadora não poder fornecer informações específicas. Dentre elas um modelo de determinação do limite de rotação para a troca de marchas em prol de um melhor desempenho do veículo. O modelo desenvolvido apresentou resultados muito próximos aos limites de rotação estabelecidos pela montadora, apontando a acuracidade deste.

O alto consumo dos miniônibus e a representatividade desses custos para empresa motivaram a explorar as alternativas que os motores embarcados com eletrônica apresentam. Aplicando assim, dois módulos de testes, com parametrizações da rotação das marchas e outras propostas que impactam no consumo de combustível. Ambas apresentaram resultados satisfatórios, quando comparados com a média de consumo inicial de 2,7 km/L. O módulo 2 apresentou melhores resultados, observando resultados de até 3,27 km/L e com ganhos de até 7,1% em relação ao veículo controle do módulo 1. Das propostas testadas nos dois módulos, duas apresentaram melhores resultados, mostrando uma tendência a ser seguida pela empresa. Sendo uma deles, aumentando tempo de injeção de combustível e a outra com a utilização de uma função de limitação e controle da aceleração (VALC). Acredita-se que um novo teste deve ser feito, com a combinação das propostas de maior desempenho, isto é, aplicar a função VALC na proposta em que se injeta combustível por um tempo maior.

Foi observada a influência do perfil da linha no desempenho do veículo, sendo possível afirmar a existência de uma função regida pelas variáveis carga de passageiros, redutores de velocidade, velocidade média, topografia e estilo de direção que justificam a diferença de consumo de combustível em linhas diferentes. Duas linhas, A e B, com características diferentes foram operadas por veículos parametrizados sob as mesmas condições, ao fim do teste a autonomia média da linha B foi 16,2% maior que da linha A. Frente a esse dado, sugere-se a empresa que as metas de consumo de combustível devam ser traçadas por tipo de linhas. Linhas mais demandantes não atingirão o consumo de 3,5 km/L, uma vez que o consumo mínimo destas é inferior a esse valor.

A análise de dados estatística teve a sua validade questionada devido à baixa solidez dos dados e o curto período de tempo para aquisição e análise de dados. Entretanto, foi possível a partir deste concluir que a empresa deve controlar de forma mais rigorosa a associação dos veículos com linhas e motoristas, de modo a produzir dados que permitam a identificação dos efeitos das linhas, ônibus e motoristas no consumo de combustível. Permitindo assim, classificar tais variáveis quanto a sua contribuição para aumentar a autonomia dos ônibus. Também se entende que a empresa deve desenvolver um sistema que permita compilar os dados de consumo e operacionais em uma mesma planilha.

Este trabalho identificou a existência de uma função que relaciona aspectos operacionais com o consumo de combustível, deixando questionamento sobre essa interação para estudos futuros. Sendo a principal motivação destes estudos, quantificar o peso de cada uma dessas variáveis no consumo final de combustível. Um segundo estudo a ser realizado é a divisão das linhas em grupos de linhas, onde cada grupo agregue linhas com características semelhantes. Uma vez com as informações destes estudos, é possível interferir nos parâmetros técnicos dos veículos de modo que estes apresentem uma melhor *performance* dentro do seu grupo de linhas. Sendo possível também propor parametrizações por grupo de linhas, obtendo melhores resultados.

O temático consumo de combustível em ônibus urbanos evidenciou ser amplo e sujeito a diversas variáveis de influência. Como exposto, as variáveis de influência podem ser segregadas em quesitos relacionados ao perfil da linha e também características técnicas do veículo.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANG, B. W.; DENG, C. C. **The effects of maintenance on the fuel efficiency of public buses.** Energy, Great Britain, Vol. 15, No. 12, p. 1099-1105,1990.

ANTP, Associação Nacional dos Transportes Públicos. **Redução das deseconomias urbanas com a melhoria do transporte público. Revistas do Transportes Públicos.** ANTP: Ano 21, 1999.

ANTP , Associação Nacional dos Transportes Públicos . **Anuário de Transportes Urbanos 2001/2002.** ANTP. 2003.

ARAÚJO, C. A. M. **Ônibus: Transporte Público Brasileiro.**1 ed. São Paulo: edição do autor, 2012.

BEUSEN, B. & DENYS, T. **Long-term effect of eco-driving education on fuel consumption using an on-board logging device.** VITO: Belgium, 2008.

BRAGANÇA, S. L. **Introdução à análise estatística de variáveis dicotômicas e aplicações em dados socioeconômicos.** Revista Brasileira de Economia, Rio de Janeiro, 1977.

BRAIN, M. **Como funcionam as transmissões manuais.** How stuff works. Disponível em: <http://carros.hsw.uol.com.br/transmissoes-manuais.htm>. Acessado em: 03 de novembro de 2014.

DEPETRIS, A. **Desenvolvimento e aplicação de um programa em MatLab Simulink para a simulação do desempenho de veículos rodoviários comerciais em movimento acelerado.** 1986. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Automotiva). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1986.

ESMAP, Energy Sector Management Assistance Program. **Transit Bus Operational and Maintenance Practices to Maximize Fuel Economy.** Banco Mundial: 2011.

ESMAP, Energy Sector Management Assistance Program. **Best Operational and Maintenance Practices for City Bus Fleets to Maximize Fuel Economy.** Energy Efficient Cities Initiative: 2011.

FENDER NETO, J. **Estudo da Influência do escalonamento de marchas no consumo de combustível de um ônibus urbano.** 2010. Campinas, 2010. F352e. Dissertação (Mestrado em Engenharia Automobilística) – Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2010

LAMURE, C. **Moyens et difficultés de l'évaluation énergétique de la circulation urbaine.** Recherche Transports Sécurité, n.4, p. 29-36, 1994.

Material de treinamento de vendas da montadora. **Sob Medida.** São Paulo, 2013.

MIALHE, L. G. **Maquinas Agrícolas: ensaio e certificação.** Piracicaba: Fundação de estudos agrários Luiz de Queiroz, 1996.

- OLIVEIRA, G. S.; ORRICO FILHO, R. D. **Análise do consumo de combustível de ônibus Urbano. XVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes.** Florianópolis, 2004
- OLIVEIRA, A. et al. **Panorama de mobilidade urbana: diagnóstico e propostas para o transporte público por ônibus.** XIX Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito. Brasília, 2013.
- PETERNELLI, L. A. **Regressão linear e correlação.** s.n.; s.l.; s.d.
- ROMERO, S. M. A. et al. **Influência do congestionamento e modo de condução, nas velocidades, consumo e emissões de um ônibus urbano.** Revista Transportes, vol. XII, p. 37-41, 2004.
- VASCONCELLOS, E. A.; LIMA, I. M. O. **Quantificação das Deseconomias do Transporte Urbano: Uma Resenha das Experiências Internacionais.** IPEA: Brasília, 1998.
- YEN-TSANG, C. et al. **Análise qualitativa das publicações nacionais e internacionais em etnografias em administração e estudos organizacionais.** Administração: Ensino e Pesquisa. Rio de Janeiro. Vol.14, No 2, p 211-247, 2013.
- YIN, R. K. **Case Study Research. Design and Methods.** 3.ed., v. 5, Newbury Park: Sage Publications, 2002.

8 ANEXOS

ANEXO I: Relação entre velocidade e rotação no momento de troca e entrada da 1ª à 6ª marcha

	Momento da troca	Momento de Entrada	% TM
	1ª marcha	2ª marcha	
Velocidade (km/h)	7,33	7,33	27%
Rotação final de faixa verde (1.700 rpm)	1.700	907	
	1ª marcha	2ª marcha	
Velocidade (km/h)	7,76	7,76	40%
Rotação intermediária (rpm)	1.800	960	
	1ª marcha	2ª marcha	
Velocidade (km/h)	8,19	8,19	53%
Rotação intermediária (rpm)	1.900	1.013	
	1ª marcha	2ª marcha	
Velocidade (km/h)	8,62	8,62	67%
Rotação final faixa verde pontilhada (rpm)	2.000	1067	
	1ª marcha	2ª marcha	
Velocidade (km/h)	9,05	9,05	80%
Rotação intermediária (rpm)	2.100	1120	
	1ª marcha	2ª marcha	
Velocidade (km/h)	9,48	9,48	93%
Rotação intermediária (rpm)	2.200	1173	

	Momento da troca	Momento de Entrada	% TM
	2ª marcha	3ª marcha	
Velocidade (km/h)	13,74	13,74	51%
Velocidade de rotação intermediária de 1900 rpm (km/h)	1.700	1.006	
	2ª marcha	3ª marcha	
Velocidade (km/h)	14,55	14,55	66%
Velocidade rotação intermediária de 1800 rpm (km/h)	1.800	1.065	
	2ª marcha	3ª marcha	
Velocidade (km/h)	15,35	15,35	81%
Rotação intermediária (rpm)	1.900	1124	
	2ª marcha	3ª marcha	
Velocidade (km/h)	16,16	16,16	96%
Rotação final faixa verde pontilhada (rpm)	2.000	1183	
	2ª marcha	3ª marcha	
Velocidade (km/h)	16,97	16,97	89%
Rotação intermediária (rpm)	2.100	1243	
	2ª marcha	3ª marcha	
Velocidade (km/h)	17,78	17,78	75%
Rotação intermediária (rpm)	2.200	1302	

	Momento da troca	Momento de Entrada	% TM
	3ª marcha	4ª marcha	
Velocidade (km/h)	28,68	28,68	57%
Rotação final de faixa verde (1.700 rpm)	1.700	1370	
	3ª marcha	4ª marcha	
Velocidade (km/h)	30,05	30,05	41%
Rotação intermediária (rpm)	1.800	1436	
	3ª marcha	4ª marcha	
Velocidade (km/h)	25,95	25,95	90%
Rotação intermediária (rpm)	1.900	1240	
	3ª marcha	4ª marcha	
Velocidade (km/h)	27,32	27,32	74%
Rotação final faixa verde pontilhada (rpm)	2.000	1305	
	3ª marcha	4ª marcha	
Velocidade (km/h)	28,68	28,68	57%
Rotação intermediária (rpm)	2.100	1370	
	3ª marcha	4ª marcha	
Velocidade (km/h)	30,05	30,05	41%
Rotação intermediária (rpm)	2.200	1436	

	Momento da troca	Momento de Entrada	% TM
	4ª marcha	5ª marcha	
Velocidade (km/h)	35,58	35,58	94%
Rotação final de faixa verde (1.700 rpm)	1.700	1223	
	4ª marcha	5ª marcha	
Velocidade (km/h)	37,67	37,67	76%
Velocidade rotação intermediária de 1800 rpm (km/h)	1.800	1.295	
	4ª marcha	5ª marcha	
Velocidade (km/h)	39,77	39,77	58%
Rotação intermediária (rpm)	1.900	1367	
	4ª marcha	5ª marcha	
Velocidade (km/h)	41,86	41,86	40%
Rotação final faixa verde pontilhada (rpm)	2.000	1439	
	4ª marcha	5ª marcha	
Velocidade (km/h)	43,95	43,95	40%
Rotação intermediária (rpm)	2.100	1439	
	4ª marcha	5ª marcha	
Velocidade (km/h)	46,05	46,05	4%
Rotação intermediária (rpm)	2.200	1583	

	Momento da troca	Momento de Entrada	% TM
	5ª marcha	6ª marcha	
Velocidade (km/h)	49,46	49,46	68%
Rotação final de faixa verde (1.700 rpm)	1.700	1326	
	5ª marcha	6ª marcha	
Velocidade (km/h)	37,67	37,67	76%
Velocidade rotação intermediária de 1800 rpm (km/h)	1.800	1.295	
	5ª marcha	6ª marcha	
Velocidade (km/h)	39,77	39,77	58%
Rotação intermediária (rpm)	1.900	1367	
	5ª marcha	6ª marcha	
Velocidade (km/h)	41,86	41,86	40%
Rotação final faixa verde pontilhada (rpm)	2.000	1439	
	5ª marcha	6ª marcha	
Velocidade (km/h)	43,95	43,95	40%
Rotação intermediária (rpm)	2.100	1439	
	5ª marcha	6ª marcha	
Velocidade (km/h)	46,05	46,05	4%
Rotação intermediária (rpm)	2.200	1583	