

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**SISTEMÁTICA PARA DESENVOLVIMENTO DE POLÍTICAS DE
SUBSTITUIÇÃO DE FROTAS DE ÔNIBUS PARA TRANSPORTE
PÚBLICO URBANO: UMA ABORDAGEM MULTICRITÉRIO**

Aray Gustavo Furtado Feldens

Porto Alegre, 2006

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**SISTEMÁTICA PARA DESENVOLVIMENTO DE POLÍTICAS DE
SUBSTITUIÇÃO DE FROTAS DE ÔNIBUS PARA TRANSPORTE
PÚBLICO URBANO: UMA ABORDAGEM MULTICRITÉRIO**

Aray Gustavo Furtado Feldens

Orientador: Prof. Cláudio José Müller, Dr.

Banca Examinadora:

Álvaro Gehlen de Leão, Dr.

Prof. Depto. Engenharia de Produção / PUC-RS

Francisco José Kliemann Neto, Dr.

Prof. Depto. Engenharia de Produção e Transportes / UFRGS

Luiz Afonso dos Santos Senna, Ph.D.

Prof. Depto. Engenharia de Produção e Transportes / UFRGS

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de
Produção como requisito parcial à obtenção do título de
MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Área de concentração: Sistemas de Produção

Porto Alegre, setembro de 2006

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

Prof. Cláudio José Müller, Dr.

PPGEP/UFRGS

Orientador

Prof. Luis Antonio Lindau, Ph.D.

Coordenador PPGEP / UFRGS

Banca Examinadora:

Álvaro Gehlen de Leão, Dr.

FENG / PUC

Francisco José Kliemann Neto, Dr.

PPGEP / UFRGS

Luiz Afonso dos Santos Senna, Ph.D.

PPGEP / UFRGS

“Le mieux est l'ennemi du bien (O ótimo é inimigo do bom)”

Voltaire (1664-1778)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por toda graça, saúde e oportunidades nesta vida. Agradeço aos meus pais, Aray Miguel Feldens e Maria das Graças Furtado Feldens pela criação, pelos valores e incentivos nesta minha jornada.

À minha família, Furtado e Feldens, e também às outras famílias amigas que sempre me apoiaram: famílias Moraes, Schutz, Brito, Franco, Grawunder, Bookheimer, Lerch e Duarte Rizzo.

Ao meu orientador, Prof. Cláudio José Müller, pela orientação, pelos conselhos e disponibilidade ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof. Francisco José Kliemann Neto, pelas muitas aprendizagens, não só acadêmico-teórica, mas pela prática também. Agradeço pela confiança na minha pessoa pela oportunidade oferecida, que permitiu o desenvolvimento deste trabalho.

Aos membros da Banca Examinadora desta Dissertação, por se disponibilizarem, no curto prazo em que foi necessário agendar a defesa, e pelas contribuições, críticas e recomendações para a melhoria desta Dissertação.

Aos meus professores e orientadores de atividades científicas prévias, Flávio Fogliatto, Ângela Danilevicz, Luis A. Lindau, Lia Guimarães, José L. D. Ribeiro, Sílvio Ceroni, Gilberto Tavares, Daniela e Istefani de Paula, também registro agradecimentos especiais.

Agradeço aos meus colegas de Mestrado e da Graduação na Engenharia de Produção/UFRGS, em especial, ao Tiago Filomena e Antenor Casto, que tiveram uma participação significativa no desenvolvimento deste trabalho. Agradeço também ao Tiago pelas discussões, amizade e pela ‘co-orientação’ não-oficial, Michel Anzanello e Paula Ariotti pela contribuição na revisão e sugestões para o aprimoramento deste estudo. Agradeço também a eles pelo companherismo e amizade.

A todos os colegas do LOPP e LASTRAN da UFRGS, aos que continuam e aos que já estiveram presentes, reafirmo o reconhecimento pelo trabalho cooperativo e pelas muitas aprendizagens ao longo dos estudos na Engenharia de Produção da UFRGS. Registro especialmente meus agradecimentos a Jeanete, Cristiane, Cristhiano, Camila, Graziela, Celso, Rafael, Fernando Lemos, Ingrid, Andressa, Rogério, à Verinha e ao Marcelo Leismann.

À UFRGS, minha segunda casa, obrigado pelo muito oferecido no sentido dos encaminhamentos de estudos e projetos. Faço menção em especial a alguns professores da UFRGS que participaram do meu desenvolvimento pessoal e acadêmico: Renato Brito, José Serafim Gomes Franco e Atos Grawunder (*in memoriam*).

Agradeço ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) que viabilizou a realização dos estudos e pesquisas que geraram esta Dissertação, com a concessão de bolsa de Mestrado na UFRGS.

À Cia. Carris-Portoalegrense e ao Diretor Técnico, Sr. Renato Guimarães, por possibilitar espaço para o desenvolvimento tecnológico-científico no serviço público.

E, finalmente, a uma pessoa muito especial que conheci neste ano, Andréia Duarte Rizzo, por todo carinho e compreensão.

RESUMO

O sistema de transporte público por ônibus no Brasil tem sido afetado por influências variadas que exigem do setor uma maior eficiência e redução de custos. A queda da demanda de passageiros nos centros urbanos e o aumento do preço dos insumos das empresas de transporte acima da inflação oneram significativamente o sistema de transporte. Considerando que o ativo operacional mais importante da empresa é o ônibus, uma política de substituição destes equipamentos viabiliza uma gestão mais eficiente e econômica da empresa. O objetivo desta Dissertação é o de desenvolver uma sistemática para Política de Substituição de Frotas de Ônibus para Transporte Coletivo Urbano, integrando aspectos econômico-financeiros, quantitativos e qualitativos com o uso da Engenharia Econômica e da Análise Multicritério. A metodologia do estudo foi baseada na pesquisa-ação, no sentido de desenvolver a sistemática com a participação dos colaboradores da empresa estudada e de validar a mesma com a sua aplicação. A sistemática foi implementada em uma empresa pública de transporte coletivo urbano por ônibus, a Companhia Carris Porto-Alegrense. A Vida Econômica da frota foi calculada assim como os benefícios intangíveis através de um método híbrido multicritério, combinando MAUT, AHP e QFD. Gerou-se um índice benefício/custo, o qual classificou o modelo ideal de ônibus para a empresa e a faixa ideal de substituição em função do tipo e nível tecnológico do ônibus. A análise dos resultados revelou que quanto mais avançado tecnologicamente, mais curta é a vida econômica do ônibus. Os resultados da análise econômica e multicritério da aplicação da sistemática proposta indicam que a empresa deveria adquirir tecnologia compatível com a sua prestação de serviço. Veículos com alta tecnologia, mas inadequados a determinados itinerários das linhas da empresa, podem provocar uma operação ineficiente e um aumento substancial nos custos de manutenção e operação dos mesmos. Portanto, os resultados enfatizam a necessidade de um processo de aquisição que priorize principalmente os custos de operação e manutenção do veículo e não apenas o custo de aquisição do mesmo.

Palavras-chave: substituição de equipamentos, análise multicritério, transporte coletivo por ônibus

ABSTRACT

The public bus transportation system in Brazil has been affected by varied influences, which in turn have created a demand for higher efficiency and cost reduction from the sector. The decrease in the number of passengers in the urban centers, plus the price increase of the inputs of transportation companies above the inflation rate burdens the transportation system significantly. Considering that the most important operational asset of the company is the bus itself, an Equipment Replacement Policy makes it possible to have a more efficient and economic management of the company. The main purpose of this Dissertation was to develop a systematic procedure for a Fleet Replacement Policy for public buses, thus integrating economic-financial, quantitative and qualitative aspects coupled with the use of Engineering Economy and Multicriterial Analysis. The methodology of the study was based upon the action research approach, since company employees participated in the development of the systematic procedure that was implemented in an urban public bus transportation company, the Cia. Carris Porto-Alegrense. The Economic Life of the fleet was calculated as well as the intangible benefits with the use of a hybrid multicriteria method, combining MAUT, AHP and QFD. A benefit/cost index was determined, based upon which the ideal bus model for the company and the timing of replacement according to type and technological level of the buses were determined. The results disclosed that the more advanced technology of the equipment, the shorter is the economic life of the bus. The economic and multicriteria analysis of the application indicate that the company should acquire compatible technology with its rendering of services. High technology vehicles assigned do inadequate itineraries or company routes, can result in an inefficient operation and a substantial increase in the maintenance costs and operation of the same ones. Therefore, the results emphasize the need for an acquisition process that mainly prioritizes the costs of operation and maintenance of the vehicle and as well as the cost of its acquisition.

Key words: equipment replacement policy, multicriterial analysis, public bus transportation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: IPK e Passageiros transportados nas principais capitais brasileiras	13
Figura 2: Preço médio do óleo diesel nas principais capitais brasileiras	14
Figura 3: Distribuição da População <i>versus</i> distribuição dos usuários de ônibus por classes sociais.....	16
Figura 4: Comparativo Nominal <i>versus</i> Real	31
Figura 5: Múltiplas taxas de retorno	34
Figura 6: Analogia entre Opções Reais e Opções Financeiras.....	36
Figura 7: Descrição dos tipos de Opções Reais	37
Figura 8: Vida Econômica de um equipamento	44
Figura 9: Comparação entre os tipos de modelos de substituição.....	45
Figura 10: Fronteira Eficiente para Dois Atributos.....	50
Figura 11: Curvas de Indiferença para Dois Indivíduos	51
Figura 12: Árvore de Decomposição AHP	52
Figura 13: Sistemática Proposta	59
Figura 14: Planilha de gastos da operação e manutenção.....	67
Figura 15: COM e CRC ano-a-ano	67
Figura 16: Custo Anual e CAUE ano-a-ano.....	67
Figura 17: Estrutura do MAQ.....	68
Figura 18: Cálculo dos pesos dos critérios	70
Figura 19: Matriz de Julgamentos.....	72
Figura 20: Benefício/Custo com diferentes taxas de substituição.....	75
Figura 21: Mapa do Negócio da Cia. Carris.....	79
Figura 22: Organograma da Cia. Carris.....	79
Figura 23: Fluxograma do Processo de Manutenção	84
Figura 24: Fluxograma do Processo de Manutenção	86
Figura 25: Evolução Anual da Frota da Companhia Carris 1991-2005	87
Figura 26: Evolução Anual do Nível de Serviço 1995-2004	88
Figura 27: Evolução Anual do IPK 1995-2005.....	88
Figura 28: Aspectos dos Itinerários das Linhas.....	89
Figura 29: Documentos Externos.....	90
Figura 30: Vida Econômica da Subfrota 8	98
Figura 31: Objetivo da Pesquisa e Perguntas	100
Figura 32: Características dos ônibus identificadas nas entrevistas com os funcionários.....	101
Figura 33: Características e Especificações.....	102
Figura 34: Critérios a serem Atendidos pelas Características do Chassi.....	103

Figura 35: Escala de Impacto	105
Figura 36: Peso de Importância das Especificações através do <i>Expert Choice</i>	108
Figura 37: Pesos de Importância das Especificações a partir da Análise Hierárquica e da Ordem de Importância de suas Características.....	108
Figura 38: Características da Carroceria e suas Especificações Ideais	109
Figura 39: Faixa de troca por nível tecnológico	116
Figura 40: Novos ônibus adquiridos pela Carris Porto-alegrense.....	117
Figura 41: Processo de decisão integrado.....	118
Figura 42: Curva do CAUE em função do nível tecnológico	119
Figura 43: Ordem de Importância dos Objetivos Primários	122
Figura 44: Ordem de Importância dos Objetivos Secundários.....	123

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Índice Randômico.....	74
Tabela 2: Subfrotas identificadas por Similaridade e Idade	82
Tabela 3: Características técnicas das subfrotas identificadas	83
Tabela 4: Composição da Inflação do Ônibus.....	91
Tabela 5: Dados para o Cálculo do Gasto de Pneu	92
Tabela 6: Dados por Tipo de Lubrificante.....	93
Tabela 7: Intervalo Diferencial e Gastos de Lubrificantes por Subfrota	93
Tabela 8: Dados Operacionais/Econômicos da Subfrota 8.....	95
Tabela 9: Dados Capturados da Base de Dados de Manutenção da Carris	95
Tabela 10: Valores Previstos por Regressão Linear	96
Tabela 11: Gastos Calculados a partir dos Dados	96
Tabela 12: Valor de revenda, gastos, depreciação e ônus do IR da Subfrota 8	97
Tabela 13: Cálculo do Custo Anual da Subfrota 8.....	97
Tabela 14: Cálculo da Vida Econômica	98
Tabela 15: Resumo da Faixa de Troca para cada uma das Subfrotas	99
Tabela 16: Peso dos critérios primários.....	104
Tabela 17: Peso dos critérios secundários - Técnico/Operação	104
Tabela 18: Peso dos critérios secundários - Técnico/Manutenção.....	104
Tabela 19: Peso dos critérios secundários – Serviço ao Usuário	105
Tabela 20: Matriz de Relacionamento entre Critérios e Características do Ônibus	106
Tabela 21: Ordem de Importância das Características do Ônibus	107
Tabela 22: Peso Total das Especificações da Carroceria para cada Subfrota	110
Tabela 23: Pesos das Subfrotas da Carris	111
Tabela 24: Custo por subfrota	113
Tabela 25: Benefício Total Normalizado.....	114
Tabela 26: Relação Benefício/Custo para cada uma das Subfrotas	114
Tabela 27: Distorção do CAUE nominal.....	121

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 TEMA E DELIMITAÇÃO	15
1.2 JUSTIFICATIVA	16
1.3 OBJETIVOS	18
1.3.1 Objetivo Geral	18
1.3.2 Objetivos Específicos	18
1.4 METODOLOGIA	19
1.5 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO	20
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO	21
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1 ENGENHARIA ECONÔMICA	23
2.1.1 Valor do Dinheiro no Tempo e Risco	24
2.1.2 Princípios da Engenharia Econômica	25
2.1.3 Taxa Mínima de Atratividade (TMA)	26
2.1.4 Inflação, Valor Nominal e Valor Constante	30
2.1.5 Métodos para Avaliação de Investimentos	31
2.1.5.1 Valor Presente Líquido (VPL)	32
2.1.5.2 Valor Anual Equivalente Uniforme (VAUE)	32
2.1.5.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)	33
2.1.5.4 Tempo de Recuperação de Capital (<i>Payback</i>)	35
2.1.5.5 Opções Reais	35
2.1.5.6 Análise Crítica dos Métodos para Avaliação de Investimentos	37
2.1.5.7 Depreciação	38
2.1.5.8 Imposto de Renda	39
2.1.6 Substituição de Equipamentos	40
2.1.6.1 Fatores que conduzem à Substituição de um Equipamento	41
2.1.6.2 Vida Econômica	42
2.1.6.3 Modelos de Substituição	44
2.1.6.4 Substituição de Frotas de Veículos	46
2.2 APOIO À DECISÃO MULTICRITÉRIO	48
2.2.1 Critérios de Decisão	48
2.2.2 Trade-offs e Funções de Valor	49
2.2.3 Multiattribute Utility Theory (MAUT)	51
2.2.4 Analytical Hierarchy Process (AHP)	52

2.2.5	Modelos AHP/QFD	54
2.3	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS E CUSTOS DE ÔNIBUS	55
2.3.1	Tipos de Ônibus	55
2.3.2	Características Técnicas de Chassis e Carroceria	56
2.3.3	Custos de Ônibus	57
3	SISTEMÁTICA PROPOSTA PARA APOIAR O DESENVOLVIMENTO DE POLÍTICAS DE SUBSTITUIÇÃO DE FROTAS ÔNIBUS PARA TRANSPORTE PÚBLICO URBANO	59
3.1	ETAPA 0: DIAGNÓSTICO DA EMPRESA	59
3.2	ETAPA 1: LEVANTAMENTO DA BASE DE DADOS	60
3.2.1	Caracterização da Frota.....	60
3.2.2	Análise da Manutenção	61
3.2.3	Levantamento de outros Dados Relevantes	61
3.3	ETAPA 2: ANÁLISE ECONÔMICA.....	61
3.3.1	Custo de Aquisição, Valor de Revenda e Custo de Recuperação de Capital.....	62
3.3.2	Custo de Operação	63
3.3.3	Custo de Manutenção	64
3.3.4	Previsão do Fluxo de Caixa	65
3.3.5	Cálculo do CAUE	65
3.4	ETAPA 3: ANÁLISE DE CRITÉRIOS NÃO-ECONÔMICOS	67
3.4.1	Definição dos Decisores, Critérios e Características Relevantes	68
3.4.2	Determinação dos Pesos Estratégicos (MAUT)	70
3.4.3	Matriz de Relacionamento dos Critérios e Características (QFD)	71
3.4.4	Comparação par-a-par das Especificações (AHP).....	71
3.4.5	Cálculo do <i>Score</i>	74
3.4.6	Informações Complementares	75
3.5	ETAPA 4: ANÁLISE BENEFÍCIO/CUSTO.....	75
3.6	ETAPA 5: AVALIAÇÃO E DEFINIÇÃO DA POLÍTICA	76
4	MODELO APLICADO	77
4.1	ETAPA 0: DIAGNÓSTICO DA EMPRESA	77
4.2	ETAPA 1: LEVANTAMENTO DA BASE DE DADOS	80
4.2.1	Caracterização da Frota.....	80
4.2.2	Análise da Manutenção	84
4.2.3	Levantamento de outros Indicadores e Informações Relevantes	87
4.3	ETAPA 2: ANÁLISE ECONÔMICA.....	90
4.3.1	Custo de Aquisição, Valor de Revenda e Custo de Recuperação de Capital.....	92
4.3.2	Custo de Operação	92
4.3.3	Custo de Manutenção	93
4.3.4	Previsão do Fluxo de Caixa	93
4.3.5	Cálculo do CAUE	94
4.4	ETAPA 3: ANÁLISE DE CRITÉRIOS NÃO-ECONÔMICOS	99
4.4.1	Definição dos Decisores, Critérios e Características	100
4.4.2	Determinação dos Pesos dos Critérios (MAUT).....	103
4.4.3	Análise de Relacionamento (QFD)	105
4.4.4	Levantamento das Preferências dos Decisores (AHP)	107
4.4.5	Cálculo do <i>Score</i>	111
4.4.6	Informações Complementares	112
4.5	ETAPA 4: ANÁLISE BENEFÍCIO/CUSTO.....	112

4.6 ETAPA 5: AVALIAÇÃO E DEFINIÇÃO DA POLÍTICA.....	115
5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	118
6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	126
REFERÊNCIAS	130
APÊNDICE A	140
APÊNDICE B	151

1 INTRODUÇÃO

O mercado e as necessidades do transporte coletivo urbano por ônibus têm sofrido grandes modificações na última década. No que se refere à demanda, há cada vez maior competição entre novas alternativas de transporte e um aumento da população que se encontra na restrição de mobilidade devido aos preços das tarifas, o que acaba refletindo na redução no número de passageiros (NTU, 2005b; NTU, 2005a). Pode-se observar na Figura 1 a queda na produtividade do setor de transporte público urbano, medida pelo Índice de Passageiros Transportados por Quilômetro (IPK) que caiu de 2,41 em abril de 1994 para 1,56 em abril de 2004 e no número de passageiros transportados por veículo por dia (de 631 em outubro de 1995 para 407 em outubro de 2004).

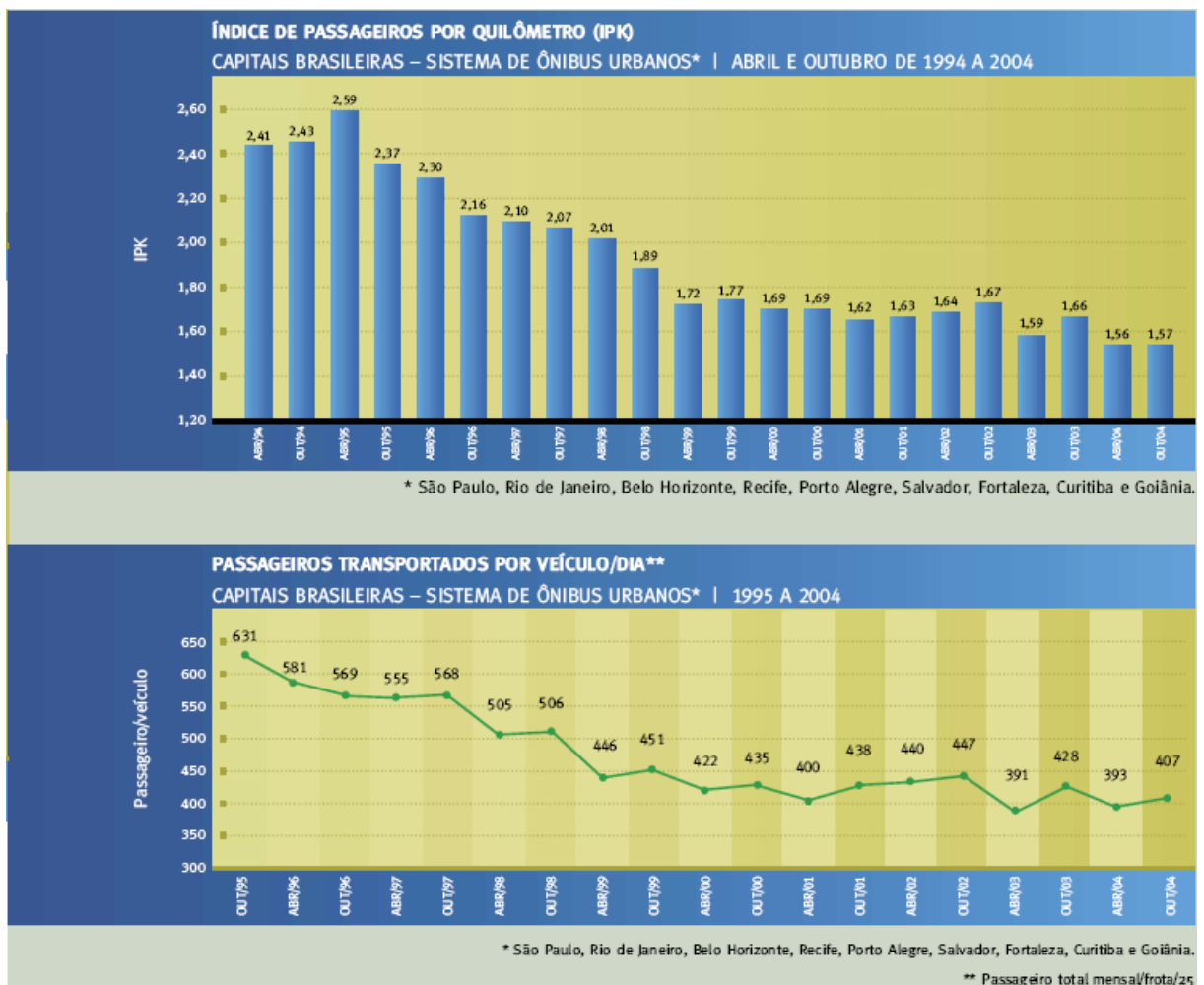


Figura 1: IPK e Passageiros transportados nas principais capitais brasileiras

Fonte: NTU (2005a)

Quanto à oferta, observa-se o aumento acima da inflação do principal insumo de custo, o óleo diesel, apresentado na Figura 2. O encarecimento do preço de novos ônibus em função do custo de inovações tecnológicas e de matérias-primas necessárias – aço, alumínio etc. – também são fatores que prejudicam o desempenho financeiro das empresas de ônibus (NTU, 2005b).



Figura 2: Preço médio do óleo diesel nas principais capitais brasileiras

Fonte: NTU (2005a)

O reflexo destas variáveis pode ser observado, de acordo com NTU (2005a), no aumento da idade média das frotas de ônibus urbano. A idade média em 2004 era de 4,9 anos ao passo que na década passada era de 4 anos.

Como consequência, as empresas entram em uma ‘espiral da morte’, pois o uso do veículo acima da sua Vida Econômica¹ implica no aumento do custo operacional. Kaplan (1986, p. 88) resume os efeitos deste problema citando uma frase de Henry Ford: ‘Se é necessário substituir a sua máquina antiga por uma nova e você não o faz, você estará pagando pela compra de uma máquina nova que não tem’. Esta situação se agrava com o desenvolvimento de novas tecnologias de veículos, pois a literatura indica que com o aumento da tecnologia, os equipamentos passam a ter uma Vida Econômica mais curta (ROGERS; HARTMAN, 2005).

Portanto, neste contexto de: (a) crise no setor de transporte coletivo urbano por ônibus, gerada pela queda de demanda e produtividade; (b) aumento dos custos operacionais;

¹ A Vida Econômica é ponto ótimo de substituição econômica em que maximiza o Valor Presente de um equipamento. Este conceito será detalhado na seção 2.16

e (c) redução na capacidade de financiamento das empresas, percebe-se que uma política de gestão e renovação de veículos deve figurar como prioridade estratégica do setor.

1.1 TEMA E DELIMITAÇÃO

O tema de que trata esta Dissertação insere-se na área de Tomada de Decisão com ênfase em Decisões sobre Investimentos. Esta pesquisa envolve as áreas de Engenharia Econômica e Análise Multicritério para a tomada de decisão sobre investimentos, focalizando a problemática da Substituição de Equipamentos. O estudo analisa Substituição de Frotas de Ônibus para Transporte Coletivo Urbano.

O tema Tomada de Decisão é abrangente, pois envolve disciplinas do conhecimento como Filosofia, Matemática, Sociologia, Psicologia, Economia, Ciência Política, Estatística e Pesquisa Operacional, dentre outras (BUCHANAN; O'CONNELL, 2006). O desenvolvimento destas disciplinas na origem está relacionado à Teoria da Decisão (SIMON et al., 1987). Uma revisão da literatura sobre Decisão em geral demandaria transitar por uma consulta ampla e vasta. Portanto, este estudo foca-se nas áreas de resolução do problema de Decisão de Investimentos sob a ótica da Engenharia Econômica e da Análise Multicritério.

Na área de Análise Multicritério vem sendo desenvolvidas Metodologias de Apoio à Decisão Multicritério (MCDA) que incorporam objetivos econômico-financeiros, estratégicos e operacionais (CLEMEN, 1996). Métodos como *Multi Attribute Utility Theory* (MAUT), *Electre*, *Promethee* e *Analytical Hierarchy Process* (AHP) têm sido utilizados para acomodar múltiplos decisores e múltiplos critérios de decisão (ROY; VINCKE, 1983). Neste estudo, são abordados os métodos AHP, MAUT e QFD. O estudo se limita à análise através de modelos aditivos lineares, baseados na Teoria da Utilidade. Da mesma forma, optou-se por utilizar um modelo determinístico.

Outras questões como o planejamento financeiro da empresa, o dimensionamento de frota e a previsão de demanda podem influenciar a Política de Substituição. Porém, para considerá-los, seria necessário um estudo detalhado destas questões, o que foge do escopo, do tempo e dos recursos disponíveis desta pesquisa.

A manutenção do equipamento será avaliada sob o ponto de vista econômico, ainda que se reconheça a importância da confiabilidade do equipamento e a deterioração física dos componentes. Da mesma forma, a opção de reforma, ao invés da substituição de equipamento,

necessitaria uma análise de suas alterações de desempenho e de sua confiabilidade. Portanto, a opção de reforma como alternativa à substituição foi excluída do estudo.

1.2 JUSTIFICATIVA

Segundo o NTU (2006), o segmento de transporte coletivo urbano operando de modo regular (não clandestino) responde por mais de 1,0% do PIB brasileiro, movimentando cerca de 18 bilhões de reais por ano (considerando os sistemas de ônibus e os metros-ferroviários). O setor atende cerca de 92% da demanda do transporte coletivo, com a geração de 500.000 empregos diretos.

O NTU (2006) comenta uma preocupação com as recentes revoltas populares nas principais capitais brasileiras em protesto contra novos reajustes tarifários. Dados do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) confirmam que mais de 37 milhões de brasileiros não podem utilizar o transporte público de forma regular por impossibilidade de pagar a tarifa (ver Figura 3).

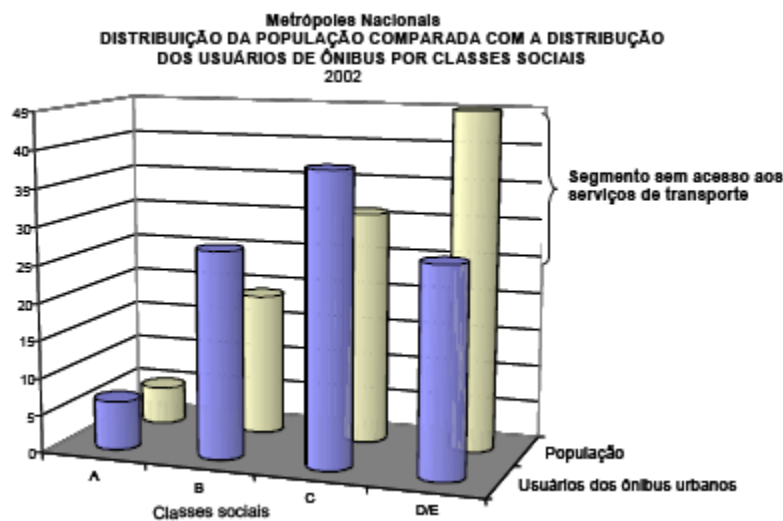


Figura 3: Distribuição da População *versus* distribuição dos usuários de ônibus por classes sociais

Fonte: NTU (2006)

Esta situação reflete na dimensão social que o transporte urbano representa e a grande repercussão que uma medida de melhoria no transporte coletivo urbano poderia causar junto à população no país. Baseado em informações da Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano da Presidência da República (SEDU/PR), o NTU (2006) sugere que uma melhoria de desempenho do transporte urbano atingiria um universo de 39 milhões de

usuários diretos e uma população de 86 milhões de habitantes, considerando os 224 centros urbanos que apresentam problemas de mobilidade urbana no Brasil. Portanto, o desenvolvimento de uma sistemática que implique na redução do custo econômico do serviço e/ou aumento na qualidade do serviço é de alta relevância para este setor.

Na esfera de pesquisa, cabe destacar que a aplicação prática de um modelo de Política de Substituição de Frotas para ônibus urbano contribui para o conhecimento e a discussão acadêmico-científica. Na literatura consultada, foram encontrados alguns casos de Substituição de Frota (PINAR; HARTMAN, 2004; KHASNABIS; ALSAIDI; ELLIS, 2002; DI; HAUKE, 2000; SCARF; BOUAMRA, 1999; KABIR, 1996; NAVON; MAOR, 1995; KARABAKAL; LOHMANN; BEAN, 1994; PRENTICE, 1993; VEMUGANTI; OBLAK; AGGARWAL, 1989; SIMMS et al., 1984; WADDELL, 1983) aplicados no segmento de ônibus urbano e, dentre estes, verificam-se limitações metodológicas, uma vez que utilizam dados simulados e/ou trabalham apenas no campo teórico da área. Além disto, a literatura consultada aponta para dois tipos de modelos: os de Engenharia Econômica e os de Pesquisa Operacional (PO).

Os modelos de Engenharia Econômica normalmente abordam apenas os aspectos econômico-financeiros do problema, sem considerar as restrições de ordem tecnológica, de gestão, estratégia e outras. Com o avanço de novas tecnologias, vários autores indicam que os métodos tradicionais de avaliação de investimento – fluxo de caixa descontado – não conseguem avaliar os fatores não-financeiros que afetam o benefício/custo dos equipamentos (CARTER, 1992; COLLAN; LIU, 2003; COTTON; SCHINSKI, 1999; KAPLAN, 1986). Segundo Kaplan (1986), a limitação dos métodos tradicionais leva a gerência a abandonar métodos formais de análise de investimentos e a utilizar análises subjetivas não-estruturadas. Conseqüentemente, isto pode conduzir à tomada de decisões sub-ótimas, afetando a sobrevivência financeira e estratégica da empresa, principalmente naquela onde os ativos analisados representam uma grande parcela de seu patrimônio líquido e/ou afetam significativamente o produto/serviço oferecido. Os métodos tradicionais devem ser usados, porém de forma adequada, na qual critérios intangíveis devem ser avaliados, mesmo sendo difíceis de quantificar.

Já os modelos tradicionais de PO, apesar de modelarem restrições de outra ordem que não somente a econômica, utilizam a hipótese de um único critério de decisão, correspondente ao objetivo a ser alcançado. Isto pode ser limitante na prática, uma vez que,

no caso de decisões de investimento de alto valor e complexidade, pode existir mais de um objetivo a ser alcançado e a ter também múltiplos decisores. As metodologias (i) Multicritério em Apoio à Decisão, (ii) Programação por Objetivos e (iii) Desdobramento da Função Qualidade (*Quality Function Deployment/QFD*) são alternativas que vêm sendo desenvolvidas para a resolução de problemas com múltiplos critérios e múltiplos decisores (CARTER, 1992; COLLAN; LIU, 2003; ENSSLIN; MONTIBELLER; NORONHA, 2001; EROL; FERRELL JR., 2003; OELTJENBRUNS; KOLARIK; SCHNADT-KIRSCHNER, 1995).

Portanto, as evidências da literatura consultada e o setor de aplicação apontam para a necessidade e pertinência da realização deste estudo, uma vez que os resultados a serem derivados podem contribuir para: (a) as compreensões acadêmicas de caráter teórico e prático; (b) o desenvolvimento sócio-econômico do país; (c) o auxílio na tomada de decisão das empresas de transporte urbano coletivo por ônibus.

1.3 OBJETIVOS

Os objetivos do trabalho podem ser entendidos em nível geral e específico.

1.3.1 Objetivo Geral

Este trabalho propõe uma sistemática para a construção de uma Política de Substituição de Frotas de Ônibus para Transporte Coletivo Urbano, integrando múltiplos critérios de decisão.

1.3.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos que apóiam o alcance desse objetivo geral são os seguintes:

- 1) compreender o ambiente do setor de transporte coletivo urbano por ônibus de Porto Alegre e da empresa onde será aplicada a metodologia;
- 2) identificar e analisar os custos operacionais e de manutenção de um ônibus e comportamento no tempo;
- 3) identificar as características técnicas do ônibus e sua influência nos custos e benefícios intangíveis;

- 4) apresentar uma aplicação prática do modelo proposto, discutindo as principais vantagens e desvantagens associadas.

1.4 METODOLOGIA

A natureza deste trabalho é o de uma pesquisa aplicada apoiada na abordagem da pesquisa-ação, uma vez que o estudo tem como objetivo solucionar uma situação problema. A escolha desta abordagem justifica-se nestas premissas: (a) tem na sua origem a resolução de um problema coletivo-organizacional; (b) necessita da participação direta e/ou indireta dos *stakeholders* (partes interessadas) da organização e da equipe de pesquisa para a sua efetiva aplicação; (c) o uso desta abordagem metodológica permite que haja simultaneamente a produção e o uso do conhecimento; e (d) o estudo implica em uma modificação na empresa e no ambiente em que está inserida. Considerando estas premissas, a pesquisa-ação foi considerada a metodologia mais adequada, condizente com a definição de Michel Thiollent:

a pesquisa ação consiste essencialmente em acoplar pesquisa e ação em um processo no qual os atores implicados participam, junto com os pesquisadores, para chegarem interativamente a elucidar a realidade em que estão inseridos, identificando problemas coletivos, buscando e experimentando soluções em situação real (THIOLLENT, 1997, p. 14).

O método de trabalho utilizado no estudo está dividido em quatro etapas, conforme proposto por Thiollent (1997):

- 1) etapa exploratória: trata-se de uma fase de caráter preliminar, limitado à elucidação do problema. Os pesquisadores e alguns membros da organização detectam e definem o problema e as variáveis, os atores (participantes) envolvidos, o ambiente onde o problema está inserido e a capacidade de ação possível;
- 2) etapa de pesquisa: o problema é pesquisado por meio de diversos tipos de instrumentos de coleta, a saber: grupos focados, *brainstorming*, seminários e outros. Nesta etapa o problema é discutido e interpretado pelos grupos que participam da pesquisa;
- 3) etapa de ação: com base nos resultados da etapa de pesquisa, parte-se para a definição e implementação de ações concretas, apresentação de propostas que podem ser negociadas entre os atores e a ação para a resolução do problema;

- 4) etapa de avaliação: avaliam-se os resultados e resgata-se o conhecimento produzido no decorrer do processo.

1.5 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

Para construir uma política de substituição que beneficie os objetivos de rentabilidade e estratégicos da organização, é necessário adotar uma metodologia que integre os múltiplos aspectos da problemática e direcione os decisores a uma decisão ótima. Também é necessário avaliar os possíveis impactos de benefício/custo de uma alternativa frente à outra. Por ser uma ferramenta de Apoio à Decisão, é necessário que possa avaliar a sua efetividade e a dos tomadores de decisão, permitindo a melhoria contínua da política (KENGPOL; O'BRIEN, 2001).

A dificuldade de implementação de políticas de substituição pelas empresas ocorre devido ao fato de que as ferramentas atuais não abordam a complexidade intangível, multicriterial e sistêmica da substituição de equipamentos. Portanto, o problema da substituição de equipamentos, neste estudo, visa responder às seguintes questões de pesquisa:

- a) Como construir uma política de substituição que atenda aos objetivos da empresa e que considere critérios não-financeiros?
- b) Quais áreas de conhecimento e métodos/ferramentas tradicionais e não-tradicionais existentes são mais adequadas na construção desta Política?
- c) Como utilizar os diferentes métodos/ferramentas de uma forma integrada?

Logo, parte-se das premissas que uma política de substituição adequada deve:

- a) abordar os múltiplos aspectos do problema (econômicos, financeiros, técnicos, culturais, mercadológicos e outros);
- b) acomodar múltiplos decisores (quando presentes);
- c) permitir a avaliação do desempenho dos equipamentos atuais e potenciais substitutos;
- d) orientar as organizações e priorizar as suas ações quanto à Política de Substituição, considerando uma estratégia de longo prazo.

O estudo é desenvolvido em uma empresa pública, sendo construída uma Política de Substituição de Frota de ônibus urbanos. Os objetivos e funcionamento organizacionais deste tipo de empresa são diferentes dos de uma empresa privada de transporte coletivo urbano por ônibus. Em função disto, a gestão de frotas e a sua política de substituição podem ter características diferenciadas. A heterogeneidade, idade, tamanho da frota, tecnologia, tipo de chassi, carroceria e outras características são variantes que influenciam nas ferramentas adotadas para a Política de Substituição. A cultura, a história, os participantes envolvidos e o ambiente econômico nacional e regional onde a empresa se encontra também são fatores que influenciam na construção do modelo. Os resultados operacionais e financeiros da adoção do modelo de política não são avaliados, pois só devem ocorrer no longo prazo.

Outra limitação apresentada pela metodologia consiste na apresentação de um caso único de aplicação; portanto, a replicação da sistemática em outra empresa poderá gerar uma política diferente da desenvolvida neste trabalho. Mesmo que parcialmente, a sistemática é considerada válida, a partir da aplicação e efetiva implementação da mesma na empresa participante do estudo. A política é customizada a partir das necessidades, do perfil e das características organizacionais específicos da empresa estudada.

Finalmente, a aplicação da sistemática de Política de Substituição resulta em um apoio à decisão, não havendo intenção de ter uma decisão final para o problema, pois isto cabe aos tomadores de decisão da própria empresa.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está estruturado em 6 capítulos, detalhados a seguir:

No capítulo 1 tem-se a visão geral do trabalho.

No capítulo 2 é apresentada a revisão bibliográfica de três temas principais: (1) Engenharia Econômica, (2) Análise Multicritério e (3) Características Técnicas e Custos de Ônibus.

No capítulo 3 é proposta uma Sistemática de Política de Substituição para frotas de ônibus urbano de transporte público urbano.

Capítulo 4 relata a aplicação da sistemática em uma empresa pública de transporte coletivo urbano por ônibus.

No capítulo 5 tem-se uma discussão dos resultados da aplicação da sistemática.

O capítulo 6 apresenta as conclusões e recomendações deste estudo para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O suporte referencial que embasa este estudo se apóia em duas áreas de conhecimento interligadas: (a) Engenharia Econômica e (b) Análise Multicritério. Além disso é apresentada uma breve revisão de características técnicas e indicadores de gestão de frotas, baseada principalmente no trabalho de Valente, Passaglia e Novaes (2003).

Do ponto de vista puramente econômico, a Engenharia Econômica contrabalança os custos e benefícios de projetos, produtos e investimentos em geral, levando em conta o valor do dinheiro no tempo, orientando a decisão sob o ponto de vista econômico (CASAROTTO FILHO; KOPITTKKE, 2000). Já os métodos de Análise Multicritério reconhecem que as pessoas e organizações não têm um único objetivo econômico, mas múltiplos objetivos e perspectivas que devem ser consideradas na tomada de decisões (KEENEY; RAIFFA, 1976). As características técnicas e os custos de ônibus são revisados para entendimento do problema específico de substituição de frotas de ônibus.

Como a Substituição de Equipamentos tem sua origem na Engenharia Econômica, a ordem adotada parte do genérico para o mais específico. A base do problema é de ordem econômica, a análise multicritério serve como suporte para a avaliação dos benefícios intangíveis e, por último, a compreensão das características *versus* custos do tipo de equipamento estudado.

2.1 ENGENHARIA ECONÔMICA

A área de conhecimento de Engenharia Econômica trata de determinar os fatores e critérios econômicos utilizados para selecionar uma alternativa de investimento dentre várias possíveis. A Engenharia Econômica abrange técnicas e ferramentas matemáticas que modelam um problema de seleção de alternativas de investimento e utiliza uma abordagem racional para tomada de decisão econômica (HESS et al., 1973). Segundo Dulman (1989), a Engenharia Econômica, tal como é conhecida hoje, tem suas origens nos trabalhos de Arthur M. Wellington, um engenheiro civil que trabalhava na área de ferrovias no final do século 19 nos EUA. Em 1930, Eugene Grant publicou a primeira edição do seu livro 'Principles of Engineering Economy', no qual Grant enfatiza a perspectiva econômica da engenharia ao afirmar que as decisões de engenharia são governadas tanto pelos aspectos econômicos quanto pelos aspectos físicos.

Para problemas de engenharia, são inerentes a estas decisões os *trade-offs*² entre diferentes tipos de benefícios (ex: desempenho, tempo de resposta, segurança, peso e confiabilidade) e o aspecto econômico da engenharia. As técnicas de Engenharia Econômica servem para que o engenheiro possa recomendar ou não uma decisão que seja viável economicamente (SULLIVAN; WICKS; LUXHOJ, 2003). A Engenharia Econômica, assim como a Análise de Investimentos, utiliza o conceito do valor do dinheiro no tempo, explicitado a seguir.

2.1.1 Valor do Dinheiro no Tempo e Risco

Casarotto Filho e Kopittke (2000) listam os seguintes fatores de produção existentes na economia: (a) terra; (b) trabalho; (c) capital; (d) técnica/tecnologia; e, (e) capacidade gerencial. Os fatores, por serem escassos, são remunerados, cada um a sua maneira: aluguel, salários, *royalties* e outras formas. O capital da mesma forma precisa ser remunerado; esta remuneração é denominada juros ou custo de capital. Os juros são a remuneração pela oportunidade de se dispor do capital por certo período (FISCHER, 1930). Neste sentido, o valor do dinheiro no tempo se altera, isto é, um real hoje vale mais do que um real no futuro.

Sullivan, Wicks e Luxhoj (2003) e Hess et al. (1973) comentam que o dono do capital, ao emprestar este a um terceiro, está abrindo mão de utilizar o capital hoje para seu consumo imediato, e portanto precisa haver um incentivo para que se prive deste consumo. Além disto, o dono do capital corre o risco de não receber o retorno esperado do investimento. Outra razão para a existência dos juros é o custo de oportunidade de utilizar o capital em outro empreendimento que tenha o mesmo risco, isto é, aquele que tiver um maior retorno do capital será escolhido e é utilizado como o custo mínimo do capital para aquele nível de risco. Portanto, os juros estão correlacionados com as oportunidades de investimento disponíveis e o nível de risco dos investimentos.

De acordo com Hess et al. (1973) os juros podem ser de três tipos de capitalização: (a) simples; (b) composta; e (c) contínua. Nos juros simples, só o principal (capital inicialmente empregado) rende juros. Os juros compostos são incorporados ao principal a cada capitalização periódica, fazendo com que os juros rendam mais juros. Na capitalização contínua, os juros são capitalizados e incorporados continuamente, como a própria denominação define. Os juros simples fazem o valor do dinheiro crescer linearmente,

² Ex: peso *versus* resistência, custo *versus* benefícios e outros.

enquanto no juros composto crescem exponencialmente (a contínua é um caso particular da composta). A Equação 2.1 apresenta o cálculo dos juros compostos.

$$J = (1 + i)^n \quad (2.1)$$

onde:

J = Juros

n = número de períodos

i = taxa de juros por período

Para calcular o valor do dinheiro no tempo, utiliza-se o método de Valor Presente. Este e métodos alternativos são apresentados com detalhe no item 2.5 desta Dissertação.

2.1.2 Princípios da Engenharia Econômica

Grant *apud* Sullivan, Wicks e Luxhoj (2003) enumeram sete princípios que fundamentam a Engenharia Econômica e que devem ser respeitados em qualquer análise de projetos de investimento. Fleischer (1973) complementa com nove princípios semelhantes. Uma síntese dos princípios apresentados pelos autores citados é descrita a seguir:

1. Defina as alternativas de investimento. A decisão de investimento é sempre a comparação de alternativas de investimento; estas precisam ser identificadas e definidas para a análise;
2. Focalize nas diferenças. Apenas as diferenças nos resultados futuros entre as alternativas são relevantes para a comparação e devem ser considerados para tomada de decisão;
3. Busque consistência na perspectiva utilizada. Os resultados das alternativas devem ser analisados sempre pelos mesmos parâmetros e perspectiva definida;

4. Use uma unidade de medida comum. Utilizando a mesma unidade de medida simplifica a análise e a comparação de alternativas;
5. Decisões separáveis devem ser tomadas separadamente. As soluções ótimas podem ficar obscurecidas ao tomar várias decisões em conjunto, portanto é necessário analisar quais decisões são separáveis. Ex: as recomendações em relação à alternativa tecnológica podem ser separadas da decisão quanto ao tipo de financiamento;
6. Considere todos os critérios relevantes. A seleção da alternativa preferida requer o uso de um ou mais critérios de decisão. O processo de decisão deve considerar os resultados enumerados na unidade monetária e aqueles expressos em outra unidade de medida ou explícitos de maneira descritiva;
7. Torne explícita a incerteza. A incerteza é inerente em projetar (ou estimar) os resultados das alternativas e devem ser considerados na análise e comparação;
8. A eficácia dos procedimentos de orçamento de capital é uma função de sua implantação nos vários níveis da empresa. As decisões de investimentos não devem ser tomadas somente no nível da alta administração. Marketing, engenharia, vendas, operação, enfim, as diferentes áreas e colaboradores devem compreender os procedimentos de orçamento de capital;
9. Use *feedback* das decisões tomadas no passado. A melhoria dos resultados de tomada de decisão depende de um processo adaptativo. Os resultados projetados inicialmente pelos estudos devem ser subsequentemente comparados com os resultados reais alcançados.

2.1.3 Taxa Mínima de Atratividade (TMA)

Antes de partir para a análise propriamente dita, é necessário calcular a Taxa Mínima de Atratividade (TMA). Esta taxa define qual é o retorno mínimo exigido do capital para se realizar um investimento (ou máximo para buscar um financiamento). Dadas as condições de risco do mercado, da empresa e do projeto, será utilizada uma taxa para remunerar a aplicação do capital. A seguir são apresentados os principais métodos para o cálculo da TMA.

A taxa de retorno exigida pela empresa/projeto é determinada pela percepção do mercado quanto ao risco. Segundo Smart, Megginson e Gitman (2004), a TMA a ser utilizada na avaliação de um projeto deve refletir o custo de oportunidade de investir em outros projetos com risco semelhante na mesma ou em outra empresa. Os investidores, em geral, são aversos a risco, portanto, exigem um retorno maior para suportar este risco. Para quantificar o risco percebido pelo mercado/investidores, pode-se utilizar o *Capital Asset Pricing Model* (CAPM) desenvolvido por Markowitz (1952) e Sharpe (1963; 1964). Basicamente, o modelo propõe que existe um *trade-off* entre retorno e risco, quanto maior retorno, maior é o risco do ativo. A Equação 2.2 postula que o Retorno Esperado de um ativo qualquer deve ser igual à taxa livre de risco mais o Beta do ativo vezes a taxa de risco de mercado. O Beta é a covariância do retorno do ativo com o retorno do *portfolio* de mercado dividido pela variância do *portfolio*, o cálculo é apresentado na Equação 2.3.

$$E(R_i) = R_f + \beta_i [E(R_m) - R_f] \quad (2.2)$$

onde:

$E(R_i)$ = taxa de retorno esperado de um ativo i

R_f = taxa de retorno livre de risco

β_i = beta do ativo i

$E(R_m)$ = taxa de retorno esperado de mercado

$$\beta_i = \frac{\sigma_{im}}{\sigma_m^2} \quad (2.3)$$

onde:

σ_{im} = covariância entre o retorno do ativo i com o retorno do *portfolio* de mercado

σ_m^2 = variância do retorno do *portfolio* de mercado

Além do modelo CAPM, existe também o modelo *Arbitrage Pricing Theory* (APT), desenvolvido por Ross (1976). Enquanto o CAPM trabalha com um único fator de risco, o

Beta, o APT trabalha com múltiplos fatores de risco. O CAPM é um caso particular do APT, ao trabalhar com um único fator. O modelo Fama-French (F-F) é um modelo de três fatores para explicar o risco percebido. Fama e French (1992; 1993) testaram empiricamente o retorno esperado das ações e encontraram três fatores que determinam o risco da empresa: (a) volatilidade em relação ao prêmio de mercado; (b) volatilidade em relação ao tamanho da firma; e (c) volatilidade em relação ao razão valor contábil/valor de mercado (SMART; MEGGINSON; GITMAN, 2004). Ainda que o modelo CAPM tenha sido muito criticado, o mesmo continua a ser o mais utilizado no meio financeiro, segundo estudo de Graham e Harvey (2001) com 392 CFOs (*Chief Financial Officer*) nos EUA.

O retorno exigido pelo acionista/investidor é uma parte do custo de capital da empresa. Para determinar uma TMA realista, é necessário também calcular o custo de cada tipo de capital que financia uma empresa e, posteriormente, ponderar o peso da participação dívida/capital próprio (relação *Debt/Equity* ou D/E). Esta taxa seria o que se denomina de Custo Médio Ponderado de Capital (CMPC) ou *Weighted Average Cost of Capital* (WACC). Inicialmente utiliza-se a $TMA = WACC$, mas a TMA pode ser maior do que o custo de capital quando existe um fator de risco associado ao projeto e/ou quando há limitação de capital disponível pela empresa para os projetos que têm rentabilidade acima da TMA. Neste último caso, a TMA será o custo de oportunidade, que é a taxa de interna de retorno i^* do primeiro projeto rejeitado devido à limitação de capital disponível (BLANK; TARQUIN, 1998). A relação D/E representa a estrutura de capital da empresa, isto é, qual é o *mix* de dívida e capital de terceiros. Por exemplo, uma empresa com um mix D/E igual a 40/60 significa que 40% do capital provêm de terceiros (empréstimos, debêntures, hipotecas) e 60% provêm de capital de próprio (ações e lucro retido). A Equação 2.4 calcula o WACC.

$$WACC = \left(\frac{D}{D+E} \right) (1 - T_c) \bar{r}_d + \left(\frac{E}{D+E} \right) r_e \quad (2.4)$$

onde:

D = valor de mercado do capital de terceiros

E = valor de mercado do capital próprio (acionista)

r_d = taxa de retorno do capital de terceiros

r_e = taxa de retorno do capital próprio

T_c = taxa marginal de imposto de renda da empresa

Para empresas e projetos públicos, o cálculo do custo de capital é controverso. Segundo Maio (1977), existem duas principais correntes. Hirshleifer (1966) defende que os projetos públicos devem usar a mesma taxa de desconto usada nos projetos privados semelhantes com o mesmo risco, considerando uma economia onde os mercados são perfeitos. Se o governo utilizar uma taxa diferente, este estará sendo ineficiente na aplicação do capital. Arrow e Lind (1970) aceitam a proposição de Hirshleifer, mas defendem que os mercados são imperfeitos e que o modelo não se aplica na prática. Esses autores afirmam que os projetos públicos são independentes de outros projetos do resto da economia e que o governo deve utilizar uma taxa livre de risco. Além disso, o governo consegue diversificar o risco pelo seu tamanho e volume de projetos, distribuindo o risco entre todos os contribuintes.

Sullivan, Wicks e Luxhoj (2003) comentam que o objetivo principal do governo é a maximização dos benefícios sociais, presumindo que estes são medidos corretamente. A escolha da taxa de desconto para projetos públicos – também denominada taxa de desconto social – deve ser aquela que melhor distribui o capital entre aqueles projetos públicos disponíveis. Na escolha da taxa, devem ser considerados estes fatores: (a) a taxa de juros de captação de capital (financiamento); (b) o custo de oportunidade para a agência governamental; e (c) o custo de oportunidade dos contribuintes. Os mesmos autores sugerem que, para projetos, onde é utilizado exclusivamente financiamento externo para o investimento, deve-se utilizar a taxa de captação externa. Para projetos que utilizam financiamento interno (verba do Estado), utiliza-se o custo de oportunidade da agência governamental. Para calcular o custo de oportunidade da agência, esta deveria avaliar o retorno potencial de todos os projetos disponíveis e usar a taxa de retorno do primeiro projeto rejeitado dentro do orçamento (semelhante ao que ocorre em empresas privadas). Um argumento contra esta política é o de que, como as agências governamentais possuem níveis diferentes de orçamento e trabalham com projetos de naturezas (e riscos) diferentes, cada agência teria uma TMA única, mesmo que o capital provenha de uma única fonte – os impostos do contribuinte. O terceiro fator – o custo de oportunidade dos contribuintes – refere-se ao fato de que todo investimento feito pelo governo é potencialmente capital a que o contribuinte poderia investir para seu benefício. O custo de oportunidade do contribuinte tende a ser maior do que o das agências governamentais, logo, este custo deveria ser a TMA

para projetos públicos. Uma taxa menor estaria extorquindo capital que o contribuinte poderia aplicar e obter um retorno maior. Sullivan, Wicks e Luxhoj (2003) concluem que a política de TMA a ser adotada deve ser definida pela agência, considerando todos estes fatores e avaliando os prós e contras.

2.1.4 Inflação, Valor Nominal e Valor Constante

Segundo Casarotto Filho e Kopittke (2000) a inflação é definida como um aumento no preço médio pago por produtos e serviços, provocando uma redução no poder de compra da unidade monetária. Quando a unidade monetária não tem valor constante no poder de compra de produtos e serviços no mercado e quando mudanças futuras de preço são significativas, é preciso considerar o efeito da mudança dos preços em um estudo de Engenharia Econômica (SULLIVAN; WICKS; LUXHOJ, 2003). A taxa de inflação (ou deflação) geral é definida por um portfólio de produtos e serviços ponderado. Na Engenharia Econômica, a taxa é projetada para o intervalo de tempo estudado e geralmente usa a taxa efetiva anual. No Brasil, o IGP-M (para consumidores) e IPCA (para a produção) são as taxas de inflação geral mais conhecidas. As organizações podem ter também seu próprio índice inflacionário, a partir da composição dos insumos consumidos pela organização ou da utilização de um índice setorial que melhor reflita os aumentos de sua cesta de consumo. Esta é uma questão muito importante, pois se o investimento possui insumos que tem uma inflação diferente da inflação geral, é necessário deflacionar por índices específicos, para que não haja distorção (CASAROTTO FILHO; KOPITTKKE, 2000).

O Valor Nominal refere-se a quantidade de unidades monetárias associadas a um fluxo de caixa ao longo do tempo. São os valores efetivamente desembolsados (fluxo financeiro) no período. O poder de compra relativo desses valores é afetado pela inflação. Já o Valor Constante, também denominado Deflacionado ou Atual, refere-se à quantidade de unidades monetárias em termos constantes de poder de compra ao longo do tempo. Trata-se não do valor financeiro efetivamente desembolsado, mas do valor relativo de poder de compra fixado em um tempo determinado (BLANK; TARQUIN, 1998).

A taxa de juros real (i_r) é o valor pago pelo uso do capital, normalmente expresso em uma taxa anual (%) que não inclui o ajuste do mercado pela antecipação da taxa de inflação geral na economia. Representa o custo do dinheiro no tempo no futuro em valores constantes, baseado no ganho potencial esperado do dinheiro. Também é denominada de taxa livre de

inflação ou taxa mínima de atratividade real (TMA real). Já taxa de juros nominal, de mercado ou global (i_m): é o dinheiro pago pelo uso do capital, incluindo o ajuste do mercado da taxa geral de inflação esperada na economia. É expressa, em geral, em uma taxa anual (%). Logo, é a taxa nominal representa a mudança do valor do dinheiro no tempo levando em conta também a mudança potencial no poder de compra, estimando uma inflação ou deflação na economia. Também é denominada taxa mínima de atratividade nominal (TMA nominal) (BREALEY; MYERS, 2002; BLANK; TARQUIN, 1998).

A taxa de desconto apropriada para os cálculos de estudos de Engenharia Econômica depende do uso das estimativas de fluxo de caixa como valor constante ou valor nominal do dinheiro. A Figura 4 indica a taxa deve ser utilizada para cada caso.

Se o fluxo de caixa está em valor:	A taxa de desconto a utilizar é:
Nominal	Taxa de desconto de mercado ou nominal (i_m)
Constante	Taxa de desconto real (i_r)

Figura 4: Comparativo Nominal *versus* Real

Fonte: Adaptado de Sullivan, Wicks e Luxhoj (2003)

O estudo econômico pode ser feito tanto no valor nominal quanto no constante com igual validade, desde que a taxa certa seja utilizada para o cálculo de equivalência do dinheiro. É importante manter a consistência na análise (SULLIVAN; WICKS; LUXHOJ, 2003). Kaplan (1986) comenta que muitas vezes as empresas estimam o seu custo de capital pelo ROI (retorno sobre investimento) contábil e utilizam fluxos de caixa constantes para analisar investimentos, o que provocaria erros na análise, ao confundir fluxos constantes com taxas nominais. Brealey e Myers (2002) comentam sobre um caso de avaliação de compra da empresa *Bula Mines*. Um grupo de consultores avaliou a empresa em US\$8 milhões enquanto outro grupo avaliou em US\$ 104 milhões. A explicação dada à discrepância tão alta se deve à confusão entre fluxos e taxa de descontos nominais e reais.

2.1.5 Métodos para Avaliação de Investimentos

As organizações utilizam uma série de técnicas para análise de investimentos, considerando vários critérios, como a rentabilidade, risco e estratégia. Segundo Fensterseifer, Galesne e Ziegelmann (1987, p. 71), “as decisões de investimento de capital são de vital

importância para o futuro de uma empresa, pois é através do investimento produtivo que a empresa assegura sua sobrevivência e crescimento”. A seguir são apresentados os principais métodos para avaliação de investimentos: (a) Valor Presente Líquido, (b) TIR; (c) VAUE; (d) *Payback*; e (e) Opções Reais.

2.1.5.1 Valor Presente Líquido (VPL)

O Método do Valor Presente Líquido caracteriza-se pela transferência de todos os valores incluídos no fluxo de caixa previsto para o investimento no início do projeto. O valor resultante desta operação serve como parâmetro de comparação entre as diferentes alternativas de investimento, considerando-se, atraente um projeto que apresente um VPL maior ou igual à zero. Os valores do fluxo de caixa são descontados utilizando-se a TMA, que representa a remuneração mínima aceita pelo capital investido. A equação 2.5 relaciona o VPL com o Fluxo de caixa (MOTTA; CALÔBA, 2002).

$$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} \quad (2.5)$$

Onde:

FC_t = fluxo de caixa;

i = TMA;

$t=[0, n]$ - o conjunto de períodos do projeto.

2.1.5.2 Valor Anual Equivalente Uniforme (VAUE)

O Valor Anual Uniforme Equivalente ou VAUE é um método de análise de investimentos que trabalha no conceito – como o próprio nome diz – de valor anual ou custo anual. O VAUE é particularmente recomendável para comparação de projetos com vidas diferentes, pois utiliza uma base de tempo anual para comparação (CASAROTTO FILHO; KOPITTKKE, 2000).

O método consiste em transformar um fluxo de caixa irregular em uma série uniforme equivalente, a uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA). Também é utilizado o termo Custo Anual Equivalente Uniforme (CAUE), onde são considerados apenas os custos,

excluindo as receitas (BLANK; TARQUIN, 1998; CASAROTTO FILHO; KOPITTKE, 2000). A fórmula do VAUE é apresentada a seguir na equação 2.6:

$$VAUE = VPL \times \frac{i \times (1+i)}{(1+i)^n - 1} \quad (2.6)$$

Onde:

VPL = o Valor Presente Líquido do fluxo de caixa;

i = a TMA do projeto;

n = o número de períodos do fluxo de caixa analisado.

O uso do VAUE ou CAUE para a Substituição de Equipamentos é interessante em função do formato em que ele apresenta os custos totais para o tomador de decisão. O CAUE equaciona os custos totais (aquisição, operação e manutenção) do equipamento na forma de um aluguel anual, isto é, o valor mínimo que a empresa deve cobrar pelo uso do equipamento. A comparação da evolução do aluguel em períodos diferentes e também contra equipamentos com vidas diferentes permite uma comparabilidade consistente entre as alternativas (BREALEY; MYERS, 2002; CASAROTTO FILHO; KOPITTKE, 2000; CHRISTER; WALLER, 1987; MOTTA; CALÔBA, 2002).

2.1.5.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)

Segundo Galesne, Fensterseifer e Lamb (1999) a Taxa Interna de Retorno (TIR) é uma taxa de desconto r^* que torna o valor presente líquido do investimento igual a zero. A taxa encontrada é a base de comparação com outros investimentos e com a taxa mínima de atratividade da empresa. A solução para chegar à TIR é uma função polinomial (ver equação 2.7).

$$\sum_{t=0}^n \frac{FC_t}{(1+r^*)^t} = 0 \quad (2.7)$$

Onde:

FC_t = o fluxo de caixa do projeto;

$t = [0, n]$ - o conjunto de períodos do projeto;

r^* = TIR do projeto.

Brealey e Myers (2002) citam o problema de múltiplas taxas de retorno. A fórmula da TIR é um polinômio, logo está sujeito à regra de Descartes. Quando o projeto tem mais de uma inversão de entrada/saída do fluxo de caixa, o mesmo pode ter mais de uma taxa de retorno. Apesar de matematicamente correto, não tem lógica econômica (BLANK; TARQUIN, 1998). A Figura 5 apresenta exemplos de gráficos VPL/Taxa de desconto de perfis de projetos com múltiplas taxas.

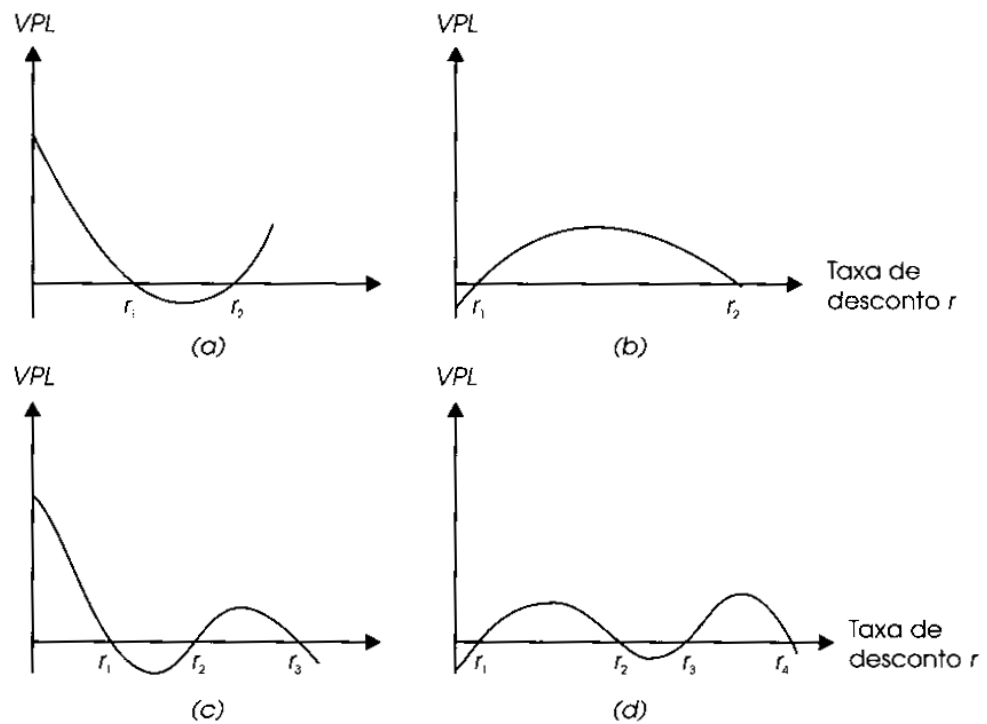


Figura 5: Múltiplas taxas de retorno

Fonte: Galesne, Fensterseifer e Lamb (1999, p. 81)

A TIR também assume que quaisquer fluxos de caixas futuros vão ser reinvestidos a mesma taxa de retorno obtida. Para reparar este problema, foram desenvolvidos, entre outros, a Taxa Interna de Retorno Integrada ou Modificada (TIRI ou TIRM). Estas consideram que a taxa de reinvestimento (taxa externa, exógena) pode ser diferente em relação à TIR do projeto. Para uma discussão mais detalhada pode-se consultar Casarotto Filho e Kopittke (2000).

2.1.5.4 Tempo de Recuperação de Capital (*Payback*)

O *Payback*, também conhecido como Método do Tempo de Recuperação do Capital, é muito utilizado nos meios empresariais principalmente pela sua simplicidade de cálculo, de acordo com Smart, Megginson e Gitman (2004). O *Payback* representa o intervalo de tempo para que o valor acumulado dos fluxos de caixa previstos iguale o investimento inicial. Depois de atingida esta igualdade e determinado o Tempo de Recuperação, o critério não reconhece nenhum outro fluxo de caixa. Despreza, portanto, eventuais receitas e despesas futuras que influenciam no retorno sobre o investimento. O *Payback* pode ser de dois tipos: com atualização ou sem atualização. O *Payback* trata igualmente todos os fluxos de caixa sem levar em conta o valor do dinheiro no tempo, ou seja, ignora o custo de oportunidade do investimento. Já o *Payback* Descontado resolve este problema determinando pelo momento em que os fluxos de caixa descontados igualam o valor presente do investimento inicial, ou seja, o período em que VPL se torna maior ou igual a zero (CASAROTTO FILHO; KOPITTKKE, 2000).

O método também considera o fator risco: entre várias alternativas consideradas rentáveis (pelo critério principal de rentabilidade, baseado no princípio da atualização), a alternativa com o menor tempo de recuperação do capital, em geral, terá um risco menor e tenderá, portanto, a ser a preferida (CASAROTTO FILHO; KOPITTKKE, 2000). Smart, Megginson e Gitman (2004) discordam no sentido que o *Payback* tem pouca relação com a maximização do valor do acionista. O método avalia os anos até o ponto de corte com o mesmo peso, e todos os anos subsequentes utilizam uma taxa de desconto infinita (igualando a um valor presente zero). Priorizam-se projetos de curto prazo em detrimento de projetos de longo prazo, de alto risco e alto retorno - prejudicando os resultados de longo prazo. Os gerentes de grandes empresas tendem a preferir o *Payback*, principalmente quando há uma grande rotatividade de funções ou *turnover*, pois, assim, conseguem rapidamente promoções e destacam suas reputações pelos resultados de curto prazo.

2.1.5.5 Opções Reais

Uma crítica ao método VPL é que este não capta as opções de um investimento, pois considera que o investimento é irreversível e estático. Um projeto ou investimento não tem apenas como fonte de valor os fluxos de caixa esperados, mas também as oportunidades futuras de investimento (DIXIT; PINDYCK, 1995). A Teoria das Opções, desenvolvida por

Black e Scholes (1973), pode ser utilizada para avaliar economicamente estas oportunidades, denominadas Opções Reais. Os trabalhos de Kester (1984) e Brennan e Schwartz (1985) foram os primeiros publicados sobre o assunto.

Segundo Alleman e Rappoport (2002), uma Opção Financeira é definida como o direito - mas não obrigação - de comprar (*call*) ou vender (*put*) uma ação/ativo financeiro a um preço determinado e fixo, durante um período limitado. Se a opção não é exercida, a perda é apenas o preço da opção. Ela é exercida quando a variação entre o preço fixado e o preço do ativo financeiro, no momento do exercício, é favorável em relação ao tipo de opção (acima do preço fixo para opções de compra e abaixo do preço para opções de venda). As Opções Reais seguem uma lógica semelhante, no sentido em que identificam opções em um projeto e seus preços de exercício. Se o futuro é favorável, a opção é exercida, caso contrário, a perda é apenas o custo de aquisição da opção. Luehrman (1998, p. 52) compara e apresenta uma analogia entre as Opções Reais e as Opções Financeiras (ver Figura 6).

Opções Reais	Opções Financeiras
Valor Presente Líquido dos ativos operacionais do projeto	Preço do ativo financeiro
Custo de aquisição dos ativos do projeto	Preço de exercício da opção
Período em que a decisão pode ser diferida	Tempo de expiração da opção
Custo de capital	Taxa livre de risco
Risco do projeto	Variância do retorno do ativo financeiro

Figura 6: Analogia entre Opções Reais e Opções Financeiras

Fonte: Adaptado de Luehrman (1998, p. 52)

Alleman e Rappoport (2002, p. 394) descrevem os tipos de Opções Reais de um projeto, apresentados na Figura 7.

Opção	Descrição
Diferimento	Aguardar um período para determinar melhor as incertezas e investir ou não
Abandono	Obter um valor de revenda ao abandonar o projeto
Interrupção	Interromper o projeto e reiniciar quando as condições forem mais favoráveis
Contração	Reduzir das atividades/capacidade caso as condições forem desfavoráveis
Expansão	Aumentar das atividades/capacidade caso as condições forem favoráveis
Troca	Trocar tecnologia em função das condições
Sinergia/crescimento	Oportunidades inter-relacionadas ao projeto

Figura 7: Descrição dos tipos de Opções Reais

Fonte: Adaptado de Alleman e Rappoport (2002, p. 394)

Galesne, Fensterseifer e Lamb (1999, p. 259) descrevem o seguinte exemplo para uma opção de expansão:

[...] considerem, por exemplo, um projeto de introdução de um novo produto no mercado, cuja demanda é incerta. O VPL calculado para determinado nível de demanda esperada para o novo produto é negativo. Deveria a empresa rejeitar o projeto? A resposta depende da volatilidade da demanda esperada. Suponha que a empresa decida não entrar nesse novo mercado, mas que algum concorrente o faça. Caso o mercado venha a crescer mais tarde, provavelmente a empresa não mais poderá entrar nesse mercado com sucesso, pois os concorrentes já terão estabelecido imagem da marca e lealdade dos clientes e serão os maiores beneficiados do crescimento futuro do mercado. O que ocorre nessa situação é que o projeto possui dois componentes: o primeiro é o projeto de lançamento do produto em si, e o segundo é a opção de expansão da capacidade de produção caso o mercado cresça, opção essa que tem valor positivo se existir a possibilidade de a demanda crescer. [...] O valor total do projeto original é, portanto, a soma de seu VPL mais o valor da opção de expansão associada ao mesmo. Se esse valor total fosse positivo, o projeto original deveria ser aceito (GALESNE; FENSTERSEIFER; LAMB, 1999, p. 259).

Segundo Galesne, Fensterseifer e Lamb (1999) não existe um método geral de avaliação de Opções Reais, a avaliação vai depender do tipo de opção e da área de aplicação. Os trabalhos de Alessandri et al. (2004), Bowe e Lee (2004), De Neufville, Scholts e Wang (2006), Garvin (2005), Rose (1998) e Zhao, Sundararajan e Tseng (2004) relatam aplicações recentes na área de transportes e infraestrutura.

2.1.5.6 Análise Crítica dos Métodos para Avaliação de Investimentos

Dos métodos revisados, conclui-se que o Valor Presente é o indicador mais apropriado para a tomada de decisão econômica do investimento. No caso da Substituição de

Equipamento, deve-se utilizar o VAUE por se tratar de uma comparação entre projetos com períodos diferentes (o uso do equipamento por um período). O uso da TIR é limitado em função dos problemas que a mesma tem e o payback não se aplica para Substituição, pois está se analisando o menor custo do equipamento em função do período utilizado e não o tempo que leva para cobrir o investimento feito. Não foi encontrado na literatura consultada o uso de Opções Reais para Substituição de Equipamentos.

2.1.5.7 Depreciação

O conceito mais generalista da depreciação é o decréscimo do valor das propriedades físicas devido ao tempo e uso do bem (FLEISCHER, 1973). Existem três tipos de depreciação que se inter-relacionam: (1) depreciação física; (2) depreciação contábil; e (3) depreciação econômica. O conceito contábil da depreciação estabelece que deve existir uma dedução anual no fluxo de caixa antes do imposto de renda (FCAI) tal que o efeito do tempo e uso do equipamento seja refletido no balanço anual da empresa. As deduções anuais devido à depreciação têm a intenção de se aproximar e equivaler-se à fração anual do gasto gerado pelo bem sobre a sua vida útil (HESS et al., 1973; SULLIVAN; WICKS; LUXHOJ, 2003). Um bem pode ser considerado depreciável quando:

1. É utilizado para gerar alguma renda;
2. Possui uma vida útil determinável;
3. Tende a se: deteriorar; exaurir; perder valor devido a causas naturais; ou torna-se obsoleto;
4. Não é considerado estoque, estoque em processo nem um ativo financeiro.

Além disto, o bem depreciável pode ser considerado tangível ou intangível. Máquinas, veículos, móveis são exemplos de bens tangíveis. Terrenos, apesar de se tratarem de bens tangíveis, não podem ser considerados bens depreciáveis, pois não é possível determinar sua vida útil. Bens intangíveis podem ser uma patente, um projeto ou franquias, por exemplo (SULLIVAN; WICKS; LUXHOJ, 2003).

Os métodos para depreciação mais comuns são (SULLIVAN; WICKS; LUXHOJ, 2003):

1. Método Linear;
2. Método da Soma dos Dígitos;
3. Método da Soma Inversa dos Dígitos;
4. Método por Unidades de Produção (Exaustão);
5. Método Exponencial.

A legislação federal (BRASIL, 1964; BRASIL, 1999) permite o uso do método linear para a depreciação contábil. A Secretaria da Receita Federal regulamenta e publica o prazo de vida útil admissível para cada tipo de bem. Em alguns casos é permitida a depreciação acelerada através da comprovação do uso mais intenso do bem. Para casos de exploração de minas, jazidas e florestas é permitido o uso do método por Unidades de Produção.

2.1.5.8 Imposto de Renda

O Imposto de Renda, em geral, incide sobre o lucro da empresa. Em termos contábeis, o lucro é definido como a diferença entre receitas e despesas tributáveis no período apurado. No Brasil, o imposto tende a oscilar na faixa entre 30% e 50% dependendo da política fiscal vigente (CASAROTTO FILHO; KOPITTKKE, 2000).

Em análises antes do IR, utiliza-se uma TMA antes do IR que é, via de regra, maior que a TMA depois do IR. Para simplificar uma análise de um projeto, podem-se utilizar apenas fluxos antes do IR (FCAI) e uma taxa mínima de atratividade (TMA) antes do IR. Este tipo de aproximação é válido para projetos envolvendo bens não depreciáveis e não há ganhos ou perdas de capitais relativos à retirada do bem, créditos tributários ou outros tipos de deduções (SULLIVAN; WICKS; LUXHOJ, 2003). A equação 2.8 determina a relação entre a TMA antes do IR e a TMA depois do IR.

$$TMA_{AI} \cong \frac{TMA_{DI}}{(1 - IR_{EFETIVO})} \quad (2.8)$$

Onde:

TMA_{AI} = TMA antes do IR;

TMA_{DI} = TMA depois do IR;

$IR_{efetivo}$ = Taxa do IR efetivo pago.

2.1.6 Substituição de Equipamentos

O conceito de Substituição de Equipamentos tem origem nos primórdios da Administração Científica. Os trabalhos de Taylor (1923) e Hotelling (1925) trataram originalmente do problema de Substituição de Equipamentos, utilizando como objetivo principal a maximização do Valor Presente de um único equipamento. Para isto, analisa-se o ciclo de vida do mesmo e determina-se a Vida Econômica - o ponto ótimo de substituição no período. Alchian (1958) comenta que os modelos de Substituição de Equipamentos priorizam a lógica de otimização econômica, ou seja, os equipamentos são substituídos quando o valor econômico do equipamento novo (custo inferior ou lucro superior) é superior ao auferido pelo equipamento atual. A análise financeira é incorporada aos cálculos como forma de considerar a disponibilidade de capital da empresa, bem como seu custo. Preinreich (1940) publicou uma definição do problema mais generalizada que os modelos de Taylor e Hotelling. Os modelos, apesar de matematicamente sofisticados, tinham pouca aplicação prática para a época, orbitando mais no campo teórico da problemática.

Segundo Dean e Smith (1955), somente em 1949 foram desenvolvidas aplicações práticas para o meio industrial, quando George Terborgh publicou o livro *Dynamic Equipment Policy*, decorrente de um estudo encomendado pela *Machinery and Allied Products Institute*. George Terborgh também desenvolveu o Sistema MAPI. O Sistema MAPI permitiu que as empresas determinassem a sua Política de Substituição trabalhando com um 'gradiente de inferioridade' onde é considerada a perda do lucro e o aumento do custo, em função da disponibilidade de equipamentos novos aperfeiçoados tecnicamente (FLEISCHER, 1973). Dean e Smith (1955) criticam o Sistema MAPI no sentido em que ele é aplicável apenas

quando considera uma série de simplificações que limitam o modelo. Os mesmos autores também comentam que o MAPI é limitado em relação ao fluxo de caixa descontado para comparação da alternativa de substituição com outras alternativas de investimento (por exemplo, aluguel do equipamento). Em 1956, foi realizada uma pesquisa encomendada pela *Machinery and Allied Products Institute* sobre o uso de técnicas para Substituição de Equipamentos (MAYER, 1960). Das 296 empresas pesquisadas, 42% utilizavam o *Payback*, 19% o Sistema MAPI, 8% o CAUE e 1% o VPL. Não foram encontrados, na bibliografia recente, trabalhos utilizando o Sistema MAPI. Esta constatação pode indicar que o sistema caiu em desuso e hoje se utiliza o método mais disseminado, o fluxo de caixa descontado (VPL e CAUE).

De acordo com Alchian (1958), com o desenvolvimento da Programação Dinâmica por Richard Bellman e posteriormente com os trabalhos de Stuart Dreyfus – ambos da *RAND Corporation* - foi possível aplicar o uso de modelos mais sofisticados com o uso de computadores. Além destes autores, pode-se se mencionar os modelos de programação dinâmica de Weingartner (1965) e de Hirohide (1965).

2.1.6.1 Fatores que conduzem à Substituição de um Equipamento

Moonitz (1956), Sullivan, Wicks e Luxhoj (2003) e Casarotto Filho e Kopittke (2000) citam diversos fatores que conduzem à substituição de um equipamento. Estes fatores podem ser resumidos e classificados em quatro tipos:

1. Desgaste – este se refere ao limite da Vida Econômica, manifestado em uma ou mais modalidades: (1) declínio da eficiência do equipamento; (2) redução da qualidade dos produtos e/ou serviços prestados; (3) aumento dos custos de manutenção/operação;
2. Obsolescência – equipamentos mais aperfeiçoados tecnicamente estão disponíveis no mercado, oferecendo: (a) melhoria da qualidade dos produtos fabricados e /ou serviços prestados; (b) prestação de serviços em melhores condições (a menores custos ou com menores prazos);
3. Exigências do mercado – tratam das modificações das condições do mercado, fazendo novas exigências em termos de produção e/ou serviços;

4. Vantagens exógenas – fatores de natureza financeira que podem determinar a substituição de um equipamento, mesmo que ele apresente boas condições para o uso, mas que tornam momentaneamente anti-econômico o uso daquele equipamento. Os fatores podem ser: (a) crédito facilitado e baixa taxa de juros nos empréstimos; (b) subsídios para aquisição, efeito ou isenções de impostos (ex: BNDES, programas de modernização); (c) oferecimento de equipamento novo em troca de produção/serviços (escambo).

Além destes fatores, Sullivan, Wicks e Luxhoj (2003) observam alguns cuidados a serem observados ao avaliar a substituição de equipamentos. Eles chamam a atenção para o reconhecimento e a irrelevância de decisões passadas. Isto é, qualquer tomada de decisão anterior ao estudo, mesmo que errada ou discrepante das condições atuais, deve ser considerada irrelevante para o estudo. Estas perdas ou erros são irrecuperáveis (*sunk costs*). Apenas fluxos presentes e futuros devem ser considerados para o estudo. Outro cuidado que se deve ter é ao avaliar o valor de revenda do equipamento. Deve-se utilizar uma perspectiva externa, uma visão de mercado, para avaliar o valor de revenda. O valor contábil ou também o de tabela não é necessariamente o mesmo que o mercado está disposto a pagar pelo equipamento. Acesso a mercados, liquidez dos mesmos, perspectivas econômicas presentes e futuras também impactam no valor de revenda. Scheuble Jr. (1955) observa que ainda é necessário considerar os fatores intangíveis no problema de substituição.

2.1.6.2 Vida Econômica

A Vida Econômica de um bem é caracterizada pelo ponto ótimo de substituição, isto é, o ponto em que o custo é mínimo. O VAUE ou CAUE é o método mais recomendado pela literatura para a determinação da Vida Econômica de um equipamento (ARDALAN, 2000; BLANK; TARQUIN, 1998; CASAROTTO FILHO; KOPITTKE, 2000; HESS et al., 1973; MOTTA; CALÔBA, 2002; SULLIVAN; WICKS; LUXHOJ, 2003). Isto se deve ao fato de que a determinação da Vida Econômica nada mais é do que a comparação de projetos com vidas diferentes.

O Custo Anual (CA) corresponde à soma do Custo de Operação e Manutenção (COM) com o Custo de Recuperação de Capital (CRC). O Custo Anual Uniforme Equivalente (CAUE) do ano t corresponde ao Custo Anual acumulado até o ano t menos o valor residual

do equipamento. As expressões são apresentadas nas equações 2.9, 2.10, 2.11 e 2.12, utilizando capitalização contínua.

$$COM_t = CO_t + CM_t \quad (2.9)$$

$$CRC_t = I_t - I_{t-1} * (1+i)^t \quad (2.10)$$

$$CA_t = CRC_t + CM_t \quad (2.11)$$

$$CAUE_t = \sum_{t=1}^t \frac{CA_t}{(1+i)^t} \quad (2.12)$$

Onde:

CO_t = Custo de operação no ano t ;

CM_t = Custo de manutenção no ano t ;

COM_t = Custo de operação e manutenção no ano t ;

I_t = Valor de mercado no ano t ;

i = taxa de desconto;

CRC_t = Custo de recuperação de capital no ano t ;

CA_t = Custo anual no ano t ;

$CAUE_t$ = Custo anual equivalente uniforme no ano t .

Em geral, as curvas possuem um comportamento exponencial (COM é crescente e CRC é decrescente). A Figura 8 apresenta um gráfico das curvas em função do tempo. O Ponto de Substituição ou Vida Econômica do equipamento ocorre quando $\frac{\partial CAUE_t}{\partial t} = 0$. Este é o modelo mais simples, considerando uma substituição idêntica com horizonte infinito. Os outros modelos são descritos adiante no texto.

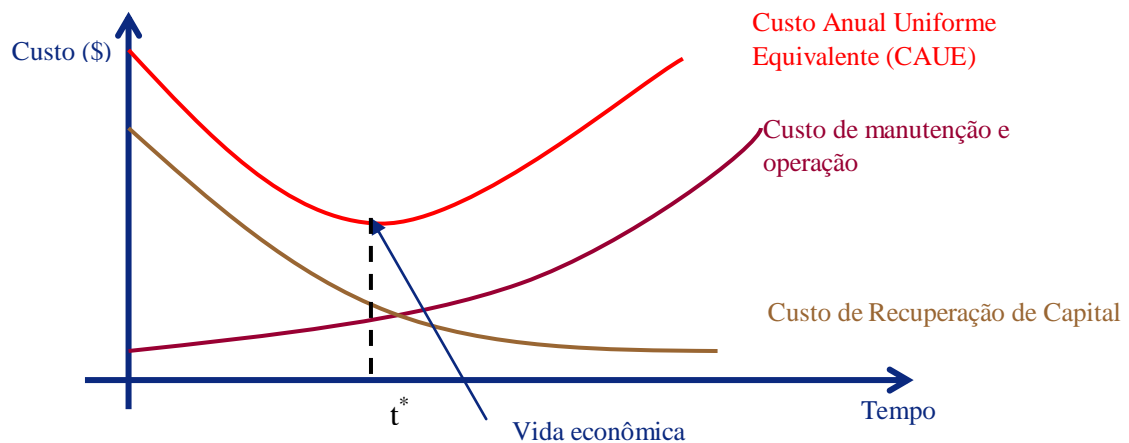


Figura 8: Vida Econômica de um equipamento

Fonte: Adaptado de Blank e Tarquin (1998)

Para o cálculo da vida econômica ter utilidade, é necessário estimar a mesma antes que atinja esta vida, para que se possa planejar a troca de equipamento. Isto gera, ao mesmo tempo, um problema, pois ainda não são conhecidos os gastos futuros que implicarão no fim da vida econômica. Logo, é preciso estimar e prever quanto irá gastar no futuro. A solução para este problema pode ser através do uso de técnicas de regressão (DETHOMAS, 1982; SULLIVAN; WICKS; LUXHOJ, 2003) como, por exemplo, Regressão Linear Simples, Regressão Linear Múltipla, Método *Delphi* e outras técnicas de *forecasting*.

2.1.6.3 Modelos de Substituição

Algumas considerações devem ser definidas antes de apresentar os modelos de substituição. O bem atual, considerado para substituição, é denominado Defensor, enquanto o novo bem que pode substituir o atual é o Desafiante. O horizonte do tempo de análise pode ser definido como finito ou infinito. Quando a necessidade do uso do bem é limitada, a análise, em geral, é finita. Quando o uso do bem é por tempo indeterminado, considera-se um horizonte de tempo infinito (HARTMAN, 2005). Casarotto Filho e Kopittke (2000) resumem em cinco principais tipos de casos de modelo de substituição, conforme apresentado na Figura 9.

Modelo	Contingências da substituição	Custos Envolvidos	Comparação com
Baixa sem reposição	Rentabilidade	Custos de operação e manutenção, de perda de capacidade e de valor residual	Não há comparação
Substituição idêntica	Deterioração	Idem acima	Equipamento novo idêntico
Substituição não idêntica	Mudança tecnológica isolada	Idem acima	Equipamento novo não idêntico
Substituição com progresso tecnológico	Mudança tecnológica contínua com obsolescência de custos	Idem acima	Equipamento novo não idêntico com aperfeiçoamento tecnológico
Substituição estratégica	Mudança tecnológica contínua com obsolescência de custos e de mercado	Idem acima mais custos de perda de competitividade	Idem acima

Figura 9: Comparação entre os tipos de modelos de substituição

Fonte: Adaptado de Casarotto Filho e Kopitke (2000)

Baixa sem reposição: este é o caso mais simples, onde não é desejável a substituição do ativo, pois este será mantido apenas enquanto o seu VPL for positivo, isto é, enquanto o ativo for rentável. O cálculo do ponto de baixa é a partir do cálculo do VPL ano a ano, até que o $VPL_i < 0$. Neste caso, o ativo deve ser abandonado no período $i-1$.

Substituição idêntica: caso onde se determina a Vida Econômica do defensor, o ponto de substituição do bem velho por outro bem idêntico novo, minimizando os custos anuais equivalentes uniformes (CAUE). Uma vez determinada a Vida Econômica, o bem deve ser substituído continuamente, sempre que alcançar a idade no período determinado. Caso a análise iniciar com um defensor com idade diferente de zero, deve-se conduzir uma análise marginal para determinar o início do ciclo de substituição.

Substituição não-idêntica: no caso da substituição não-idêntica, primeiramente compara-se a Vida Econômica do Defensor com a do Desafiante. Caso o Desafiante tenha um CAUE menor que o Defensor, parte-se para uma análise marginal para determinar a partir de que ano deve o Desafiante substituir o Defensor.

Substituição com progresso tecnológico: semelhante à substituição não-idêntica, neste caso se incorpora as vantagens do progresso tecnológico a rentabilidade do Desafiante.

Substituição estratégica: na substituição estratégica, são incorporados fatores mercadológicos, estratégicos e intangíveis que beneficiem a substituição do bem velho pelo novo.

2.1.6.4 Substituição de Frotas de Veículos

Smith (1957) foi um dos primeiros a publicar um trabalho aplicado na área de Substituição de Frotas de veículos. O estudo avaliou não só a política ideal, mas as características ideais dos veículos a serem utilizados. Foi analisada uma amostra de 240 caminhões-tratores para determinar o custo de operação/manutenção. Smith (1957) enfatiza que apenas os custos que variam com o tempo e/ou uso devem ser considerados na determinação da política. Para a operação, foi considerado apenas o custo do combustível. A vida econômica ficou determinada entre 3 e 4 anos. Foi observado pelo autor que, dentro de uma faixa de tolerância de erro entre 2,2 e 4,4 anos, o custo adicional ao trocar fora do ponto médio não passou de US\$ 50 por veículo, indicando que a política tem uma certa tolerância para a troca fora do ponto 'ideal'. Smith (1957) observa que, por ser um ativo de alto valor, a política de substituição tem que estar associada ao planejamento financeiro da empresa, pois para empresas em racionamento de capital, uma distribuição otimizada das substituições ao longo dos períodos é relevante.

Eilon, King e Hutchinson (1966) desenvolveram uma política para uma frota de 140 caminhões de uma empresa britânica. O estudo tinha duas questões centrais: (1) qual é a vida econômica do veículo; e, (2) deve-se utilizar a mesma política para toda frota ou cada veículo deve ter uma política individual de substituição. O trabalho utilizou um modelo linear para o custo de manutenção e um modelo exponencial para o valor residual. Eilon, King e Hutchinson (1966) também observaram que só devem ser considerados os custos que variam com o tempo e uso do veículo, pois custos como *overhead* administrativo fixo não precisam ser avaliados. Foi concluído, no trabalho, que a taxa de desconto tinha pouca influência na vida econômica do veículo e o que mais influenciava eram as leis tributárias em que a empresa se enquadrava. A vida econômica da frota foi avaliada em 7 anos, na média. O uso de uma política individual ou geral depende do custo em administrar as informações necessárias para o controle individual do veículo. A solução intermediária proposta foi de uma classificação em subfrotas 'boas' (baixo custo de manutenção) e 'ruins' (alto custo de manutenção).

Taylor (1969) apresenta um modelo onde a Política de Substituição é determinada pelos parâmetros mencionados e o exemplo de aplicação utilizando os dados do estudo de Eilon, King e Hutchinson (1966). O uso de uma política única para a frota é criticado e sugere que se deve avaliar cada veículo em função do custo de manutenção futura esperada. O indicador apropriado seria uma função dos parâmetros custo de manutenção e da idade. No estudo não foi considerada a taxa de desconto e utilizou-se um modelo linear para determinar o custo de manutenção.

Avramovich et al. (1982) descrevem um Sistema de Apoio à Decisão utilizando Programação Linear para determinar a substituição de uma frota de vans. O modelo indica o *mix* ideal de substituição e relata o impacto financeiro para a empresa em função da política adotada.

Waddell (1983) relata o uso de um sistema computacional para determinar a Política ideal para uma frota de 1500 carros de passageiros e 3800 caminhões. Além de considerar os custos de manutenção em função da idade, foram considerados os custos de licenciamento e depreciação. Os veículos foram agrupados em função da quilometragem, idade e tipo. É apresentado um modelo de programação dinâmica determinístico. O modelo é aplicado em um veículo 'médio' conforme a classificação utilizada.

Vemuganti, Oblak e Aggarwal (1989) desenvolveram um modelo de redes utilizando o método Simplex para a Substituição de Frota. O modelo considera um horizonte finito, tamanho de frota variável e com limite no orçamento anual. Posteriormente outros modelos mais aperfeiçoados foram desenvolvidos, pode-se citar entre outros, os trabalhos de Karabakal, Lohmann e Bean (1994); Navon e Maor (1995); Kabir (1996); Scarf e Boamura (1999); Di e Hauke (2000); Knasnabis, Alasaidi e Ellis (2002) e Pinar e Hartman (2004). Os modelos desenvolvidos nestes trabalhos apresentam modelagens sofisticadas, mas não consideram múltiplos critérios de decisão e/ou intangíveis para a determinação da política.

A partir dos trabalhos revisados, pode-se concluir que os estudos recentes de Substituição de Frota têm focado nas questões de frotas com tamanho (número de veículos) variável, de limites de orçamento e horizontes finitos. Os trabalhos de substituição mais antigos eram estáticos e utilizavam horizontes infinitos. Os modelos mais recentes utilizam Sistemas de Apoio à Decisão, Programação Dinâmica ou Linear e consideram incerteza. Em alguns trabalhos, foi observado que outros fatores devem ser considerados, como impostos,

características técnicas dos veículos, financiamento, limites orçamentários e intangíveis para a determinação da política ideal. Mesmo assim, os trabalhos analisados não sugerem métodos estruturados para a avaliação de intangíveis. Neste contexto, o Apoio à Decisão Multicritério, apresentado a seguir, pode fornecer esta estrutura para o problema de substituição de frotas.

2.2 APOIO À DECISÃO MULTICRITÉRIO

Antes do desenvolvimento de Apoio à Decisão Multicritério ou *Multiple Criteria Decision Aid* (MCDA), a definição da melhor solução ou decisão ótima era a partir de uma única perspectiva e com um único objetivo de maximização de valor ou utilidade (ROY; VINCKE, 1983). Considerando o contexto de análise de investimentos, a Análise Multicritério trata de resolver o conflito das considerações de atributos monetários com os atributos não-monetários no apoio à tomada de decisão. Pode-se definir não-monetário como tudo aquilo em que não há um mecanismo formal de mercado que estabeleça seu valor econômico (SULLIVAN; WICKS; LUXHOJ, 2003).

Clemen (1996) afirma que existem quatro fontes de dificuldades para a tomada de decisão: (a) complexidade; (b) incerteza; (c) múltiplos objetivos; e, (d) múltiplas perspectivas. Roy e Vincke (1983) definem como um problema de decisão aquele em que existe um conjunto de ações potenciais (possíveis soluções, decisões) entre as quais se pode selecionar:

- Uma única ação considerada ótima;
- Um subconjunto das melhores soluções;
- Uma lista ordenada do conjunto partindo da melhor alternativa até a pior ou vice-versa.

Os métodos MCDA seguem, em geral, 4 passos, de acordo com Guitouni e Martel (1998): (1) estruturar o problema de decisão; (2) articular e modelar as preferências; (3) agregar as alternativas preferidas; (4) apresentar resultados e recomendações.

2.2.1 Critérios de Decisão

A escolha dos critérios de decisão para julgar um problema de decisão é uma etapa importante da MCDA. Sullivan, Wicks e Luxhoj (2003) definem quatro requisitos para os critérios de decisão a serem utilizados em uma análise: (1) os critérios devem diferenciar-se

em pelo menos duas alternativas – o critério não pode ter o mesmo valor para todas as alternativas de decisão; (2) cada critério deve capturar uma dimensão única do problema de decisão, isto é, critérios são independentes e não-redundantes; (3) os critérios devem, no conjunto, ser suficientes para resolver o problema de decisão; e (4) as diferenças dos valores que cada critério podem assumir devem ser significativas para distinguir as alternativas de decisão.

Sullivan, Wicks e Luxhoj (2003) ainda complementam que o conjunto de critérios é definido subjetivamente pelo consenso do grupo. Os critérios são influenciados pelo tipo de problema de decisão e pela intuição de quais critérios podem indicar as diferenças relevantes entre as alternativas de decisão.

O processo de definição do número de critérios deve levar em conta o uso do bom senso, pois, um grande número de critérios torna a análise complexa e de difícil visualização. Por outro lado, o uso de poucos critérios na tomada de decisão pode limitar a capacidade de discriminação entre as alternativas.

2.2.2 *Trade-offs* e Funções de Valor

Segundo Keeney e Raiffa (1976), o problema do decisor é, na sua essência, o *trade-off* entre alcançar um objetivo contra outro objetivo. A questão do *trade-off* requer um julgamento subjetivo das preferências do decisor, avaliando as alternativas possíveis. Considerando a_i como uma alternativa possível e o conjunto A como todas as alternativas possíveis, cada a_i vai gerar um nível de valor x_i para um conjunto de atributos X . Como cada x é, em geral, medido em unidades diferentes, é necessário definir uma função de valor v com a propriedade apresentada na equação 2.13:

$$v(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq v(x_1', x_2', \dots, x_n') \quad (2.13)$$

Onde:

v = função de valor

x_i = atributo i

O símbolo \geq significa ‘preferido ou indiferente a’. Esta função é determinada a partir das preferências do decisor e serve para comparar diferentes atributos indiretamente. O objetivo do decisor passa a ser escolher a do conjunto A para maximizar v . Para cada a existe uma combinação de x_i que se pode representar como um vetor \mathbf{x} . Considerando o vetor $\mathbf{x}'=(x_1',x_2',\dots, x_n')$ e um vetor $\mathbf{x}''=(x_1'',x_2'',\dots, x_n'')$, diz-se que \mathbf{x}' domina \mathbf{x}'' quando: (a) $x_i' \geq x_i''$ para todo i ; e, (b) $x_i' > x_i''$ para alguns i . Ou seja, uma alternativa domina a outra se ela tiver todos os atributos x_i no mínimo iguais à dominada e pelo menos um atributo maior que a alternativa dominada. As alternativas a_i que não forem dominadas por outra alternativa vão compor a Fronteira Eficiente do conjunto A , como pode ser visto na Figura 10. Também se utiliza o termo *Pareto* Eficiente para este subconjunto ótimo de A (KEENEY; RAIFFA, 1976).

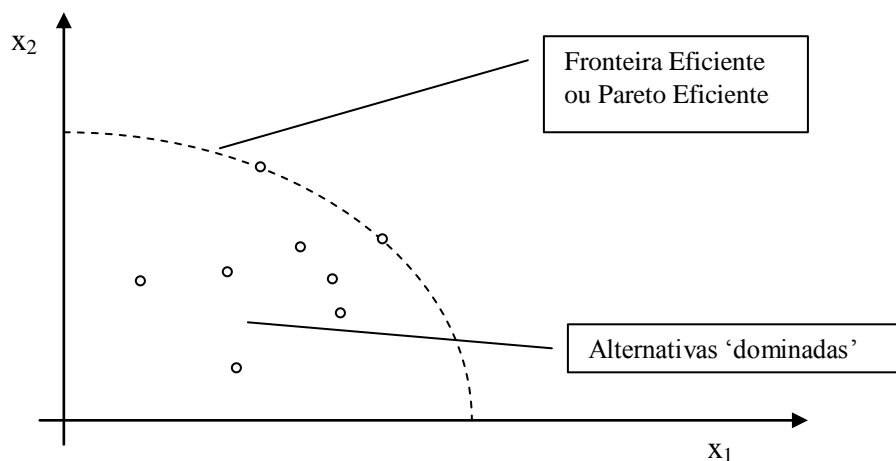


Figura 10: Fronteira Eficiente para Dois Atributos

Fonte: Adaptado de Keeney e Raifa (1976, p. 71)

Os vetores considerados indiferentes para o decisor estão localizados na mesma Curva de Indiferença. A Curva de Indiferença ou Superfície de Indiferença é determinada pela taxa de substituição do decisor. Cada indivíduo pode ter uma taxa marginal de substituição diferente, isto vai depender das suas preferências (COPELAND; WESTON; SHASTRI, 2005). A Figura 11 apresenta um exemplo de curvas de indiferença de dois indivíduos com taxas de substituição diferentes.

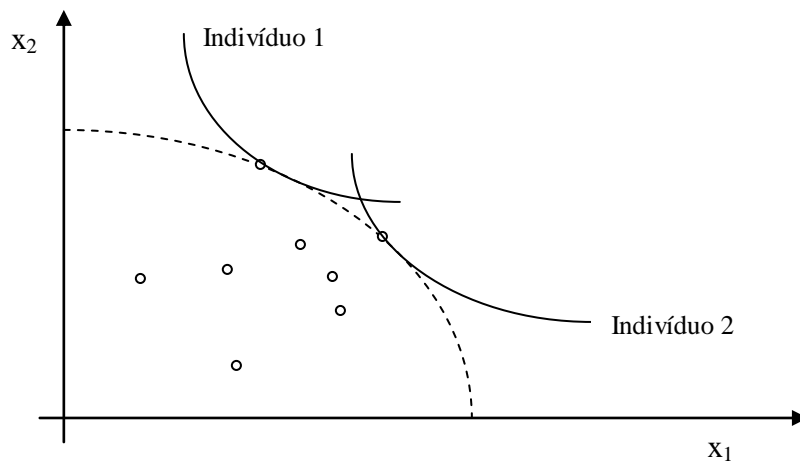


Figura 11: Curvas de Indiferença para Dois Indivíduos

Fonte: Adaptado de Copeland, Weston e Shastri (2005, p. 8)

A taxa marginal de substituição define entre as alternativas dominantes, aquela que será selecionada. Keeney e Raiffa (1976) apresentam um caso especial que é a Taxa de Substituição é Constante ou Curvas de Indiferença são Lineares. A curva é dada pela Equação 2.14:

$$v(x, y) = x + \lambda y \quad (2.14)$$

onde:

λ = taxa de substituição linear

x = atributo x

y = atributo y

A taxa de substituição linear é utilizada para modelos aditivos, como o Modelo MAUT e o AHP, apresentados a seguir.

2.2.3 *Multiattribute Utility Theory (MAUT)*

Segundo Casarotto Filho e Kopittke (2000, p. 277), o método MAUT é “a sistemática mais simples, consistindo em atribuir pesos aos diversos critérios e notas a cada

alternativa em todos os critérios”. O MAUT cria um *score* ponderado para cada critério, sendo que a alternativa escolhida será aquela que obtiver o maior somatório. O MAUT tem como vantagem a sua transparência e simplicidade. Ele também permite o desenvolvimento de cenários e alterações nos pesos dos critérios e o próprio decisor pode operar o modelo sem o uso de ferramentas computacionais sofisticadas. Por outro lado, os resultados dos *scores* ponderados fogem da sensibilidade do decisor e a manipulação sutil dos pesos pode escapar da percepção do decisor.

2.2.4 Analytical Hierarchy Process (AHP)

O método AHP, desenvolvido originalmente por Thomas Saaty (1990), é uma ferramenta de auxílio à decisão multicritério. Esta se baseia em três princípios, segundo Casarotto Filho e Kopittke (2000): (a) decomposição, (b) julgamentos comparativos e (c) síntese das prioridades. O AHP tem como vantagem não precisar de um escalonamento numérico, pois as comparações são feitas de forma relativa entre as alternativas, isto é, compara-se a preferência do decisor par-a-par. A Figura 12 apresenta a árvore de decomposição do AHP.

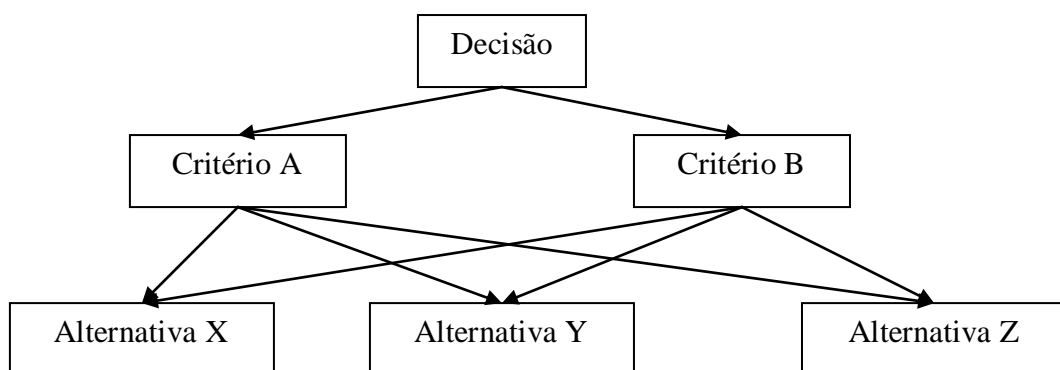


Figura 12: Árvore de Decomposição AHP

Fonte: Casarotto Filho e Kopittke (2000)

O AHP trabalha em uma escala de 1 a 9 para os julgamentos comparativos entre as alternativas para cada critério, onde 1 significa igualmente importante e 9 seria que o decisor prefere nove vezes mais uma alternativa frente à outra. Por exemplo, o decisor dá uma nota 7 de preferência a Alternativa X frente à Alternativa Y no Critério A. Logo, a preferência

recíproca da Alternativa Y frente à Alternativa X no Critério A é 1/7. A partir das notas do decisor para cada alternativa se chega a um Vetor de Prioridade das Alternativas, que é cruzado com o Vetor de Prioridade dos Critérios (peso dado pelo decisor). Com o cruzamento dos dois vetores Peso versus Valor se chega a uma Matriz de Julgamentos, calculando o seu autovetor (com fim de normalização da matriz), chegando a um somatório ponderado e calculando o *score* de cada alternativa (CASAROTTO FILHO; KOPITTKKE, 2000).

Vaidya e Kumar (2006) apresentam os passos básicos da metodologia AHP:

1. Defina o problema;
2. Identifique os objetivos, atores, *inputs* e *outputs*;
3. Identifique os critérios que influenciam o problema;
4. Estructure o problema em uma hierarquia (objetivo, critérios, subcritérios e alternativas);
5. Compare cada elemento no nível correspondente e calibre em uma escala numérica. Isto requer $n(n-1)/2$ comparações, onde n é o número de elementos;
6. Calcule o autovetor máximo, índice de consistência (CI), razão de consistência (CR) e normalize os valores para cada critério/alternativa;
7. Se o autovetor máximo, CI e CR forem satisfatórios, a decisão é tomada com base nos valores normalizados. Caso não seja satisfatório, volte para o passo 5 e repita até que os valores estejam na faixa desejada.

Os mesmos autores comentam que o AHP é utilizado em diferentes campos de aplicação. As áreas de aplicações do AHP, entre outras, são: (a) seleção; (b) avaliação; (c) benefício/custo; (d) priorização; (e) pesquisa e desenvolvimento; (f) alocação de recursos; (g) tomada de decisão; e (h) *forecasting*.

O AHP tem como vantagem uma flexibilidade natural em se acoplar a outras ferramentas de decisão. Encontra-se na literatura o uso do AHP em conjunto com Programação Linear (GHODSYPOUR; O'BRIEN, 1998), Redes Neurais (KUO; CHI; KAO, 2002), *Fuzzy Theory* (KUO; CHI; KAO, 2002), *Data Envelopment Analysis* (SARKIS, 1997; YANG; KUO, 2003), Programação por Objetivos (SCHNIEDERJANS; WILSON, 1991) ou

mesmo a combinação de múltiplas ferramentas com o AHP (KAHRAMAN; ERTAY; ZKAN, 2006).

2.2.5 Modelos AHP/QFD

O uso combinado do *Quality Function Deployment* (QFD) com AHP permite a avaliação, identificação e priorização de atributos, demandas e/ou especificações. Ele é particularmente útil para a identificação de preferências do cliente, relacionando estas preferências com os atributos do produto, processo ou serviço. Desenvolvido no Japão no final dos anos 60, o Desdobramento da Função Qualidade ou *Quality Function Deployment* é, segundo Sullivan (1986), uma ferramenta para traduzir as especificações do cliente em especificações técnicas para cada estágio do desenvolvimento do produto e processo (ex: estratégia de marketing, planejamento, design e engenharia, prototipação, processos de produção, vendas). Ribeiro, Echeveste e Danilevicz (2001, p. 7) apresentam a seguinte definição:

[...] o QFD captura as necessidades dos clientes e conduz esta informação ao longo de todo o processo produtivo de maneira a entregar novamente ao cliente um produto/serviço conforme desejado, produto este expressado através de requisitos de qualidade. Além disto, o trabalho é desenvolvido por equipes multifuncionais, onde tem-se um representante de cada setor que participa do processo em desenvolvimento (RIBEIRO; ECHEVESTE; DANILEVICZ, 2001, p. 7).

Segundo Chan e Wu (2002), as aplicações do QFD são das mais variadas e o potencial de aplicação do mesmo é amplo. O QFD tem sido utilizado para desenvolvimento de produto, gestão da qualidade, planejamento, design, engenharia, desenvolvimento de equipes, tomada de decisão, custeio de produtos/processos e outros.

Na literatura encontram-se algumas aplicações do AHP/QFD: priorização dos requisitos demandados para casas pré-fabricadas (ARMACOST et al., 1994); melhoria da qualidade do ar no *College of Business* na San Jose University (PARK; KIM, 1998); localização de instalações (CHUANG, 2001); estratégia de marketing (LU; MADU, 1994); design de produto (KWONG; BAI, 2003); seleção de *workstations* (FOGLIATTO; GUIMARAES, 2004). Ho, Lai e Chang (1999) apresentam um modelo que utiliza o *Nominal Group Technique* (NGT) para capturar as informações da equipe de desenvolvimento e utilizam o AHP/QFD para determinar os critérios e pesos de decisão.

2.3 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS E CUSTOS DE ÔNIBUS

Neste item é apresentada uma breve revisão sobre características e custos de ônibus. Esta revisão é baseada no livro de Valente, Passaglia e Novaes (2003).

2.3.1 Tipos de Ônibus

Considerando o aspecto tamanho e capacidade, o ônibus pode ser de quatro tipos (VALENTE; PASSAGLIA; NOVAES, 2003):

1. Microônibus/Lotação: utilizado para ligação entre dois pólos de uma mesma área urbana. O numero de paradas intermediárias é pequeno. É utilizado também como circular em áreas comerciais e indicado para demandas pequenas (até 1000 passageiros/hora);
2. Ônibus convencional: versátil, pode ser utilizado para demandas menores ou maiores, através da adoção de medidas de operação complementar, indicado para demandas médias (1000-9000 passageiros/hora);
3. Ônibus de grande porte (articulado): deve ser utilizado em linhas de grande demanda. Exige um investimento inicial elevado e o custo por passageiro transportado é igual ou inferior ao do ônibus convencional e o rendimento energético unitário é melhor. O tratamento viário dos itinerários deve incluir traçados favoráveis à circulação de veículos de grandes dimensões;
4. Ônibus rodoviário: para uso urbano, pode ser utilizado para linhas especiais (seletivas) com um conforto superior ao ônibus convencional, mas restringindo o transporte de passageiros em pé.

Além destes quatro tipos básicos, as fabricantes de chassis no Brasil vêm desenvolvendo novos tipos que não se enquadram nestas categorias. Por exemplo, a fabricante de chassis Volvo possui no mercado ônibus bi-articulados (VOLVO, 2006). A Agrale desenvolveu um modelo de tamanho intermediário entre o microônibus e o ônibus convencional, denominado *Midibus* (AGRALE, 2006).

2.3.2 Características Técnicas de Chassis e Carroceria

Valente, Passaglia e Novaes (2003) apresentam as principais características técnicas do chassi dos veículos:

- relação potência/peso;
- torque;
- tipo de tração;
- relação de transmissão;
- tipo de pneumático;
- tipo de motor (turbo, eletrônico e outros);
- manobrabilidade;
- tipo de composição (simples, articulado ou combinado);
- distância entre eixos;
- capacidade de subida de rampa;
- peso bruto total;
- carga líquida, capacidade de passageiros;
- círculo de viragem;
- tipo de suspensão;
- autonomia (combustível);
- sistema de freios.

Além destas, com base nas observações realizadas neste estudo, outras características de chassis podem ser consideradas:

- tipo de combustão (diesel, biodiesel, GNV, outros);

- posição do motor (dianteiro, traseiro, central);
- comprimento;
- sistema de ventilação;
- tipo de direção (fixa ou escamoteável).

As principais características técnicas das carrocerias de ônibus urbanos são:

- desnível do corredor interno;
- largura das portas;
- porta de acesso para portadores de necessidades especiais;
- formato da janela dianteira;
- material utilizado na janela traseira;
- forma de fixação dos vidros;
- formato das janelas laterais;
- material utilizado no teto;
- tipo de assento;
- tipo de letreiro;
- tipo de retrovisor;
- tipo de assoalho.

2.3.3 Custos de Ônibus

Alvarenga e Novaes (2000) descrevem os itens de custo e estrutura de custo dos ônibus e outros tipos de veículos. Os principais custos diretos que não variam com a quilometragem percorrida são: (a) depreciação do veículo; (b) remuneração do capital; (c) salário de motoristas e ajudantes/cobreadores; (d) cobertura de risco (seguro ou auto-seguro);

(e) licenciamento. Os itens de custo que variam com a quilometragem percorrida pelo ônibus são: (a) combustível; (b) lubrificantes – óleo do motor, transmissão e outros; (c) manutenção; (d) material rodante – pneus, câmaras e recapagens.

O combustível é o gasto mais significativo do custo de operação. O consumo km/l é influenciado por diversos fatores externos ao veículo. Habilidade do motorista, condições da via, tráfego e carregamento de passageiros são alguns dos fatores principais. Sempre que possível, deve-se isolar estes fatores para a avaliação entre veículos em condições diferentes de operação. A determinação do custo de combustível se dá pela medição amostral do consumo e da quilometragem, calculando-se uma média (pode ser por diferentes intervalos de tempo) e utilizando o preço unitário do combustível. Ex: considerando R\$ 1,90 o preço do litro do óleo diesel, com um consumo médio de 2 km/l o custo por km fica igual a $1,90 / 2,00 = R\$ 0,95 / km$.

O custo de lubrificação é composto pelos lubrificantes em si, mão-de-obra, filtros e outros. Tendo o intervalo de troca para cada sistema que necessita de lubrificação (motor, diferencial, câmbio automático, etc.), calcula-se o custo de uma troca e divide-se pelo intervalo de troca. Ex: a um preço de R\$ 14,80 por litro, com um intervalo de troca de 30.000 km e uma capacidade de 5 litros o custo por km do óleo do câmbio automático sai por $(14,80 * 5) / 30000 = R\$ 0,00246/km$.

O cálculo do custo de manutenção tem uma complexidade maior, pois é necessária uma apropriação correta dos custos, o que depende muito do sistema de custeio da empresa. Bornia (2002) apresenta metodologias adequadas para o cálculo do custo de manutenção. O custo de manutenção cresce com o tempo e quilometragem rodada, requerendo um controle mais detalhado que os custos citados anteriormente. Simplificando, os custos de manutenção são: (1) a hora de mão-de-obra direta e indireta; (2) custos com a oficina (instalações, ferramentas); (3) serviços externos/especiais; (4) custo de aquisição e estocagem de peças; e (5) o valor de compra das peças.

Para calcular o custo do material rodante de uma forma simples, deve-se medir a duração média de um pneu, considerando as recapagens. Com o preço de compra, o custo das câmaras, recapagens e o número de pneus no veículo se obtém o custo com material rodante.

3 SISTEMÁTICA PROPOSTA PARA APOIAR O DESENVOLVIMENTO DE POLÍTICAS DE SUBSTITUIÇÃO DE FROTAS ÔNIBUS PARA TRANSPORTE PÚBLICO URBANO

A sistemática proposta neste estudo se diferencia dos métodos revisados na literatura na medida em que integra critérios econômicos e não econômicos e detalha os dados e procedimentos necessários para prover os elementos de informação de uma Política de Substituição de Frotas de Ônibus Urbanos. As etapas de implementação são apresentadas no fluxograma na Figura 13.

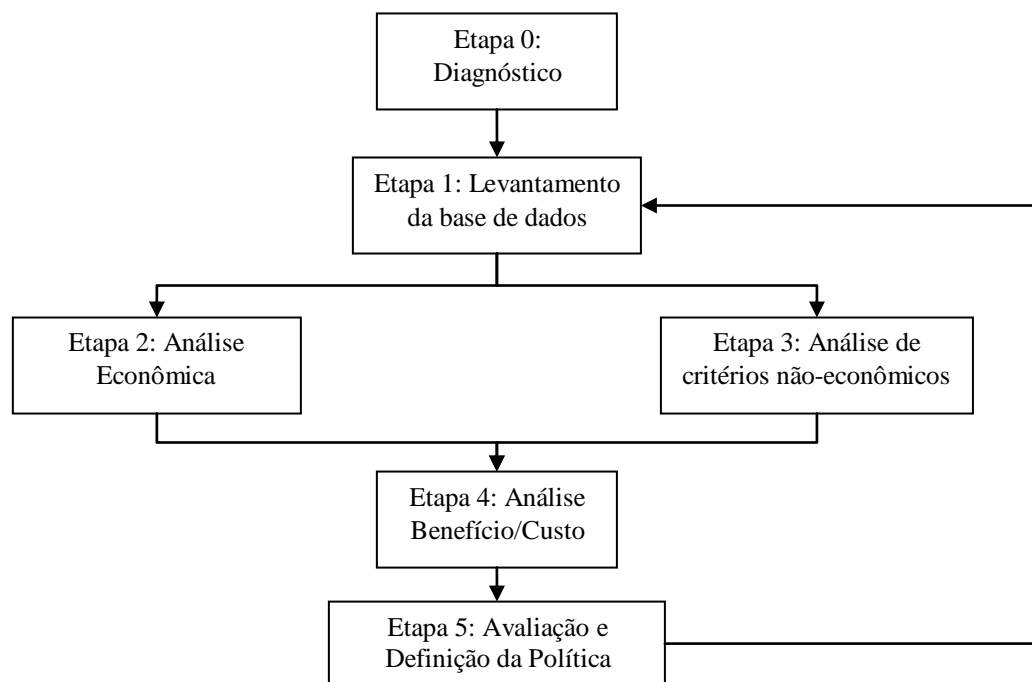


Figura 13: Sistemática Proposta

As etapas 2 e 3 podem ser conduzidas em paralelo, sendo que o resultado destas fornecerá as informações necessárias para a etapa 4. O detalhamento de cada etapa é apresentado a seguir.

3.1 ETAPA 0: DIAGNÓSTICO DA EMPRESA

Nesta etapa o objetivo principal é o de familiarizar pesquisadores com o problema através da apreciação dos principais atores, sistemas e variáveis envolvidas. Trata-se de um diagnóstico geral da empresa, da frota e dos setores envolvidos com a operação e manutenção

da frota de veículos. Thiollent (1997) sugere nesta etapa (denominada pelo mesmo autor de Fase Exploratória) o uso de entrevistas abertas, questionários, seminários e outros instrumentos de coleta de dados.

Também é necessário um preparo do ambiente. A introdução de um método novo na empresa, seja qual for, precisa ser incorporado e adaptado às pessoas que são afetadas pelo mesmo. É necessário informar, esclarecer para os colaboradores o que será feito, como será feito e os resultados prováveis do estudo.

A partir de uma compreensão geral da empresa, parte-se para o mapeamento dos processos críticos que afetam o equipamento estudado. Para uma empresa de transporte público urbano por ônibus, estes processos devem ser os de operação, manutenção e planejamento. Para casos de terceirização destes processos, deve-se estudar os processos na empresa terceirizada e a gestão e sistemas de controle dos contratos desta terceirização. O mapeamento de processos é a principal ferramenta para compreensão do processo, através de uma representação visual das diversas atividades da organização. Nesta etapa não há necessidade de um detalhamento profundo, pois isto será conduzido na etapa seguinte.

3.2 ETAPA 1: LEVANTAMENTO DA BASE DE DADOS

Nesta etapa o foco é identificar e levantar os principais dados que servirão de base para a análise quantitativa e qualitativa. Os dados devem ser relevantes quanto à frota, às atividades relacionadas a ela e às informações estratégicas e econômicas do ambiente da empresa. O tempo e a complexidade desta etapa dependem da disponibilidade, histórico e confiabilidade destes indicadores no banco de dados da empresa.

3.2.1 Caracterização da Frota

A caracterização da frota é importante no sentido de identificar e categorizar os veículos em diferentes tipos e características. A partir desta categorização pode-se dividir a frota em diversas subfrotas, decompondo a análise e permitindo a comparação de diferentes tipos de veículos.

O ônibus urbano é um conjunto de dois componentes: chassi e carroceria. As empresas ao adquirir um ônibus compõem a partir de um chassi e de uma carroceria, em geral

de fabricantes diferentes. O fabricante da carroceria é responsável pela montagem final do chassi na carroceria do ônibus.

Uma classificação para definição de subfrotas deve ser composta pelo menos pelo ano de fabricação (e ano de início de operação, caso seja diferente), modelo de chassis e modelo de carroceria. Algumas características especiais também devem ser levantadas, principalmente aquelas que afetam significativamente o desempenho econômico/operacional como o ar-condicionado, tipo de câmbio, potência do motor, entre outros. É importante considerar que com o avanço tecnológico dos ônibus, novas características técnicas devem ser consideradas.

3.2.2 Análise da Manutenção

Dentre os diversos dados de manutenção, destacam-se o controle de gastos em peças e as horas de mão-de-obra consumidas. Estes dados serão utilizados para construir os fluxos de caixa para análise econômica e determinação da Vida Econômica. O ideal é que se possa rastrear o consumo destes itens individualmente por veículo, ou não sendo possível, pelo menos por tipo de veículo.

3.2.3 Levantamento de outros Dados Relevantes

Além dos dados mencionados, deve-se buscar outros que a equipe considerar importante para as etapas posteriores.

3.3 ETAPA 2: ANÁLISE ECONÔMICA

Na análise econômica, tem-se como objetivos o cálculo do Custo Anual Equivalente Uniforme (CAUE) ano-a-ano de cada subfrota/veículo e a determinação da Vida Econômica para Substituição Idêntica. Estes objetivos serão alcançados através da construção do fluxo de caixa das subfrotas/veículos ao longo da sua vida útil.

O primeiro passo desta etapa é o levantamento das informações disponíveis na empresa. Basicamente, precisa-se levantar o custo de aquisição, o custo de operação e o custo de manutenção, depreciação e o valor de revenda ano-a-ano. É importante também compreender o regime de tributação utilizado na empresa. Normalmente, as empresas de

ônibus operam sob o regime de lucro real e o imposto dedutível é aproximadamente 34% (CSSL+COFINS+IRPJ).

A princípio, os valores de custo capturados se encontram no valor nominal. É importante saber em qual período o valor está baseado, pois o valor registrado pode ser diferente do período em que foi consumido o item. Por exemplo, a base de dados da empresa pode ter o valor atual das peças, mas é necessário saber na época em que foi consumida qual era o valor, ou pelo menos o índice de inflação específico do período anterior até o atual.

3.3.1 Custo de Aquisição, Valor de Revenda e Custo de Recuperação de Capital

O custo de aquisição do veículo é composto pelo custo do chassi, carroceria e outros equipamentos especiais (ar-condicionado, elevador, outros...). O financiamento do veículo deve ser levado em conta, isto é, deve-se calcular o VPL do financiamento ao invés de usar o valor de aquisição contábil. O valor de revenda pode ser estimado por dados disponíveis pelo mercado, julgamento de especialistas ou por um modelo de depreciação. Para se calcular o Custo de Recuperação de Capital (CRC), é necessário considerar o ônus do Imposto de Renda (IR) que se tem na venda efetiva. O ônus do IR é a diferença contábil do valor de revenda efetivo *versus* o valor contábil do veículo (se paga IR quando o valor de revenda é maior que o valor contábil e recupera-se IR quando é menor) As equações 3.1 a 3.5 representam as expressões matemáticas utilizadas para o cálculo.

$$I_t = I_{t-1} - \sum_{t=0}^t DR_t \quad (3.1)$$

Onde:

I_t = Valor de mercado no ano t ;

DR_t = Depreciação real (de mercado) no ano t .

$$DC_t = TDC * I_o \quad (3.2)$$

Onde:

I_o = Valor de compra original;

DC = Depreciação contábil no ano t ;

TDC = Taxa de depreciação contábil.

$$ONUS_t = [1 - DC * t] * I_0 - I_t * \tau \quad (3.3)$$

Onde:

$ONUS_t$ = ônus do IR devido à venda no ano t ;

τ = Taxa do IR.

$$CRC_t = I_t - I_{t-1} * (1 + i) + DC * \tau \quad (3.4)$$

Onde:

CRC_t = Custo de recuperação de capital no ano t ;

i = Taxa de desconto.

$$CRCV_t = I_t - I_{t-1} * (1 + i) + DC * \tau + ONUS_t \quad (3.5)$$

Onde:

$CRCV_t$ = Custo de recuperação de capital com venda do equipamento no ano t .

3.3.2 Custo de Operação

A quilometragem deve ser padronizada, não só para comparação econômica de veículos diferentes, mas também para a comparação do próprio veículo em períodos diferentes. Outros gastos, como lavagens, licenciamento e outros não precisam ser considerados se não forem significativos, não variarem com o tempo e/ou uso e não dependerem do tipo/características dos ônibus. A expressão do custo de operação é apresentada na Equação 3.6. Os itens a serem levantados são:

- Consumo de combustível;
- Consumo de lubrificantes;
- Material rodante – pneus, câmaras e recapagens.

$$CO_t = (1 - \tau) * (COMB_t + LUBR_t + ROD_t) \quad (3.6)$$

Onde:

CO_t = Custo de operação no ano t ;

$COMB_t$ = Custo em combustível no ano t ;

$LUBR_t$ = Custo em lubrificantes no ano t ;

ROD_t = Custo em material rodante no ano t .

3.3.3 Custo de Manutenção

O custo de manutenção (ver Equação 3.7) é composto por:

- Horas de manutenção direta;
- Horas de manutenção terceirizada;
- Horas de equipamentos de manutenção utilizados no serviço;
- Hora imobilizada (custo de oportunidade ou custo para manter frota reserva);
- Consumo de peças.

$$CM_t = (1 - \tau) * (MOD_t + MOT_t + EQUIP_t + IMOB_t + PEÇAS_t) \quad (3.7)$$

Onde:

CM_t = Custo de manutenção no ano t ;

MOD_t = Custo em mão-de-obra direta de manutenção no ano t ;

MOT_t = Custo em mão-de-obra terceirizada de manutenção no ano t ;

$EQUIP_t$ = Custo de horas de equipamentos/instalações utilizadas no ano t ;

$IMOB_t$ = Custo em horas imobilizadas no ano t ;

$PEÇAS_t$ = Custo em peças de reposição no ano t .

Outros custos podem ser considerados além destes, desde que sejam: (a) relevantes ao uso do ônibus; (b) de valor significativo; (c) não-uniforme entre diferentes modelos de ônibus. Ex: a aquisição de um ônibus equipado com um combustível alternativo gera um custo de suprimentos deste combustível (gestão, estoque, risco e outros).

3.3.4 Previsão do Fluxo de Caixa

No processo de previsão é importante o julgamento dos envolvidos na operação e manutenção para ajuste da previsão e a seleção do modelo mais adequado. A previsão dos gastos deve-se feita apenas para a manutenção, pois os custos operacionais de um veículo se mantêm estáveis com o tempo (desde que se mantenham as mesmas condições de rodagem e que seja feita uma manutenção adequada). O custo operacional é previsto pela padronização da quilometragem.

Para a manutenção, sugere-se a previsão dos custos agregados. Nesta etapa, é importante utilizar os valores reais ao invés dos nominais, e por isto deve-se deflacionar os valores. Isto deve ser feito porque em períodos de inflação alta, a mesma distorce a previsão e oculta o aumento devido ao desgaste e uso do equipamento. Pode-se utilizar um índice deflator (de preferência um setorial para peças e outro para MOD) para converter os valores nominais para reais.

3.3.5 Cálculo do CAUE

Para cada ano deve ser calculado o Custo de Manutenção, o Custo de Recuperação de Capital e a partir destes calcula-se o CAUE. Uma vez encontrado o CAUE mínimo, determina-se a Vida Econômica. As equações 3.8 a 3.11 são utilizadas para o cálculo da vida econômica.

$$CA_t = CRC_t + CM_t \quad (3.8)$$

Onde:

CA_t = Custo anual no ano t .

$$CAV_t = CRCV_t + CM_t \quad (3.9)$$

Onde:

CAV_t = Custo anual com a venda do equipamento no ano t .

$$VPL_t = \left(\sum_{t=0}^{t-1} \frac{CA_t}{(1+i_n)^t} \right) + \frac{CAV_t}{(1+i_n)^t} \quad (3.10)$$

Onde:

$CA_0 = 0$;

i_n = Taxa de desconto nominal.

$$CAUE_t = VPL_t * \left[\frac{i_r * (1+i_r)^t}{(1+i_r)^t - 1} \right] \quad (3.11)$$

Onde:

i_r = Taxa de desconto real.

As Figuras 14 a 16 apresentam as planilhas a serem preenchidas para a Análise Econômica.

Ano	R\$ em Combustível + Lubrificantes	R\$ em Pneus	R\$ em MOD	R\$ em Itens de Manutenção
1	$COMB_1$	ROD_1	MOD_1	$PEÇAS_1$
2	$COMB_2$	ROD_2	MOD_2	$PEÇAS_2$
...		
t	$COMB_t$	ROD_t	MOD_t	$PEÇAS_t$

Figura 14: Planilha de gastos da operação e manutenção

Fonte: Adaptado de UFRGS (2005a)

Ano	Valor de Revenda	DEPR. CONTABIL	ÔNUS DO IR	Custo de Manutenção e Operação (COM)	Custo de Recuperação de Capital (CRC)
0	I_0				
1	$I_1 = I_0 - DR_1$	DC_1	$ONUS_1$	$CO_1 + CM_1$	CRC_1
2	$I_2 = I_1 - DR_2$	DC_2	$ONUS_2$	$CO_2 + CM_2$	CRC_2
...	
t	$I_t = I_{t-1} - DR_t$	DC_t	$ONUS_t$	$CO_t + CM_t$	CRC_t

Figura 15: COM e CRC ano-a-ano

Fonte: Adaptado de UFRGS (2005a)

Ano	CUSTO ANUAL	CUSTO ANUAL c/ VENDA	VPL	CAUE
0				
1	CA_1	CAV_1	VPL_1	$CAUE_1$
2	CA_2	CAV_2	VPL_2	$CAUE_2$
...
t	CA_t	CAV_t	VPL_t	$CAUE_t$

Figura 16: Custo Anual e CAUE ano-a-ano

Fonte: Adaptado de UFRGS (2005a)

3.4 ETAPA 3: ANÁLISE DE CRITÉRIOS NÃO-ECONÔMICOS

Esta etapa apresenta uma metodologia multicritério híbrida, através de uma combinação dos métodos MAUT, AHP e QFD, aqui denominado Método MAQ. Este método

está baseado na mesma proposta de Fogliatto e Guimarães (2004), com algumas modificações. A sistemática permite utilizar outros métodos além do MAQ para a análise dos critérios não-econômicos e determinar os benefícios intangíveis de um determinado tipo de ônibus. As etapas da metodologia são apresentadas na Figura 17.

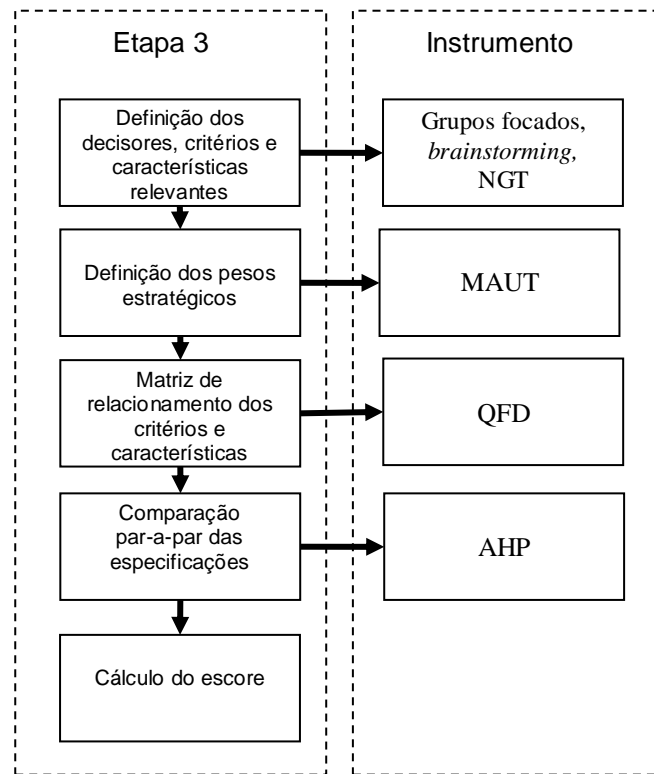


Figura 17: Estrutura do MAQ

O *score* final para cada especificação do conjunto de características é equivalente a um índice de utilidade (benefício) para as mesmas. O veículo terá o *score* final definido a partir da soma das especificações que possui. Destaca-se que se trata de um modelo aditivo, ou seja, não são consideradas as interações entre os diferentes tipos de características.

3.4.1 Definição dos Decisores, Critérios e Características Relevantes

A primeira etapa é uma reunião com a equipe de pesquisa e decisores selecionados intencionalmente para determinar quem irá participar da avaliação dos benefícios intangíveis e os critérios primários. Os critérios primários devem ser relevantes e exclusivos, por exemplo:

- Operação;
- Manutenção;
- Serviço ao usuário;
- Ambiente.

Podem ser utilizados outros critérios primários que o decisor considerar relevantes. Os decisores participantes devem ter capacidade técnica adequada para determinar os critérios primários e secundários. Diretores, gerentes e funcionários com conhecimento técnico avançado são recomendados como integrantes do grupo.

Os critérios primários têm um aspecto estratégico, sendo perspectivas consideradas importantes pela empresa para o seu planejamento estratégico. Já os critérios secundários são indicadores que medem estas perspectivas. Pode-se desdobrar em critérios terciários e outros níveis, mas neste caso deve-se avaliar a necessidade e vantagem de utilizar mais níveis.

O próximo passo é determinar quais características do ônibus devem ser consideradas na análise. Os pré-requisitos para uma característica ser considerada na análise são: (a) conflito entre as diferentes partes e/ou perspectivas (critérios) na opção da característica; e/ou (b) impacto significativo no custo do ônibus. Características que não precisam necessariamente ser consideradas possuem uma ou mais destas condições: (a) não há dúvida de opção; e/ou (b) são exigidas por leis, regulamentos ou outros.

Para levantamento de idéias, conceitos e soluções, deve-se utilizar ferramentas de decisão em grupo. *Brainstorming*, grupos focados e *Nominal Group Technique* (NGT) são algumas das técnicas recomendadas. O NGT é recomendado para grupos heterogêneos e com participantes de diferentes níveis hierárquicos presentes (CLEMEN, 1996).

Após o levantamento dos critérios primários, deve-se determinar os critérios secundários, terciários e adiante. Nesta etapa também devem ser avaliadas quais características serão incluídas na análise. Neste caso, é recomendável limitar-se ao pessoal da manutenção e operação, pois estes possuem o conhecimento necessário para determinar quais

características têm influência nos critérios de decisão. Utiliza-se o NGT (ou outra técnica) nesta etapa também.

3.4.2 Determinação dos Pesos Estratégicos (MAUT)

A ordem de menção de cada valor apontada pelos entrevistados deve ser colocada no inverso de sua respectiva posição; ou seja, $1/a_{ij}$. Assim, o critério mais importante mencionado pelo entrevistado recebe um peso de importância $1/1 = 1,0$, o segundo mais importante recebe um peso de importância $1/2 = 0,5$, e assim por diante. Esta função inversa garante um peso alto de importância para os primeiros critérios mencionados, sugerida por Ribeiro, Echeveste e Danilevicz (2001, p. 20). A Figura 18 mostra o cálculo dos pesos considerando m decisores e n critérios

	Critério ₁	Critério _j	...	Critério _n
Decisor ₁	$1/a_{11}$	$1/a_{1j}$	...	$1/a_{1n}$
Decisor _i	$1/a_{i1}$	$1/a_{ij}$	...	⋮
⋮	⋮	⋮
Decisor _m	$1/a_{m1}$	$1/a_{mj}$	...	$1/a_{mn}$
Total	$t_1 = \sum_{i=1}^m 1/a_{i1}$	$t_j = \sum_{i=1}^m 1/a_{ij}$	...	$\sum_{i=1}^m 1/a_{in}$
Peso ponderado	$w_1 = \frac{t_1}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n 1/a_{ij}}$	$w_j = \frac{t_j}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n 1/a_{ij}}$	...	$w_n = \frac{t_n}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n 1/a_{ij}}$

Figura 18: Cálculo dos pesos dos critérios

Os pesos obtidos são transformados em pesos ponderados para cada grupo de critérios secundários e primários. Para a determinação do peso ponderado de cada critério sobre o restante é realizada uma relativização de seu percentual dentro do grupo a que pertence. Este cálculo é feito separadamente para cada hierarquia de critérios.

3.4.3 Matriz de Relacionamento dos Critérios e Características (QFD)

Nesta etapa parte-se para a construção da matriz de relacionamento (ver) dos critérios versus características técnicas do ônibus. Sugere-se utilizar a escala recomendada por Ribeiro, Echeveste e Danilevicz (2001, p. 39): neutro (0); fraco (1); médio (3); forte (9). Uma escala mais detalhada (com mais ou menos números) também pode ser utilizada, ficando a critério do usuário.

Critérios Primários	Critérios Secundários	CARACT ₁	CARACT ₂	...	CARACT _j
		CP ₁	CS ₁₁	r ₁₁₁	r ₁₂₁
	CS ₂₁	r ₂₁₁	...	...	...

	CS _{i1}	...	...	...	r _{ij1}
...
CP _k	CS _{1k}	r _{11k}	r _{12k}	...	...
	CS _{2k}	r _{21k}	...	...	...

	CS _{ik}	...	...	...	r _{ijk}

Onde:

CP_k = critério primário k ;

CS_{ik} = critério secundário i do grupo do critério primário k ;

$CARACT_j$ = característica j ;

r_{ijk} = nível de relacionamento da característica j com o critério secundário i e critério primário k .

3.4.4 Comparação par-a-par das Especificações (AHP)

Nesta etapa é feita a comparação par-a-par de cada grupo de especificações para cada característica. Este grupo de decisores pode ser o mesmo que define os pesos ou outro grupo. É recomendado que este grupo tenha um conhecimento técnico mais aprofundado quanto às

especificações de cada característica e que lidam diretamente com o equipamento (manutenção e operação).

Para a obtenção dos julgamentos da matriz de comparações par-a-par pode se utilizar um questionário. Neste questionário utiliza-se uma escala de valores variando de um extremo para baixo até a igualdade e, depois, crescendo novamente para o extremo positivo. Em uma coluna à esquerda lista-se todas as alternativas a serem comparadas com as outras alternativas na coluna a direita. Pede-se, então, aos entrevistados que verifiquem o julgamento (J) e que indiquem a dominância do elemento da coluna da esquerda sobre o elemento correspondente na mesma linha, na coluna da direita (ver Figura 19).

	Especificação 1	Especificação 2	...	Especificação j
Especificação 1	1	a_{12}	...	a_{1j}
Especificação 2	$1/a_{12}$	1	...	a_{2j}
...
Especificação i	$1/a_{1j}$	$1/a_{2x}$	...	1

Figura 19: Matriz de Julgamentos

Fonte: Adaptado de Saaty (1991, p. 28-31)

O passo seguinte consiste no cálculo de um vetor de prioridade, dado pelo autovetor máximo normalizado (SAATY, 1991). Dividem-se os elementos de cada coluna pela soma das colunas (Equação 3.12) e então se somam os elementos em cada linha resultante e divide-se esta soma pelo número de elementos na linha (Equação 3.13). Com isto obtêm-se a média das colunas normalizadas. O cálculo passo-a-passo é apresentado a seguir.

$$B = \begin{bmatrix} \frac{a_{11}}{\sum_{i=1}^n a_{i1}} & \frac{a_{12}}{\sum_{i=1}^n a_{i2}} & \dots & \frac{a_{1j}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \\ \frac{a_{21}}{\sum_{i=1}^n a_{i1}} & \frac{a_{22}}{\sum_{i=1}^n a_{i2}} & & \frac{a_{2j}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \\ \dots & \dots & & \dots \\ \frac{a_{i1}}{\sum_{i=1}^n a_{i1}} & \frac{a_{i2}}{\sum_{i=1}^n a_{i2}} & & \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

Onde:

a_{ij} = elemento da matriz de julgamentos

$$\vec{v}_p = \begin{bmatrix} \frac{\sum_{j=1}^n b_{1j}}{n} \\ \frac{\sum_{j=1}^n b_{2j}}{n} \\ \dots \\ \frac{\sum_{j=1}^n b_{ij}}{n} \\ n \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

Onde:

\vec{v}_p = vetor de prioridades

Após a determinação das preferências das especificações, é necessário verificar a precisão ou consistência dos resultados obtidos. A precisão é obtida através de uma razão de consistência (*RC*), sendo que uma razão de consistência de até 0,10 é considerada aceitável. Para se calcular esta razão, precisa-se determinar o autovalor máximo da matriz de julgamentos. Quanto mais próximo λ_{\max} for de n , mais consistente será o resultado. O índice de consistência é dado pela Equação 3.14. A *RC* é dada pela razão entre *IC* e um índice randômico (*IR*) calculado (Equação 3.15), os valores de *IR* são apresentados na Tabela 1.

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (3.14)$$

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (3.15)$$

Onde:

n = Ordem da matriz;

λ_{\max} = Autovalor máximo.

Tabela 1: Índice Randômico

Ordem da Matriz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
IR	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Fonte: Saaty (1991)

Se a razão de consistência for satisfatória, o vetor de prioridades corresponderá aos pesos das preferências das especificações. Caso não seja, deve-se preencher a matriz de julgamentos novamente, verificando quais julgamentos são os mais inconsistentes.

3.4.5 Cálculo do Escore

Considerando c critérios primários, ac critérios secundários, b características e bd especificações, o cálculo do benefício (utilidade) do equipamento é dado pela Equação 3.16, apresentada a seguir:

$$B(ESP_{11}, \dots, ESP_{cd}) = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{x=1}^d wcp_k * wcs_{ik} * r_{ijk} * p(ESP_{jx}) \quad (3.16)$$

onde:

$B(ESP_{11}, \dots, ESP_{cd})$ = benefício total do equipamento;

wcp_k = peso normalizado do critério primário k ;

wcs_{ik} = peso normalizado do critério secundário i ;

r_{ijk} = força de relacionamento entre a característica j e o critério secundário i ;

$p(ESP_{jx})$ = peso das preferências de especificação x da característica j .

3.4.6 Informações Complementares

Nesta etapa devem ser investigadas e analisadas informações relevantes à Política de Substituição, mas que não foram contempladas na análise dos critérios não-econômicos, tais como exigências regulatórias, fatores implícitos, exigências de especificações e outros.

3.5 ETAPA 4: ANÁLISE BENEFÍCIO/CUSTO

A etapa de Análise Benefício/Custo consiste em contrabalançar o custo econômico (Análise Econômica) do veículo e os benefícios intangíveis (Análise dos Critérios Não-Econômicos) do mesmo. O custo a ser utilizado deve ser o CAUE mínimo – o custo na Vida Econômica – para que a comparação seja justa entre equipamentos com Vida Econômica em períodos diferentes. O decisor deve determinar o peso que será dado para o custo e para os benefícios. Esse peso definirá as preferências do decisor, isto é, o quanto ele está disposto a pagar pelos benefícios proporcionados pelo equipamento. A taxa de substituição do decisor pode ser vista na Figura 20.

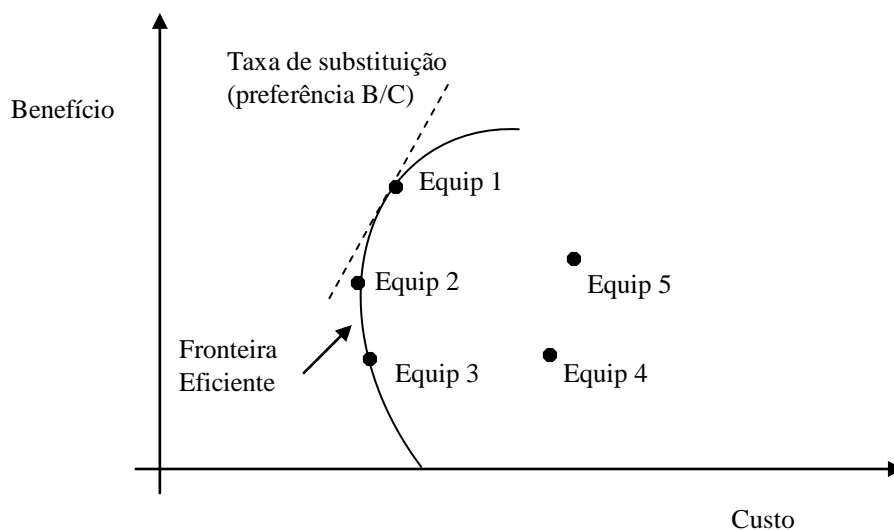


Figura 20: Benefício/Custo com diferentes taxas de substituição

O cálculo para a análise Benefício/Custo é dado pela Equação 3.17:

$$B/C = \frac{B}{CAUE_{\min}} \quad (3.17)$$

Onde:

B = benefício do equipamento;

$CAUE_{min}$ = Custo Anual Uniforme Equivalente mínimo do equipamento.

O CAUE mínimo (CAUE na Vida Econômica) deve ser utilizado para a comparação justa entre equipamentos com vidas diferentes. Caso se compare o CAUE por km e/ou por passageiro, recomenda-se o uso de uma quilometragem padronizada e que se considere a mesma taxa de ocupação ou número de passageiros médio por km, evitando distorções.

3.6 ETAPA 5: AVALIAÇÃO E DEFINIÇÃO DA POLÍTICA

A partir do cálculo do CAUE, dos benefícios e do índice B/C, pode ser determinada a Política de Substituição de frota da empresa. Também deve ser determinado se a Política será a mesma para toda frota ou se será por subfrota ou mesmo por veículo. A Política deve ser adequada ao planejamento financeiro da empresa. Anualmente deve ser conduzida uma revisão da Política para verificar quais veículos devem ser substituídos nos anos seguintes e para atualização das análises econômicas e dos critérios não-econômicos, caso seja necessário. Com os dados gerados pela sistemática, pode-se estimar os benefícios e custos dos veículos desafiantes e orientar a seleção de veículos futuros a serem incorporados na frota.

4 MODELO APLICADO

As empresas de ônibus urbano têm apresentado dificuldades na renovação de sua frota. As empresas estão com dificuldades na incorporação de mais tecnologia aos seus veículos e, conseqüentemente, na compra de novos veículos, visto que certos insumos, principalmente o combustível, apresentam-se cada vez mais inflacionados.

Neste contexto, a Companhia Carris Porto Alegre (CIA. CARRIS) buscou, através de um convênio de cooperação técnico-científica com a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), o desenvolvimento de uma política de substituição de frota, de modo que a empresa pudesse identificar o tempo ideal para a substituição de seus veículos antes que estes comecem a despender enormes gastos para a empresa. O trabalho pretendeu também identificar as características que os novos veículos deverão dispor, de modo a que atendam tanto às necessidades da empresa, no que tange à operação e manutenção dos ônibus, bem como as dos usuários do sistema. Para realização do trabalho foi constituído uma equipe de pesquisadores, cuja coordenação técnica coube ao autor desta pesquisa. Esta Dissertação apresenta criticamente o trabalho realizado, fundamentando academicamente as principais opções conceituais e sistematizando a solução final proposta. A seguir são descritas as etapas do desenvolvimento realizado.

4.1 ETAPA 0: DIAGNÓSTICO DA EMPRESA

Em um primeiro momento, buscaram-se informações públicas disponíveis a respeito da empresa. A *homepage* da Cia. Carris apresenta a seguinte descrição da empresa:

Mais antiga empresa de transporte coletivo do país em atividade, a Cia. Carris nasceu graças à autorização do imperador Dom Pedro II, via decreto, publicado em 19 de junho de 1872. Inicialmente operando bondes puxados a mula, em 1908 a companhia inaugura o serviço de bondes elétricos, que seria desativado somente em 1970. Em 1930, a Cia. Carris passa também a oferecer o transporte por ônibus para as localidades aonde as linhas de bonde não chegavam (CARRIS, 2006b).

Ainda na *homepage*, há descrição da capacidade de atendimento atual da empresa

Atualmente, a Cia. Carris opera 21 linhas com uma frota de 323 veículos, um terço dos quais dotados de ar condicionado e acessibilidade universal. É a empresa com a maior frota de Porto Alegre: responde por um quarto do total de passageiros transportados na cidade. Diariamente, os veículos da Cia. Carris conduzem 240 mil pessoas, percorrendo um total de 66 mil quilômetros (CARRIS, 2006b).

Sobre a composição acionária e prêmios, da empresa é descrito na *homepage* nos seguintes termos:

Sociedade de economia mista com o controle acionário da Prefeitura de Porto Alegre, que detém 99,9% das ações, a Cia Carris é considerada pela Associação Nacional dos Transportes Públicos a melhor empresa de ônibus urbano do País. Também é a única instituição municipal a conquistar o Prêmio Nacional de Gestão Pública do Governo Federal. Em 2005, obteve o primeiro lugar na categoria Empresa Pública Eficiente da Pesquisa *Top of Mind* realizada em Porto Alegre (CARRIS, 2006b).

Ferronato (2002, p. 51) comenta sobre o modelo operacional de Porto Alegre:

Esse modelo baseia-se na segmentação do sistema em quatro bacias operacionais, cada uma abrangendo uma região da cidade. A operação de cada linha deixou de ser concedida a uma empresa, recaindo naturalmente sob a responsabilidade do consórcio de empresas que atende a região servida por aquela linha. Quinze operadoras formam três consórcios, e uma das bacias é operada pela empresa pública (Cia. Carris) [...]A oferta de transporte público concentra-se nas viagens radiais (centro-bairro-centro), com cerca de 90% do total de viagens ofertadas, devido à predominância do centro histórico da cidade como pólo de atração de deslocamentos. No entanto, a disseminação de centros alternativos tem sido incentivada pelo Plano Diretor e verifica-se uma tendência de aumento dos deslocamentos transversais (entre bairros) em uma proporção de cerca de 30% de viagens transversais e 70% de viagens radiais. (FERRONATTO, 2002, p. 51)

O mesmo autor comenta sobre o sistema tarifário:

A tarifa única, adotada no serviço de transporte urbano por ônibus em Porto Alegre, visa promover uma certa redistribuição de renda, a qual se verifica devido ao pagamento de um valor maior do que a tarifa real pelos usuários de linhas curtas, moradores de regiões próximas ao centro, com renda mais alta, para os usuários de renda mais baixa, moradores de regiões distantes do centro, que pagam um valor menor do que a tarifa real das linhas de longa distância (Lindau *et al*, 1987). Esta lógica de redistribuição de renda tem funcionado enquanto o modelo predominante é o radial. Talvez o benefício se perca em um modelo equilibrado, com maior número de viagens transversais, onde a distância da viagem não esteja tão claramente relacionada com a renda do usuário (FERRONATTO, 2002, p. 51-52).

Como parte do diagnóstico, a equipe de pesquisa realizou entrevistas abertas com os setores de operação, manutenção e diretores. A partir das entrevistas, foi desenhado um mapa do negócio da Cia. Carris (Figura 21), baseado no modelo de Rummler e Brache (1994). Deve-se observar que a etapa Recebe no mapa do negócio não se trata do recebimento efetivo. O sistema de transporte público urbano por ônibus na cidade se caracteriza por um sistema de consórcios, onde há uma redistribuição do faturamento em função do serviço prestado por cada consórcio. Dependendo do serviço prestado pela Cia. Carris e pelos consórcios, há um repasse entre estes para compensação.

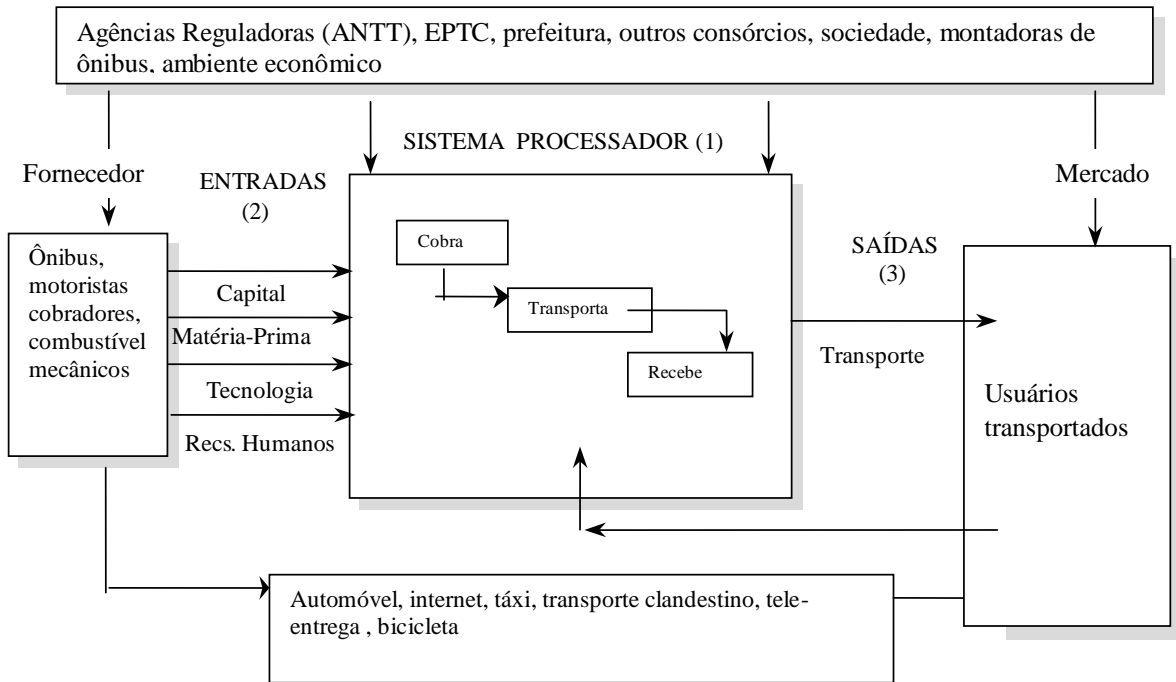


Figura 21: Mapa do Negócio da Cia. Carris.

O organograma da empresa é composto pela seguinte hierarquia apresentada na Figura 22.

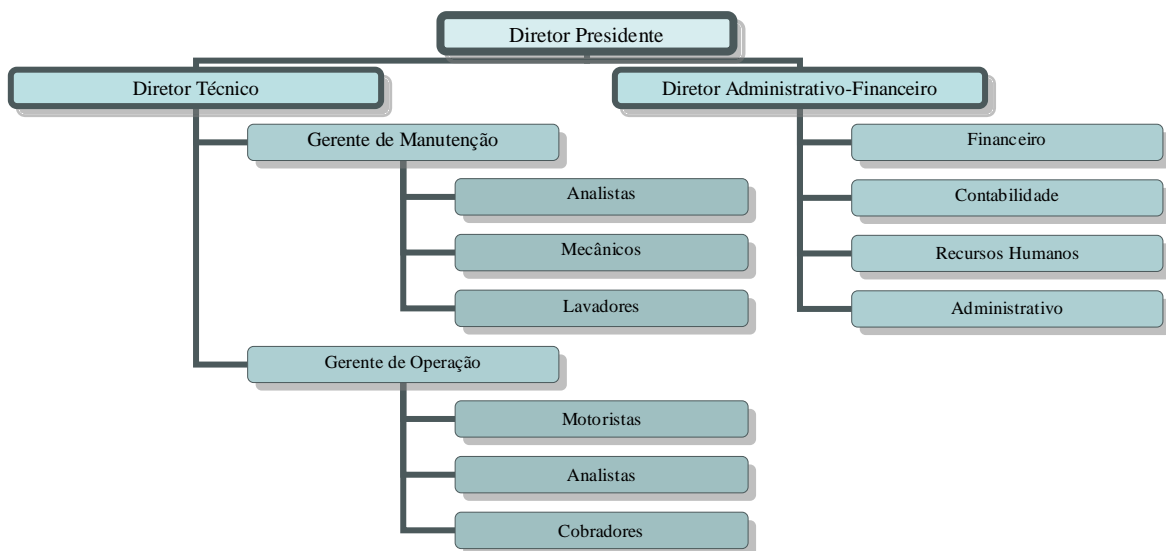


Figura 22: Organograma da Cia. Carris.

Foi analisado o sistema de custeio da empresa para melhor compreensão da alocação de custo e controle. A Cia. Carris distribui os custos de cada setor, mas não faz o rateio das despesas administrativas. Os centros de custos não visualizam o custo por ônibus ou por linha, apenas o custo do setor. A distribuição dos custos serve apenas para a elaboração dos relatórios contábeis da empresa. As linhas são agrupadas em quatro centros operacionais sendo que cada uma possui um coordenador. É possível visualizar a receita por linha, mas os gastos são agregados por centro operacional. A empresa utiliza o Índice de Passageiro por km (IPK) para avaliar o desempenho das linhas. Também monitora, na manutenção, a disponibilidade do veículo, limpeza e quebra do veículo. Não há avaliação de custo e hora-extra da manutenção. Mensalmente há uma reunião para avaliar os indicadores e seu desempenho.

Foram realizadas entrevistas com o corpo técnico da Associação dos Transportadores de Passageiros (ATP), com o Presidente do consórcio Conorte e com o diretor técnico da Empresa Pública de Transporte e Circulação (EPTC) com o objetivo de verificar a existência ou não de uma política de substituição de frota. Foram coletadas informações quanto às especificações que os veículos devem apresentar para serem utilizados no sistema de Porto Alegre. A operadora tem o conhecimento das leis municipais quanto ao tempo máximo que um veículo pode ser utilizado, bem como requisitos que os novos veículos adquiridos devem apresentar, porém desconhece o tempo propício/ideal para a substituição da frota de veículos. Portanto, a Cia. Carris não apresenta uma política de substituição de frota claramente estabelecida.

4.2 ETAPA 1: LEVANTAMENTO DA BASE DE DADOS

4.2.1 Caracterização da Frota

A frota atual de ônibus da Cia. Carris é composta por 323 veículos. Cerca de 8% da frota (29 veículos) está alocada como reserva para eventuais problemas com a frota ativa e variações na demanda. Dos 29 ônibus alocados para a reserva, no máximo 2 ônibus ‘adaptados’ (para pessoas portadoras de deficiência física ou com mobilidade reduzida) podem ficar alocados para reserva. A empresa classifica os veículos pelas seguintes características:

- Carroceria – marca e modelo;
- Motor – modelo e potência;
- Idade – meses (a partir da data de circulação inicial);
- Ar-condicionado – com ou sem;
- Articulado – sim ou não;
- Câmbio – manual ou automático;
- Piso – alto ou baixo.

A idade da frota é heterogênea, com uma média de 5,78 anos. Os ônibus mais novos têm cerca de 3 meses e os mais antigos um pouco mais de 9 anos. A pedido da empresa, não é exposto o nome da marca nem o modelo de qualquer fabricante de ônibus que a mesma possui. Estes serão identificados por uma notação para representar os nomes destas marcas e modelos.

Os chassis são das fabricantes A, B, C e D. A manutenção dos veículos com chassis A (20,40% da frota) é terceirizada. Os chassis dos fabricantes B e D representam a maioria da frota, com 37,46% e 22,29% respectivamente. Já os chassis da marca C são a minoria, compondo 16,71% da frota.

As carrocerias de ônibus são principalmente dos fabricantes δ e γ (37,60% e 34,05%). As carrocerias das marca β e α representam 16,40% e 8,97%, respectivamente. Os modelos de carroceria 5 e 3 representam 68,73% da frota.

Com base nos dados referentes às idades e aos modelos de chassis e carroceria, os veículos da frota foram agrupados por similaridade em subfrotas. O resumo das subfrotas identificadas e suas características técnicas são apresentadas na Tabela 2 e Tabela 3.

Tabela 2: Subfrotas identificadas por Similaridade e Idade

Subfrota	Modelo do Chassi	Fabricante do Chassi	Modelo da Carroceria	Fabricante da Carroceria	Ano	Tamanho da subfrota
1	1	A	I	α	1995	10
2	2	B	II	β	1996	36
3	2	B	III	γ	1996	31
4	2	B	I	α	1997	12
5	3	C	III	γ	1998	54
6	1	A	IV	δ	1998	7
7	4	D	V	δ	1998	32
8	6	A	III	γ	1999	25
9	1	A	I	α	1999	7
10	7	A	II	β	1999	17
11	5	D	V	δ	2001	40
12	8	B	V	δ	2002	40
13	9	B	VI	δ	2004	12

Fonte: Adaptado de UFRGS (2005b)

Tabela 3: Características técnicas das subfrotas identificadas

Subfrota	Características do chassi	Posição do motor	Potência (HP)	Tipo	Capacidade (sentados + em pé)	Nível tecnológico
1	Câmbio automático	N/A	245	Articulado	147	Baixo
2	Câmbio mecânico	Dianteiro	180	Normal	86	Baixo
3	Câmbio mecânico	Dianteiro	180	Normal	87	Baixo
4	Câmbio mecânico	Dianteiro	180	Normal	88	Baixo
5	Câmbio automático	Traseiro	210	Normal	88	Médio
6	Câmbio automático	Entre-eixos	285	Articulado	147	Baixo
7	Câmbio automático, Ar-condicionado	Traseiro	230	Piso baixo	86	Avançado
8	Câmbio automático	Traseiro	230	Normal	90	Médio
9	Câmbio automático	Entre-eixos	285	Articulado	147	Baixo
10	Câmbio automático, Ar-condicionado	Traseiro	230	Normal	90	Avançado
11	Câmbio automático, Ar-condicionado	Traseiro	230	Piso baixo	86	Avançado
12	Câmbio automático, Ar-condicionado	Traseiro	240	Piso baixo	86	Avançado
13	Câmbio automático, Ar-condicionado	Traseiro	260	Piso baixo	86	Avançado

4.2.2 Análise da Manutenção

O setor de manutenção da Cia. Carris é responsável pela frota de ônibus, exceto pelos chassis de 66 veículos da marca A (24 articulados e 42 do tipo normal, cuja manutenção é realizada por uma empresa terceirizada). Esta manutenção é realizada por quilômetro rodado do veículo. Ainda tendo em vista que cerca de 70% dos veículos possuem câmbio automático, a manutenção deste item é terceirizada. O setor de manutenção possui 156 funcionários, incluindo presidiários da SUSEPE que trabalham no setor de desencardimento.

O fluxograma do processo de manutenção é descrito na carta de macroprocessos da documentação ISO 9001/2000 da Cia. Carris, como representado na Figura 23.

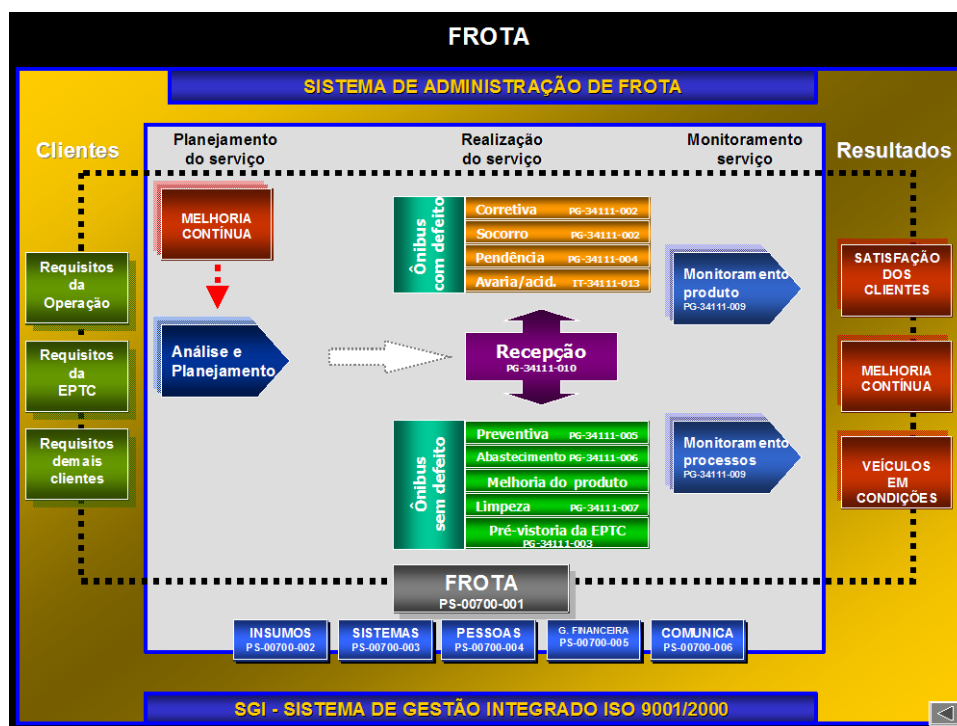


Figura 23: Fluxograma do Processo de Manutenção

Fonte: Cia. Carris (2005b)

O processo de manutenção dos veículos da Carris começa na área de Recepção. Ao chegar, o veículo é vistoriado pelo funcionário da Recepção, que verifica estado dos pneus, limpeza, etc. O motorista informa ao mesmo se há algum problema com o veículo e, se necessário, gera uma SS (Solicitação de Serviço). O sistema de informação também avisa se

há uma manutenção preventiva ou vistoria da EPTC a ser realizada no veículo. Caso não haja problema com o veículo, este é recolhido para o seu respectivo Box.

No turno da noite, há uma maior demanda de veículos na Recepção, sendo que cerca de 10 a 12 veículos/dia são direcionados para o setor de abastecimento e lavagem. Há ainda o setor de desencardimento, que é uma lavagem mais completa que a lavagem normal, realizado pela equipe da SUSEPE.

Uma vez pedida a SS, o veículo vai para o setor de manutenção e o mecânico líder consulta o sistema para gerar uma OS (Ordem de Serviço). As ordens de serviço são cadastradas no sistema de informação da frota, especificando o tipo de ordem, quais itens e duração da ordem. O mecânico líder direciona o ônibus para o setor indicado (mecânica, elétrica, chapeação, etc.).

O sistema de informações da Manutenção (denominado Sistema de Frota) foi desenvolvido pela Carris e não está integrado ao *Oracle*. Dados no Sistema de Frota podem ser extraídos por meio da exportação dos mesmos para arquivos texto. As informações são armazenadas por 4 anos (segundo as normas determinadas pelo sistema de qualidade da Carris). Informações mais antigas, quando necessário, podem ser obtidas no *backup* no setor de informática.

O almoxarifado possui um estoque imobilizado de cerca de R\$ 3 milhões (o equivalente a 3,5% da receita bruta no ano de 2004 – receita bruta de R\$ 85 milhões). O sistema de informação do almoxarifado não está integrado ao sistema da manutenção, dificultando o fluxo de informação entre os setores. O alto nível de estoque aí existente se deve à diversificação de modelos de veículos existentes e à lentidão do processo de compra derivado do processo de licitação pública. Cerca de 30% da reserva de veículos (+/- 10 veículos) ficam parados devido à falta de peças.

A vistoria aos ônibus da frota Cia. Carris é realizada diariamente por um funcionário da EPTC. Em média, são vistoriados 8-9 veículos por dia. No caso de aprovação da vistoria, é colocado um selo no ônibus. O selo de vistoria pode ter duração de 30, 45 ou 90 dias e varia em função da idade do ônibus, a saber:

- Mais de 10 anos – 30 dias;
- De 3 a 10 anos – 45 dias;

- Até 3 anos – 90 dias.

Atualmente, as vistorias da EPTC têm validade de 45 e 90 dias, em função da idade da frota de veículos da Cia. Carris. Antes da vistoria do ônibus, é realizada uma pré-vistoria pela própria Carris, dois dias antes de vistoria dos itens considerados pela EPTC. A taxa de aprovação pela EPTC na 1ª vistoria dos veículos tem sido, em média, de 90%. Além da revisão pré-vistoria, é realizada uma revisão de alguns itens a cada 5.000 km de rodagem do veículo. A Figura 24 sintetiza os procedimentos e etapas do processo de manutenção dos veículos pela Carris.

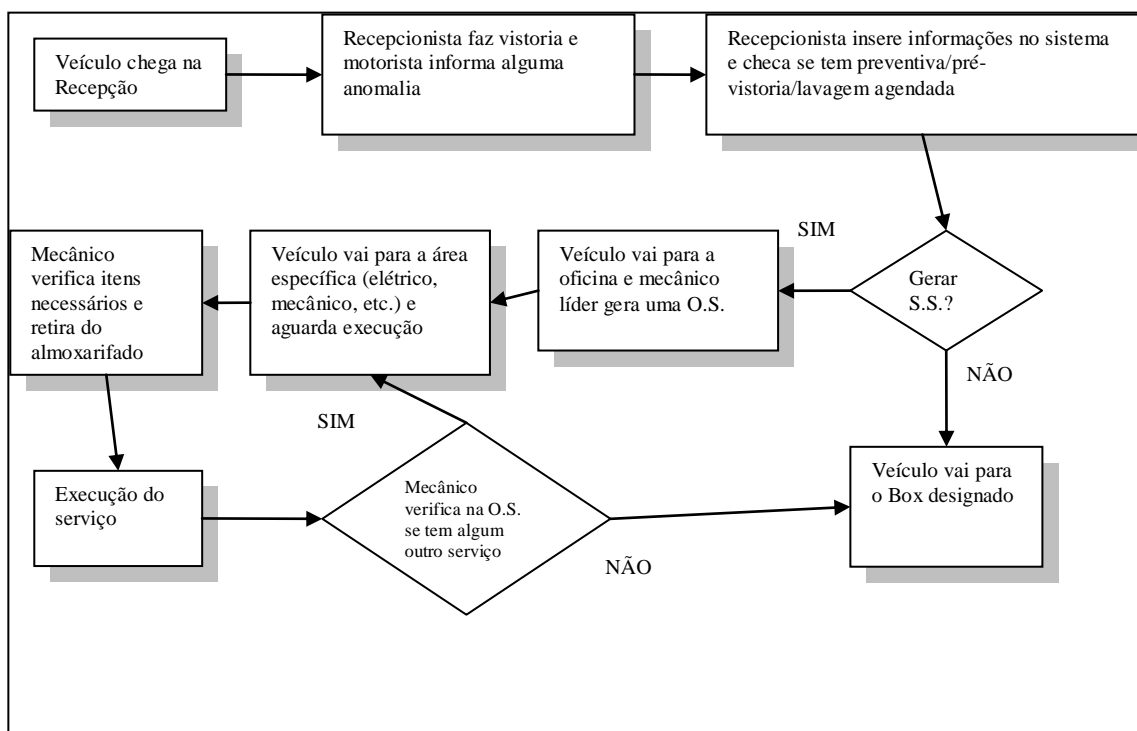


Figura 24: Fluxograma do Processo de Manutenção

Em termos gerais, os processos que ocorrem no setor de manutenção estão bem identificados e detalhados, uma vez que tal detalhamento é exigido pela própria norma ISO/9000. A etapa de análise revelou que, apesar de existir uma rica e detalhada base de dados referentes aos processos, essas informações tem sido pouco utilizadas para melhoria do sistema. Parece também haver uma falta de integração da base de dados do almoxarifado com o da manutenção, que, se existente, permitiria uma melhor gestão do sistema como um todo, reduzindo perdas e desperdício.

4.2.3 Levantamento de outros Indicadores e Informações Relevantes

Os indicadores operacionais indicam que não está ocorrendo uma reciprocidade entre a oferta e a demanda, uma vez que a frota de veículos está aumentando, mas o índice de passageiro por quilômetro (IPK) e o nível de serviço apresentam-se em declínio. A Figura 25, a Figura 26 e a Figura 27 mostram a evolução anual da frota e do nível de serviço e do IPK, respectivamente.

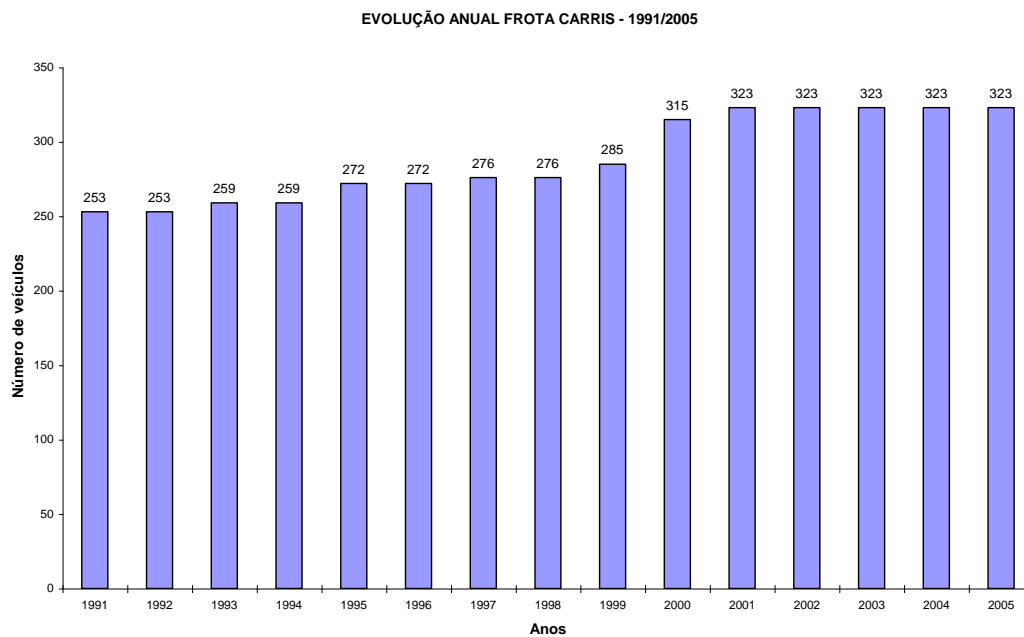


Figura 25: Evolução Anual da Frota da Companhia Carris 1991-2005

Fonte: Carris (2005a)

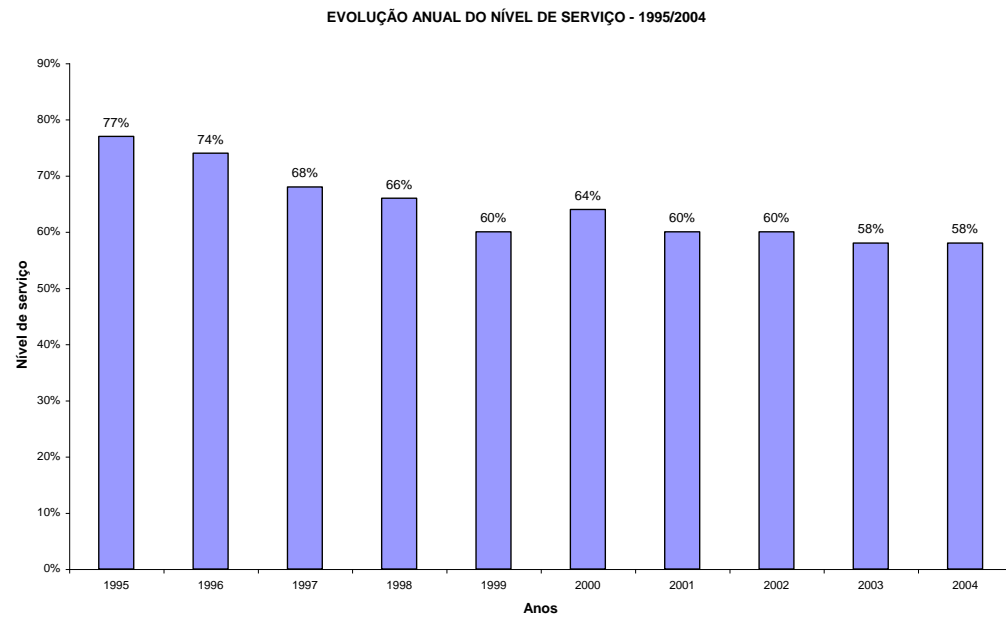


Figura 26: Evolução Anual do Nível de Serviço 1995-2004

Fonte: Carris (2005a)

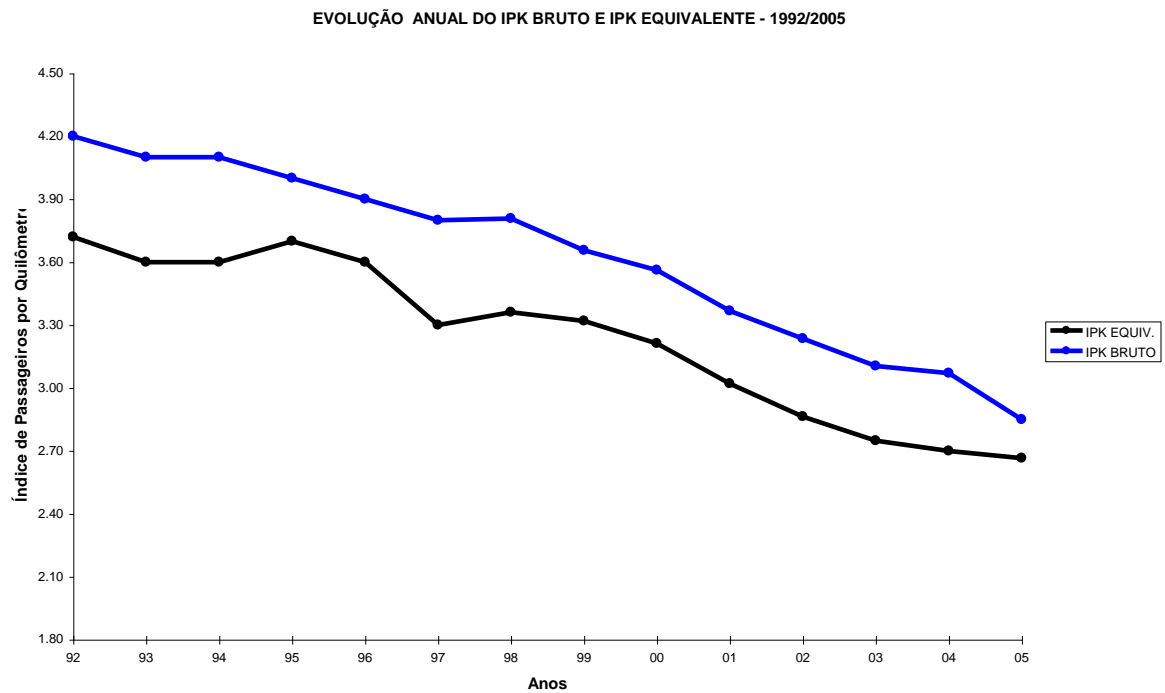


Figura 27: Evolução Anual do IPK 1995-2005

Fonte: Carris (2005a)

Em virtude da inexistência de informações em forma documentada quanto às características dos itinerários, foi realizada uma entrevista com o pessoal da operação a fim de conhecer alguns aspectos das linhas e para verificar se estas poderiam ser restritivas ao uso de determinado modelo de veículo. O resumo das informações obtidas por meio da entrevista é apresentado na Figura 28.

Linhas	Tipo de via	Aspectos topográficos	Restrição a determinado modelo de veículo da empresa
472-Jardim do Salso	Aprox. 10% em paralelepípedo	Apresenta uma curva de difícil conversão e um aclive acentuado	Restrição a todos os modelos, exceto ao modelo de chassi 2
476-Petrópolis	Toda asfaltada	Não apresenta aclives acentuados nem curvas fechadas	Não apresenta restrição
T-3	Aprox. 13% em paralelepípedo	Apresenta aclive e declive acentuados e uma curva com raio interno de giro pequeno	Não apresenta restrição
T-4	Toda asfaltada	Apresenta aclives extensos porém não acentuados	Não apresenta restrição
T-9/T-9 IPA	Aprox. 6% em paralelepípedo	Apresenta uma curva vertical e uma horizontal fechadas	Restrição para os veículos articulados
343-Campus/Ipiranga	Toda asfaltada	Não apresenta aclives acentuados	Não apresenta restrição
D43-Universitária	Toda asfaltada	Não apresenta aclives acentuados	Não apresenta restrição
T-6	Toda asfaltada	Não apresenta aclives acentuados	Não apresenta restrição
T-8	Aprox. 3% em paralelepípedo	Não apresenta aclives acentuados	Não apresenta restrição
T-10	Toda asfaltada	Não apresenta aclives acentuados	Não apresenta restrição
510-Auxiliadora	Aprox. 10% em paralelepípedo (com aclive)	Apresenta curva vertical fechada e uma aclive acentuado	Restrição para os veículos articulados
431-Carlos Gomes	Toda asfaltada	Não apresenta aclives acentuados	Não apresenta restrição
T-2	Aprox. 7% em paralelepípedo	Não apresenta aclives acentuados	Não apresenta restrição
T-2 A	Aprox. 11% em paralelepípedo (com aclive)	Não apresenta aclives acentuados	Não apresenta restrição
T-5	Toda asfaltada	Não apresenta aclives acentuados	Não apresenta restrição
353-Ipiranga/PUC	Aprox. 7% em paralelepípedo	Não apresenta aclives acentuados	Não apresenta restrição
T-1/T-1D	Toda asfaltada	Apresenta um aclive acentuado	Não apresenta restrição
C-1/C-2/C-3	Aprox. 40% em paralelepípedo	Apresenta curvas horizontais fechadas	Restrição para os veículos com piso baixo e articulados
T-7	Toda asfaltada	Apresenta um aclive e declive acentuados	Restrição aos veículos com piso baixo

Figura 28: Aspectos dos Itinerários das Linhas

Fonte: UFRGS (2005b)

Na região de Porto Alegre, o horário de pico no que se refere ao transporte público ocorre na faixa das 06h00min às 09h00min e das 15h30min às 19h00min. Uma parcela significativa desta demanda é do tipo escolar, representando, em média, 50% do total de usuários. Cerca de 20 veículos são alocados diariamente como ‘Tabela de Curso’ para atender ao horário de pico.

A operação da companhia Carris dispõe de documentos externos (leis, decretos e resoluções da Prefeitura Municipal) que estabelecem critérios e características que os veículos devam apresentar para serem utilizados. A Figura 29 apresenta a descrição destes documentos.

Documento	Disposição
Resolução N° 012/98	Estabelece novos critérios para a renovação da frota de ônibus: utilização de veículos que apresentem menor ruído junto ao motorista, menor aquecimento e maior largura das portas; e ingressar na frota veículos com motor traseiro ou central até que seja atingida a proporção mínima de 70 % desses veículos em relação aos demais
Lei Complementar N° 403	Disponer de veículos adaptados para pessoas portadoras de necessidades especiais, respeitando o limite mínimo de um veículo por linha
Decreto N° 12.721	Aquisição e substituição de veículos para portadores de necessidades especiais: Para cada dez veículos novos por consórcio operacional que ingressam na frota, um veículo será adaptado para pessoas portadoras; e toda a retirada de veículo adaptado para pessoas portadoras deverá ser substituído por veículo correspondente
Lei N° 7404	Torna obrigatória a instalação de cestinhas de lixo nos veículos
Resolução N° 016/98	Dispõe sobre reserva de assentos especiais para pessoas obesas: cada veículo deverá dispor de um assento especial (20 % superior ao assento padrão)
Lei N° 4260	Estabelece normas técnicas para inclusão de veículos na frota: Não será permitida a inclusão de unidades com fabricação de mais de cinco anos, tanto de carroceria como de chassi; e substituição automática dos veículos que atingirem 10 anos, contados da data de sua fabricação
Resolução N° 007/96	Os veículos que forem incluídos na frota deverão possuir bancos que tenham laudo ergométrico aprovado pelo INMETRO, com armação metálica, assentos e encostos em material estofado ou macio

Figura 29: Documentos Externos

Fonte: UFRGS (2005b)

4.3 ETAPA 2: ANÁLISE ECONÔMICA

Foram disponibilizadas pela Carris duas bases de dados de manutenção e operação, uma com dados no período de 1994-2004 (itens de manutenção) e outra com dados do período 1998-2004 (quilometragem, mão-de-obra direta e consumo de combustível). Os

dados do ano 2000 estavam incompletos e tiveram de ser excluídos da análise, os dados tiveram que ser estimados.

A inflação utilizada para a análise foi composta a partir da inflação dos itens mais significantes no gasto do ônibus, apresentados na Tabela 4. Calculou-se a média geométrica anual do período de 1995-2004 de cada tipo de item de custo, exceto nos casos que a fonte de informação provinha da Carris. Neste caso, o período disponível foi de 1998-2004. Para o cálculo da inflação da frota Carris, utilizou-se a inflação média a partir da ponderação (percentual do gasto do insumo em relação ao gasto total) dos gastos de cada subfrota. A inflação média ponderada da frota Carris para insumos ficou em torno de 11% a.a.

Tabela 4: Composição da Inflação do Ônibus

Item	Inflação anual média no período 1995-2004	Fonte
Veículo (aquisição)	5,15%	IPA-DI veículos pesados para transporte - FGV Conjuntura Econômica
Peças	10,35%	IPA-DI - componentes para veículos Mensal - FGV/Conj. Econômica
MOD	12,72%	Carris
Óleo diesel	22,22%	Carris
Pneus	17,51%	Carris
Lubrificantes	19,12%	IPA-OG - combustíveis e lubrificantes - FGV Conjuntura Econômica
Inflação média	11,00%	Calculada a partir da ponderação do gasto médio das subfrotas Carris

Fonte: UFRGS (2005b)

A taxa mínima de atratividade (TMA) ou taxa de remuneração de capital utilizada foi de 6% a.a. juro real, considerada adequada para projetos de longo prazo, análises em fluxo de caixa em valores reais e após o Imposto de Renda.

O Imposto de Renda (I.R.), no caso da Carris, é de 34%. O desconto do Imposto se aplica nos gastos de manutenção, depreciação e venda do veículo (ganho e/ou perda de capital).

4.3.1 Custo de Aquisição, Valor de Revenda e Custo de Recuperação de Capital

A depreciação contábil utilizada pela Carris é pelo método linear a 10% ao ano. A depreciação real foi estimada em 15% com base em entrevistas com os fabricantes de chassis, pesquisa em sites especializados e literatura consultada.

4.3.2 Custo de Operação

Os gastos em pneus tiveram que ser estimados para dois tipos de ônibus, o normal (6 pneus) e articulado (8 pneus). Não foi possível estimar os gastos para cada tipo de subfrota, pois cada pneu rodou em mais de um veículo durante a sua vida útil. Para dispor de um custeio correto seria necessário identificar quanto cada tipo de ônibus (subfrota) gastou em cada tipo de pneu.

A partir dos dados fornecidos pela Carris, foi calculada uma média ponderada do custo/km em função do número de pneus e quilômetros rodados pelo tipo de ônibus (normal ou articulado). Os dados deste cálculo são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Dados para o Cálculo do Gasto de Pneu

Item	Valor	Variável
Gasto total em pneus no ano (2004)	R\$1.356.620	A
km rodados pelos ônibus normais (6 pneus) em 2004	19.398.434	B
km rodados pelos ônibus articulados (8 pneus) em 2004	1.289.966	C
Gasto/km para 6 pneus	R\$ 0,06424	$D = (6*A)/((6*B)+(8*C))$
Gasto/km para 8 pneus	R\$ 0,08565	$E = (8*A)/((6*B)+(8*C))$

Fonte: UFRGS(2005b)

Os gastos com lubrificantes são apresentados na Tabela 6 e na Tabela 7. Os veículos com manutenção terceirizada têm o gasto com lubrificantes embutido no gasto com itens de manutenção.

Tabela 6: Dados por Tipo de Lubrificante

Gastos com lubrificantes	Custo atual por litro (R\$)	Intervalo de troca (km)	Quantidade de litros
Óleo diferencial	4,79	Ver Tabela 7	7,5
Óleo Motor	3,31	20000	15
Óleo caixa automático	14,80	30000	15
Óleo caixa mecânico	3,81	60000	8,5

Fonte: UFRGS (2005b)

Tabela 7: Intervalo Diferencial e Gastos de Lubrificantes por Subfrota

Subfrota	Intervalo de troca de óleo diferencial (km)	Gasto em lubrificantes / km
1	terceirizado	
2	50.000	0,003741
3	50.000	0,003741
4	50.000	0,003741
5	30.000	0,011080
6	terceirizado	
7	50.000	0,010601
8	terceirizado	
9	terceirizado	
10	terceirizado	
11	50.000	0,010601

Fonte: UFRGS (2005b)

4.3.3 Custo de Manutenção

O valor de mão-de-obra direta de 40 reais/hora foi baseado no valor utilizado pela Carris, que inclui custos diretos (salário, encargos sociais) e indiretos (salário da gerência, outros). O custo do diesel de R\$ 1,5391 foi capturado na base de dados da Carris (valor de Dezembro/2004).

4.3.4 Previsão do Fluxo de Caixa

O apontamento de mão-de-obra direta (MOD) de manutenção aparentemente não condiz com o crescimento dos gastos em itens de manutenção. Acredita-se que o número de horas em MOD da base de dados Carris é subestimado e possui alguma distorção. Mesmo

assim, foram utilizados os dados tais como foram fornecidos. O erro é aceitável, pois os outros itens de manutenção representam o maior gasto do custo de manutenção (CM).

Os dados do ano 2000 estavam incompletos e não foram considerados para o estudo, sendo completados através de uma interpolação (valor médio dos dados do ano anterior e do ano posterior). O ano inicial (ano 1) foi estimado para todas as subfrotas, pois a base de dados é por prefixo do ônibus (compartilhado pelo ônibus anterior que o atual substituiu). Portanto, no ano de entrada do ônibus atual os dados anteriores à entrada poderiam pertencer ao ônibus anterior, sem falar que no caso dos ônibus atual não se teria um ano completo, podendo haver distorção em função da sazonalidade referente ao uso do veículo. Uma outra razão é que o veículo está na garantia ainda no primeiro ano, logo o custo de manutenção é mascarado. Os dados do ano inicial e dos anos futuros (de 2005 até o ano 10 da subfrota) foram estimados através de regressão linear.

4.3.5 Cálculo do CAUE

A seguir será apresentado em detalhes e o cálculo de uma das subfrotas. A Subfrota 8 é caracterizada por um veículo tamanho normal, com câmbio automático.

Os gastos constantes que não variam com o tempo de uso (combustível, pneus e lubrificantes) não foram incluídos no cálculo da Vida Econômica. Como são constantes, só são incluídos depois do cálculo do CAUE no custo/km. A Tabela 8 apresenta os dados operacionais e econômicos da Subfrota 8.

Tabela 8: Dados Operacionais/Econômicos da Subfrota 8

Item	Valor
Valor de compra	R\$ 117.760,00
Gastos por km em lubrificantes	
Custo/km de pneus	R\$ 0,0642
Consumo km/l médio	2,05
Quilômetros médios rodados por ano	74.068

Fonte: UFRGS (2005b)

No caso da subfrota 8, como o ano inicial trata-se de 1999, não foi possível a interpolação dos dados de 2000, logo este também foi estimado via regressão linear. A Tabela 9 apresenta os dados de manutenção disponíveis na base de dados da Carris.

Tabela 9: Dados Capturados da Base de Dados de Manutenção da Carris

Ano	Horas de MOD	Gastos em Itens de Manutenção (R\$)	Gastos Deflacionados de Itens de Manutenção (R\$)
1			
2			
3	48,2936	11.846,33	15.918,45
4	36,7396	16.716,77	20.356,22
5	43,7928	27.053,77	29.853,83
6	44,6656	38.552,62	38.552,62
7			
8			
9			
10			

Fonte: UFRGS (2005b)

Os valores previstos por regressão linear são apresentados na Tabela 10. O R^2 da MOD apresenta um valor muito baixo. Já o gasto em itens de manutenção apresenta um fator R^2 de 0,97, demonstrando claramente uma relação linear do gasto com o tempo/quilometragem.

Tabela 10: Valores Previstos por Regressão Linear

	Previsão de Horas de MOD	Gastos Deflacionados Previstos de Itens de Manutenção (R\$)
1	44,71368	8.537,80
2	44,3306	11.567,04
3	48,2936	15.918,45
4	36,7396	20.356,22
5	43,7928	29.853,83
6	44,6656	38.552,62
7	42,4152	45.520,32
8	42,03212	53.260,33
9	41,64904	61.000,34
10	41,26596	68.740,36
R^2	0,01	0,97

Fonte: UFRGS (2005b)

A Tabela 11 apresenta os gastos de operação e manutenção calculados a partir dos dados fornecidos.

Tabela 11: Gastos Calculados a partir dos Dados

Ano	R\$ em Combustível + Lubrificantes	R\$ em Pneus	R\$ em MOD	R\$ em Itens de Manutenção	Total em R\$
1	55.611,59	4.758,05	1.788,55	8.537,80	70.695,99
2	55.611,59	4.758,05	1.773,22	11.567,04	73.709,91
3	55.611,59	4.758,05	1.931,74	15.918,45	78.219,84
4	55.611,59	4.758,05	1.469,58	20.356,22	82.195,45
5	55.611,59	4.758,05	1.751,71	29.853,83	91.975,19
6	55.611,59	4.758,05	1.786,62	38.552,62	100.708,89
7	55.611,59	4.758,05	1.696,61	45.520,32	107.586,57
8	55.611,59	4.758,05	1.681,28	53.260,33	115.311,26
9	55.611,59	4.758,05	1.665,96	61.000,34	123.035,95
10	55.611,59	4.758,05	1.650,64	68.740,36	130.760,64

Fonte: UFRGS (2005b)

A Tabela 12 e a Tabela 13 apresentam os custos anuais calculados a partir do custo de operação e manutenção e o custo de recuperação de capital, sendo que os dados em itálicos são previstos. A Tabela 14 apresenta o cálculo da Vida Econômica da Subfrota 8.

Tabela 12: Valor de revenda, gastos, depreciação e ônus do IR da Subfrota 8

Ano	Valor de Revenda (1)	Gasto em manutenção e operação(2)	Depreciação Contábil (3)	Ônus do IR (4)
0	159.167,16			
1	135.292,08	10.326,35	14.339,38	2.437,70
2	114.998,27	13.340,27	12.918,36	3.403,99
3	97.748,53	17.850,19	11.638,17	3.398,05
4	83.086,25	21.825,80	10.484,83	2.780,36
5	70.623,31	31.605,55	9.445,80	1.807,94
6	60.029,82	40.339,25	8.509,73	661,13
7	<i>51.025,34</i>	<i>47.216,92</i>	<i>7.666,42</i>	<i>536,36</i>
8	<i>43.371,54</i>	<i>54.941,61</i>	<i>6.906,68</i>	<i>1.702,28</i>
9	<i>36.865,81</i>	<i>62.666,30</i>	<i>6.222,24</i>	<i>2.784,44</i>
10	<i>31.335,94</i>	<i>70.390,99</i>	<i>5.605,62</i>	<i>3.752,25</i>

Fonte: UFRGS (2005b)

Tabela 13: Cálculo do Custo Anual da Subfrota 8

Ano	Custo de Manutenção (CM) (5)	Custo de Recuperação de Capital (CRC) (6)	Custo Anual (7)	Custo Anual c/ Venda (8)
0				
1	6.815,39	28.549,71	35.365,10	32.927,41
2	8.804,58	24.019,09	32.823,67	29.419,68
3	11.781,13	20.192,66	31.973,79	28.575,73
4	14.405,03	16.962,35	31.367,38	28.587,02
5	20.859,66	14.236,54	35.096,20	33.288,26
6	26.623,90	11.937,59	38.561,49	37.900,36
7	<i>31.163,17</i>	<i>9.999,68</i>	<i>41.162,85</i>	<i>41.699,21</i>
8	<i>36.261,46</i>	<i>8.367,05</i>	<i>44.628,51</i>	<i>46.330,79</i>
9	<i>41.359,76</i>	<i>6.992,46</i>	<i>48.352,22</i>	<i>51.136,66</i>
10	<i>46.458,06</i>	<i>5.835,91</i>	<i>52.293,97</i>	<i>56.046,22</i>

Fonte: UFRGS (2005b)

Tabela 14: Cálculo da Vida Econômica

Ano	VPL (9)	CAUE (10)	CUSTO ANUAL/km (11)	CAUE/km (12)	Diferença relativa ao CAUE Mínimo (13)
0					
1	31.063,59	32.927,41	0,4775	0,4446	1,81%
2	59.546,72	32.478,98	0,4432	0,4385	0,43%
3	86.568,99	32.386,31	0,4317	0,4373	0,14%
4	112.065,66	32.341,20	0,4235	0,4366	0,00%
5	139.142,89	33.032,02	0,4738	0,4460	2,14%
6	167.212,15	34.004,70	0,5206	0,4591	5,14%
7	195.410,57	35.004,88	0,5557	0,4726	8,24%
8	224.122,38	36.091,76	0,6025	0,4873	11,60%
9	253.322,06	37.243,98	0,6528	0,5028	15,16%
10	282.969,87	38.446,54	0,7060	0,5191	18,88%

Fonte: UFRGS (2005b)

A Figura 30 apresenta a evolução no tempo do Custo de Manutenção, Custo de Recuperação de Capital e o Custo Anual Equivalente Uniforme.

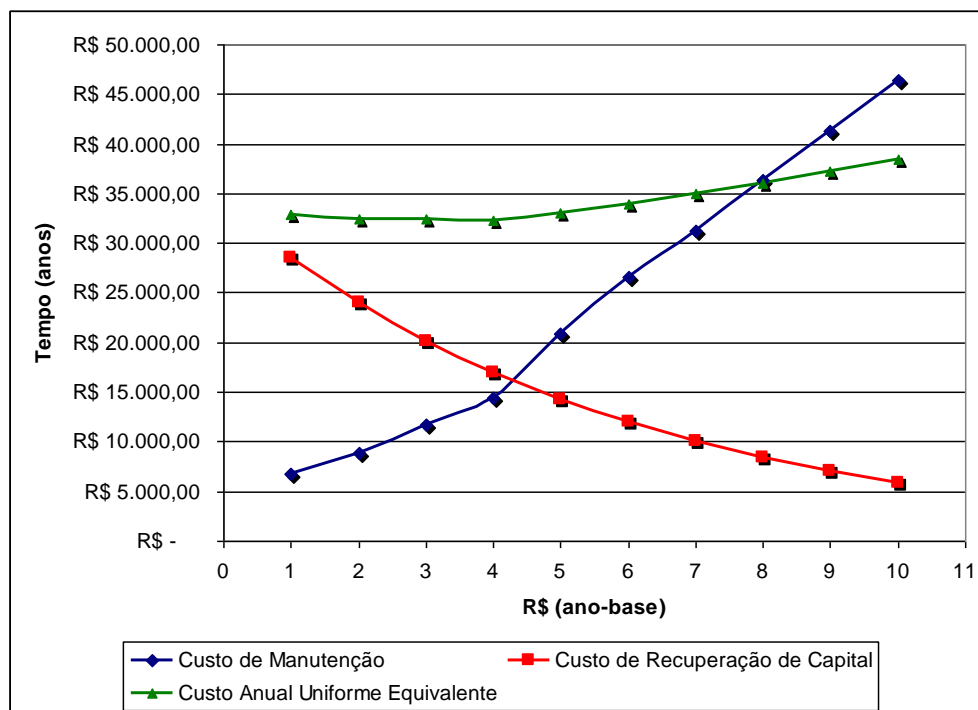


Figura 30: Vida Econômica da Subfrota 8

Fonte: UFRGS (2005b)

A faixa de troca foi limitada em +/-2,5% de diferença do CAUE/km do ano em relação ao CAUE/km mínimo. Os valores para a faixa de troca foram calculados sem os insumos de operação variáveis (combustível, lubrificantes, pneus) para evitar distorções no percentual. Na Tabela 15 é apresentado um resumo da faixa de troca de cada uma das Subfrotas.

Tabela 15: Resumo da Faixa de Troca para cada uma das Subfrotas

Subfrota	Ano de início	Idade da Subfrota no final de 2004	No. de veículos da subfrota	Quilômetros/ano médio	Consumo km/l	CAUE/km Mínimo	Faixa de Troca
1	1995	10	10	45.324	1,341	2,0429	9-10
2	1996	9	36	72.181	2,470	0,8918	5-10
3	1996	9	31	69.352	2,463	0,8963	6-10
4	1997	8	12	65.657	2,409	0,8694	4-10
5	1998	7	54	70.930	2,109	0,9419	3-10
6	1998	7	7	49.395	1,300	1,8636	4-10
7	2000	5	32	51.820	1,495	1,4987	2-3
8	1999	6	25	74.068	2,050	0,9746	2-3
9	1999	6	7	58.290	1,361	1,7493	4-10
10	1999	6	17	59.645	1,552	1,3870	2-5
11	2001	4	40	62.885	1,438	1,4852	2-3

Fonte: UFRGS(2005b)

O Apêndice A apresenta o cálculo detalhado para cada uma das subfrotas, com os custos anuais e os CAUEs discriminados ano-a-ano.

4.4 ETAPA 3: ANÁLISE DE CRITÉRIOS NÃO-ECONÔMICOS

A análise de critérios não-econômicos consiste em verificar quais as características que os ônibus a serem adquiridos pela Companhia Carris Porto-Alegrense devem apresentar para atender satisfatoriamente às demandas da operação do serviço, da manutenção e dos usuários.

Em um primeiro momento, é realizada uma etapa qualitativa, que corresponde à realização de entrevistas junto ao pessoal da Companhia Carris e usuários do sistema, com o intuito de levantar as características do ônibus mais relevantes para satisfazer as necessidades dos funcionários da empresa e usuários do serviço. Os formulários utilizados encontram-se no Apêndice B. Foi aplicado um pré-teste com pesquisadores da área de transportes e com funcionários da Carris que também eram da equipe de pesquisa da empresa.

Após o levantamento qualitativo das informações obtidas das entrevistas, estas precisam ser quantificadas em valores, a fim de identificar o valor de importância e impacto de cada característica sobre o veículo. A partir das características de maior importância e impacto pode-se identificar o ônibus ideal para atender às necessidades do pessoal de operação e manutenção da empresa, bem como do usuário do serviço.

4.4.1 Definição dos Decisores, Critérios e Características

Inicialmente é realizada uma pesquisa junto aos funcionários da Carris para identificar as características dos ônibus e das linhas que influenciam na operação e manutenção do serviço da empresa.

Esta pesquisa foi dividida em quatro sessões. Cada sessão foi composta por seis funcionários da Carris, sendo eles: motoristas, gerentes da área operacional, mecânicos e gerentes da manutenção. Em cada uma destas sessões, nas quais foram apontadas as características que influenciam na operação e manutenção da empresa, a duração foi de aproximadamente 90 minutos e foram ministradas pela equipe da UFRGS. A Figura 31 apresenta o objetivo da pesquisa, comentado em cada sessão antes da entrevista, e as perguntas utilizadas durante a entrevista.

Objetivo da pesquisa	Levantamento das características dos ônibus e linhas com o pessoal da operação e manutenção para definição do(s) tipo(s) de ônibus que vierem a ser comprados pela Carris.
Perguntas ao pessoal da Operação (motoristas e gerentes)	Quais os principais problemas apresentados pelo ônibus no dia-a-dia da operação?
	Quais as características do ônibus que influenciam na operação da linha?
	Quais as características da linha que influenciam na operação do ônibus?
Perguntas ao pessoal da Manutenção (mecânicos e gerentes)	Quais os principais problemas apresentados pelo ônibus no dia-a-dia da manutenção?
	Quais as características do ônibus que afetam a manutenção?
	Quais as características da linha que afetam a manutenção?

Figura 31: Objetivo da Pesquisa e Perguntas

Fonte: UFRGS (2005b)

Durante a entrevista foi utilizado um gravador para posterior transcrição. A partir das entrevistas, foi elaborada uma lista com as características abordadas. A Figura 32 apresenta estas características.

Características dos ônibus
Tamanho do veículo
Câmbio do ônibus
Posição do motor do ônibus
Sistema de freios de ônibus
Direção do ônibus
Suspensão do ônibus
Piso do ônibus
Conforto térmico no ônibus
Desnível do corredor interno do ônibus
Largura das portas do ônibus
Porta de acesso para portadores de necessidades especiais
Formato da janela dianteira do ônibus
Material utilizado na janela traseira do ônibus
Tipo de assento do ônibus
Tipo de letreiro do ônibus
Tipo de retrovisor do ônibus
Tipo de assoalho do ônibus

Figura 32: Características dos ônibus identificadas nas entrevistas com os funcionários

Fonte: UFRGS (2005b)

Em função destas características influenciarem de forma e intensidades diferentes na escolha de novos veículos, elas foram divididas e, posteriormente, analisadas em três grupos. No primeiro grupo foi analisado somente o tamanho do veículo. No segundo grupo foram analisadas as seguintes características: câmbio do ônibus, posição do motor, sistema de freios, direção do ônibus, suspensão, piso do ônibus e conforto térmico; considerando que a maioria destas características refere-se ao chassi, denominou-se este grupo de características do chassi. E no terceiro grupo foram analisadas as seguintes características: desnível do corredor interno, largura das portas, porta de acesso para portadores de necessidades especiais, formato da janela dianteira, material utilizado na janela traseira, assento, letreiro, retrovisor e o tipo de assoalho; em vista que estas características referem-se à carroceria, denominou-se este grupo de características da carroceria. Cada um destes grupos de características do ônibus são explicitados nas seções subseqüentes.

Embora este grupo tenha sido denominado características do chassi, foram analisadas, também, duas características da carroceria: piso do ônibus e conforto térmico. Estas características foram analisadas conjuntamente em virtude de que durante as entrevistas com o pessoal da manutenção e operação não se obteve nenhum consenso sobre qual especificação de cada característica seria a mais dominante. Por exemplo, na característica câmbio do veículo, não se chegou a um consenso se o câmbio manual seria melhor que o

automático ou vice-versa. A Figura 33 apresenta as características e suas respectivas especificações.

Características	Especificações
Tipo de câmbio	Câmbio Manual
	Câmbio Automático
Tipo de suspensão do ônibus	Susp. Fixa/mecânica
	Susp. Fixa/pneumática
	Susp. Regulável
Posição do motor	Motor na posição Traseira
	Motor na posição Dianteira
	Motor entre eixos
Tipo de direção do ônibus	Direção Fixa
	Direção Escamoteável
Tipo de sistema freio do ônibus	Freio a Tambor
	Freio a Disco
Existência de desnível entre o piso de acesso a porta e o piso do corredor do ônibus	Piso com degraus
	Piso sem degraus
Tipo de sistema de ventilação	Com ar-condicionado
	Sem ar-condicionado

Figura 33: Características e Especificações

Fonte: UFRGS (2005b)

Nesta análise determinou-se a ordem de importância das características e, posteriormente, verificou-se o peso de importância para cada especificação. A seguir, são explicitados os procedimentos utilizados durante esta análise.

A determinação da ordem de importância das características do chassi foi obtida através do impacto que elas acarretariam a certos critérios. Estes critérios representaram facilidades ou comodidades que as características do chassi deveriam apresentar para atender aos três atores do sistema de transporte (manutenção, operação e usuário). A Figura 34 apresenta estes critérios.

Critério Primário	Critério Secundário
Serviço ao Usuário	Facilidade de acesso ao ônibus (entrada/saída)
	Conforto do usuário dentro do ônibus
	Facilidade de circulação dentro ônibus (corredor/assento)
	Segurança no uso do ônibus
Técnico/Manutenção	Tempo gasto para realizar a manutenção da peça defeituosa
	Facilidade de acesso à peça defeituosa
	Disponibilidade de reposição de peças
	Inovações tecnológicas
Técnico/Operação	Facilidade para realizar manobras (dirigibilidade)
	Facilidade do ônibus parar
	Facilidade do ônibus retomar a velocidade
	Facilidade de subir/descer trechos inclinados da via
	Conforto do motorista/cobrador

Figura 34: Critérios a serem Atendidos pelas Características do Chassi

Fonte: UFRGS (2005b)

4.4.2 Determinação dos Pesos dos Critérios (MAUT)

Com a definição destes critérios, são determinados os seus pesos de importância. Estes pesos são obtidos a partir de questionários, onde se solicitou que funcionários da Carris e usuários do sistema de transporte público ordenassem os critérios mais importantes. O pessoal da gerência e diretoria da Carris apontou a ordem de importância para os três critérios primários (Tabela 16). A área de operação da empresa, composta por três coordenadores e três motoristas, colocou em ordem de importância os critérios secundários técnico/operação (Tabela 17). A área de manutenção, composta por três coordenadores e três mecânicos, apontou a ordem de importância dos critérios secundários técnico/manutenção (Tabela 18). Os usuários, composto por cinco pessoas da UFRGS (funcionários e estudantes), colocaram em ordem de importância os critérios secundários serviço ao usuário (Tabela 19).

Tabela 16: Peso dos critérios primários

Entrevistado	Técnico/Operação	Técnico/Manutenção	Serviço ao Usuário
1	1,00	0,33	0,50
2	1,00	0,50	0,33
3	0,33	0,50	1,00
4	1,00	0,50	0,33
5	1,00	0,50	0,33
Total	4,33	2,33	2,50
Percentual	0,47	0,25	0,27

Fonte: UFRGS (2005b)

Tabela 17: Peso dos critérios secundários - Técnico/Operação

Entrevistado	Facilidade de manobra	Facilidade de subir e descer	Conforto do motorista	Facilidade de parar	Facilidade de retomar
1	1,00	0,25	0,20	0,33	0,50
2	1,00	0,25	0,50	0,20	0,33
3	0,20	0,25	1,00	0,50	0,33
4	0,50	1,00	0,33	0,25	0,20
5	1,00	0,25	0,50	0,33	0,20
6	1,00	0,33	0,20	0,25	0,50
Total	4,70	2,33	2,73	1,87	2,07
Percentual	0,34	0,17	0,20	0,14	0,15

Fonte: UFRGS (2005b)

Tabela 18: Peso dos critérios secundários - Técnico/Manutenção

Entrevistado	Tempo gasto	Facilidade de acesso	Disponibilidade e de peças	Inovações tecnológicas
1	0,33	0,50	1,00	0,25
2	1,00	0,33	0,50	0,25
3	0,33	0,50	1,00	0,25
4	0,33	0,50	1,00	0,25
5	0,25	0,33	0,50	1,00
6	0,25	1,00	0,33	0,50
Total	2,50	3,17	4,33	2,50
Percentual	0,20	0,25	0,35	0,20

Fonte: UFRGS (2005b)

Tabela 19: Peso dos critérios secundários – Serviço ao Usuário

Entrevistado	Facilidade Acesso	Conforto do usuário	Facilidade circulação	Segurança no uso
1	0,5	0,25	0,33	1
2	0,5	1	0,33	0,25
3	0,25	1	0,5	0,33
4	0,25	0,33	0,5	1
5	0,33	1	0,25	0,5
Total	1,83	3,58	1,91	3,08
Percentual	0,18	0,34	0,18	0,30

Fonte: UFRGS (2005b)

4.4.3 Análise de Relacionamento (QFD)

A partir da definição dos pesos percentuais dos critérios, foi realizada uma análise de relacionamento entre os critérios e as características do chassi. Os mesmos funcionários da área de operação e manutenção da Carris e usuários foram entrevistados para apontar a ordem de importância dos critérios. Utilizou-se uma escala para representar esses impactos, como mostra a Figura 35. Nesta análise efetuou-se a seguinte pergunta aos entrevistados: ‘Qual o impacto da característica do chassi X sobre o critério secundário Y da operação/manutenção/usuário?’

Escala	Impacto
9	Forte
3	Relativo
1	Possível
Sem numeração	Não há impacto

Figura 35: Escala de Impacto

Fonte: UFRGS (2005b)

É importante ressaltar que os funcionários da operação, por exemplo, analisaram somente o impacto das características do chassi sobre os critérios secundários da operação, o mesmo ocorrendo com os demais grupos de entrevistados (funcionários da manutenção e usuários). Cada entrevistado analisou o relacionamento entre critérios e características do chassi individualmente, e ao final da análise, cada grupo de entrevistados (operação, manutenção e usuários) chegou a um consenso sobre os valores de impactos das características do chassi sobre os critérios. Para facilitar o consenso, foi decidido pela equipe de pesquisa permitir o uso de valores numéricos intermediários entre os apresentados na escala de impacto. A Tabela 20 apresenta a matriz de relacionamento com os valores dos

pesos de importância das características do ônibus. A partir da obtenção do peso de importância das características do ônibus, ordenaram-se as características mais importantes.

Tabela 20: Matriz de Relacionamento entre Critérios e Características do Ônibus

Critério Primário	Critério Secundário	Peso	Características do ônibus						
			Chassi					Carroceria	
			Câmbio do ônibus	Suspensão do ônibus	Motor do ônibus (posição)	Direção do ônibus	Sistema de freios do ônibus	Altura do piso do ônibus	Conforto térmico do ônibus
Serviço ao Usuário	Facilidade de acesso ao ônibus (entrada/saída)	4,80			9			9	
	Conforto do usuário dentro do ônibus	9,39	3	9	9		9	3	9
	Facilidade de circulação dentro do ônibus (corredor/assento)	5,01	3	3			3	3	
	Segurança no uso do ônibus	8,08	3	5			9	5	
Técnico/Manutenção	Tempo gasto para realizar a manutenção da peça defeituosa	5,09	6	9	9	2	2	9	7
	Facilidade de acesso à peça defeituosa	6,45	3	9	6	1	3	9	3
	Disponibilidade de reposição de peças	8,82	3	9	6	2	3	8	5
	Inovações tecnológicas	5,09	9	9	6	1	3	7	3
Técnico/Operação	Facilidade para realizar manobras (dirigibilidade)	16,22	9	4	3	9	9	1	3
	Facilidade do ônibus parar	6,44	7	1	1	1	9		
	Facilidade do ônibus retomar a velocidade	7,13	9		1	1			4
	Facilidade de subir/descer trechos inclinados da via	8,05	9	3	1	1	9		8
	Conforto do motorista/cobrador	9,43	9	3	6	9	7	1	9
Peso de importância das características do ônibus		100	60,22	49,28	42,3	29,2	58,59	36,25	42,5

Fonte: UFRGS (2005b)

Pode ser observado, como exemplo, o peso da importância (60,22) da característica câmbio do ônibus foi obtido pela soma vertical da multiplicação entre o peso de importância (5,09) do critério tempo gasto para realizar a manutenção da peça defeituosa e o seu valor de impacto (6); a multiplicação entre o peso de importância (6,45) critério facilidade de acesso à peça defeituosa e o seu valor de impacto (3); a multiplicação entre o peso de importância (8,82) do critério disponibilidade de reposição de peças e o seu valor de impacto (3); e, a

multiplicação entre o peso de importância (5,09) do critério inovações tecnológicas e o seu valor de impacto (9). Pela ordem de importância apresentada pela Tabela 21, a característica de maior impacto foi o câmbio e a característica de menor impacto foi a direção do ônibus.

Tabela 21: Ordem de Importância das Características do Ônibus

Características do Ônibus	Ordem de Importância
Câmbio do ônibus	1
Sistema de freios do ônibus	2
Suspensão do ônibus	3
Conforto térmico do ônibus	4
Motor do ônibus (posição)	5
Altura do piso do ônibus	6
Direção do ônibus	7

Fonte: UFRGS (2005b)

4.4.4 Levantamento das Preferências dos Decisores (AHP)

Após a definição da ordem de importância das características do chassi, foi definido o peso de importância de suas respectivas especificações. Estes pesos de importância foram definidos através de uma análise hierárquica. Esta hierarquia foi realizada através de um questionário onde um grupo de funcionários da Carris (um gerente da manutenção, dois mecânicos, dois gerentes da operação e um motorista) indicou a dominância entre as especificações de uma mesma característica do ônibus.

Cada entrevistado respondeu o questionário individualmente, e ao final obteve-se um consenso das intensidades das dominâncias e os valores dos pesos de importância das especificações utilizando-se o *software Expert Choice*. Os pesos de importância das especificações são apresentados na Figura 36.

Característica do ônibus	Especificação	Pesos AHP
Tipo de câmbio	Câmbio Manual	0,167
	Câmbio Automático	0,833
Tipo de suspensão do ônibus	Susp. Fixa/mecânica	0,125
	Susp. Fixa/pneumática	0,750
	Susp. Regulável	0,125
Posição do motor	Motor na posição Traseira	0,637
	Motor na posição Dianteira	0,258
	Motor entre eixos	0,105
Tipo de direção do ônibus	Direção Fixa	0,167
	Direção Escamoteável	0,833
Tipo de sistema freio do ônibus	Freio a Tambor	0,167
	Freio a Disco	0,833
Existência de desnível entre o piso de acesso a porta e o piso do corredor do ônibus	Piso com degraus	0,167
	Piso sem degraus	0,833
Tipo de sistema de ventilação	Com ar-condicionado	0,200
	Sem ar-condicionado	0,800

Figura 36: Peso de Importância das Especificações através do *Expert Choice*

Fonte: UFRGS (2005b)

Após a definição dos pesos das especificações através do *software*, multiplicaram-se estes valores pelos pesos de importância de suas respectivas características. Por exemplo, o peso de importância da especificação câmbio automático resultou da multiplicação do seu valor hierárquico obtido pelo *software* (0,833) pelo valor de importância da característica câmbio (60,22). A Figura 37 apresenta os pesos de importância das especificações a partir da análise hierárquica e da ordem de importância de suas características.

Especificações	Pesos
Câmbio Automático	50,16
Freio a Disco	48,81
Susp. Fixa/pneumática	36,96
Sem ar-condicionado	34,03
Piso sem degraus	30,20
Motor na posição Traseira	26,92
Direção Escamoteável	24,31
Motor na posição Dianteira	10,90
Câmbio Manual	10,06
Freio a Tambor	9,78
Com ar-condicionado	8,51
Susp. Fixa/mecânica	6,16
Susp. Regulável	6,16
Piso com degraus	6,05
Direção Fixa	4,87
Motor entre eixos	4,44

Figura 37: Pesos de Importância das Especificações a partir da Análise Hierárquica e da Ordem de Importância de suas Características

Fonte: UFRGS (2005b)

Pelos pesos apresentados na Figura 37, o câmbio aparece como característica de maior impacto na escolha de novos veículos. Levando-se em consideração os valores dos pesos, desconsiderando as variáveis econômicas, as características ideais para os ônibus que vierem a ser adquiridos deverão ser as seguintes: câmbio automático, freio a disco, suspensão fixa/pneumática, sem ar-condicionado, piso sem degraus, motor na posição traseira e direção escamoteável. A soma dos pesos destas especificações ideais resulta em um peso de 251,38 para um ônibus ideal. Estas características podem não ser as ideais para determinado itinerário de linha e tamanho de veículo. Por exemplo, em linhas com muitos aclives, o câmbio manual seria preferencial em relação ao câmbio automático; e em veículos longos (articulados) a utilização do ar-condicionado não seria adequada.

As características da carroceria: desnível do corredor interno, largura das portas, porta de acesso para portadores de necessidades especiais, formato da janela dianteira, material utilizado na janela traseira, forma de fixação dos vidros, formato das janelas laterais, material utilizado no teto do veículo, assento do ônibus, letreiro, retrovisor e assoalho do ônibus; foram analisadas conjuntamente visto que durante as entrevistas para o levantamento das características dos ônibus se obteve consenso sobre qual especificação de cada característica seria a mais dominante. Por exemplo, na característica material utilizado na janela traseira, se chegou ao consenso que o uso de fibra seria melhor que a utilização de vidro. A Figura 38 apresenta as características da carroceria e suas respectivas especificações ideais.

Características da Carroceria	Especificações ideais
Desnível do corredor interno do ônibus	Sem desnível interno
Largura das portas do ônibus	Entrada para duas pessoas
Porta de acesso para portadores de necessidades especiais	Rampa localizada dentro do veículo
Formato da janela dianteira do ônibus	Bi-partida
Material utilizado na janela traseira do ônibus	Fibra
Forma de fixação dos vidros do ônibus	Borracha
Formato das janelas laterais do ônibus	Uma fixa e duas móveis
Material utilizado no teto do ônibus	Fibra
Assento do ônibus	Urbano
Letreiro do ônibus	Eletrônico
Retrovisor do ônibus	Único
Assoalho do ônibus	Compensado naval

Figura 38: Características da Carroceria e suas Especificações Ideais

Fonte: UFRGS (2005b)

Após a definição das especificações ideais para a carroceria do ônibus, verificaram-se quais destas especificações estavam presentes na atual frota da empresa. Esta avaliação foi

realizada para cada subfrota, atribuindo-se o valor 1 para indicar a existência de uma especificação ideal em uma subfrota e o valor 0 para apontar a inexistência de uma especificação ideal. Estes valores foram obtidos junto ao pessoal da manutenção. Atribui-se, ao final, um peso para cada uma das subfrotas a partir das soma dos seus valores. A Tabela 22 apresenta os valores para cada especificação em cada uma das subfrotas e o peso total das especificações da carroceria para cada subfrota.

Tabela 22: Peso Total das Especificações da Carroceria para cada Subfrota

Subfrota	Corredor sem desnível interno	Portas para entrada e saída de duas pessoas	Rampa/localizada dentro do ônibus	Janela dianteira Bipartida	Material da janela traseira-Fibra	Forma de fixação dos vidros-Borracha	Janelas laterais-um vidro fixo e dois móveis	Material no teto-Fibra	Assento urbano	Letreiro eletrônico	Retrovisor único	Assoalho-Compensado/Naval	Peso total
1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	7
2	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	7
3	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	7
4	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	7
5	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	8
6	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	9
7	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	3
8	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	10
9	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	9
10	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	6
11	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	5
12	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	6

Fonte: UFRGS (2005b)

A partir dos pesos, observa-se que a subfrota 8 apresenta o maior peso, visto que apresenta o maior número de especificações ideais para a carroceria, ao contrário da subfrota 7 que apresenta o menor de especificações ideais.

4.4.5 Cálculo do *Score*

A partir dos pesos determinados na etapa anterior, podem-se verificar quais as subfrotas da Carris que apresentam mais características tidas como benéficas para a empresa. A Tabela 23 apresenta os pesos das subfrotas da Carris resultantes das somas dos pesos de suas respectivas especificações.

Tabela 23: Pesos das Subfrotas da Carris

Subfrota	Modelo/Chassis	Fabr./Chassis	Modelo/Carroceria	Fabric./Carroceria	Peso Total
7	4	D	V	δ	195,06
8	6	A	III	γ	188,21
5	3	C	III	γ	168,77
1	1	A	I	α	165,73
6	1	A	IV	δ	165,73
9	1	A	I	α	165,73
10	7	A	II	β	162,69
11	5	D	V	δ	156,03
2	2	B	II	β	81,85
3	2	B	III	γ	81,85
4	2	B	I	α	81,85

Fonte: UFRGS (2005b)

Observa-se que embora o modelo de chassi 4 tenha sido destacado pelos funcionários da Carris como um veículo problemático, este apresenta o maior peso no somatório das especificações ideais que um ônibus Carris deveria dispor. Este resultado ocorre em função de que esta subfrota do modelo de chassi 4 apresenta as duas especificações ideais de maior impacto para um veículo Carris, câmbio automático e freio a disco (é a única subfrota que dispõe do sistema de freio a disco).

Constata-se, também, que a incorporação de tecnologia representa um impacto importante na aquisição de novos veículos, uma vez que as subfrotas de maior idade da empresa não dispõem de muita tecnologia e são as subfrotas de menor peso entre todas as subfrotas.

4.4.6 Informações Complementares

Além do levantamento das características ideais para o ônibus, foram coletadas, também, informações que devem ser consideradas no momento da realização da compra de novos veículos.

As informações adicionais coletadas durante as entrevistas junto ao pessoal da manutenção e operação da Carris foram as seguintes: sugestão do uso do motor eletrônico, não adquirir portas com abertura do tipo ‘varão’; definição dos valores de potência e torque adequados para as linhas; a face dianteira do veículo não poderá ser totalmente de vidro; a visualização do painel do motorista deverá ser boa; o câmbio deverá estar em uma posição ergonômica independente do tamanho do motorista; o veículo que vier a ser adquirido deverá estar devidamente testado; aquisição preferencialmente de peças em formato padrão e o acesso ao conhecimento técnico (manuais disponibilizados pelos fabricantes).

Foram coletadas as seguintes informações junto ao pessoal de engenharia de segurança da Carris: apoio regulável para os pés do cobrador; isolamento térmico do motor; visualização, por parte do motorista, do espelho interno para a saída dos passageiros; dispor os extintores em posições laterais; dispor de iluminação adequada para o motorista (menos intensidade) e o cobrador (maior intensidade); dispor de uma campainha que distribua o som ao longo do veículo; e dispor de um sensor na porta traseira que indique que o passageiro está descendo.

4.5 ETAPA 4: ANÁLISE BENEFÍCIO/CUSTO

A partir da definição dos custos para cada uma das subfrotas e das características ideais para os veículos da empresa, foi realizada uma análise de benefício-custo (B/C). Nesta análise, o custo foi considerado através do CAUE, da quilometragem e da taxa de ocupação a 75%. A Tabela 24 apresenta este custo para cada uma das subfrotas da empresa.

Tabela 24: Custo por subfrota

Subfrota	CAUE por km (R\$/km)	CAUE por km por passageiro (R\$/km *10⁻³)
1	2,0437	1,5366
2	0,8477	1,1302
3	0,8967	1,1940
4	0,8702	1,1375
5	0,9510	1,2391
6	1,8641	1,4095
7	1,5566	2,0414
8	0,9775	1,2374
9	1,7539	1,3287
10	1,4032	1,7819
11	1,5045	1,9757

Fonte: UFRGS (2005b)

O benefício total foi obtido a partir da soma dos pesos de importância das características do chassi e da carroceria de cada uma das subfrotas, sendo estes pesos normalizados. Esta normalização foi obtida dividindo-se o peso de cada subfrota pelo maior peso dentre as subfrotas, tanto para os pesos da carroceria como para os pesos do chassi. Porém, antes de efetuar a soma propriamente dita, definiu-se junto ao pessoal de operação e manutenção da empresa, a participação percentual para os pesos da carroceria e do chassi. Foi definido que durante a soma, o peso de importância do chassi teria um percentual de 65 %, enquanto que o peso de importância da carroceria teria um percentual de 35 %. A Tabela 25 apresenta os pesos normalizados da carroceria e do chassi para cada uma das subfrotas, bem como o benefício total normalizado.

Tabela 25: Benefício Total Normalizado

Subfrota	Peso Chassi (65%)	Peso Carroceria (35%)	Peso Chassi Normalizado	Peso Carroceria Normalizado	Benefício Total	Benefício Total Normalizado
1	165,73	7,00	84,96%	70,00%	79,73%	81,59%
2	81,85	7,00	41,96%	70,00%	51,77%	52,98%
3	81,85	7,00	41,96%	70,00%	51,77%	52,98%
4	81,85	7,00	41,96%	70,00%	51,77%	52,98%
5	168,77	8,00	86,52%	80,00%	84,24%	86,21%
6	165,73	9,00	84,96%	90,00%	86,73%	88,75%
7	195,06	3,00	100,00%	30,00%	75,50%	77,26%
8	188,21	10,00	96,49%	100,00%	97,72%	100,00%
9	165,73	9,00	84,96%	90,00%	86,73%	88,75%
10	162,69	6,00	83,40%	60,00%	75,21%	76,97%
11	156,03	5,00	79,99%	50,00%	69,49%	71,12%

Fonte: UFRGS (2005b)

Com a definição do custo e do benefício total normalizado, analisou-se o benefício/custo de cada uma das subfrotas, dividindo-se benefício total normalizado pelo custo, o resultado desta divisão, por sua vez, foi também normalizado. A partir dos resultados obtidos, foram determinadas faixas para identificar as subfrotas que apresentaram a melhor relação B/C. A relação Benefício/Custo para cada uma das subfrotas é apresentada na Tabela 26.

Tabela 26: Relação Benefício/Custo para cada uma das Subfrotas

Subfrota	Peso Chassis	Peso Carroceria	CAUE por km por passageiro (R\$/km*10 ⁻³)	Benefício/Custo	Faixas
8	188,21	10,00	R\$ 1,2374	100,00%	Ótimo 100%-85%
5	168,77	8,00	R\$ 1,2391	86,66%	
9	165,73	9,00	R\$ 1,3287	82,62%	Bom 85%-60%
6	165,73	9,00	R\$ 1,4095	77,70%	
1	165,73	7,00	R\$ 1,5366	65,53%	
4	81,85	7,00	R\$ 1.1364	57,52%	Fraco 60%-50%
2	81,85	7,00	R\$ 1,1302	54,97%	
3	81,85	7,00	R\$ 1,1940	54,77%	
10	162,69	6,00	R\$ 1,7819	53,91%	
7	195,06	3,00	R\$ 2,0414	48,49%	Ruim <50%
11	156,03	5,00	R\$ 1,9757	44,98%	

Fonte: UFRGS (2005b)

Com pode ser observado na, as subfrotas 5 e 8 apresentam a melhor relação Benefício/Custo e as subfrotas 7 e 11 a pior relação Benefício/Custo. É importante ressaltar que as subfrotas 1, 6 e 9 são compostas por veículos articulados. Estes veículos articulados apresentaram uma boa relação Benefício/Custo nesta análise, visto que se considerou uma taxa de ocupação a 75 %, porém sabe-se que estes veículos somente atendem a este nível de serviço em determinados horários de algumas linhas da empresa. Portanto, um veículo articulado apresentará uma boa relação Benefício/Custo se for alocado para linhas de longo percurso e com altos índices de demanda em várias faixas de horário.

4.6 ETAPA 5: AVALIAÇÃO E DEFINIÇÃO DA POLÍTICA

Deve-se atentar para o fato de que existe uma faixa ótima de troca para cada subfrota e não um ano ótimo, visto que a diferença de custo de um ano *versus* a do outro ano é praticamente inexistente. Por exemplo, analisando a subfrota 2, percebe-se que a faixa ótima de troca do veículo é de 5 a 10 anos. Neste caso deve-se priorizar uma troca em 10 anos ao invés de 5 anos, já que qualquer troca oferece o risco de uma compra de um veículo não adequado, bem como a necessidade de aprendizado dos funcionários da manutenção e da operação. Outro fator preponderante é o custo do lançamento de um edital. Algumas situações podem levar a uma antecipação de troca (por exemplo, 7 anos): disponibilidade de caixa, facilidade de crédito ou outros fatores.

Portanto, a empresa deve priorizar a troca para o último ano definido na faixa de troca econômica. Entretanto, os tomadores de decisão devem estar atentos para possíveis aumentos acentuados de custos de manutenção dos veículos. Para isto a empresa deve semestralmente avaliar a evolução dos gastos de manutenção e mão-de-obra dos veículos para que se possam prever possíveis desembolsos indesejados.

Pela análise (ver Figura 39) fica claro que os ônibus com menos tecnologia tendem a ter uma vida econômica mais longa, enquanto que ônibus com maior tecnologia embarcada tendem a ter uma vida econômica mais curta. É provável que os articulados tenham sua vida econômica estendida até 12 anos, porém esta análise mais detalhada não foi conduzida.

Tipo de ônibus	Faixa de troca	Impacto Financeiro ao trocar na época certa
Baixa Tecnologia, tamanho normal	8-10	Baixo
Baixa Tecnologia, articulado	10-12	Alto
Média tecnologia (câmbio automático)	4-8	Médio
Alta tecnologia (autom, ar-cond, piso baixo)	2-5	Alto

Figura 39: Faixa de troca por nível tecnológico

Os dados fornecidos pela Política de Substituição desenvolvida orientaram a elaboração de um edital técnica/preço para a aquisição de uma frota de 62 ônibus no ano de 2006. Foram adquiridos veículos de média tecnologia do tipo alongado (um pouco maior que o tamanho normal - tem comprimento de 12 metros - mas com consumo de combustível equivalente). A Companhia Carris Porto-Alegrense divulgou as seguintes notas para a imprensa a respeito desta aquisição:

É a maior renovação da frota nos últimos dez anos e possibilitará o transporte diário de mais seis mil passageiros sentados, proporcionando maior conforto aos cerca de 230 mil usuários da companhia. Resultado de estudo realizado pela Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Ufrgs)[...]

Com investimento total de R\$ 14,5 milhões, os veículos foram adquiridos em pregão eletrônico, modalidade de licitação utilizada pela primeira vez pela Carris na compra de ônibus. Deste valor, R\$ 9,81 milhões são financiados pelo Banco Nacional de Desenvolvimento (sic) Econômico e Social (BNDES), pelo Banrisul, e o restante com recursos da Carris.[...]

Foram adquiridos 62 veículos, dos quais 50 começam a circular já na quinta-feira e os 12 restantes nas próximas semanas. Entre os novos carros, 48 têm lugares para 54 passageiros sentados, oito para 58 e seis (com elevadores hidráulicos para pessoas em cadeiras de rodas) para 39. Os ônibus que serão substituídos medem 12 metros e têm capacidade para 46 passageiros. Com veículos maiores, a Carris poderá transportar 6 mil passageiros sentados a mais por dia, proporcionando maior conforto aos usuários (CARRIS, 2006c).

O diretor-presidente, Sr. Antônio Lorenzi, comentou a respeito da aquisição:

[...] os 62 novos ônibus para a renovação da frota são melhores do que os substituídos. Disse [Antônio Lorenzi, diretor-presidente da Carris Porto-alegrense] que tanto os novos quanto os usados possuem motor dianteiro, câmbio manual e não têm ar condicionado, mas os novos têm injeção eletrônica, melhor visibilidade, painel eletrônico e motor menos poluente. [...]

O diretor-presidente da Carris considera que a tendência aponta para um aumento no índice de satisfação dos usuários. Em 2004, a média de reclamações na Empresa Pública de Transporte e Circulação (EPTC) foi de uma a cada 56 mil passageiros transportados, média que se manteve no mesmo patamar no ano passado. A partir da chegada dos novos veículos, o número de viagens com excesso de lotação diminuiu bastante. Na linha T2, por exemplo, caiu de 33% para 17%. A tendência de queda também se verifica quanto aos custos de manutenção da frota, graças à renovação dos veículos. De acordo com Lorenzi, a Carris prevê economizar, em um ano, R\$ 962 mil com peças, acessórios e pneus (CARRIS, 2006a).

Na Figura 40 pode-se ver a frota adquirida pela empresa.



Figura 40: Novos ônibus adquiridos pela Carris Porto-alegrense

Fonte: PMPA (2006)

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados da análise econômica, dos critérios não-econômicos e da aplicação da sistemática proposta indicam que a empresa deveria adquirir tecnologia compatível com a sua prestação de serviço. Veículos com alta tecnologia, mas inadequados aos itinerários das linhas da empresa, podem provocar uma operação ineficiente e um aumento substancial nos custos de manutenção e operação. Isto porque a vida econômica destes veículos tende a ser menor e, logo, seria vantajoso para a empresa substituí-los por veículos novos mais adequados e com menor custo total. A aquisição de veículos com mais tecnologia embarcada é uma tendência de mercado. No entanto, para acompanhar essa evolução, é necessário que a equipe de manutenção seja preparada para trabalhar com estes tipos de veículos e manter uma atualização constante do conhecimento técnico.

Os resultados da aplicação da sistemática evidenciam também que, se a decisão fosse apenas pelo critério econômico, a opção seria pelo veículo mais atrasado tecnologicamente e com o menor benefício percebido pelo conjunto de decisores. Da mesma forma, se fossem considerados apenas os benefícios, o veículo seria o mais avançado tecnologicamente, mas também o mais caro para operar. A integração dos critérios econômicos e não-econômicos resultou em uma decisão técnica, levando em conta vários aspectos e perspectivas do problema de tomada de decisão, como representados na Figura 41. Ainda que pareça óbvia, esta consideração está apoiada nos relatos dos funcionários de carreira da empresa, que afirmaram que cada gestão tende a priorizar apenas um dos critérios por vez.

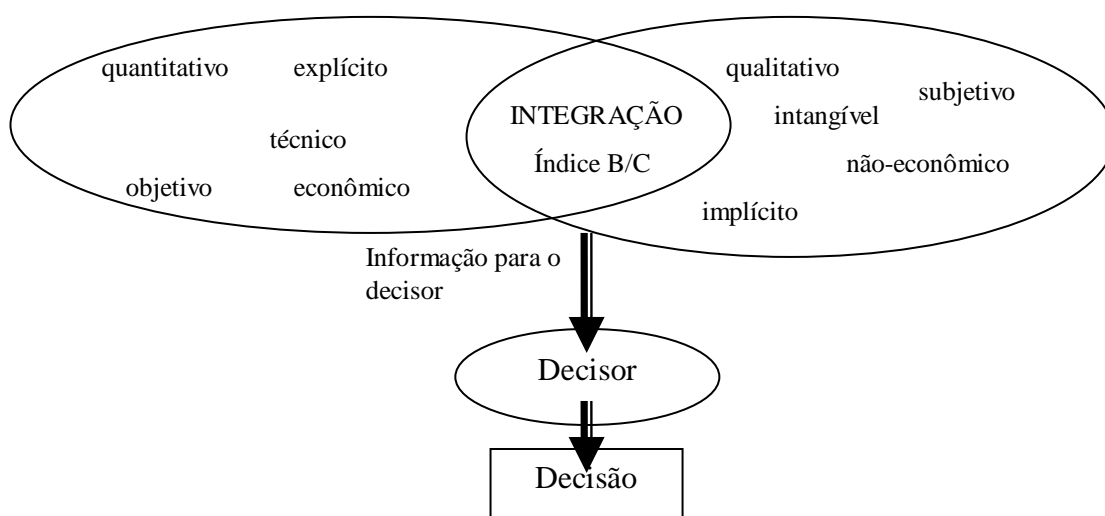


Figura 41: Processo de decisão integrado

As evidências do estudo sugerem que existe uma faixa ideal de troca do veículo, pois as diferenças no CAUE nos anos próximos ao ‘ponto’ ideal de troca calculado pela análise de investimento, podem não ser significativas. Deve-se, porém, atentar para o fato de que, ao prolongar muito esta faixa, o ganho econômico que se pode obter ao trocar o veículo é reduzido. Dentro desta faixa, portanto, devem-se observar outros critérios de decisão para o momento da troca. Por exemplo, a disponibilidade de uma linha de financiamento a um juro reduzido pode antecipar uma troca de veículo. Portanto, critérios técnicos (dimensionamento, oferta de serviço), financeiros (linhas de financiamento, saúde financeira da empresa) e regulatórios podem determinar o momento exato da substituição do ônibus.

A análise dos resultados revelou algumas possíveis explicações que podem ser colocadas em termos de hipóteses. A primeira hipótese é a de que quanto mais avançado tecnologicamente, mais curta é a vida econômica do ônibus. A segunda hipótese refere-se à curva do CAUE. Observando as curvas de cada subfrota no Apêndice B, pode-se inferir que quanto mais simples tecnologicamente o ônibus, mais plana é a curva e vice-versa, como exemplificado na Figura 42.

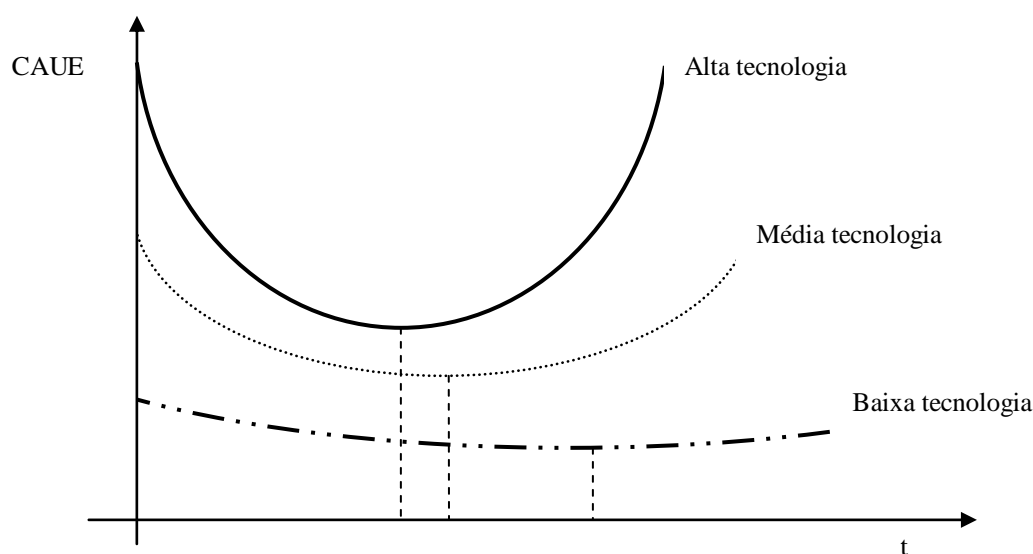


Figura 42: Curva do CAUE em função do nível tecnológico

Outra inferência dos resultados deste estudo é de que o delta da curva do CAUE influencia a flexibilidade da substituição do equipamento. Assim, quanto menor o delta, mais flexível é o tempo de troca. Isto é, quando a diferença do valor do CAUE é pequena entre um

ano e outro, a troca do equipamento pode ser adiada ou antecipada. Esta flexibilidade permite um melhor planejamento financeiro e desembolso do caixa. A opção de antecipar, ou adiar a decisão de troca de ônibus, tem valor, logo, poderia se calcular utilizando o método das Opções Reais.

Outro ponto importante é a questão da revenda do veículo. Uma mesma taxa de depreciação foi utilizada para todos os veículos. O valor real de revenda é determinado pelo mercado no momento da venda. Outras variáveis que podem influenciar o valor de revenda seriam: a situação atual do mercado, os compradores disponíveis, as características e quilometragem rodada do veículo. Na implementação da Política de Substituição, deve-se utilizar a sistemática para simular diferentes cenários e analisar a sensibilidade da vida econômica de cada subfrota.

Um outro achado interessante durante a aplicação da sistemática foi o fato de que a equipe de pesquisa percebeu que o uso do CAUE com taxas nominais (na presença de inflação) distorce o período da Vida Econômica do equipamento. Concluiu-se, portanto, que o CAUE nominal não diferencia o que é aumento devido à perda de desempenho (ou aumento de manutenção) e o que é aumento devido apenas à inflação. As distorções foram bem significativas, principalmente em função da alta inflação do combustível do veículo. Os livros-textos de engenharia econômica afirmam que, se convertidos corretamente, fluxos nominais ou reais deveriam ser indiferentes para a análise. No caso do CAUE nominal esta afirmação não se mostrou válida. Não foi encontrado na literatura algo a respeito deste problema, a única menção próxima a esta distorção está no livro de Brealey e Myers (2002, p. 133-134), que apresenta um exemplo onde ocorre a mudança da alternativa preferida entre dois equipamentos - sem explicar o porquê, apenas recomendando o uso do CAUE Real. Como pode ser visto na Tabela 27, ocorre uma inversão na alternativa preferida entre dois equipamentos quando se utiliza o CAUE Nominal no lugar do Real.

Tabela 27: Distorção do CAUE nominal

Taxa real =	6%	Inflação =	25%	Taxa nominal =	32,50%	
Fluxo Real						
Máquina	Custo de aquisição	Ano 1	Ano 2	Ano 3	VPL real	CAUE Real
A	15	5	5	5	R\$ 28,37	R\$ 10,61
B	10	6	6		R\$ 21,00	R\$ 11,45
Fluxo Nominal						
Máquina	Custo de aquisição	Ano 1	Ano 2	Ano 3	VPL nominal	CAUE nominal
A	15	6,25	7,8125	9,765625	R\$ 28,37	R\$ 16,17
B	10	7,5	9,375		R\$ 21,00	R\$ 15,86

Fonte: Adaptado de Brealey e Myers (2002, p. 133-134)

Os participantes do estudo relataram nas entrevistas que o piso baixo, considerado um item que oferece maior conforto para o usuário, só é eficaz se utilizado em condições adequadas de operação. Caso contrário, este pode até piorar a qualidade do serviço, o que é verdadeiro em algumas linhas que a Carris opera. Pela análise econômica percebe-se que a existência do ar-condicionado nos ônibus gera situação ainda mais grave, pois chega a duplicar o consumo de combustível em relação a ônibus sem o aparelho. Além disto, os resultados mostram que este item não é necessariamente tão valorizado, conforme o levantamento de preferências na etapa de análise dos critérios não-econômicos deste trabalho. A adoção de veículos de alta tecnologia não implicou em um aumento de demanda, no caso da Carris, havendo inclusive uma queda no IPK no período em que foram adotados veículos com estas características.

Complementarmente às outras análises neste estudo, foram realizadas entrevistas com um pequeno grupo de seis pessoas (funcionários e estudantes da UFRGS) para a definição das preferências do usuário. A análise evidencia a necessidade de que a empresa amplie a sua amostra de usuários a serem entrevistados, com o objetivo de aumentar a diversidade de opiniões e, conseqüentemente, verificar quais são as principais necessidades dos usuários que deverão ser atendidas pelo serviço de transporte. Para realização de pesquisas com os usuários, pode-se tomar como referência o trabalho de Castro (2004) que desenvolveu e aplicou um método para identificar quais seriam os objetivos que os usuários

de transporte coletivo por ônibus da cidade de Porto Alegre considerariam prioritários para dispor um serviço com maior qualidade. Os principais resultados deste trabalho indicaram que os usuários consideraram a oferta de um serviço mais seguro e a redução do tempo de espera nas paradas como os objetivos mais importantes a serem atingidos. As Figuras 43 e 44 apresentam, em ordem de importância, os principais objetivos primários e secundários considerados pelos usuários.

Ordem de importância	Objetivos Primários
1	Ser seguro
2	Ser rápido
3	Ser de fácil acesso/próximo
4	Ser limpo
5	Ser confortável
6	Ser confiável
7	Passar informações

Figura 43: Ordem de Importância dos Objetivos Primários

Fonte: Castro (2004)

Ordem de importância	Objetivos Secundários
1	Reduzir o tempo de espera nas paradas
2	Melhorar as condições de segurança pessoal nas paradas
3	Começar mais cedo e terminar mais tarde os horários de ônibus
4	Melhorar a limpeza dentro e fora dos ônibus
5	Garantir que o ônibus passe nas paradas no horário
6	Garantir que os motoristas dirijam com prudência/segurança
7	Melhorar as condições de acesso (entrada e saída) nos ônibus
8	Reduzir a distância de caminhada até a parada
9	Reduzir o tempo de viagem dentro dos ônibus
10	Melhorar as condições de segurança pessoal dentro dos ônibus
11	Reduzir a necessidade de fazer integração/transbordo/transferência
12	Melhorar o conforto durante a espera pelo ônibus
13	Melhorar a limpeza nas paradas
14	Garantir que o ônibus pare quando solicitado
15	Garantir que motoristas/cobreadores tenham bom comportamento
16	Melhorar o conforto durante a viagem no ônibus
17	Garantir que os funcionários tenham boa aparência e higiene pessoal
18	Melhorar as condições de segurança pessoal na caminhada até a parada
19	Garantir um letreiro do ônibus (n° e nome da linha) de forma visível e clara
20	Reduzir a quantidade de quebra de ônibus na linha
21	Melhorar a sinalização/identificação das paradas
22	Fornecer informações de transportes no interior do ônibus
23	Fornecer informações de transportes fora do ônibus (paradas, 0800, internet)

Figura 44: Ordem de Importância dos Objetivos Secundários

Fonte: Castro (2004)

Considerando que a análise econômica foi realizada em um período específico, deve-se atentar para o fato de que mudanças na gestão da manutenção e operação dos veículos podem modificar significativamente a faixa ideal de troca dos ônibus. Portanto, a formação de uma equipe interna para manutenção e aplicação da política de substituição de frota Carris é essencial. A política de substituição é dinâmica, logo deve ser revista regularmente (por exemplo, uma vez por ano). Cada subfrota deve ter acompanhamento ao longo da sua vida, por meio de indicadores econômicos e técnicos.

O estudo mostra também que o combustível é o item mais significativo no custo operacional de um veículo. Portanto, qualquer redução no consumo de combustível, tanto pela compra de veículos mais adequados, quanto pela definição de uma política para redução de consumo de combustível, beneficiaria a empresa, em termos financeiros, consideravelmente. Neste trabalho não foi incluído o custo de estocagem de peças, ou seja, custo de capital e os custos operacionais associados ao armazenamento de peças. Estes custos onerariam mais os veículos que possuem um alto gasto com manutenção de peças. Nesta perspectiva, necessita-se de um processo de aquisição que priorize principalmente os custos de operação e manutenção do veículo e não apenas o custo de aquisição do mesmo. O reflexo da necessidade dessa perspectiva está evidenciado no fato de que o gasto de aquisição representa apenas 20 a 40% do custo total da vida econômica de uma frota de ônibus urbano.

Outro achado diz respeito ao dimensionamento da frota, que influencia de forma significativa a política de substituição do ônibus. É importante que a empresa realize um dimensionamento da sua frota, com o intuito de disponibilizar veículos adequados para cada itinerário de linha e, conseqüentemente, proporcionar uma operação com maior eficácia.

Outro ponto importante deste estudo é a padronização da frota da empresa, realidade não observada no momento da investigação, uma vez que isto poderia criar vantagens para a operação e manutenção dos veículos. Dentre estas vantagens, podem ser citadas: facilidade de negociar com o fabricante desconto do preço de tabela de peças, prazo de entrega; especialização da mão-de-obra; redução dos gastos em estoque, visto que as peças são comuns a todos os veículos; realização de manutenção preventiva mais eficiente; obtenção de dados mais consistentes sobre os custos; maior facilidade para planejar a oficina e diminuição do número de ferramentas especializadas necessárias; facilidade de obtenção de uma assistência técnica melhor junto ao fabricante nos casos de manutenção de garantia, defeitos de fábrica, padronização de cor, etc. Estrategicamente, não é interessante que se tenha uma frota de veículos diversificada, ou seja, várias marcas e vários modelos. Aconselha-se portanto, que a empresa considere uma redução da variabilidade da frota, tanto na questão do fornecedor quanto no que diz respeito ao modelo adquirido.

Observou-se também que a participação dos colaboradores da empresa neste estudo possibilitou informações que os tomadores de decisão (gerência) talvez não tivessem acesso, se não houvesse sido aplicada uma estrutura formalizada de levantamento e quantificação das informações quanto aos benefícios (utilidade) das características técnicas do ônibus. A

participação dos diferentes níveis hierárquicos e setores da empresa no processo de tomada de decisão permitiu a definição do perfil de ônibus mais aderente às necessidades da empresa. Tal participação coletiva também legitimou a aquisição dos novos ônibus, buscando atender as diferentes partes interessadas da organização.

Os resultados do estudo corroboram com o que a literatura recomenda, no que se refere à importância da transparência do processo de decisão, que beneficia os *stakeholders*, pois incrementa a governança corporativa da organização (SMART; MEGGINSON; GITMAN, 2004). Isto é mais relevante no caso da empresa em que foi aplicada a sistemática, por se tratar de uma empresa pública. Um processo de aquisição transparente, em licitações públicas, aumenta a competitividade e limita a interferência política na gestão de compras. A prestação de contas para a sociedade é clara e de mais fácil compreensão. A competição e eficácia também aumentam, pois uma compreensão clara e justa dos critérios de aquisição implica em uma oportunidade real (redução do lobby político) para os fornecedores mais competitivos. O mercado fornecedor investirá em soluções mais aderentes às necessidades do comprador. Ainda assim, uma das barreiras observadas durante o trabalho relaciona-se à legislação atual, que obriga o uso do critério do menor preço nas licitações públicas. Como foi evidenciado no trabalho, o menor preço de aquisição não significa necessariamente o menor custo total. Uma das alternativas para esta situação é o uso do critério técnica/preço, valorizando características técnicas que impliquem em menor custo de operação, manutenção ou menor taxa de depreciação econômica.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho teve como objetivo desenvolver uma sistemática para Política de Substituição de Frotas de Ônibus para Transporte Coletivo Urbano, integrando aspectos econômico-financeiros, quantitativos e qualitativos. O objetivo principal foi alcançado com a elaboração de uma sistemática estruturada baseada na Engenharia Econômica e na Análise Multicritério.

No capítulo 1 foi apresentado o ambiente atual dos sistemas de transporte público por ônibus no Brasil, onde a queda da demanda e o aumento acima da inflação dos insumos exigem do setor maior eficiência e redução de custos. Uma das alternativas para redução de custo é uma política de substituição de equipamentos para efetivar uma gestão econômica mais eficiente dos ativos operacionais das empresas de ônibus, no caso, a sua frota de veículos. Considerando que a tomada de decisão não pode ser orientada apenas pelo aspecto econômico, o uso integrado deste com a Análise Multicritério torna-se relevante. A metodologia abordada no estudo foi baseada na pesquisa-ação, no sentido de desenvolver a sistemática de substituição de frota em uma empresa e validar a mesma com a sua aplicação. O método foi considerado adequado para o desenvolvimento do trabalho, uma vez que a sistemática proposta foi construída, testada e adaptada não só em termos das recomendações da literatura como também das sugestões dos usuários da sistemática (no caso, os colaboradores da Carris).

No capítulo 2 foram revisados os assuntos Engenharia Econômica, Análise Multicritério e Características Técnicas e Custos de Ônibus. Na parte referente à Engenharia Econômica, foram incluídos estudos sobre o valor do dinheiro no tempo, determinação da Taxa Mínima de Atratividade, Métodos de Avaliação de Desempenho e a Substituição de Equipamentos. Na parte que tratou da Análise Multicritério, a ênfase foi no que a literatura destaca quanto aos métodos MAUT, QFD e AHP. Foram incluídos também alguns trabalhos realizados por outros autores utilizando modelos híbridos que combinam mais de um método de Análise Multicritério. Também foi revisado o assunto Características Técnicas e Custos de Ônibus, para melhor compreensão do tipo de equipamento estudado.

No capítulo 3 foi proposta a sistemática de Política de Substituição, que consistiu nas seguintes etapas: (a) diagnóstico; (b) levantamento de indicadores; (c) análise econômica; (d)

análise de critérios não-econômicos, (e) análise benefício/custo; e, (f) avaliação e definição da política.

A sistemática desenvolvida para a Substituição de Frotas utilizou um modelo determinístico. Uma sugestão para trabalhos futuros é a de que seja usado um modelo sob condições de risco/incerteza nos fluxos de caixa e também na análise multicritério (consideração de incerteza). A sistemática utilizou um modelo aditivo, sem considerar as interações/sinergias das características técnicas do ônibus. Uma recomendação que pode ser colocada é a de que, em estudos futuros, seja avaliado o uso combinado de duas ou mais características que afetam o benefício/custo. Também outros métodos Multicritério podem ser usados, além dos estudados neste trabalho, como o *Electre* e o *Promethee*. Estes métodos têm como vantagem o fato de serem modelos interativos.

A análise de sensibilidade dos fatores de entrada no cálculo econômico foi conduzida na base da tentativa e erro, uma vez que não foi utilizado um método estruturado para tal análise. A aplicação de uma metodologia de Projetos de Experimentos (MONTGOMERY, 1991) poderá ser usada em estudos futuros. Este tipo de análise identificaria a sensibilidade das variáveis de resposta em relação às de entrada e as interações entre os fatores de entrada. Outra recomendação seria o uso de uma simulação Monte Carlo (BLANK; TARQUIN, 1998). Estudos futuros, com objetivos similares aos do aqui relatados, poderiam usar uma estratificação adicional das subfrotas, de acordo com a diferença do custo de manutenção entre veículos da mesma subfrota. Igualmente, uma outra recomendação para futuros estudos refere-se ao uso de uma divisão em veículos ‘bons’ (baixo custo em relação à média), ‘médios’ e ‘ruins’. Com este agrupamento, seriam identificados os equipamentos de pior desempenho dentro das subfrotas. Esta informação seria útil tanto para o planejamento e priorização da substituição quanto para a manutenção da frota.

A sistemática poderia ainda ser aplicada e testada em outros ambientes empresariais e tipos de equipamentos/frotas, como ônibus rodoviário, caminhões, automóveis, tratores, aviões, navios e outros. Uma outra recomendação refere-se à incorporação dos custos ambientais na Política de Substituição; por exemplo, um veículo novo no mercado que for menos poluente pode antecipar a substituição de um equipamento usado.

No capítulo 4 foi desenvolvida e aplicada a sistemática em uma empresa pública de transporte coletivo urbano por ônibus, a Companhia Carris Porto-Alegrense. Neste sentido,

foi realizado um agrupamento da frota da empresa em subfrotas, classificadas por modelo, ano e características técnicas. As vidas econômicas das subfrotas foram calculadas, assim como os benefícios intangíveis. Foi determinado um índice benefício/custo, que classificou o modelo ideal de ônibus para a empresa e a faixa ideal de substituição, em função do tipo e nível tecnológico do ônibus.

Os objetivos secundários do estudo foram alcançados quase na totalidade, apenas com algumas limitações em relação ao universo de sua validade. Ainda assim, estes resultados já eram esperados, considerando o método apoiado na pesquisa-ação e um caso único de estudo e aplicação.

Quanto ao objetivo secundário de compreensão geral do transporte coletivo de Porto Alegre e da empresa estudada, pode-se afirmar que o estudo possibilitou o entendimento do ambiente restrito à bacia operacional em que a Carris atua. No caso da empresa, a ênfase foi na área de manutenção e operação, consideradas mais relevantes para o problema de substituição da frota.

Os custos operacionais e de manutenção foram identificados e analisados com apoio na base de dados da frota da empresa. Este objetivo secundário foi considerado alcançado parcialmente, pois não se tem condições de comprovar se, em outra empresa, com condições de operação diferentes da Carris, os custos teriam o mesmo comportamento. Na revisão bibliográfica, foram obtidas algumas indicações de que o custo de manutenção de veículos aumenta linearmente, qualificando os dados da frota Carris. Quanto ao custo de operação, os dados da Carris indicam que não há aumento significativo, contrariando alguns trabalhos revisados na literatura, que utilizaram um modelo linear de crescimento do custo de operação. Mas, se for aplicada a suposição de obsolescência técnica e que novos modelos de veículos seriam mais econômicos, poder-se-ia utilizar um modelo linear de crescimento. No entanto, ao estudar a frota da Carris e o mercado de ônibus no Brasil, observa-se que os novos equipamentos são menos eficientes economicamente que modelos mais antigos, pois consomem mais combustível e têm um maior custo de manutenção.

O estudo também indicou que algumas características influenciam significativamente no benefício/custo do ônibus, em particular o ar-condicionado, o tipo de câmbio, a posição do motor e a altura do piso. Foi observado que equipar o ônibus com mais tecnologia não implica necessariamente em melhor qualidade de serviço.

A sistemática proposta foi aplicada com sucesso na empresa, validando, portanto, a mesma. Foi construída uma Política de Substituição com a participação da equipe de pesquisa e dos colaboradores da empresa. A Política não só determinou o tempo de substituição ideal, mas também o perfil ideal de veículo. A sistemática combinou diferentes métodos de Análise Multicritério em uma estrutura formal e relacionou os benefícios intangíveis com os custos do veículo, gerando um índice benefício/custo que orienta a maximização de benefício e minimização do custo.

No capítulo 5 são discutidos os resultados da aplicação quanto a: (a) questões tecnológicas do veículo; (b) processo de aquisição; (c) dimensionamento e padronização; (d) faixa ideal de substituição; (e) pesquisa com os usuários; e (f) gestão da frota.

O estudo confirma que o uso combinado do quantitativo e qualitativo, do econômico e não-econômico, do objetivo e subjetivo, assim como a participação da organização como um todo, qualificaram o processo de tomada de decisão. Na mesma perspectiva da epígrafe deste trabalho, Hayes e Wheelwright (1984) transpõem para o ambiente empresarial que a operação eficaz de uma organização não é necessariamente aquela que promete eficiência máxima ou perfeição de engenharia, mas aquela que se ajusta às necessidades da empresa – que se esforça para ter consistência entre suas aptidões, políticas e estratégia.

Além das recomendações já mencionadas, outros tópicos podem ser acrescentados para trabalhos futuros que focalizem o que segue:

- A aplicabilidade do uso de Opções Reais em Substituição de Equipamentos;
- O efeito heterogeneidade da frota sobre os custos e a gestão da operação, manutenção e estoque de peças;
- A influência da legislação tributária, políticas públicas e econômicas na Vida Econômica dos equipamentos;
- A definição das taxas de desconto para projetos públicos e/ou Parcerias Público-Privadas (PPPs);
- O efeito dos vieses e processos cognitivos que afetam o processo de tomada de decisão nas organizações.

REFERÊNCIAS

AGRALE. *MIDIBUS - Utilitários de Passageiros*. Disponível em: <http://www.agrale.com.br/webagrale/website.nsf/LinhasProduto?ReadForm&Veiculos&MIDIBUS_-_UTILITARIOS_DE_PASSAGEIROS> Acesso em: 12 Apr. 2006

ALCHIAN, Armen. *Economic Replacement Policy*: an abbreviated version of R-224. 1.ed. Santa Monica, California: RAND Corporation, 1958. 29p.

ALESSANDRI, Todd M. et al. Managing risk and uncertainty in complex capital projects. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, v.44, n.5, p. 751-767, Dec. 2004.

ALLEMAN, James; RAPPOPORT, Paul. Modelling Regulatory Distortions with Real Options. *Engineering Economist*, v.47, n.4, p. 390, 2002.

ALVARENGA, Antonio Carlos; NOVAES, Antonio Galvão. *Logística aplicada*: suprimento e distribuição física. 3.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2000. 194p.

ARDALAN, Abol. *Economic & Financial Analysis for Engineering & Project Management*.ed. Lancaster, Penn. Technomic Publishing, 2000.

ARMACOST, Robert L. et al. AHP framework for prioritizing customer requirements in QFD: An industrialized housing application. *IIE Transactions (Institute of Industrial Engineers)*, v.26, n.4, p. 72-79, 1994.

ARROW, Kenneth J.; LIND, Robert C. Uncertainty and the Evaluation of Public Investment Decisions. *American Economic Review*, v.60, n.3, p. 364-378, June 1970.

AVRAMOVICH, Dan et al. A Decision Support System for Fleet Management: A Linear Programming Approach. *Interfaces*, v.12, n.3, p. 1-9, June 1982.

BLACK, Fischer; SHOLES, Myron. The Pricing of Options and Corporate Liabilities. *Journal of Political Economy*, v.81, n.3, p. 637, May 1973.

BLANK, Leland T.; TARQUIN, Anthony J. *Engineering Economy*. 4.ed. McGraw-Hill series in industrial engineering and management science, 1998. 722p.

BORNIA, Antonio Cezar. *Análise gerencial de custos*: aplicação em empresas modernas. 1.ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. 203p.

BOWE, Michael; LEE, Ding Lun. Project evaluation in the presence of multiple embedded real options: evidence from the Taiwan High-Speed Rail Project. *Journal of Asian Economics*, v.15, n.1, p. 71-98, Feb. 2004.

BRASIL. Lei 4.506, de 30 de novembro de 1964. Dispõe sobre o imposto que recai sobre as rendas e proventos de qualquer natureza. *Código Civil*. Brasília, 30 Sept. 1964. Disponível em: <<http://www.presidencia.gov.br/ccivil/LEIS/L4506.htm>> Acesso em: 8 July 2006

_____. Decreto 3.000, de março de 1999. Regulamenta a tributação, fiscalização, arrecadação e administração do Imposto sobre a Renda e Proventos de Qualquer Natureza. *Código Civil*. Brasília, 26 Mar. 1999. Disponível em: <https://www.presidencia.gov.br/ccivil_03/decreto/D3000.htm> Acesso em: 8 July 2006

BREALEY, Richard A.; MYERS, Stewart. *Principles of Corporate Finance*. 7.ed. McGraw-Hill, 2002. 1074p.

BRENNAN, Michael J.; SCHWARTZ, Eduardo S. Evaluating Natural Resource Investments. *Journal of Business*, v.58, n.2, p. 135-157, Apr. 1985.

BUCHANAN, Leigh; O'CONNELL, Andrew. A Brief History of Decision Making. *Harvard Business Review*, v.84, n.1, p. 32-41, Jan. 2006.

CARRIS. *Base de dados do Controle Operacional*. Porto Alegre. Base de dados. Acesso em: 30 Apr. 2005a.

_____. *A Carris*: apresentação. Disponível em: <http://200.169.20.108/conteudo.html?ID_PAGINA=683> Acesso em: 5 Apr. 2006b

CARRIS. *Sistema de Informação Gerencial*. Porto Alegre. Sistema de Informação. Acesso em: 30 Apr. 2005b.

_____. *Carris aumenta em 15 mil passageiros por dia sua capacidade de transporte - nota*. Disponível em: <<http://www.carris.com.br/notas.html>> Acesso em: 16 Aug. 2006a

_____. *Prefeitura entrega 62 novos ônibus da Carris à comunidade - nota - 24/05/2006*. Disponível em: <<http://www.carris.com.br/notas.html>> Acesso em: 16 Aug. 2006c

CARTER, William K. To Invest in New Technology or Not? New Tools for Making the Decision. *Journal of Accountancy*, v.173, n.5, p. 58, May 1992.

CASAROTTO FILHO, Nelson; KOPITTKE, Bruno Harmut. *Análise de investimentos: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão e estratégia empresarial*. 9.ed. São Paulo: Atlas, 2000.

CASTRO, Antenor Santos. *Método de priorização de estratégias para melhoria da qualidade no transporte coletivo urbano por ônibus a partir da ótica do usuário*. Porto Alegre: UFRGS, 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.

CHAN, Lai Kow; WU, Ming Lu. Quality function deployment: a literature review. *European Journal of Operational Research*, v.143, n.3, p. 463-497, Dec. 2002.

CHRISTER, A. H.; WALLER, M. W. Tax-Adjusted Replacement Models. *The Journal of the Operational Research Society*, v.38, n.11, p. 993, Nov. 1987.

CHUANG, P. T. Combining the Analytic Hierarchy Process and Quality Function Deployment for a Location Decision from a Requirement Perspective. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v.18, n.11, p. 842-849, Nov. 2001.

CLEMEN, Robert. *Making Hard Decisions: an introduction to decision analysis*. 2.ed. Belmont, CA, USA: Duxbury Press, 1996.

COLLAN, Mikael; LIU, Shuhua. Fuzzy logic and intelligent agents: Towards the next step of capital budgeting decision support. *Industrial Management + Data Systems*, v.103, n.5/6, p. 410, 2003.

COPELAND, Thomas E.; WESTON, J. Fred; SHASTRI, Kuldeep. *Financial Theory and Corporate Policy*. 4.ed. USA: Pearson Addison Wesley, 2005.

COTTON, William D. J.; SCHINSKI, Michael. Justifying capital expenditures in new technology: a survey. *The Engineering Economist*, v.44, n.4, p. 362, 1999.

DE NEUFVILLE, Richard; SCHOLTES, Stefan; WANG, Tao. Real Options by Spreadsheet: Parking Garage Case Example. *Journal of Infrastructure Systems*, v.12, n.2, p. 107-111, June 2006.

DEAN, Joel.; SMITH, Winfield. Has MAPI a Place in a Comprehensive System of Capital Controls? *The Journal of Business (pre-1986)*, v.28, n.4, p. 261, Oct. 1955.

DETHOMAS, Arthur R. Forecasting Cash Flows: The Practical Side of Capital Budgeting. *Managerial Planning*, v.30, n.6, p. 38, May 1982.

DI, Jin; HAUKE, L. Kite-Powell. Optimal fleet utilization and replacement. *Transportation Research Part E*, v.36E, n.1, p. 3, Mar. 2000.

DIXIT, Avinash K.; PINDYCK, Robert S. The Options Approach to Capital Investment. *Harvard Business Review*, v.73, n.3, p. 105-115, May 1995.

DULMAN, Scott P. The Development of Discounted Cash Flow Techniques in U.S. Industry. *The Business History Review*, v.63, n.3, p. 555-587, Autumn 1989.

EILON, S.; KING, J. R.; HUTCHINSON, D. E. A Study in Equipment Replacement. *Operational Research Quarterly*, v.17, n.1, p. 59-71, Mar. 1966.

ENSSLIN, Leonardo; MONTIBELLER, Neto; NORONHA, Sandro M. *Apoio à Decisão: metodologias para estruturação de problemas e avaliação multicritério de alternativas*. 1.ed. Florianópolis: Insular, 2001. 296p.

EROL, Ismail; FERRELL JR., William G. A methodology for selection problems with multiple, conflicting objectives and both qualitative and quantitative criteria. *International Journal of Production Economics*, v.88, n.3, p. 187, Dec. 2003.

FAMA, Eugene F.; FRENCH, Kenneth R. Common risk factors in the returns on stocks and bonds. *Journal of Financial Economics*, v.33, n.1, p. 3-56, Feb. 1993.

_____. The Cross-Section of Expected Stock Returns. *Journal of Finance*, v.47, n.2, p. 427-465, June 1992.

FENSTERSEIFER, Jaime E.; GALESNE, Alain; ZIEGELMANN, Júlio. A utilização de técnicas analíticas nas decisões de investimento de capital das grandes empresas no Brasil. *Revista de Administração*, São Paulo, v.22, n.4, p. 70-78, July 1987.

FERRONATTO, Luciana Guadalupe. *Potencial de Medidas de Gerenciamento da Demanda no Transporte Público Urbano por Ônibus*. Porto Alegre: UFRGS, 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002.

FISCHER, Irving. *The Theory of Interest: as determined by impatience to spend income and opportunity to invest it*. 1.ed. New York: The Macmillian Company, 1930.

FLEISCHER, Gerald A. *Teoria da aplicação do capital: um estudo das decisões de investimento*. 1.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1973. 272p.

FOGLIATTO, F. S.; GUIMARAES, L. B. M. User-oriented method for selecting workstation components. *International Journal of Industrial Ergonomics*, v.33, n.2, p. 133-147, 2004.

GALESNE, Alain; FENSTERSEIFER, Jaime E.; LAMB, Roberto. *Decisões de investimentos da empresa*. 1.ed. São Paulo: Atlas, 1999.

GARVIN, Michael J. Real Options Analysis: Can It Improve Infrastructure Development Decisions? *Construction Research Congress 2005*. San Diego, California: Tommelein, Iris D., 2005. p. 98.

GHODSYPOUR, S. H.; O'BRIEN, C. A decision support system for supplier selection using an integrated analytic hierarchy process and linear programming. *International Journal of Production Economics*, v.56/57, n.3, p. 199-212, Sept. 1998.

GRAHAM, John R.; HARVEY, Campbell R. The theory and practice of corporate finance: evidence from the field. *Journal of Financial Economics*, v.60, n.2,3, p. 187, May 2001.

GUITOUNI, Adel; MARTEL, Jean Marc. Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method. *European Journal of Operational Research*, v.109, n.2, p. 501, Sept. 1998.

HARTMAN, J. C. A note on a strategy for optimal equipment replacement. *Production Planning & Control*, v.16, n.7, p. 733-739, Oct. 2005.

HAYES, Robert H; WHEELWRIGHT, Steven C. *Restoring ou competitive edge*: competing through manufacturing. 1.ed. New York, NY: John Wiley, 1984. 427p.

HESS, Geraldo et al. *Engenharia Econômica*. 4.ed. Rio de Janeiro: Forum, 1973. 100p.

HIROHIDE, Hinomoto. Capacity Expansion with Facilities Under Technological Improvement. *Management Science (pre-1986)*, v.11, n.5, p. 581, Mar. 1965.

HIRSHLEIFER, J. Investment Decision Under Uncertainty: Applications of The State-Preference Approach. *Quarterly Journal of Economics*, v.80, n.2, p. 252-277, May 1966.

HO, Eng Shwe Sein Aye; LAI, Young-Jou; CHANG, Shing I. An integrated group decision-making approach to quality function deployment. *IIE Transactions*, v.31, n.6, p. 553, June 1999.

HOTELLING, Harold. A General Mathematical Theory of Depreciation. *Journal of the American Statistical Association*, v.20, n.151, p. 340-353, Sept. 1925.

KABIR, A. B. M. Evaluation of overhaul/replacement policy for a fleet of buses. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, v.2, n.3, p. 49, 1996.

KAHRAMAN, C.; ERTAY, T.; ZKAN, G. A fuzzy optimization model for QFD planning process using analytic network approach. *European Journal of Operational Research*, v.171, n.2, p. 390-411, 2006.

KAPLAN, Robert S. Must CIM be justified by faith alone? *Harvard Business Review*, v.64, n.2, p. 87-95, Mar. 1986.

KARABAKAL, Nejet; LOHMANN, Jack R.; BEAN, James C. Parallel replacement under capital rationing constraints. *Management Science*, v.40, n.3, p. 305, Mar. 1994.

KEENEY, Ralph L.; RAIFFA, Howard. *Decisions with multiple objectives: preferences and value tradeoffs*. 1.ed. New York, NY: John Wiley & Sons, Inc., 1976. 569p.

KENGPOL, Athakorn; O'BRIEN, Christopher. The development of a decision support tool for the selection of advanced technology to achieve rapid product development. *International Journal of Production Economics*, v.69, n.2, p. 177, Jan. 2001.

KESTER, W. Carl. Today options for tomorrow's growth. *Harvard Business Review*, v.62, n.2, p. 153-160, Mar. 1984.

KHASNABIS, S.; ALSAIDI, E.; ELLIS, R. D. Optimal allocation of resources to meet transit fleet requirements. *Journal of Transportation Engineering*, v.128, n.6, p. 509-518, 2002.

KUO, R. J.; CHI, S. C.; KAO, S. S. A decision support system for selecting convenience store location through integration of fuzzy AHP and artificial neural network. *Computers in Industry*, v.47, n.2, p. 199, Feb. 2002.

KWONG, C. K.; BAI, H. Determining the importance weights for the customer requirements in QFD using a fuzzy AHP with an extent analysis approach. *IIE Transactions*, v.35, n.7, p. 619-626, July 2003.

LU, Min Hua; MADU, Christian N. Integrating QFD, AHP and benchmarking in strategic marketing. *Journal of Business & Industrial Marketing*, v.9, n.1, p. 41, 1994.

LUEHRMAN, Timothy A. Investment Opportunities as Real Options: Getting Started on the Numbers. *Harvard Business Review*, v.76, n.4, p. 51-67, July 1998.

MARKOWITZ, Harry. Portfolio Selection. *Journal of Finance*, v.7, n.1, p. 77-91, Mar. 1952.

MAYER, Raymond R. Problems in the Application of Replacement Theory. *Management Science (pre-1986)*, v.6, n.3, p. 303, Apr. 1960.

MAYSHAR, Joram. Should Government Subsidize Risky Private Projects? *American Economic Review*, v.67, n.2, p. 20-28, Mar. 1977.

MONTGOMERY, D. C. *Design and analysis of experiments*. 3.ed. New York, NY: John Wiley and Sons, 1991.

MOONITZ, Maurice. How to Figure Equipment Replacement. *Journal of Accountancy (pre-1986)*, v.101, n.000001, p. 93, Jan. 1956.

MOTTA, Regis da Rocha; CALÔBA, Guilherme Marques. *Análise de investimentos: tomada de decisão em projetos industriais*. 1.ed. São Paulo: Atlas, 2002. 391p.

NAVON, Ronie; MAOR, David. Equipment replacement and optimal size of a civil engineering fleet. *Construction Management & Economics*, v.13, n.2, p. 173, Mar. 1995.

NTU. ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES URBANOS. *Anuário Estatístico 2004/2005*. Anuário. Brasília. 2005b.

_____. *Novas Tendências em Política Tarifária*. Relatório. Brasília. 2005a.

_____. *Desoneração dos custos e barateamento das tarifas do transporte público*. Relatório. Brasília. 2006.

OELTJENBRUNS, Henning; KOLARIK, William J.; SCHNADT-KIRSCHNER, Ralf. Strategic planning in manufacturing systems - AHP application to an equipment replacement decision. *International Journal of Production Economics*, v.38, n.2,3, p. 189, Mar. 1995.

PARK, Taeho; KIM, Kwang Jae. Determination of an optimal set of design requirements using house of quality. *Journal of Operations Management*, v.16, n.5, p. 569-581, Oct. 1998.

PINAR, Keles; HARTMAN, Joseph C. Case Study: Bus Fleet Replacement. *The Engineering Economist*, v.49, n.3, p. 253, 2004.

PMPA; PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE; GONÇALVES, Ivo. *Banco de Imagens, Código: 4604, CARRIS, 24/05/2006*. Disponível em:

<<http://bancoimagemens.procempa.com.br/visualiza.php?codImagem=4604>> Acesso em: 16 June 2006

PREINREICH, Gabriel A. D. The Economic Life of Industrial Equipment. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, v.8, n.1, p. 12-44, Jan. 1940.

PRENTICE, John. Forklift fleet management: Six steps toward maximum return on investment. *Industrial Engineering*, v.25, n.2, p. 38, Feb. 1993.

RIBEIRO, José Luis Duarte; ECHEVESTE, Márcia Elisa; DANILEVICZ, Ângela de M. Ferreira. *A utilização do QFD na otimização de produtos, processos e serviços*. 1.ed. Porto Alegre: FEENG/UFRGS, 2001. 96p.

ROGERS, Jennifer L.; HARTMAN, Joseph C. Equipment replacement under continuous and discontinuous technological change. *IMA Journal of Management Mathematics*, v.16, n.1, p. 23, Jan. 2005.

ROSE, Simon. Valuation of Interacting Real Options in a Tollroad Infrastructure Project. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, v.38, n.3, Part 2, p. 711-723, 1998.

ROSS, Stephen A. The arbitrage theory of capital asset pricing. *Journal of Economic Theory*, v.13, n.3, p. 341-360, Dec. 1976.

ROY, Bernard; VINCKE, Philippe. Multicriteria analysis: survey and new directions. *European Journal of Operational Research*, v.8, n.3, p. 207, Nov. 1983.

RUMMLER, Geary A.; BRACHE, Alan P. *Melhores desempenhos das empresas*. 2.ed. São Paulo: Makron Books, 1994.

SAATY, Thomas L. *Método de Análise Hierárquica*. 1.ed. São Paulo: McGraw-Hill, Makron, 1991. 367p.

_____. How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, v.48, n.1, p. 9, Sept. 1990.

SARKIS, Joseph. Evaluating flexible manufacturing systems alternatives using data envelopment analysis. *The Engineering Economist*, v.43, n.1, p. 25, Sept. 1997.

SCARF, P. A.; BOUAMRA, O. A capital equipment replacement model for a fleet with variable size. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, v.5, n.1, p. 40, 1999.

SCHEUBLE JR., Philip A. How to Figure Equipment Replacement. *Harvard Business Review*, v.33, n.5, p. 81-94, Sept. 1955.

SCHNIEDERJANS, Marc J.; WILSON, Rick L. Using the analytic hierarchy process and goal programming for information system project selection. *Information & Management*, v.20, n.5, p. 333-342, May 1991.

SHARPE, William F. A Simplified Model for Portfolio Analysis. *Management Science*, v.9, n.2, p. 277-293, Jan. 1963.

_____. Capital Asset Prices: A Theory of Market Equilibrium under Conditions of Risk. *Journal of Finance*, v.19, n.3, p. 425-442, Sept. 1964.

SIMMS, B. W. et al. Optimal Buy, Operate and Sell Policies for Fleets of Vehicles. *European Journal of Operational Research*, v.15, n.2, p. 183, Feb. 1984.

SIMON, Herbert A. et al. Decision Making and Problem Solving. *Interfaces*, v.17, n.5, p. 11-31, Sept. 1987.

SMART, Scott B.; MEGGINSON, William L.; GITMAN, Lawrence J. *Corporate Finance*. 1.ed. Mason, Ohio, USA: South-Western, 2004. 905p.

SMITH, Vernon L. Economic Equipment Policies: An Evaluation. *Management Science*, v.4, n.1, p. 20-37, Oct. 1957.

SULLIVAN, Lawrence P. Quality Function Deployment. *Quality Progress*, v.19, n.6, p. 39-50, June 1986.

SULLIVAN, William G.; WICKS, Elin M.; LUXHOJ, James T. *Engineering Economy*. 12.ed. Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Education, 2003. 675p.

TAYLOR, Anthony C. A Bayesian Approach to Equipment Replacement. *Industrial Management Review (pre-1986)*, v.10, n.3, p. 33, 1969.

TAYLOR, J. S. A Statistical Theory of Depreciation. *Journal of the American Statistical Association*, v.18, n.144, p. 1010-1023, Dec. 1923.

THIOLLENT, Michel. *Pesquisa-ação nas organizações*.ed. São Paulo: Atlas, 1997.

UFRGS. PPGEP. KLIEMANN NETO, Francisco José et al. *Planilha de Substituição de Frotas Carris/UFRGS*. Planilha eletrônica. Porto Alegre. 2005a.

_____. *Relatório Final da Política de Substituição de Frota da Companhia Carris Porto-Alegrense*. Relatório. Porto Alegre. 2005b.

VAIDYA, O. S.; KUMAR, S. Analytic hierarchy process: an overview of applications. *European Journal of Operational Research*, v.169, n.1, p. 1-29, 2006.

VALENTE, Amir Mattar; PASSAGLIA, Eunice; NOVAES, Antonio Galvão. *Gerenciamento de Transporte e Frotas*. 1.ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003. 214p.

VEMUGANTI, R. R.; OBLAK, M.; AGGARWAL, A. Network Models For Fleet Management. *Decision Sciences*, v.20, n.1, p. 182, 1989.

VOLVO. *B12M biarticulado*: Volvo Buses, Volvo Bus América Latina. Disponível em: <<http://www.volvo.com/bus/brazil/pt-br/products/city+buses/Volvo+B12M/introduction.htm>> Acesso em: 12 Apr. 2006

WADDELL, Richard. A Model for Equipment Replacement Decisions and Policies. *Interfaces*, v.13, n.4, p. 1, Aug. 1983.

WEINGARTNER, H. Martin. Equipment Replacement Analysis. *Industrial Management Review (pre-1986)*, v.7, n.1, p. 45, 1965.

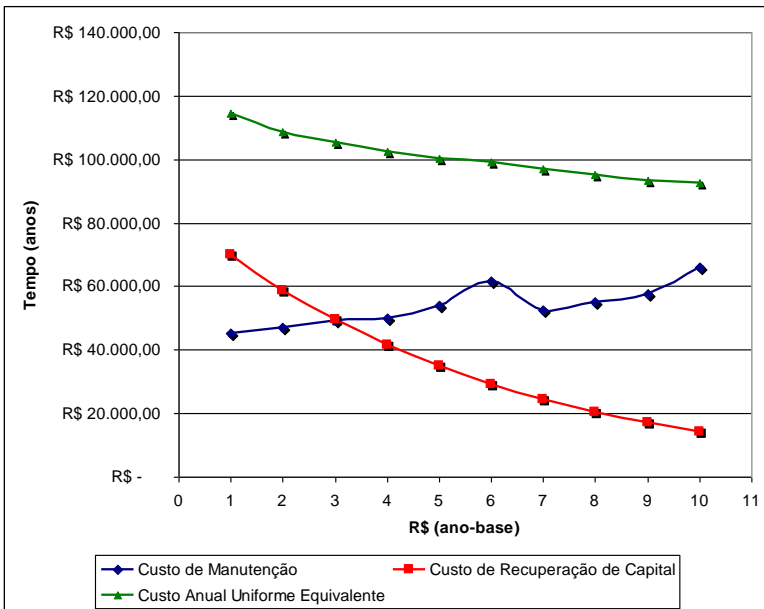
YANG, T.; KUO, C. A hierarchical AHP/DEA methodology for the facilities layout design problem. *European Journal of Operational Research*, v.147, n.1, p. 128-136, 2003.

ZHAO, Tong; SUNDARARAJAN, Satheesh K.; TSENG, Chung Li. Highway Development Decision-Making under Uncertainty: A Real Options Approach. *Journal of Infrastructure Systems*, v.10, n.1, p. 23-32, Mar. 2004.

APÊNDICE A

Nas tabelas a seguir são apresentados: gráficos que descrevem o CAUE, tabelas de gastos e o fluxo de caixa detalhado de cada subfrota. A faixa de troca foi limitada em +/-2,5% de diferença do CAUE/Km do ano em relação ao CAUE/Km mínimo. Os valores para a faixa de troca foram calculados sem os insumos variáveis (combustível, lubrificantes, pneus).

Subfrota 1 – Análise da Vida Econômica com insumos variáveis (combustível, lubrificantes e pneus)

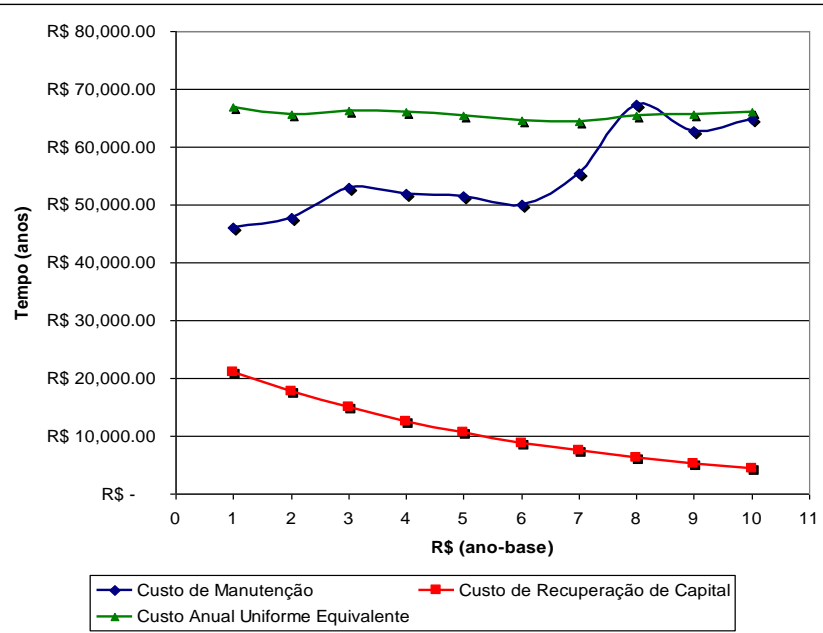


Ano	R\$ em Combustível + Lubrificantes	R\$ em Pneus	R\$ em MOD	R\$ em Itens de Manutenção	Total em R\$
1	R\$ 52.010,87	R\$ 3.882,09	R\$ 2.701,31	R\$ 10.030,08	R\$ 68.624,35
2	R\$ 52.010,87	R\$ 3.882,09	R\$ 2.701,31	R\$ 12.898,33	R\$ 71.492,60
3	R\$ 52.010,87	R\$ 3.882,09	R\$ 2.701,31	R\$ 15.766,58	R\$ 74.360,85
4	R\$ 52.010,87	R\$ 3.882,09	R\$ 2.677,40	R\$ 17.028,67	R\$ 75.599,04
5	R\$ 52.010,87	R\$ 3.882,09	R\$ 3.941,56	R\$ 21.720,84	R\$ 81.555,37
6	R\$ 52.010,87	R\$ 3.882,09	R\$ 3.156,28	R\$ 34.356,41	R\$ 93.405,65
7	R\$ 52.010,87	R\$ 3.882,09	R\$ 2.371,00	R\$ 21.361,29	R\$ 79.625,26
8	R\$ 52.010,87	R\$ 3.882,09	R\$ 2.410,52	R\$ 24.905,72	R\$ 83.209,21
9	R\$ 52.010,87	R\$ 3.882,09	R\$ 1.924,88	R\$ 29.622,96	R\$ 87.440,81
10	R\$ 52.010,87	R\$ 3.882,09	R\$ 2.427,52	R\$ 41.681,15	R\$ 100.001,64

Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kilometragem (mil km)	45	90	135	180	225	270	315	360	405	450
Faixa de troca (+/- 2,5%)	Fora da faixa da vida econômica								Dentro da faixa da vida econômica	

Ano	Valor de Revenda	Gasto em manut. + oper.	DEPR. CONTABIL	ÔNUS DO IR	Custo de Manutenção (CM)	Custo de Recuperação de Capital (CRC)	CUSTO ANUAL	CUSTO ANUAL c/ VENDA	VPL	CAUE	CUSTO ANUAL/Km	CAUE/Km
0	R\$ 389.998,01											
1	R\$ 331.498,31	R\$ 68.624,35	R\$ 35.134,96	R\$ (743,63)	R\$ 45.292,07	R\$ 69.953,70	R\$ 115.245,77	R\$ 114.502,14	R\$ 108.020,88	R\$ 114.502,14	R\$ 2,5427	R\$ 2,5263
2	R\$ 281.773,56	R\$ 71.492,60	R\$ 31.653,11	R\$ (4.336,17)	R\$ 47.185,12	R\$ 58.852,59	R\$ 106.037,70	R\$ 101.701,53	R\$ 199.236,43	R\$ 108.670,90	R\$ 2,3395	R\$ 2,3976
3	R\$ 239.507,53	R\$ 74.360,85	R\$ 28.516,32	R\$ (5.259,60)	R\$ 49.078,16	R\$ 49.476,90	R\$ 98.555,06	R\$ 93.295,46	R\$ 281.428,27	R\$ 105.285,08	R\$ 2,1744	R\$ 2,3229
4	R\$ 203.581,40	R\$ 75.599,04	R\$ 25.690,38	R\$ (4.464,36)	R\$ 49.895,36	R\$ 41.561,85	R\$ 91.457,22	R\$ 86.992,86	R\$ 354.750,82	R\$ 102.378,07	R\$ 2,0178	R\$ 2,2588
5	R\$ 173.044,19	R\$ 81.555,37	R\$ 23.144,48	R\$ (2.631,74)	R\$ 53.826,54	R\$ 34.882,97	R\$ 88.709,51	R\$ 86.077,77	R\$ 422.609,33	R\$ 100.325,93	R\$ 1,9572	R\$ 2,2135
6	R\$ 147.087,56	R\$ 93.405,65	R\$ 20.850,89	R\$ (242,97)	R\$ 61.647,73	R\$ 29.249,98	R\$ 90.897,71	R\$ 90.654,74	R\$ 488.483,93	R\$ 99.339,38	R\$ 2,0055	R\$ 2,1918
7	R\$ 125.024,43	R\$ 79.625,26	R\$ 18.784,58	R\$ 2.368,64	R\$ 52.552,67	R\$ 24.501,63	R\$ 77.054,30	R\$ 79.422,94	R\$ 541.476,01	R\$ 96.997,31	R\$ 1,7001	R\$ 2,1401
8	R\$ 106.270,76	R\$ 83.209,21	R\$ 16.923,05	R\$ 4.978,44	R\$ 54.918,08	R\$ 20.501,29	R\$ 75.419,37	R\$ 80.397,81	R\$ 590.343,30	R\$ 95.066,49	R\$ 1,6640	R\$ 2,0975
9	R\$ 90.330,15	R\$ 87.440,81	R\$ 15.245,99	R\$ 7.440,86	R\$ 57.710,93	R\$ 17.133,22	R\$ 74.844,16	R\$ 82.285,02	R\$ 635.924,15	R\$ 93.494,99	R\$ 1,6513	R\$ 2,0628
10	R\$ 76.780,63	R\$ 100.001,64	R\$ 13.735,12	R\$ 9.667,41	R\$ 66.001,08	R\$ 14.299,39	R\$ 80.300,47	R\$ 89.967,88	R\$ 681.757,51	R\$ 92.629,00	R\$ 1,7717	R\$ 2,0437

Subfrota 2 – Análise da Vida Econômica com insumos variáveis (combustível, lubrificantes e pneus)

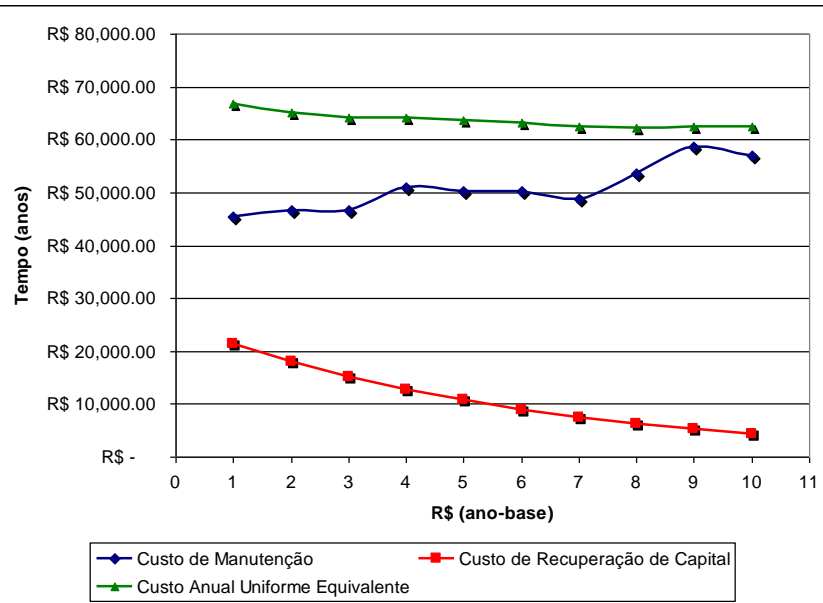


Ano	R\$ em Combustível + Lubrificantes	R\$ em Pneus	R\$ em MOD	R\$ em Itens de Manutenção	Total em R\$
1	R\$ 45,239.38	R\$ 4,636.81	R\$ 1,219.53	R\$ 18,602.89	R\$ 69,698.60
2	R\$ 45,239.38	R\$ 4,636.81	R\$ 1,909.87	R\$ 20,479.58	R\$ 72,265.64
3	R\$ 45,239.38	R\$ 4,636.81	R\$ 2,223.44	R\$ 27,996.53	R\$ 80,096.17
4	R\$ 45,239.38	R\$ 4,636.81	R\$ 2,209.64	R\$ 26,460.18	R\$ 78,546.01
5	R\$ 45,239.38	R\$ 4,636.81	R\$ 2,195.83	R\$ 25,859.17	R\$ 77,931.21
6	R\$ 45,239.38	R\$ 4,636.81	R\$ 1,817.30	R\$ 24,004.37	R\$ 75,697.86
7	R\$ 45,239.38	R\$ 4,636.81	R\$ 4,087.10	R\$ 29,902.45	R\$ 83,865.74
8	R\$ 45,239.38	R\$ 4,636.81	R\$ 9,778.84	R\$ 42,282.40	R\$ 101,937.44
9	R\$ 45,239.38	R\$ 4,636.81	R\$ 7,309.13	R\$ 37,678.46	R\$ 94,863.78
10	R\$ 45,239.38	R\$ 4,636.81	R\$ 8,271.34	R\$ 40,062.90	R\$ 98,210.43

Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kilometragem (mil km)	72	144	216	288	360	432	504	576	648	720
Faixa de troca (+/- 2,5%)	Fora da faixa da vida econômica					Dentro da faixa da vida econômica				

Ano	Valor de Venda	Gasto em manut. + oper.	DEPR. CONTABIL	ÔNUS DO IR	Custo de Manutenção (CM)	Custo de Recuperação de Capital (CRC)	CUSTO ANUAL	CUSTO ANUAL c/ VENDA	VPL	CAUE	CUSTO ANUAL/Km	CAUE/Km
0	R\$ 117,872.78											
1	R\$ 100,191.86	R\$ 69,698.60	R\$ 10,619.17	R\$ (224.75)	R\$ 46,001.08	R\$ 21,142.77	R\$ 67,143.85	R\$ 66,919.09	R\$ 63,131.22	R\$ 66,919.09	R\$ 0.9302	R\$ 0.9271
2	R\$ 85,163.08	R\$ 72,265.64	R\$ 9,566.82	R\$ (1,310.56)	R\$ 47,695.32	R\$ 17,787.57	R\$ 65,482.89	R\$ 64,172.33	R\$ 120,456.40	R\$ 65,701.36	R\$ 0.9072	R\$ 0.9102
3	R\$ 72,388.62	R\$ 80,096.17	R\$ 8,618.76	R\$ (1,589.66)	R\$ 52,863.47	R\$ 14,953.87	R\$ 67,817.34	R\$ 66,227.68	R\$ 177,228.83	R\$ 66,303.04	R\$ 0.9395	R\$ 0.9186
4	R\$ 61,530.33	R\$ 78,546.01	R\$ 7,764.65	R\$ (1,349.30)	R\$ 51,840.37	R\$ 12,561.63	R\$ 64,402.00	R\$ 63,052.69	R\$ 228,507.18	R\$ 65,945.23	R\$ 0.8922	R\$ 0.9136
5	R\$ 52,300.78	R\$ 77,931.21	R\$ 6,995.18	R\$ (795.42)	R\$ 51,434.60	R\$ 10,543.01	R\$ 61,977.60	R\$ 61,182.19	R\$ 275,294.84	R\$ 65,354.00	R\$ 0.8586	R\$ 0.9054
6	R\$ 44,455.66	R\$ 75,697.86	R\$ 6,301.96	R\$ (73.44)	R\$ 49,960.59	R\$ 8,840.50	R\$ 58,801.08	R\$ 58,727.65	R\$ 317,289.90	R\$ 64,524.91	R\$ 0.8146	R\$ 0.8939
7	R\$ 37,787.31	R\$ 83,865.74	R\$ 5,677.44	R\$ 715.90	R\$ 55,351.39	R\$ 7,405.36	R\$ 62,756.75	R\$ 63,472.65	R\$ 359,554.60	R\$ 64,408.82	R\$ 0.8694	R\$ 0.8923
8	R\$ 32,119.22	R\$ 101,937.44	R\$ 5,114.81	R\$ 1,504.68	R\$ 67,278.71	R\$ 6,196.30	R\$ 73,475.01	R\$ 74,979.69	R\$ 406,121.67	R\$ 65,400.19	R\$ 1.0179	R\$ 0.9061
9	R\$ 27,301.33	R\$ 94,863.78	R\$ 4,607.94	R\$ 2,248.92	R\$ 62,610.09	R\$ 5,178.34	R\$ 67,788.43	R\$ 70,037.35	R\$ 446,632.62	R\$ 65,664.93	R\$ 0.9391	R\$ 0.9097
10	R\$ 23,206.13	R\$ 98,210.43	R\$ 4,151.30	R\$ 2,921.87	R\$ 64,818.89	R\$ 4,321.84	R\$ 69,140.73	R\$ 72,062.60	R\$ 485,540.86	R\$ 65,969.45	R\$ 0.9579	R\$ 0.9139

Subfrota 3 – Análise da Vida Econômica com insumos variáveis (combustível, lubrificantes e pneus)

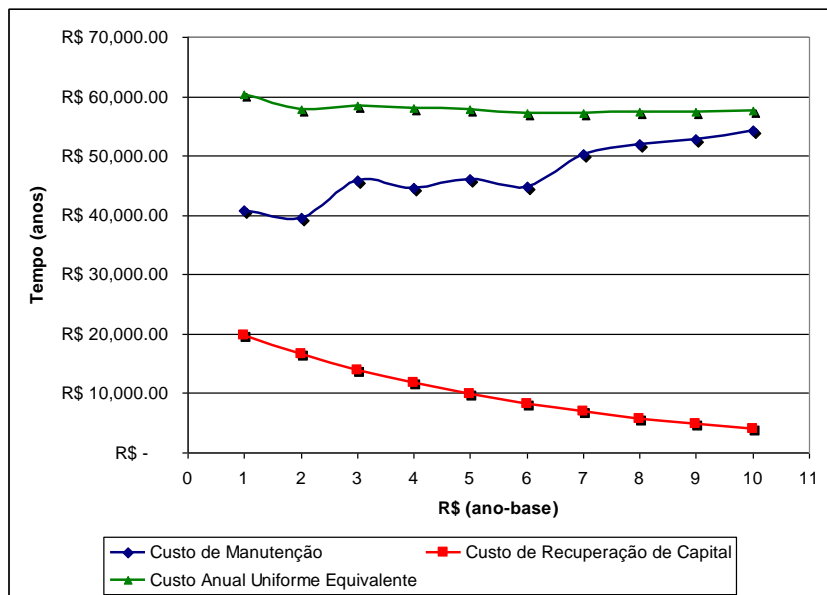


Ano	R\$ em Combustível + Lubrificantes	R\$ em Pneus	R\$ em MOD	R\$ em Itens de Manutenção	Total em R\$
1	R\$ 47,788.00	R\$ 4,455.11	R\$ 1,110.27	R\$ 15,620.74	R\$ 68,974.12
2	R\$ 47,788.00	R\$ 4,455.11	R\$ 1,347.26	R\$ 16,884.18	R\$ 70,474.55
3	R\$ 47,788.00	R\$ 4,455.11	R\$ 2,034.53	R\$ 16,438.18	R\$ 70,715.82
4	R\$ 47,788.00	R\$ 4,455.11	R\$ 2,347.23	R\$ 22,445.00	R\$ 77,035.33
5	R\$ 47,788.00	R\$ 4,455.11	R\$ 2,342.43	R\$ 21,548.53	R\$ 76,134.07
6	R\$ 47,788.00	R\$ 4,455.11	R\$ 2,337.64	R\$ 21,320.51	R\$ 75,901.25
7	R\$ 47,788.00	R\$ 4,455.11	R\$ 1,847.70	R\$ 19,619.97	R\$ 73,710.78
8	R\$ 47,788.00	R\$ 4,455.11	R\$ 3,998.54	R\$ 25,070.83	R\$ 81,312.48
9	R\$ 47,788.00	R\$ 4,455.11	R\$ 9,392.55	R\$ 27,122.60	R\$ 88,758.26
10	R\$ 47,788.00	R\$ 4,455.11	R\$ 7,026.09	R\$ 26,991.71	R\$ 86,260.90

Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kilometragem (mil km)	70	140	210	280	350	420	490	560	630	700
Faixa de troca (+/- 2,5%)	Fora da faixa da vida econômica					Dentro da faixa da vida econômica				

Ano	Valor de Revenda	Gasto em manut. + oper.	DEPR. CONTABIL	ÔNUS DO IR	Custo de Manutenção (CM)	Custo de Recuperação de Capital (CRC)	CUSTO ANUAL	CUSTO ANUAL c/ VENDA	VPL	CAUE	CUSTO ANUAL/Km	CAUE/Km
0	R\$ 119,786.91											
1	R\$ 101,818.87	R\$ 68,974.12	R\$ 10,791.61	R\$ (228.40)	R\$ 45,522.92	R\$ 21,486.10	R\$ 67,009.02	R\$ 66,780.62	R\$ 63,000.58	R\$ 66,780.62	R\$ 0.9662	R\$ 0.9629
2	R\$ 86,546.04	R\$ 70,474.55	R\$ 9,722.17	R\$ (1,331.84)	R\$ 46,513.20	R\$ 18,076.42	R\$ 64,589.63	R\$ 63,257.78	R\$ 119,515.26	R\$ 65,188.03	R\$ 0.9313	R\$ 0.9400
3	R\$ 73,564.14	R\$ 70,715.82	R\$ 8,758.72	R\$ (1,615.47)	R\$ 46,672.44	R\$ 15,196.71	R\$ 61,869.15	R\$ 60,253.67	R\$ 171,290.74	R\$ 64,081.55	R\$ 0.8921	R\$ 0.9240
4	R\$ 62,529.51	R\$ 77,035.33	R\$ 7,890.73	R\$ (1,371.22)	R\$ 50,843.32	R\$ 12,765.62	R\$ 63,608.94	R\$ 62,237.72	R\$ 221,945.23	R\$ 64,051.51	R\$ 0.9172	R\$ 0.9236
5	R\$ 53,150.09	R\$ 76,134.07	R\$ 7,108.77	R\$ (808.33)	R\$ 50,248.48	R\$ 10,714.22	R\$ 60,962.70	R\$ 60,154.37	R\$ 267,982.20	R\$ 63,618.01	R\$ 0.8790	R\$ 0.9173
6	R\$ 45,177.57	R\$ 75,901.25	R\$ 6,404.30	R\$ (74.63)	R\$ 50,094.83	R\$ 8,984.06	R\$ 59,078.88	R\$ 59,004.26	R\$ 310,181.91	R\$ 63,079.41	R\$ 0.8519	R\$ 0.9096
7	R\$ 38,400.94	R\$ 73,710.78	R\$ 5,769.64	R\$ 727.52	R\$ 48,649.12	R\$ 7,525.61	R\$ 56,174.73	R\$ 56,902.25	R\$ 348,077.77	R\$ 62,352.92	R\$ 0.8100	R\$ 0.8991
8	R\$ 32,640.80	R\$ 81,312.48	R\$ 5,197.87	R\$ 1,529.11	R\$ 53,666.24	R\$ 6,296.92	R\$ 59,963.16	R\$ 61,492.27	R\$ 386,174.93	R\$ 62,188.04	R\$ 0.8646	R\$ 0.8967
9	R\$ 27,744.68	R\$ 88,758.26	R\$ 4,682.77	R\$ 2,285.44	R\$ 58,580.45	R\$ 5,262.43	R\$ 63,842.88	R\$ 66,128.32	R\$ 424,356.80	R\$ 62,389.89	R\$ 0.9206	R\$ 0.8996
10	R\$ 23,582.98	R\$ 86,260.90	R\$ 4,218.71	R\$ 2,969.32	R\$ 56,932.20	R\$ 4,392.02	R\$ 61,324.22	R\$ 64,293.54	R\$ 458,905.23	R\$ 62,350.52	R\$ 0.8842	R\$ 0.8990

Subfrota 4 – Análise da Vida Econômica com insumos variáveis (combustível, lubrificantes e pneus)

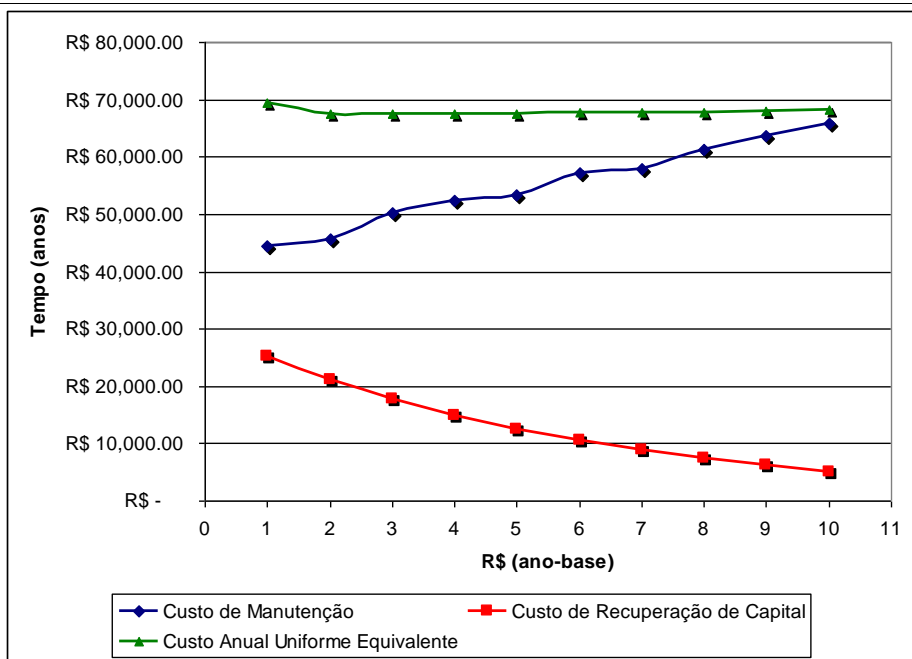


Ano	R\$ em Combustível + Lubrificantes	R\$ em Pneus	R\$ em MOD	R\$ em Itens de Manutenção	Total em R\$
1	R\$ 42,185.55	R\$ 4,217.74	R\$ 635.09	R\$ 14,880.14	R\$ 61,918.52
2	R\$ 42,185.55	R\$ 4,217.74	R\$ 1,033.33	R\$ 12,575.40	R\$ 60,012.02
3	R\$ 42,185.55	R\$ 4,217.74	R\$ 1,305.27	R\$ 21,783.56	R\$ 69,492.12
4	R\$ 42,185.55	R\$ 4,217.74	R\$ 1,703.40	R\$ 19,411.26	R\$ 67,517.94
5	R\$ 42,185.55	R\$ 4,217.74	R\$ 2,101.53	R\$ 21,351.55	R\$ 69,856.37
6	R\$ 42,185.55	R\$ 4,217.74	R\$ 1,794.50	R\$ 19,545.87	R\$ 67,743.66
7	R\$ 42,185.55	R\$ 4,217.74	R\$ 4,509.90	R\$ 25,076.87	R\$ 75,990.06
8	R\$ 42,185.55	R\$ 4,217.74	R\$ 9,070.07	R\$ 23,294.24	R\$ 78,767.60
9	R\$ 42,185.55	R\$ 4,217.74	R\$ 7,446.94	R\$ 25,988.07	R\$ 79,838.30
10	R\$ 42,185.55	R\$ 4,217.74	R\$ 8,540.17	R\$ 27,376.56	R\$ 82,320.03

Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kilometragem (mil km)	66	132	198	264	330	396	462	528	594	660
Faixa de troca (+/- 2,5%)	Fora da faixa da vida econômica			Dentro da faixa da vida econômica						

Ano	Valor de Revenda	Gasto em manut. + oper.	DEPR. CONTABIL	ÔNUS DO IR	Custo de Manutenção (CM)	Custo de Recuperação de Capital (CRC)	CUSTO ANUAL	CUSTO ANUAL c/ VENDA	VPL	CAUE	CUSTO ANUAL/Km	CAUE/Km
0	R\$ 109.783.46											
1	R\$ 93,315.94	R\$ 61,918.52	R\$ 9,890.40	R\$ (209.33)	R\$ 40,866.22	R\$ 19,691.79	R\$ 60,558.01	R\$ 60,348.68	R\$ 56,932.72	R\$ 60,348.68	R\$ 0.9223	R\$ 0.9191
2	R\$ 79,318.55	R\$ 60,012.02	R\$ 8,910.27	R\$ (1,220.62)	R\$ 39,607.93	R\$ 16,566.85	R\$ 56,174.79	R\$ 54,954.17	R\$ 106,039.21	R\$ 57,837.70	R\$ 0.8556	R\$ 0.8809
3	R\$ 67,420.77	R\$ 69,492.12	R\$ 8,027.27	R\$ (1,480.56)	R\$ 45,864.80	R\$ 13,927.62	R\$ 59,792.42	R\$ 58,311.85	R\$ 156,085.32	R\$ 58,393.05	R\$ 0.9107	R\$ 0.8894
4	R\$ 57,307.65	R\$ 67,517.94	R\$ 7,231.78	R\$ (1,256.71)	R\$ 44,561.84	R\$ 11,699.56	R\$ 56,261.40	R\$ 55,004.70	R\$ 200,897.30	R\$ 57,977.25	R\$ 0.8569	R\$ 0.8830
5	R\$ 48,711.50	R\$ 69,856.37	R\$ 6,515.11	R\$ (740.83)	R\$ 46,105.21	R\$ 9,819.47	R\$ 55,924.67	R\$ 55,183.85	R\$ 243,129.31	R\$ 57,718.02	R\$ 0.8518	R\$ 0.8791
6	R\$ 41,404.78	R\$ 67,743.66	R\$ 5,869.47	R\$ (68.40)	R\$ 44,710.82	R\$ 8,233.80	R\$ 52,944.61	R\$ 52,876.22	R\$ 280,958.54	R\$ 57,136.47	R\$ 0.8064	R\$ 0.8702
7	R\$ 35,194.06	R\$ 75,990.06	R\$ 5,287.81	R\$ 666.77	R\$ 50,153.44	R\$ 6,897.15	R\$ 57,050.59	R\$ 57,717.35	R\$ 319,392.10	R\$ 57,214.31	R\$ 0.8689	R\$ 0.8714
8	R\$ 29,914.95	R\$ 78,767.60	R\$ 4,763.80	R\$ 1,401.42	R\$ 51,986.61	R\$ 5,771.06	R\$ 57,757.68	R\$ 59,159.09	R\$ 356,065.80	R\$ 57,339.39	R\$ 0.8797	R\$ 0.8733
9	R\$ 25,427.71	R\$ 79,838.30	R\$ 4,291.71	R\$ 2,094.58	R\$ 52,693.28	R\$ 4,822.96	R\$ 57,516.24	R\$ 59,610.82	R\$ 390,470.09	R\$ 57,407.79	R\$ 0.8760	R\$ 0.8744
10	R\$ 21,613.55	R\$ 82,320.03	R\$ 3,866.40	R\$ 2,721.35	R\$ 54,331.22	R\$ 4,025.24	R\$ 58,356.46	R\$ 61,077.81	R\$ 423,335.84	R\$ 57,517.78	R\$ 0.8888	R\$ 0.8760

Subfrota 5 – Análise da Vida Econômica com insumos variáveis (combustível, lubrificantes e pneus)

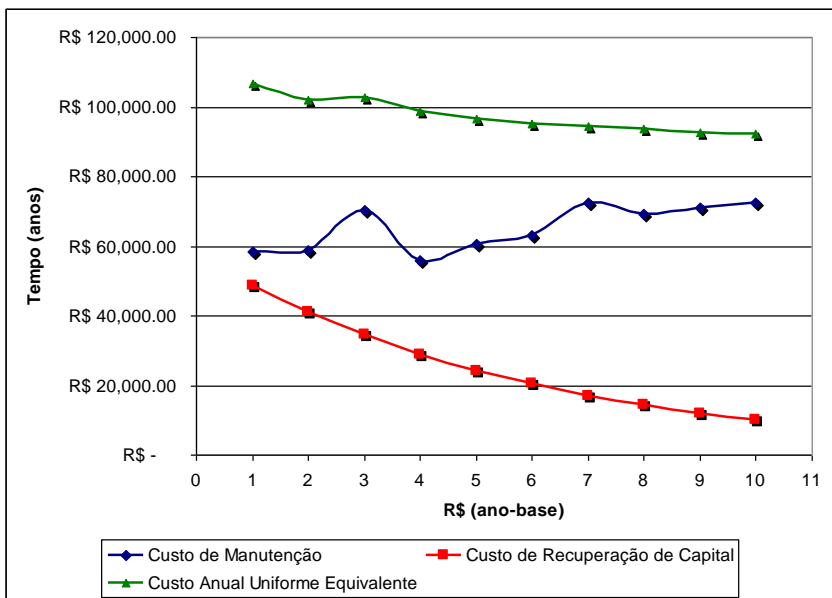


Ano	R\$ em Combustível + Lubrificantes	R\$ em Pneus	R\$ em MOD	R\$ em Itens de Manutenção	Total em R\$
1	R\$ 52,545.81	R\$ 4,556.46	R\$ 7,556.32	R\$ 2,623.08	R\$ 67,281.67
2	R\$ 52,545.81	R\$ 4,556.46	R\$ 6,384.59	R\$ 5,633.50	R\$ 69,120.36
3	R\$ 52,545.81	R\$ 4,556.46	R\$ 7,964.48	R\$ 10,902.29	R\$ 75,969.05
4	R\$ 52,545.81	R\$ 4,556.46	R\$ 9,612.70	R\$ 12,667.23	R\$ 79,382.20
5	R\$ 52,545.81	R\$ 4,556.46	R\$ 8,666.15	R\$ 15,059.60	R\$ 80,828.02
6	R\$ 52,545.81	R\$ 4,556.46	R\$ 8,367.06	R\$ 21,338.39	R\$ 86,807.72
7	R\$ 52,545.81	R\$ 4,556.46	R\$ 7,327.04	R\$ 23,271.33	R\$ 87,700.65
8	R\$ 52,545.81	R\$ 4,556.46	R\$ 8,551.02	R\$ 27,001.04	R\$ 92,654.33
9	R\$ 52,545.81	R\$ 4,556.46	R\$ 8,693.12	R\$ 30,483.60	R\$ 96,278.99
10	R\$ 52,545.81	R\$ 4,556.46	R\$ 8,835.22	R\$ 33,966.17	R\$ 99,903.66

Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kilometragem (mil km)	71	142	213	284	355	426	497	568	639	710
Faixa de troca (+/- 2,5%)	Fora da faixa da vida econômica		Dentro da faixa da vida econômica							

Ano	Valor de Revenda	Gasto em manut. + oper.	DEPR. CONTABIL	ÔNUS DO IR	Custo de Manutenção (CM)	Custo de Recuperação de Capital (CRC)	CUSTO ANUAL	CUSTO ANUAL c/ VENDA	VPL	CAUE	CUSTO ANUAL/Km	CAUE/Km
0	R\$ 140,575.89											
1	R\$ 119,489.51	R\$ 67,281.67	R\$ 12,664.49	R\$ (268.04)	R\$ 44,405.90	R\$ 25,215.01	R\$ 69,620.91	R\$ 69,352.87	R\$ 65,427.23	R\$ 69,352.87	R\$ 0.9815	R\$ 0.9778
2	R\$ 101,566.08	R\$ 69,120.36	R\$ 11,409.45	R\$ (1,562.98)	R\$ 45,619.44	R\$ 21,213.58	R\$ 66,833.02	R\$ 65,270.03	R\$ 123,770.20	R\$ 67,508.84	R\$ 0.9422	R\$ 0.9518
3	R\$ 86,331.17	R\$ 75,969.05	R\$ 10,278.79	R\$ (1,895.84)	R\$ 50,139.57	R\$ 17,834.09	R\$ 67,973.66	R\$ 66,077.82	R\$ 180,641.47	R\$ 67,579.75	R\$ 0.9583	R\$ 0.9528
4	R\$ 73,381.49	R\$ 79,382.20	R\$ 9,260.17	R\$ (1,609.19)	R\$ 52,392.25	R\$ 14,981.09	R\$ 67,373.34	R\$ 65,764.15	R\$ 234,324.62	R\$ 67,624.09	R\$ 0.9499	R\$ 0.9534
5	R\$ 62,374.27	R\$ 80,828.02	R\$ 8,342.50	R\$ (948.62)	R\$ 53,346.50	R\$ 12,573.67	R\$ 65,920.16	R\$ 64,971.54	R\$ 284,149.76	R\$ 67,456.13	R\$ 0.9294	R\$ 0.9510
6	R\$ 53,018.13	R\$ 86,807.72	R\$ 7,515.76	R\$ (87.58)	R\$ 57,293.09	R\$ 10,543.24	R\$ 67,836.33	R\$ 67,748.75	R\$ 332,618.82	R\$ 67,642.24	R\$ 0.9564	R\$ 0.9536
7	R\$ 45,065.41	R\$ 87,700.65	R\$ 6,770.96	R\$ 853.78	R\$ 57,882.43	R\$ 8,831.68	R\$ 66,714.11	R\$ 67,567.89	R\$ 377,617.07	R\$ 67,644.44	R\$ 0.9406	R\$ 0.9537
8	R\$ 38,305.60	R\$ 92,654.33	R\$ 6,099.96	R\$ 1,794.49	R\$ 61,151.86	R\$ 7,389.75	R\$ 68,541.61	R\$ 70,336.10	R\$ 421,178.99	R\$ 67,824.96	R\$ 0.9663	R\$ 0.9562
9	R\$ 32,559.76	R\$ 96,278.99	R\$ 5,495.46	R\$ 2,682.08	R\$ 63,544.13	R\$ 6,175.72	R\$ 69,719.85	R\$ 72,401.93	R\$ 462,907.70	R\$ 68,057.72	R\$ 0.9829	R\$ 0.9595
10	R\$ 27,675.80	R\$ 99,903.66	R\$ 4,950.86	R\$ 3,484.64	R\$ 65,936.41	R\$ 5,154.26	R\$ 71,090.67	R\$ 74,575.31	R\$ 502,962.65	R\$ 68,336.51	R\$ 1.0023	R\$ 0.9634

Subfrota 6 – Análise da Vida Econômica com insumos variáveis (combustível, lubrificantes e pneus)

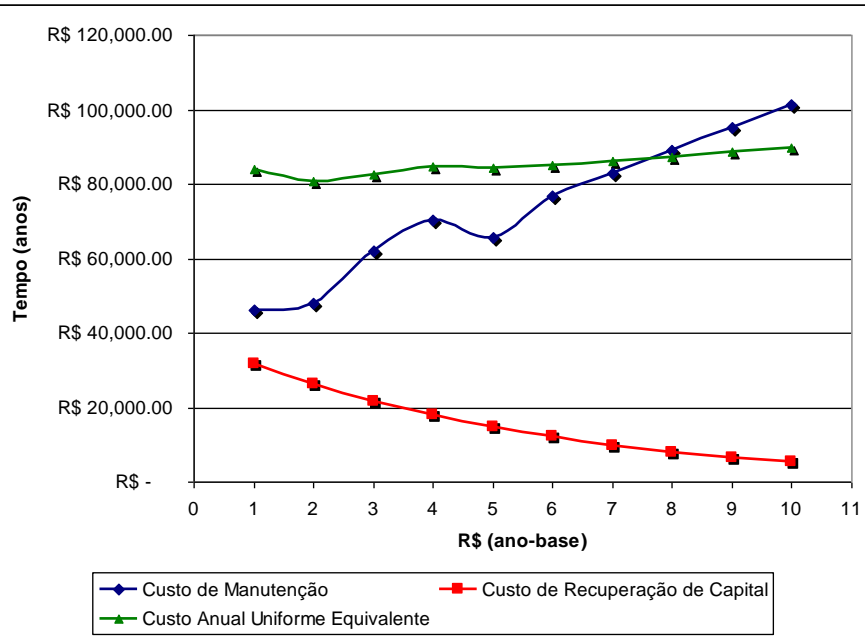


Ano	R\$ em Combustível + Lubrificantes	R\$ em Pneus	R\$ em MOD	R\$ em Itens de Manutenção	Total em R\$
1	R\$ 58,477.11	R\$ 4,230.75	R\$ 4,731.43	R\$ 21,020.67	R\$ 88,459.96
2	R\$ 58,477.11	R\$ 4,230.75	R\$ 4,731.43	R\$ 21,634.46	R\$ 89,073.75
3	R\$ 58,477.11	R\$ 4,230.75	R\$ 3,898.74	R\$ 39,889.88	R\$ 106,496.48
4	R\$ 58,477.11	R\$ 4,230.75	R\$ 3,066.06	R\$ 19,087.71	R\$ 84,861.63
5	R\$ 58,477.11	R\$ 4,230.75	R\$ 2,555.94	R\$ 26,239.66	R\$ 91,503.47
6	R\$ 58,477.11	R\$ 4,230.75	R\$ 2,614.06	R\$ 30,321.95	R\$ 95,643.86
7	R\$ 58,477.11	R\$ 4,230.75	R\$ 2,428.34	R\$ 44,442.07	R\$ 109,578.27
8	R\$ 58,477.11	R\$ 4,230.75	R\$ 2,428.34	R\$ 39,517.91	R\$ 104,654.11
9	R\$ 58,477.11	R\$ 4,230.75	R\$ 2,428.34	R\$ 42,160.37	R\$ 107,296.57
10	R\$ 58,477.11	R\$ 4,230.75	R\$ 2,428.34	R\$ 44,802.83	R\$ 109,939.04

Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kilometragem (mil km)	49	98	147	196	245	294	343	392	441	490
Faixa de troca (+/- 2,5%)	Fora da faixa da vida econômica			Dentro da faixa da vida econômica						

Ano	Valor de Revenda	Gasto em manut. + oper.	DEPR. CONTABIL	ÔNUS DO IR	Custo de Manutenção (CM)	Custo de Recuperação de Capital (CRC)	CUSTO ANUAL	CUSTO ANUAL c/ VENDA	VPL	CAUE	CUSTO ANUAL/Km	CAUE/Km
0	R\$ 271,483.71											
1	R\$ 230,761.16	R\$ 88,459.96	R\$ 24,457.99	R\$ (517.65)	R\$ 58,383.57	R\$ 48,695.86	R\$ 107,079.43	R\$ 106,561.78	R\$ 100,529.98	R\$ 106,561.78	R\$ 2.1678	R\$ 2.1574
2	R\$ 196,146.98	R\$ 89,073.75	R\$ 22,034.23	R\$ (3,018.47)	R\$ 58,788.67	R\$ 40,968.21	R\$ 99,756.88	R\$ 96,738.41	R\$ 187,115.17	R\$ 102,059.52	R\$ 2.0196	R\$ 2.0662
3	R\$ 166,724.94	R\$ 106,496.48	R\$ 19,850.66	R\$ (3,661.29)	R\$ 70,287.68	R\$ 34,441.64	R\$ 104,729.32	R\$ 101,068.03	R\$ 274,660.27	R\$ 102,753.10	R\$ 2.1203	R\$ 2.0802
4	R\$ 141,716.19	R\$ 84,861.63	R\$ 17,883.47	R\$ (3,107.71)	R\$ 56,008.68	R\$ 28,931.86	R\$ 84,940.53	R\$ 81,832.82	R\$ 342,553.62	R\$ 98,858.06	R\$ 1.7196	R\$ 2.0014
5	R\$ 120,458.77	R\$ 91,503.47	R\$ 16,111.24	R\$ (1,831.99)	R\$ 60,392.29	R\$ 24,282.58	R\$ 84,674.87	R\$ 82,842.87	R\$ 406,920.23	R\$ 96,601.40	R\$ 1.7142	R\$ 1.9557
6	R\$ 102,389.95	R\$ 95,643.86	R\$ 14,514.63	R\$ (169.14)	R\$ 63,124.95	R\$ 20,361.37	R\$ 83,486.32	R\$ 83,317.18	R\$ 467,024.53	R\$ 94,975.34	R\$ 1.6902	R\$ 1.9228
7	R\$ 87,031.46	R\$ 109,578.27	R\$ 13,076.24	R\$ 1,648.85	R\$ 72,321.66	R\$ 17,055.97	R\$ 89,377.63	R\$ 91,026.48	R\$ 527,681.57	R\$ 94,526.25	R\$ 1.8095	R\$ 1.9137
8	R\$ 73,976.74	R\$ 104,654.11	R\$ 11,780.40	R\$ 3,465.57	R\$ 69,071.71	R\$ 14,271.27	R\$ 83,342.98	R\$ 86,808.55	R\$ 581,049.75	R\$ 93,569.89	R\$ 1.6873	R\$ 1.8943
9	R\$ 62,880.23	R\$ 107,296.57	R\$ 10,612.97	R\$ 5,179.70	R\$ 70,815.74	R\$ 11,926.71	R\$ 82,742.44	R\$ 87,922.14	R\$ 630,916.39	R\$ 92,758.74	R\$ 1.6751	R\$ 1.8779
10	R\$ 53,448.19	R\$ 109,939.04	R\$ 9,561.23	R\$ 6,729.63	R\$ 72,559.76	R\$ 9,954.03	R\$ 82,513.79	R\$ 89,243.43	R\$ 677,683.60	R\$ 92,075.49	R\$ 1.6705	R\$ 1.8641

Subfrota 7 – Análise da Vida Econômica com insumos variáveis (combustível, lubrificantes e pneus)

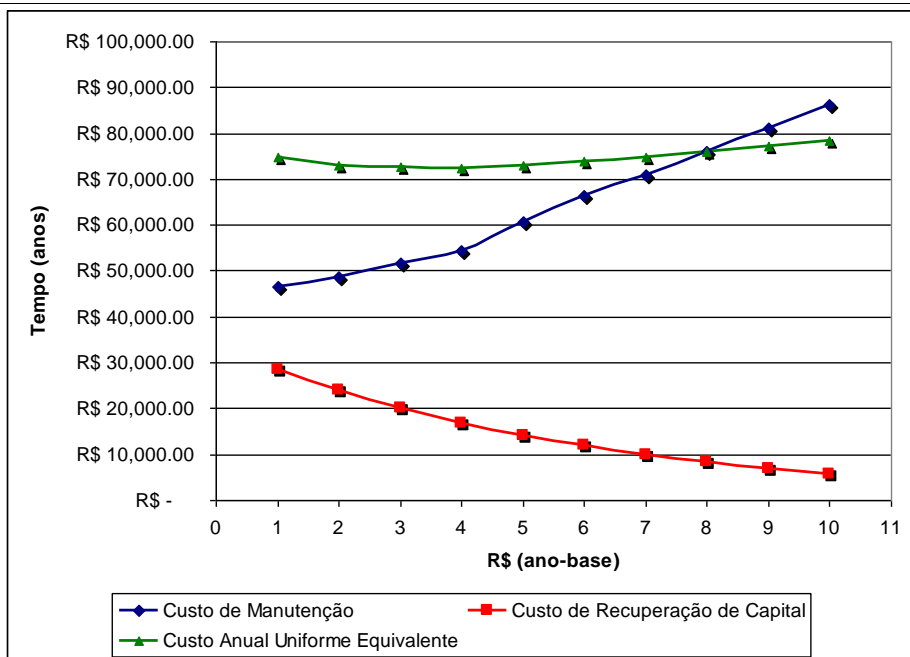


Ano	R\$ em Combustível + Lubrificantes	R\$ em Pneus	R\$ em MOD	R\$ em Itens de Manutenção	Total em R\$
1	R\$ 55,611.59	R\$ 4,758.05	R\$ 4,828.55	R\$ 4,801.21	R\$ 69,999.40
2	R\$ 55,611.59	R\$ 4,758.05	R\$ 5,083.03	R\$ 7,239.43	R\$ 72,692.10
3	R\$ 55,611.59	R\$ 4,758.05	R\$ 8,187.54	R\$ 25,523.39	R\$ 94,080.57
4	R\$ 55,611.59	R\$ 4,758.05	R\$ 9,876.70	R\$ 36,094.85	R\$ 106,341.19
5	R\$ 55,611.59	R\$ 4,758.05	R\$ 8,696.49	R\$ 30,399.83	R\$ 99,465.96
6	R\$ 55,611.59	R\$ 4,758.05	R\$ 11,093.33	R\$ 44,827.54	R\$ 116,290.51
7	R\$ 55,611.59	R\$ 4,758.05	R\$ 12,346.28	R\$ 52,832.81	R\$ 125,548.73
8	R\$ 55,611.59	R\$ 4,758.05	R\$ 13,599.24	R\$ 60,838.08	R\$ 134,806.96
9	R\$ 55,611.59	R\$ 4,758.05	R\$ 14,852.19	R\$ 68,843.35	R\$ 144,065.18
10	R\$ 55,611.59	R\$ 4,758.05	R\$ 16,105.15	R\$ 76,848.61	R\$ 153,323.40

Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kilometragem (mil km)	74	148	222	296	370	444	518	592	666	740
Faixa de troca (+/- 2,5%)	Fora da faixa	Dentro da faixa da vida econômica		Fora da faixa da vida econômica						

Ano	Valor de Venda	Gasto em manut. + oper.	DEPR. CONTABIL	ÔNUS DO IR	Custo de Manutenção (CM)	Custo de Recuperação de Capital (CRC)	CUSTO ANUAL	CUSTO ANUAL c/ VENDA	VPL	CAUE	CUSTO ANUAL/Km	CAUE/Km
0	R\$ 212,944.59											
1	R\$ 181,002.90	R\$ 69,999.40	R\$ 38,368.39	R\$ 6,116.59	R\$ 46,199.60	R\$ 31,673.11	R\$ 77,872.71	R\$ 83,989.31	R\$ 79,235.19	R\$ 83,989.31	R\$ 1.0514	R\$ 1.1339
2	R\$ 153,852.47	R\$ 72,692.10	R\$ 34,566.12	R\$ 9,384.87	R\$ 47,976.78	R\$ 26,258.13	R\$ 74,234.91	R\$ 83,619.78	R\$ 147,886.13	R\$ 80,662.55	R\$ 1.0023	R\$ 1.0890
3	R\$ 130,774.60	R\$ 94,080.57	R\$ 31,140.65	R\$ 13,009.91	R\$ 62,093.18	R\$ 21,721.20	R\$ 83,814.37	R\$ 96,824.29	R\$ 220,829.17	R\$ 82,614.36	R\$ 1.1316	R\$ 1.1154
4	R\$ 111,158.41	R\$ 106,341.19	R\$ 28,054.64	R\$ 16,639.55	R\$ 70,185.19	R\$ 17,924.09	R\$ 88,109.27	R\$ 104,748.82	R\$ 292,876.67	R\$ 84,521.72	R\$ 1.1896	R\$ 1.1411
5	R\$ 94,484.65	R\$ 99,465.96	R\$ 25,274.45	R\$ 20,046.31	R\$ 65,647.54	R\$ 14,749.95	R\$ 80,397.49	R\$ 100,443.80	R\$ 354,754.04	R\$ 84,217.33	R\$ 1.0855	R\$ 1.1370
6	R\$ 80,311.95	R\$ 116,290.51	R\$ 22,769.77	R\$ 23,092.50	R\$ 76,751.74	R\$ 12,100.05	R\$ 88,851.79	R\$ 111,944.29	R\$ 418,690.58	R\$ 85,146.02	R\$ 1.1996	R\$ 1.1496
7	R\$ 68,265.16	R\$ 125,548.73	R\$ 20,513.31	R\$ 25,704.15	R\$ 82,862.16	R\$ 9,890.98	R\$ 92,753.15	R\$ 118,457.30	R\$ 481,192.15	R\$ 86,198.36	R\$ 1.2523	R\$ 1.1638
8	R\$ 58,025.38	R\$ 134,806.96	R\$ 18,480.46	R\$ 27,851.72	R\$ 88,972.59	R\$ 8,052.33	R\$ 97,024.92	R\$ 124,876.64	R\$ 542,446.57	R\$ 87,353.39	R\$ 1.3099	R\$ 1.1794
9	R\$ 49,321.58	R\$ 144,065.18	R\$ 16,649.06	R\$ 29,535.89	R\$ 95,083.02	R\$ 6,524.65	R\$ 101,607.67	R\$ 131,143.55	R\$ 602,595.72	R\$ 88,594.97	R\$ 1.3718	R\$ 1.1961
10	R\$ 41,923.34	R\$ 153,323.40	R\$ 14,999.16	R\$ 30,777.11	R\$ 101,193.45	R\$ 5,257.82	R\$ 106,451.26	R\$ 137,228.37	R\$ 661,741.08	R\$ 89,909.41	R\$ 1.4372	R\$ 1.2139

Subfrota 8 – Análise da Vida Econômica com insumos variáveis (combustível, lubrificantes e pneus)

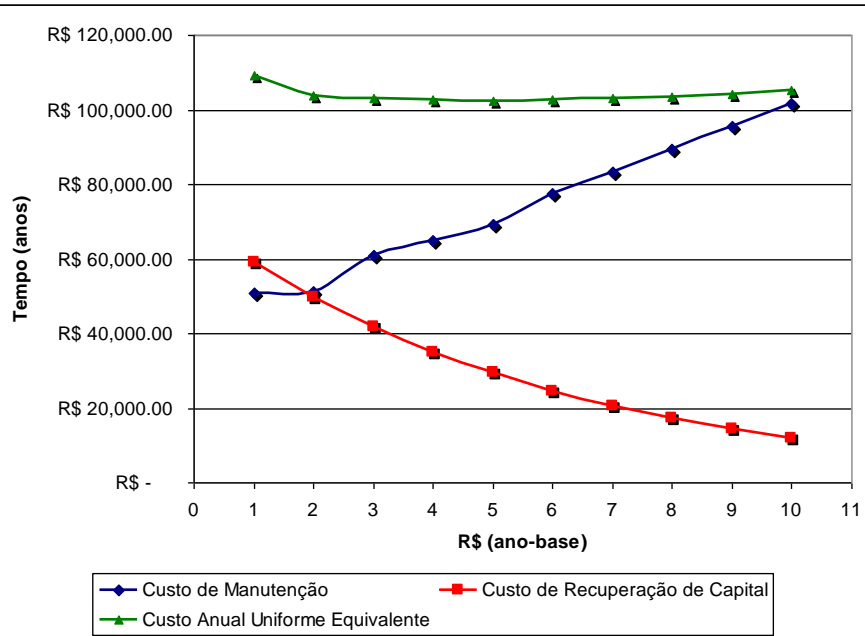


Ano	R\$ em Combustível + Lubrificantes	R\$ em Pneus	R\$ em MOD	R\$ em Itens de Manutenção	Total em R\$
1	R\$ 55,611.59	R\$ 4,758.05	R\$ 1,788.55	R\$ 8,537.80	R\$ 70,695.99
2	R\$ 55,611.59	R\$ 4,758.05	R\$ 1,773.22	R\$ 11,567.04	R\$ 73,709.91
3	R\$ 55,611.59	R\$ 4,758.05	R\$ 1,931.74	R\$ 15,918.45	R\$ 78,219.84
4	R\$ 55,611.59	R\$ 4,758.05	R\$ 1,469.58	R\$ 20,356.22	R\$ 82,195.45
5	R\$ 55,611.59	R\$ 4,758.05	R\$ 1,751.71	R\$ 29,853.83	R\$ 91,975.19
6	R\$ 55,611.59	R\$ 4,758.05	R\$ 1,786.62	R\$ 38,552.62	R\$ 100,708.89
7	R\$ 55,611.59	R\$ 4,758.05	R\$ 1,696.61	R\$ 45,520.32	R\$ 107,586.57
8	R\$ 55,611.59	R\$ 4,758.05	R\$ 1,681.28	R\$ 53,260.33	R\$ 115,311.26
9	R\$ 55,611.59	R\$ 4,758.05	R\$ 1,665.96	R\$ 61,000.34	R\$ 123,035.95
10	R\$ 55,611.59	R\$ 4,758.05	R\$ 1,650.64	R\$ 68,740.36	R\$ 130,760.64

Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kilometragem (mil km)	74	148	222	296	370	444	518	592	666	740
Faixa de troca (+/- 2,5%)	Fora da faixa	Dentro da faixa da vida econômica		Fora da faixa da vida econômica						

Ano	Valor de Venda	Gasto em manut. + oper.	DEPR. CONTABIL	ÔNUS DO IR	Custo de Manutenção (CM)	Custo de Recuperação de Capital (CRC)	CUSTO ANUAL	CUSTO ANUAL c/ VENDA	VPL	CAUE	CUSTO ANUAL/Km	CAUE/Km
0	R\$ 159,167.16											
1	R\$ 135,292.08	R\$ 70,695.99	R\$ 14,339.38	R\$ (303.49)	R\$ 46,659.35	R\$ 28,549.71	R\$ 75,209.07	R\$ 74,905.57	R\$ 70,665.64	R\$ 74,905.57	R\$ 1.0154	R\$ 1.0113
2	R\$ 114,998.27	R\$ 73,709.91	R\$ 12,918.36	R\$ (1,769.69)	R\$ 48,648.54	R\$ 24,019.09	R\$ 72,667.63	R\$ 70,897.94	R\$ 134,050.87	R\$ 73,116.29	R\$ 0.9811	R\$ 0.9871
3	R\$ 97,748.53	R\$ 78,219.84	R\$ 11,638.17	R\$ (2,146.56)	R\$ 51,625.09	R\$ 20,192.66	R\$ 71,817.75	R\$ 69,671.19	R\$ 194,123.16	R\$ 72,623.38	R\$ 0.9696	R\$ 0.9805
4	R\$ 83,086.25	R\$ 82,195.45	R\$ 10,484.83	R\$ (1,822.01)	R\$ 54,248.99	R\$ 16,962.35	R\$ 71,211.34	R\$ 69,389.34	R\$ 250,888.31	R\$ 72,404.23	R\$ 0.9614	R\$ 0.9775
5	R\$ 70,623.31	R\$ 91,975.19	R\$ 9,445.80	R\$ (1,074.07)	R\$ 60,703.62	R\$ 14,236.54	R\$ 74,940.17	R\$ 73,866.09	R\$ 307,528.55	R\$ 73,006.17	R\$ 1.0118	R\$ 0.9857
6	R\$ 60,029.82	R\$ 100,708.89	R\$ 8,509.73	R\$ (99.16)	R\$ 66,467.87	R\$ 11,937.59	R\$ 78,405.46	R\$ 78,306.29	R\$ 363,534.01	R\$ 73,929.23	R\$ 1.0586	R\$ 0.9981
7	R\$ 51,025.34	R\$ 107,586.57	R\$ 7,666.42	R\$ 966.70	R\$ 71,007.13	R\$ 9,999.68	R\$ 81,006.81	R\$ 81,973.51	R\$ 418,120.98	R\$ 74,900.11	R\$ 1.0937	R\$ 1.0112
8	R\$ 43,371.54	R\$ 115,311.26	R\$ 6,906.68	R\$ 2,031.81	R\$ 76,105.43	R\$ 8,367.05	R\$ 84,472.48	R\$ 86,504.29	R\$ 471,751.93	R\$ 75,969.02	R\$ 1.1405	R\$ 1.0257
9	R\$ 36,865.81	R\$ 123,035.95	R\$ 6,222.24	R\$ 3,036.79	R\$ 81,203.72	R\$ 6,992.46	R\$ 88,196.19	R\$ 91,232.97	R\$ 524,477.80	R\$ 77,109.90	R\$ 1.1907	R\$ 1.0411
10	R\$ 31,335.94	R\$ 130,760.64	R\$ 5,605.62	R\$ 3,945.49	R\$ 86,302.02	R\$ 5,835.91	R\$ 92,137.93	R\$ 96,083.42	R\$ 576,332.82	R\$ 78,305.16	R\$ 1.2440	R\$ 1.0572

Subfrota 9 – Análise da Vida Econômica com insumos variáveis (combustível, lubrificantes e pneus)

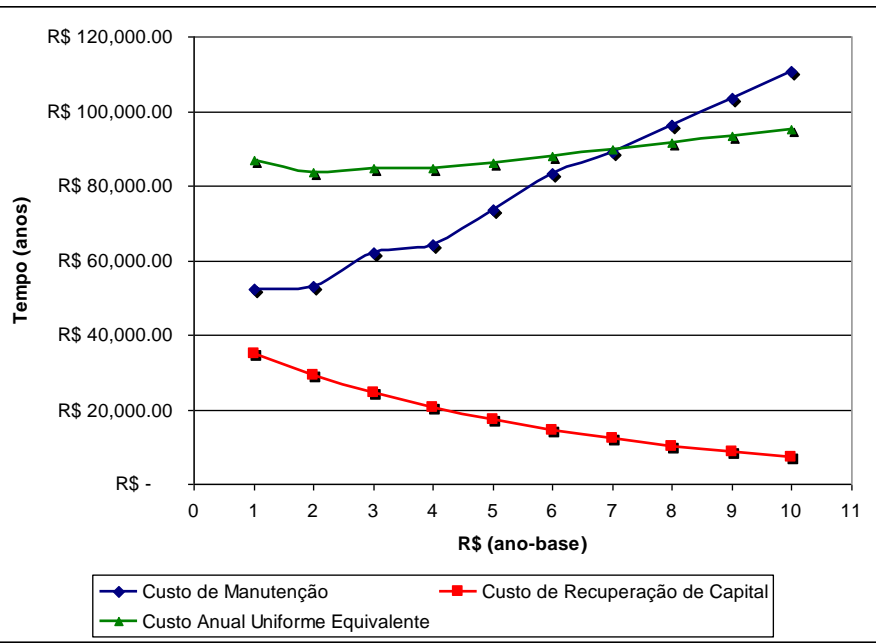


Ano	R\$ em Combustível + Lubrificantes	R\$ em Pneus	R\$ em MOD	R\$ em Itens de Manutenção	Total em R\$
1	R\$ 65,921.15	R\$ 4,992.67	R\$ 2,329.44	R\$ 3,954.61	R\$ 77,197.88
2	R\$ 65,921.15	R\$ 4,992.67	R\$ 2,389.31	R\$ 4,063.00	R\$ 77,366.14
3	R\$ 65,921.15	R\$ 4,992.67	R\$ 2,703.20	R\$ 18,647.50	R\$ 92,264.53
4	R\$ 65,921.15	R\$ 4,992.67	R\$ 2,130.00	R\$ 25,490.35	R\$ 98,534.17
5	R\$ 65,921.15	R\$ 4,992.67	R\$ 2,565.03	R\$ 31,430.57	R\$ 104,909.42
6	R\$ 65,921.15	R\$ 4,992.67	R\$ 2,757.77	R\$ 43,859.07	R\$ 117,530.66
7	R\$ 65,921.15	R\$ 4,992.67	R\$ 2,688.69	R\$ 52,410.65	R\$ 126,013.16
8	R\$ 65,921.15	R\$ 4,992.67	R\$ 2,748.56	R\$ 61,648.17	R\$ 135,310.56
9	R\$ 65,921.15	R\$ 4,992.67	R\$ 2,808.43	R\$ 70,885.69	R\$ 144,607.95
10	R\$ 65,921.15	R\$ 4,992.67	R\$ 2,868.31	R\$ 80,123.21	R\$ 153,905.34

Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kilometragem (mil km)	58	116	174	232	290	348	406	464	522	580
Faixa de troca (+/- 2,5%)	Fora da faixa da vida econômica			Dentro da faixa da vida econômica						

Ano	Valor de Receita	Gasto em manut. + oper.	DEPR. CONTABIL	ÔNUS DO IR	Custo de Manutenção (CM)	Custo de Recuperação de Capital (CRC)	CUSTO ANUAL	CUSTO ANUAL c/ VENDA	VPL	CAUE	CUSTO ANUAL/Km	CAUE/Km
0	R\$ 328,566.10											
1	R\$ 279,281.19	R\$ 77,197.88	R\$ 29,600.55	R\$ (626.50)	R\$ 50,950.60	R\$ 58,934.69	R\$ 109,885.29	R\$ 109,258.80	R\$ 103,074.34	R\$ 109,258.80	R\$ 1.8851	R\$ 1.8744
2	R\$ 237,389.01	R\$ 77,366.14	R\$ 26,667.16	R\$ (3,653.14)	R\$ 51,061.65	R\$ 49,582.21	R\$ 100,643.87	R\$ 96,990.72	R\$ 189,986.77	R\$ 103,625.79	R\$ 1.7266	R\$ 1.7778
3	R\$ 201,780.66	R\$ 92,264.53	R\$ 24,024.47	R\$ (4,431.11)	R\$ 60,894.59	R\$ 41,683.37	R\$ 102,577.96	R\$ 98,146.84	R\$ 275,644.04	R\$ 103,121.14	R\$ 1.7598	R\$ 1.7691
4	R\$ 171,513.56	R\$ 98,534.17	R\$ 21,643.67	R\$ (3,761.14)	R\$ 65,032.55	R\$ 35,015.09	R\$ 100,047.65	R\$ 96,286.51	R\$ 355,632.42	R\$ 102,632.49	R\$ 1.7164	R\$ 1.7607
5	R\$ 145,786.53	R\$ 104,909.42	R\$ 19,498.80	R\$ (2,217.19)	R\$ 69,240.22	R\$ 29,388.26	R\$ 98,628.47	R\$ 96,411.28	R\$ 430,655.71	R\$ 102,236.12	R\$ 1.6920	R\$ 1.7539
6	R\$ 123,918.55	R\$ 117,530.66	R\$ 17,566.49	R\$ (204.70)	R\$ 77,570.24	R\$ 24,642.57	R\$ 102,212.80	R\$ 102,008.10	R\$ 504,224.21	R\$ 102,540.36	R\$ 1.7535	R\$ 1.7591
7	R\$ 105,330.76	R\$ 126,013.16	R\$ 15,825.66	R\$ 1,995.54	R\$ 83,168.69	R\$ 20,642.17	R\$ 103,810.86	R\$ 105,806.40	R\$ 574,735.81	R\$ 102,955.31	R\$ 1.7809	R\$ 1.7662
8	R\$ 89,531.15	R\$ 135,310.56	R\$ 14,257.35	R\$ 4,194.24	R\$ 89,304.97	R\$ 17,271.96	R\$ 106,576.93	R\$ 110,771.17	R\$ 642,907.86	R\$ 103,531.27	R\$ 1.8284	R\$ 1.7761
9	R\$ 76,101.48	R\$ 144,607.95	R\$ 12,844.46	R\$ 6,268.79	R\$ 95,441.25	R\$ 14,434.42	R\$ 109,875.67	R\$ 116,144.46	R\$ 709,022.07	R\$ 104,242.01	R\$ 1.8850	R\$ 1.7883
10	R\$ 64,686.26	R\$ 153,905.34	R\$ 11,571.59	R\$ 8,144.61	R\$ 101,577.53	R\$ 12,046.97	R\$ 113,624.50	R\$ 121,769.11	R\$ 773,306.82	R\$ 105,067.62	R\$ 1.9493	R\$ 1.8025

Subfrota 10 – Análise da Vida Econômica com insumos variáveis (combustível, lubrificantes e pneus)



Ano	R\$ em Combustível + Lubrificantes	R\$ em Pneus	R\$ em MOD	R\$ em Itens de Manutenção	Total em R\$
1	R\$ 68,444.62	R\$ 3,831.53	R\$ 2,872.69	R\$ 4,085.93	R\$ 79,234.77
2	R\$ 68,444.62	R\$ 3,831.53	R\$ 3,020.15	R\$ 4,826.43	R\$ 80,122.73
3	R\$ 68,444.62	R\$ 3,831.53	R\$ 3,518.47	R\$ 18,179.99	R\$ 93,974.61
4	R\$ 68,444.62	R\$ 3,831.53	R\$ 2,835.76	R\$ 22,325.86	R\$ 97,437.77
5	R\$ 68,444.62	R\$ 3,831.53	R\$ 3,368.61	R\$ 35,937.91	R\$ 111,582.68
6	R\$ 68,444.62	R\$ 3,831.53	R\$ 3,832.40	R\$ 50,007.01	R\$ 126,115.56
7	R\$ 68,444.62	R\$ 3,831.53	R\$ 3,757.47	R\$ 58,691.16	R\$ 134,724.79
8	R\$ 68,444.62	R\$ 3,831.53	R\$ 3,904.93	R\$ 69,503.07	R\$ 145,684.16
9	R\$ 68,444.62	R\$ 3,831.53	R\$ 4,052.40	R\$ 80,314.98	R\$ 156,643.53
10	R\$ 68,444.62	R\$ 3,831.53	R\$ 4,199.86	R\$ 91,126.89	R\$ 167,602.90

Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kilometragem (mil km)	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600
Faixa de troca (+/- 2,5%)	Fora da faixa	Dentro da faixa da vida econômica				Fora da faixa da vida econômica				

Ano	Valor de Revenda	Gasto em manut. + oper.	DEPR. CONTABIL	ÔNUS DO IR	Custo de Manutenção (CM)	Custo de Recuperação de Capital (CRC)	CUSTO ANUAL	CUSTO ANUAL c/ VENDA	VPL	CAUE	CUSTO ANUAL/Km	CAUE/Km
0	R\$ 194,289.09											
1	R\$ 165,145.72	R\$ 79,234.77	R\$ 17,503.52	R\$ (370.46)	R\$ 52,294.95	R\$ 34,849.51	R\$ 87,144.46	R\$ 86,774.00	R\$ 81,862.26	R\$ 86,774.00	R\$ 1.4610	R\$ 1.4548
2	R\$ 140,373.87	R\$ 80,122.73	R\$ 15,768.94	R\$ (2,160.19)	R\$ 52,881.00	R\$ 29,319.16	R\$ 82,200.17	R\$ 80,039.97	R\$ 153,447.05	R\$ 83,695.68	R\$ 1.3782	R\$ 1.4032
3	R\$ 119,317.79	R\$ 93,974.61	R\$ 14,206.25	R\$ (2,620.23)	R\$ 62,023.25	R\$ 24,648.39	R\$ 86,671.63	R\$ 84,051.41	R\$ 225,940.79	R\$ 84,526.67	R\$ 1.4531	R\$ 1.4172
4	R\$ 101,420.12	R\$ 97,437.77	R\$ 12,798.42	R\$ (2,224.05)	R\$ 64,308.93	R\$ 20,705.27	R\$ 85,014.20	R\$ 82,790.15	R\$ 293,718.34	R\$ 84,764.61	R\$ 1.4253	R\$ 1.4211
5	R\$ 86,207.10	R\$ 111,582.68	R\$ 11,530.11	R\$ (1,311.08)	R\$ 73,644.57	R\$ 17,377.99	R\$ 91,022.55	R\$ 89,711.47	R\$ 362,517.63	R\$ 86,060.38	R\$ 1.5261	R\$ 1.4429
6	R\$ 73,276.04	R\$ 126,115.56	R\$ 10,387.49	R\$ (121.04)	R\$ 83,236.27	R\$ 14,571.75	R\$ 97,808.01	R\$ 97,686.97	R\$ 432,362.80	R\$ 87,926.44	R\$ 1.6398	R\$ 1.4742
7	R\$ 62,284.63	R\$ 134,724.79	R\$ 9,358.10	R\$ 1,180.01	R\$ 88,918.36	R\$ 12,206.21	R\$ 101,124.57	R\$ 102,304.58	R\$ 500,486.52	R\$ 89,654.66	R\$ 1.6954	R\$ 1.5031
8	R\$ 52,941.94	R\$ 145,684.16	R\$ 8,430.72	R\$ 2,480.16	R\$ 96,151.54	R\$ 10,213.33	R\$ 106,364.87	R\$ 108,845.03	R\$ 567,992.47	R\$ 91,467.20	R\$ 1.7833	R\$ 1.5335
9	R\$ 45,000.65	R\$ 156,643.53	R\$ 7,595.24	R\$ 3,706.89	R\$ 103,384.73	R\$ 8,535.42	R\$ 111,920.15	R\$ 115,627.04	R\$ 634,875.85	R\$ 93,340.87	R\$ 1.8764	R\$ 1.5649
10	R\$ 38,250.55	R\$ 167,602.90	R\$ 6,842.56	R\$ 4,816.11	R\$ 110,617.92	R\$ 7,123.67	R\$ 117,741.58	R\$ 122,557.69	R\$ 701,117.32	R\$ 95,259.38	R\$ 1.9740	R\$ 1.5971

APÊNDICE B

QUESTIONÁRIO – CRITÉRIOS GERAIS

UFRGS/LOPP

Data: / /05

Ordene de 1 (mais importante) à 3 (menos importante) os itens que influenciam na hora da compra do ônibus?

Crériterios	Importância
Técnico/Operação	
Técnico/Manutenção	
Serviço ao usuário	

Setor do entrevistado: _____

Função do Entrevistado: _____

QUESTIONÁRIO – CRITÉRIOS RELATIVOS À OPERAÇÃO DO SERVIÇO

UFRGS/LOPP

Data: / /05

Visando identificar as características idéias que um ônibus deva apresentar para ser adquirido, gostaríamos que ordenasse, dentre as opções (critérios) apresentadas no quadro abaixo, de 1 (característica mais importante) a 5 (característica menos importante) sem repetir um mesmo número.

Critérios	Importância
Facilidade para realizar manobras (dirigibilidade)	
Facilidade do ônibus parar	
Facilidade do ônibus retomar a velocidade	
Facilidade de subir/descer trechos inclinados da via	
Conforto do motorista/cobrador	

Setor do entrevistado: _____

Função do Entrevistado: _____

QUESTIONÁRIO – CRITÉRIOS RELATIVOS À MANUTENÇÃO DO SERVIÇO

UFRGS/LOPP

Data: / /05

Visando identificar as características idéias que um ônibus deva apresentar para ser adquirido, gostaríamos que ordenasse, dentre as opções (critérios) apresentadas no quadro abaixo, de 1 (característica mais importante) a 4 (característica menos importante) sem repetir um mesmo número.

Critérios	Importância
Tempo gasto para realizar a manutenção da peça defeituosa	
Facilidade de acesso à peça defeituosa	
Disponibilidade de reposição de peças	
Inovações tecnológicas	

Setor do entrevistado: _____

Função do Entrevistado: _____

QUESTIONÁRIO – CRITÉRIOS RELATIVOS DO SERVIÇO AO USUÁRIO

UFRGS/LOPP

Data: / /05

Visando identificar as características ideais que um ônibus deva apresentar para ser adquirido, gostaríamos que fosse ordenado, dentre as opções (critérios) apresentadas no quadro abaixo, de 1 (característica mais importante) a 4 (característica menos importante) sem repetir um mesmo número.

Critério	Importância
Facilidade de acesso ao ônibus (entrada/saída)	
Conforto do usuário	
Facilidade de circulação dentro do ônibus (corredor/assentos)	
Segurança no uso do ônibus (equipamentos)	

Setor do entrevistado: _____

Função do Entrevistado: _____

**Matriz para análise de relacionamento
entre critérios da manutenção e
características do ônibus**

		Características do ônibus					
		Chassi				Carroceria	
		Câmbio do ônibus	Suspensão do ônibus	Motor do ônibus (posição)	Direção do ônibus	Sistema de freios do ônibus	Altura do Piso do Ônibus	Conforto térmico do ônibus
Critério Primário	Critério Secundário						
Técnico/Manutenção	Tempo gasto para realizar a manutenção da peça defeituosa						
	Facilidade de acesso a peça defeituosa						
	Disponibilidade de reposição de peças						
	Inovações tecnológicas						

Qual o impacto da característica do ônibus "X" sobre o critério "Y"?

Intensidade do impacto	Escala
Impacto Forte	9
Impacto Médio	3
Impacto Fraco	1
Sem Impacto	

**Matriz para análise de
relacionamento entre critérios da
operação e características do ônibus**

		Características do ônibus					
		Chassi				Carroceria	
		Câmbio do ônibus	Suspensão do ônibus	Motor do ônibus (posição)	Direção do ônibus	Sistema de freios do ônibus	Altura do Piso do Ônibus	Conforto térmico do ônibus
Critério Primário	Critério Secundário						
Técnico/Operação	Facilidade para realizar manobras (dirigibilidade)						
	Facilidade do ônibus parar						
	Facilidade do ônibus retomar a velocidade						
	Facilidade de subir/descer trechos inclinados da via						
	Conforto do motorista/cobrador						

Qual o impacto da característica do ônibus "X" sobre o critério "Y"?

Intensidade do impacto	Escala
Impacto Forte	9
Impacto Médio	3
Impacto Fraco	1
Sem Impacto	

**Matriz para análise de
relacionamento entre critérios do
usuário e características do ônibus**

		Características do ônibus					
		Chassi				Carroceria	
		Câmbio do ônibus	Suspensão do ônibus	Motor do ônibus (posição)	Direção do ônibus	Sistema de freios do ônibus	Corredor interno do ônibus
Critério Primário	Critério Secundário						
Serviço ao Usuário	Facilidade de acesso ao ônibus (entrada/saída)						
	Conforto do usuário dentro do ônibus						
	Facilidade de circulação dentro ônibus (corredor/assento)						
	Segurança no uso do ônibus						

Qual o impacto da característica do ônibus "X" sobre o critério "Y"?

Intensidade do impacto	Escala
Impacto Forte	9
Impacto Médio	3
Impacto Fraco	1
Sem Impacto	