

PROJETO DE GRADUAÇÃO

AVALIAÇÃO ECONÔMICA DA FROTA BRASILEIRA DE CAMINHÕES DE TRANSPORTADORES REMUNERADOS

Por,
Letícia do Valle Pires Martinovic

Brasília, 8 de dezembro de 2015.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

**FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia de Produção

PROJETO DE GRADUAÇÃO

AVALIAÇÃO ECONÔMICA DA FROTA BRASILEIRA DE CAMINHÕES DE TRANSPORTADORES REMUNERADOS

POR,

Letícia do Valle Pires Martinovic

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção
do grau de Engenheiro de Produção

Banca Examinadora

Prof. Sérgio Ronaldo Granemann, UnB/ EPR (Orientador) _____

Prof. Carlos Henrique Marques da Rocha, UnB/ EPR _____

Prof. João Mello da Silva, UnB/ EPR _____

Brasília, 8 de dezembro de 2015.

Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus pais, Nilza e Alexander, por acreditarem sempre no meu potencial.

Agradecimentos

Agradeço aos meus pais, Nilza e Alexander, pelo amor e apoio em todos os momentos. O incentivo deles sempre me impulsiona a buscar mais conquistas.

Ao professor Sérgio Ronaldo Granemann pela orientação e disposição para ajudar, sempre mostrando o melhor caminho para obter um projeto de qualidade.

Aos professores Carlos Henrique Marques da Rocha e João Mello da Silva por terem aceitado participar da banca, contribuindo para a avaliação dos resultados apresentados.

Por fim, agradeço a todas as pessoas que de alguma forma colaboraram para a realização deste trabalho.

Muito obrigada!

RESUMO

A frota brasileira de caminhões de transportadores remunerados é caracterizada por uma quantidade significativa de veículos obsoletos devido à falta de conhecimento dos transportadores para determinar o momento ideal para substituição, além da insuficiência de recursos financeiros. Neste contexto, o presente projeto tem a finalidade de realizar uma avaliação econômica da frota de caminhões de empresas de transporte incluídas no Registro Nacional de Transportadores Rodoviários de Cargas – RNTRC por intermédio da análise da vida útil, bem como do cálculo da vida econômica do modelo de caminhão mais utilizado a partir do método do Custo Anual Uniforme Equivalente – CAUE, o qual define o momento ótimo para a renovação. Pretende-se determinar a quantidade de caminhões em uso que se encontram acima da vida econômica com o objetivo de calcular os impactos econômicos de realização de uma substituição idêntica para renovar a frota envelhecida. Além disso, objetiva-se calcular a externalidade negativa da poluição atmosférica gerada pelos veículos antigos como forma de complementar o projeto.

ABSTRACT

The Brazilian fleet of truck paid carriers is characterized by a significant amount of obsolete vehicles due to the lack of knowledge of the carriers to determine the optimal time for replacement, as well as insufficient financial resources. In this context, this project aims to carry out an economic evaluation of the fleet of transport companies' trucks included in the National Register of Cargo Road Carriers – RNTRC through the analysis of the vehicles' useful life and the calculation of the economic life of the most widely used model of truck by the method of Equivalent Uniform Annual Cost – CAUE, which defines the optimal time for renewal. It is intended to determine the amount of trucks in use located above the economic life in order to calculate the economic impact of performing an identical replacement to renovate the aging fleet. In addition, it aims to calculate the negative externality of air pollution generated by old vehicles as a way to complement the project.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	9
1.2 JUSTIFICATIVA.....	11
1.3 OBJETIVOS	12
1.4 METODOLOGIA.....	13
1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 DISPÊNDIOS DO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGAS.....	15
2.2 VIDA ÚTIL.....	17
2.3 VIDA ECONÔMICA.....	17
2.4 RENOVAÇÃO DA FROTA	20
2.5 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA	22
3 ANÁLISE DA VIDA ECONÔMICA DE UMA FROTA DE CAMINHÕES DE EMPRESAS DE TRANSPORTE	24
3.1 SELEÇÃO DO VEÍCULO A PARTIR DA BASE DE DADOS	24
3.2 CÁLCULO DA VIDA ECONÔMICA	27
3.2.1 Custos de depreciação e de capital	28
3.2.2 Custos de manutenção.....	32
3.2.3 Custo Anual Uniforme Equivalente.....	34
3.3 IMPACTOS ECONÔMICOS DA SUBSTITUIÇÃO IDÊNTICA	38
3.4 EXTERNALIDADE DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA	39
4 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	41

LISTA DE FIGURAS

1.1	Varição dos custos do veículo ao longo do tempo	19
3.1	Caminhão volvo fh 440 6x2 tractor.....	27
3.2	Curva exponencial da depreciação operacional.....	30
3.3	Curva de depreciação mais custo de capital.....	32
3.4	Curva de custo de manutenção.....	34
3.5	Custo Anual Uniforme Equivalente.....	37

LISTA DE TABELAS

1.1	Transportadores e frota de veículos de 2015	9
2.1	Redução das emissões de co2 e do consumo de combustível	23
3.1	Transportadores e frota de veículos de 2011	24
3.2	Categorias de veículos registrados pelo rntrc	25
3.3	Registros por intervalo de anos de fabricação	26
3.4	Quantidade de caminhões registrados nos anos de 2001 a 2011	26
3.5	Informações sobre o volvo fh 440 6x2 tractor	27
3.6	Valor residual do caminhão para os 25 anos de vida útil.....	29
3.7	Depreciação operacional para os 25 anos de vida útil.....	30
3.8	Custo de capital para os 25 anos de vida útil com taxa finame de 15,74%	31
3.9	Depreciação mais custo de capital para os 25 anos de vida útil	31
3.10	Custo anual de manutenção em % do valor do veículo novo para os 25 anos de vida útil.....	33
3.11	Custo anual de manutenção para os 25 anos de vida útil.....	33
3.12	“Achar a dado p” para os 25 anos de vida útil	34
3.13	“Achar a dado f” para os 25 anos de vida útil.....	35
3.14	“Achar p dado f” para os 25 anos de vida útil.....	35
3.15	Custo total para os 25 anos de vida útil.....	36
3.16	Custo anual uniforme equivalente.....	37
3.17	Registros de veículos fabricados entre 1986 até 2003	38
3.18	Custo monetário de poluição.....	39

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolos Latinos

l	Litro	[dm ³]
kg	Quilograma	[1000g]
ton	Tonelada	[1000kg]

Símbolos Gregos

ε	Externalidade
δ	Taxa de Inflação

Subscritos

PA	Poluição Atmosférica
<i>t</i>	Tempo

Siglas

Anfavea	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CAUE	Custo Anual Uniforme Equivalente
CNT	Confederação Nacional do Transporte
DAT	Despesas Administrativas e de Terminais
DPVAT	Danos Pessoais Causados por Veículos Automotores de Via Terrestre
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
IPVA	Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores
NTC	Associação Nacional do Transporte de Cargas
RenovAr	Plano Nacional de Renovação de Frota de Caminhões
RNTRC	Registro Nacional de Transportadores Rodoviários de Cargas
STRC	Sistema de Transporte Rodoviário de Cargas
TCP	Transporte Rodoviário de Carga Própria
TL	Taxa de Licenciamento
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
TRRC	Transporte Rodoviário Remunerado de Cargas

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo o tema a ser abordado no trabalho é contextualizado, o seu desenvolvimento é justificado e os objetivos que o projeto pretende alcançar são elencados. Por fim, são apresentadas a metodologia e a organização do trabalho.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O transporte consiste em uma das principais atividades da logística, representando cerca de 2/3 dos seus custos e 60% das operações, além de ser essencial no alcance dos objetivos de planejamento, implementação e controle dos fluxos para a satisfação do cliente final (Fleury, 2000). Considerando o fato de que muitas empresas têm optado por estoques reduzidos e entregas do tipo *just-in-time*, o transporte mostra-se fortemente relacionado com a qualidade dos serviços que buscam responder às necessidades dos clientes de forma rápida (Montenegro *et al.*, 2011).

No que se refere às características do serviço e do transportador que o executa, o transporte rodoviário de cargas pode ser subdividido em: Transporte Rodoviário de Carga Própria – TCP e Transporte Rodoviário Remunerado de Cargas – TRRC. O TCP é realizado por transportadores que não possuem o transporte como sua atividade fim, movimentando suas próprias cargas. Já no TRRC, há um acordo comercial estabelecido entre um contratante, que demanda o serviço de transporte, e um transportador, o qual executa o serviço (Moura, 2012). É neste contexto que o presente trabalho irá considerar apenas o grupo de transportadores remunerados, formado por transportadores autônomos, empresas de transporte e cooperativas de transporte, segundo o Registro Nacional de Transportadores Rodoviários de Cargas – RNTRC.

Os transportadores autônomos, em geral são donos do próprio veículo, e representam a maior parcela (83%) dos transportadores registrados na Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT, apesar de não possuírem a maior quantidade de veículos, conforme é apresentado na Tabela 1.1 a seguir:

Tabela 1.1 - Transportadores e Frota de Veículos de 2015.

Tipo do Transportador	Registros Emitidos	Veículos	Veículos/Transportador	Idade Média da Frota (anos)
Autônomo	902.959	1.055.619	1,2	17,1
Empresa	183.480	1.243.613	6,8	9,3
Cooperativa	428	18.421	43,0	10,6
Total	1.086.867	2.317.653	2,1	12,3

Fonte: ANTT, 2015.

As empresas de transporte, por sua vez, podem contratar o caminhoneiro para lhe prestar o serviço como motorista. Apesar de representarem aproximadamente 17% dos registros do RNTRC, detém mais da metade do total de veículos (54%).

Por fim, nas cooperativas de transporte, os caminhões não são de um só proprietário em particular, mas pertencem à cooperativa e são operados em pelo menos um turno e por mais de um cooperado como forma de diminuir o tempo ocioso do veículo e aumentar o tempo de operação, sem exigir trabalho excessivo dos caminhoneiros (Moura e Pinto, 2012). Como pode ser observado na Tabela 1.1, as cooperativas possuem pouquíssimos registros ao serem comparadas aos demais grupos, mas apresentam a maior relação veículos por transportador.

Segundo a ANTT (2015), a frota brasileira de caminhões é de 2.317.653 veículos, dos quais 1.055.619 são de propriedade de autônomos e possuem idade média de 17,1 anos, 1.243.613 são de empresas de transporte com idade média de 9,3 anos e 18.421 de cooperativas de transporte com idade média de 10,6 anos. Portanto, a idade média dos três grupos considerados conjuntamente é de 12,3 anos.

O transporte rodoviário é o mais expressivo quanto ao transporte de cargas, na medida em que a elevada quantidade de rodovias pavimentadas após a implementação da indústria automobilística, na década de 50, proporcionou um amplo acesso às localidades do território nacional (Alvarenga e Novaes, 2000). De acordo com a Confederação Nacional do Transporte – CNT (2014), o modo rodoviário tem participação predominante na matriz de transporte de cargas, sendo responsável por aproximadamente 61% da matriz. Entretanto, a avaliação da CNT retrata que mais de 60% das rodovias brasileiras pavimentadas apresentam algum tipo de problema de sinalização, pavimento ou geometria da via, na medida em que projetos deficientes, má gestão e ausência de manutenção adequada comprometem a qualidade da infraestrutura da malha rodoviária.

De acordo com Villela e Tedesco (2011), os principais elementos do Sistema de Transporte Rodoviário de Cargas – STRC são infraestrutura, veículos, carga e atores. A infraestrutura inclui as redes viárias, terminais e pontos de apoio. Os veículos podem ser caracterizados pela composição física, configuração, geometria, peso, classificação, configuração dos eixos, tecnologias e ano de fabricação. A carga, por sua vez, pode ser caracterizada pelo tipo de carga, produto, embalagem e transporte. Por fim, os atores incluem os indivíduos ou entidades envolvidos com o STRC como transportadores, reguladores, planejadores, sindicatos, associações e agentes do transporte.

O veículo representa um subsistema do transporte, possuindo funções de apoio, segurança, atendimento e deslocamento (Uelze, 1998). A gestão de frotas consiste em reger, administrar, bem como gerenciar um conjunto de veículos pertencentes a uma mesma organização, envolvendo serviços de dimensionamento, especificação de equipamento, roteirização, custos, manutenção e renovação de veículos, entre outros (Valente, Passaglia e Novaes, 1997). Porém, a maioria das empresas considera a gestão de frotas de veículos um fator de custos independente da estratégia empresarial, não

distinguindo os benefícios que uma gestão eficiente da frota pode promover ao desempenho global como a pontualidade dos serviços e melhoria da produção (Montenegro *et al.*, 2011).

Dentre os serviços envolvidos na gestão de frotas, a manutenção consiste na garantia da disponibilidade da função dos equipamentos e instalações para atender a um processo de produção e preservar o meio ambiente com confiabilidade, segurança e custo adequados (Kardec e Nascif, 1998). Segundo Marcorin e Lima (2003), a manutenção pode ser classificada em preventiva, corretiva ou preditiva.

A frota brasileira de caminhões de transportadores remunerados é exposta ao desgaste causado pelas infraestruturas precárias das rodovias, além das alterações tecnológicas oriundas da evolução e inovação automobilísticas. Os veículos se tornam cada vez mais obsoletos, demandando custos elevados para os transportadores autônomos, empresas e cooperativas de transporte. O aumento dos custos de manutenção ao longo dos anos consiste em uma das razões para a substituição de veículos antigos por novos (Pereira, 2006).

Ao substituir um veículo obsoleto por um novo, os custos operacionais são reduzidos pelo fato do ativo recente possuir menor custo de manutenção (Radel *et al.*, 2012). Porém, os responsáveis pelo transporte rodoviário de cargas no Brasil geralmente adotam a substituição dos seus caminhões de maneira intuitiva devido à falta de conhecimentos, não recorrendo a nenhum tipo de cálculo com base em critérios econômicos e estatísticos. Além disso, a falta de recursos financeiros para a aquisição dos novos automóveis também é responsável pela postergação da troca. Dessa forma, torna-se comum a realização da troca dos veículos somente quando o custo de manutenção alcança um nível insustentável para os transportadores remunerados. Na maioria das vezes, este momento ultrapassa a fase de tempo ideal para a substituição, determinada pela vida econômica do ativo (Montenegro *et al.*, 2011).

1.2 JUSTIFICATIVA

Como forma de auxiliar a tomada de decisão quanto ao momento ideal para substituição da frota rodoviária brasileira, bem como na determinação do montante necessário para esta renovação, o presente trabalho propõe uma análise da frota de caminhões de empresas de transporte por intermédio da definição de sua vida econômica. Além dos veículos obsoletos acarretarem maiores custos de operação para os envolvidos no transporte, eles são responsáveis por maiores níveis de externalidades negativas, como acidentes e poluição do ar (Arruda, 2010).

Externalidades são todos os efeitos que determinada ação ou atividade, seja ela econômica ou não, tem sobre o bem-estar de outras pessoas, o desempenho de empresas e a qualidade do meio ambiente, sendo positivas quando beneficiarem de maneira involuntária os demais, e negativas em caso contrário (Contador, 2000). É neste contexto que os acidentes e os elevados níveis de poluição do ar provocados pela circulação da frota antiga de caminhões nas rodovias brasileiras são classificados como

externalidades negativas, fazendo parte dos custos sociais dos veículos, ao passo em que podem ser quantificados monetariamente e acarretam prejuízo à sociedade (Radel *et al.*, 2012).

Segundo Cruvinel, Pinto e Granemann (2012), o consumo total de combustível pelos veículos pode ser utilizado para calcular o total de emissões de gás carbônico (CO₂). Considerando a implementação da renovação da frota envelhecida, é possível analisar qual seria o benefício econômico devido à redução no consumo de combustível, bem como o benefício ambiental advindo da redução das emissões de CO₂, o qual pode ser calculado pela unidade internacional de créditos de carbono instaurada pelo Protocolo de Kyoto.

Quanto mais antigo o veículo, maiores são os seus custos operacionais e sociais. Há políticas de impostos do governo que criam dificuldades para aqueles que mantêm veículos obsoletos, buscando a circulação de frotas mais novas, as quais geram menos poluição e riscos de acidentes à população (Montenegro *et al.*, 2011). Nos estados de Alagoas, Paraná, Rio Grande do Sul e São Paulo, por exemplo, o Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores – IPVA é cobrado de veículos com até 20 anos e a grande maioria dos demais estados brasileiros trabalha com o prazo de 15 anos (Correio Goiano, 2015).

Os custos de seguros também crescem à medida que o veículo vai se tornando mais velho devido à maior probabilidade de ocorrência de sinistros. Além desses fatores, deve-se considerar o fato de que a situação dos veículos interfere diretamente no desempenho dos transportadores rodoviários de carga. Uma decisão fundamentada de renovação da frota proporciona amplos ganhos de qualidade como produtividade, disponibilidade e conforto na utilização (Montenegro *et al.*, 2011). Portanto, visando à busca de melhoria contínua do serviço prestado, além da segurança no trânsito e bem-estar da sociedade brasileira, o controle da idade dos veículos é de extrema importância.

1.3 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo realizar uma avaliação econômica da frota brasileira de caminhões de transportadores remunerados, mais especificamente de empresas de transporte, a partir da análise do momento ideal para a substituição dos veículos devido ao desgaste de utilização. Foi utilizada uma base de dados fornecida pela Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT que contém uma parcela do grupo de empresas de transportes, o qual compõe o Registro Nacional de Transportadores Rodoviários de Cargas – RNTRC junto aos demais grupos de transportadores autônomos e cooperativas de transporte.

Para o grupo de empresas de transporte analisado, determinou-se o tipo de caminhão mais utilizado, analisou-se a vida útil deste caminhão, e calculou-se a sua vida econômica pelo método do Custo Anual Uniforme Equivalente – CAUE. Por meio destes dados, buscou-se determinar a quantidade de caminhões em uso que se encontram acima da vida econômica com a finalidade de mensurar o montante em reais necessário para renovar toda a frota envelhecida a partir do método de

substituição idêntica. Além disso, foi mensurada a externalidade negativa da poluição atmosférica dos veículos obsoletos, a qual servirá como complementação ao trabalho.

As conclusões e informações obtidas pela realização do presente trabalho poderão servir de base para incentivar a criação de políticas e projetos de financiamento de forma a regularizar e tornar a frota rodoviária de cargas do Brasil mais segura e eficiente.

1.4 METODOLOGIA

Os passos adotados para alcançar os objetivos do projeto são ordenados a seguir:

- 1- Elaboração do referencial teórico com base na teoria da substituição de equipamentos;
- 2- Análise da amostra de dados a ser utilizada com o auxílio de planilhas eletrônicas do Microsoft Excel;
- 3- Seleção do modelo de veículo mais usado;
- 4- Determinação da vida útil do veículo;
- 5- Cálculo dos custos de depreciação operacional e dos custos de capital para cada ano de vida útil do veículo;
- 6- Cálculo dos custos de manutenção para cada ano de vida útil do veículo;
- 7- Soma dos custos de depreciação operacional e custos de capital aos custos de manutenção para obtenção dos custos totais para cada ano de vida útil do veículo;
- 8- Cálculo do valor residual do veículo para cada ano de vida útil;
- 9- Elaboração de tabelas financeiras com os fatores de desconto e atualização para cada ano de vida útil do veículo;
- 10- Cálculo da vida econômica do caminhão a partir do método do Custo Anual Uniforme Equivalente – CAUE, aplicado para todos os anos de vida útil do veículo;
- 11- Mensuração dos impactos econômicos do método de substituição idêntica para renovar a frota de caminhões com idade superior à vida econômica;
- 12- Mensuração da externalidade de poluição atmosférica da frota de caminhões com idade superior à vida econômica.

1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho foi estruturado em três capítulos, além deste capítulo introdutório. O capítulo 2 apresenta o referencial teórico, o qual é dividido em cinco tópicos: dispêndios do transporte rodoviário de cargas, vida útil, vida econômica, renovação da frota e poluição atmosférica.

O capítulo 3 contém a análise da vida econômica de uma frota de caminhões de empresas de transporte. Para tal, conta com um tópico inicial que realiza a análise de uma base de dados, seleção do veículo mais usado e determinação de sua vida útil. Posteriormente, o cálculo da vida econômica deste

modelo de caminhão é desenvolvido pelo método do Custo Anual Uniforme Equivalente – CAUE, sendo dividido em três itens: custos de depreciação e de capital, custos de manutenção e o próprio CAUE. Na seqüência, este capítulo apresenta os impactos econômicos da substituição idêntica e a externalidade da poluição atmosférica dos veículos com idade superior à vida econômica.

Por último, o capítulo 4 é composto pelas conclusões e recomendações para trabalhos futuros a partir dos resultados obtidos como forma de ampliar o alcance do tema.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo traz o referencial teórico do trabalho e é dividido nas seguintes seções: dispêndios do transporte rodoviário de cargas, vida útil, vida econômica, renovação da frota e poluição atmosférica.

2.1 DISPÊNDIOS DO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGAS

Segundo Ávila (2012), gasto ou dispêndio consiste em qualquer compromisso financeiro efetuado por uma empresa na aquisição de bens e serviços, sejam eles pagos ou não. Os gastos podem ser divididos em três grupos principais descritos a seguir:

- Custos: dispêndios realizados diretamente no esforço das atividades de produção de bens ou serviços. Envolvem, portanto, a aquisição de insumos, mão de obra ou de serviços necessários para realização da produção. Exemplos incluem matéria prima, gastos com salários de trabalhadores da linha de produção, combustíveis e lubrificantes, aluguel de equipamentos, energia elétrica e água industrial;
- Despesas: dispêndios não relacionados diretamente ao processo produtivo, sendo vinculados ao processo de administração, vendas e marketing da empresa. Exemplos incluem salários dos diretores e do pessoal da administração, material de escritório e de comunicação, impostos sobre a manutenção e utilização de instalações, material de propaganda de vendas, juros pagos ou devidos no exercício, multas e ações judiciais;
- Investimentos: dispêndios realizados com inversões em bens e direitos do ativo da empresa visando à utilização, transformação, venda ou disponibilidade necessários ao cumprimento do objeto social da companhia. Os investimentos contabilizados no Ativo Circulante envolvem o capital de giro para manter os estoques, sejam eles de matérias primas, produtos em fabricação ou produtos acabados. Já os investimentos do Ativo Não Circulante consistem nos gastos destinados à operação da empresa, como a aquisição de imóveis, equipamentos e máquinas, patentes, participações societárias e financiamentos.

No que diz respeito aos dispêndios operacionais presentes nos grupos do RNTRC, descritos no Manual de Cálculo de Custos e Formação de Preços do Transporte Rodoviário de Cargas publicado pela Associação Nacional do Transporte de Cargas – NTC (2001), há três tipos de classificação quanto a eles:

- Custos fixos: custos que independem da quantidade de quilômetros rodados, existindo mesmo quando o veículo se encontra parado. Incluem, portanto, remuneração mensal do capital empatado (ganho no mercado financeiro caso o capital não tivesse sido usado para adquirir o veículo), reposição do veículo, reposição do equipamento (carroçaria ou carreta), licenciamento (envolve Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores – IPVA,

seguros por Danos Pessoais Causados por Veículos Automotores de Via Terrestre – DPVAT; e Taxa de Licenciamento – TL), depreciação do veículo, aluguel de garagem, seguro do veículo e do equipamento, seguro de responsabilidade civil facultativo para garantir o reembolso de prejuízos materiais e corporais de terceiros, salários e encargos sociais do motorista e da oficina;

- Custos variáveis: custos que variam de acordo com a quilometragem percorrida, inexistindo quando o veículo se encontra parado. Sendo assim, envolvem gastos com combustível, pneus, recauchutagens (reconstituição a quente com camadas de borracha), lavagens, graxas, lubrificantes, peças, materiais e acessórios de manutenção do veículo;
- Despesas indiretas: gastos que não são relacionados diretamente à parte operacional do transporte rodoviário de cargas, também conhecidos como Despesas Administrativas e de Terminais – DAT. Não variam com a quilometragem rodada, mas sim com a tonelage movimentada, dividindo seu valor mensal pela tonelage mensal movimentada. Dessa forma, abrangem dispêndios com salários e encargos sociais da diretoria, aluguéis, impostos, materiais de escritório, tarifas de serviços públicos (água, energia elétrica e telefone), diárias de viagens e promoção do serviço.

No que se refere à apuração quanto à variação dos custos médios operacionais com a idade do veículo, Pereira (2006) analisa os custos de manutenção da frota, relacionando-os com a idade e o tipo de pavimento utilizado. Este autor realizou um levantamento dos custos de manutenção relacionados a três rotas específicas: com pavimento classificado como “bom”, “deficiente” e “ruim”. Os custos de manutenção da frota de transportes rodoviários de carga relacionados aos pavimentos classificados como “bom” são menores que aqueles relacionados ao pavimento “deficiente” que, por sua vez, são inferiores aos custos de manutenção quando a frota trafega por vias de pavimento “ruim”. Porém, ao se observar a variação percentual dos custos relacionada ao aumento da idade da frota, verificou-se que ela é igual ou muito similar para as situações analisadas quanto ao tipo de pavimento.

Os custos sociais advindos do envelhecimento da frota são significativos pelo fato de os grupos do RNTRC perderem por operarem com deseconomia de escala, na qual há um aumento da produção aliado à elevação do custo médio da carga. Os preços das mercadorias se tornam menos competitivos, pois eles dependem do frete, o qual é função dos custos de operação, manutenção e capital. Por outro lado, a população sofre com a elevação do nível de poluição atmosférica, além da probabilidade acentuada de acidentes e congestionamentos nas rodovias. Considerando que uma parcela considerável da frota brasileira de caminhões opera com idades elevadas, é possível inferir que o país tem apresentado perdas sociais de custos e fretes, as quais aumentam com o passar do tempo caso a frota não seja renovada (Rocha *et al.*, 2009).

Os elevados custos de operação e manutenção da atual frota de caminhões são responsáveis pela forte rotatividade de caminhoneiros autônomos no mercado, contribuindo para a variabilidade de sua renda. Na eventualidade de um acidente, de um problema mecânico grave ou até mesmo de um roubo,

os autônomos se vêem obrigados a sair do mercado, ao passo em que não apresentam condições financeiras para arcar com um conserto do caminhão, bem com para contratar um seguro contra acidentes e roubo, o qual tem seu valor acrescido para veículos com idade avançada (Caixeta-Filho, 2000).

2.2 VIDA ÚTIL

A vida útil de um ativo consiste no período de tempo no tempo máximo de uso de um bem, sendo dependente da maneira como é utilizado e mantido por seus responsáveis. Dessa forma, é relacionada à extinção da capacidade produtiva. Considerando os veículos de transporte de carga, é possível analisar o ciclo de vida no qual desempenham as respectivas funções dentro de padrões adequados de produtividade, segurança operacional e economicidade. A vida útil, portanto, é determinada pela fase do ciclo de vida do caminhão na qual as suas funções são perdidas (Degarmo e Canada, 1973).

2.3 VIDA ECONÔMICA

A vida econômica de um ativo, por sua vez, está relacionada ao período de tempo no qual o Custo Anual Uniforme Equivalente – CAUE de possuir e manter o equipamento é mínimo. Com o passar dos anos, os custos operacionais dos bens crescem ao mesmo tempo em que o seu valor de mercado diminui, devido ao desgaste e maior necessidade de manutenção. Sendo assim, a vida econômica é determinada como o momento no qual não é mais viável manter o equipamento, pois os seus custos de operação e manutenção são tão elevados que chegam ao ponto de não compensarem o benefício de operá-lo (Degarmo e Canada, 1973). Segundo Pereira (2006) e Pereira e Rocha (2006), a vida econômica média da frota brasileira de caminhões é de oito anos.

Segundo Casarotto e Kopittke (2010), o método do CAUE é adequado para avaliar as atividades operacionais da empresa com investimentos que possam se repetir, como a aquisição de novos veículos. Além disso, a padronização dos resultados para valores anuais equivalentes permite uma tomada de decisão mais fácil e eficaz com base em uma análise racional, e não apenas a partir das experiências vivenciadas pelos responsáveis, proporcionando maior lucratividade à empresa.

O melhor momento para substituir um veículo é determinado pela sua vida econômica e não por sua capacidade de sobrevivência ou vida útil total. O cálculo da vida econômica por meio do método do Custo Anual Uniforme Equivalente transforma os custos de possuir e os custos de manter em custos anuais equivalentes ao aplicar uma determinada taxa de juros correspondente à remuneração do capital sobre o investimento ou a própria Taxa Mínima de Atratividade – TMA (Vey e Rosa, 2003).

De acordo com Rodrigues (2012), os custos de possuir decrescem rapidamente nos primeiros anos e moderadamente ao longo do restante da vida útil do veículo, sendo formados por duas parcelas:

- Depreciação operacional / Valor Residual: A depreciação operacional é a parcela deduzida do valor do veículo, como despesa, à medida que ele se desgasta com o tempo ou se torna obsoleto para atividade a que se propõe. Valor residual é o valor de mercado do veículo após sua total depreciação;
- Remuneração do capital / Valor de Investimento: A remuneração do capital é um indicador que mede o retorno nominal em porcentagem do capital total investido na aquisição do veículo, representando um percentual de rendimento sobre o valor do veículo caso esse valor fosse aplicado no mercado financeiro. O custo de capital é representado pela Taxa Mínima de Atratividade – TMA, que consiste na menor taxa utilizada por uma empresa para aplicar em um determinado investimento sem riscos, tendo a taxa de juros aplicada no mercado como parâmetro. Segundo Casarotto e Kopittke (2010), a Taxa Mínima de Atratividade é a taxa a partir da qual o investidor obtém ganhos financeiros, sendo associada a um baixo risco e alta liquidez. Portanto, na pior das hipóteses, qualquer sobra de caixa pode ser aplicada na TMA, pois para uma proposta de investimento ser atrativa, ela deve render no mínimo a TMA. O valor de investimento, por sua vez, é o valor pago na aquisição do veículo.

Ainda segundo Rodrigues (2012), os custos de manter são baixos no início e aumentam de forma acelerada nos últimos anos da vida útil do veículo, sendo constituídos pelas seguintes parcelas:

- Manutenção: inclui custos com as peças e mão de obra;
- Paralisação para manutenção: prejuízo que o veículo traz para a empresa ao deixar de produzir devido ao tempo de parada para manutenção.

Os custos de operar, bem como os demais custos, não são utilizados no cálculo do Custo Anual Uniforme Equivalente pelo fato de não variarem de forma significativa ao longo da vida útil do veículo se comparados aos custos de possuir e manter. Os custos de operar incluem custos com combustível, pneus, câmaras de ar, lavagem e lubrificação, enquanto os demais custos envolvem as parcelas referentes ao IPVA, licenciamento, seguro obrigatório, seguro facultativo, custos administrativos, salários e encargos de motoristas (Rodrigues, 2012).

O equacionamento do cálculo do CAUE utilizado é o proposto por Casarotto e Kopittke (2010) especificamente para o método de substituição idêntica a partir da vida econômica. Segundo os autores, há um balanço de dois custos: o custo de investimento inicial, que tende a tornar a vida do bem a maior possível, e os custos de operação/manutenção, que tendem a encurtar a vida do bem já que são crescentes. A determinação da vida econômica é realizada a partir do Custo Anual Uniforme Equivalente do ativo para todas as vidas úteis possíveis, sendo correspondente ao ano para o qual o CAUE é mínimo.

O modelo do CAUE proposto por Casarotto e Kopittke (2010) tem como valores de entrada o preço do carro novo, contabilizado como custo de investimento no ano zero, o custo total para cada

ano de vida útil do veículo (soma dos custos de depreciação, custos de capital e custos de manutenção), o valor residual do veículo para cada ano de vida útil, contabilizado como receita no ano correspondente, e os fatores das tabelas financeiras para cada ano de vida útil.

Os fatores das tabelas financeiras utilizados são “achar A dado P”, “achar A dado F” e “achar P dado F”. Primeiramente, o fator “achar A dado P” se refere à procura de uma série uniforme A dado um valor presente P, a partir de uma taxa de juros i num período igual a n . A Equação (1) a seguir apresenta a fórmula de cálculo deste fator:

$$\left(\frac{A}{P}; i; n\right) = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (1)$$

O fator “achar A dado F” tem o objetivo de encontrar uma série uniforme A, equivalente a um valor futuro F, a partir de uma taxa de juros i num período igual a n . A Equação (2) a seguir apresenta a fórmula do fator:

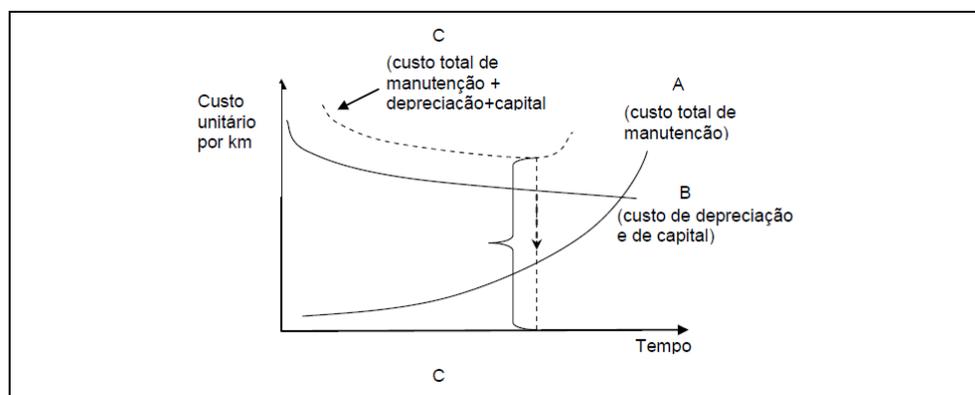
$$\left(\frac{A}{F}; i; n\right) = \frac{i}{(1+i)^n - 1} \quad (2)$$

Por fim, o fator “achar P dado F” consiste em encontrar um valor presente P (pagamento simples) equivalente a um valor futuro F, a partir de uma taxa de juros i num período igual a n . A Equação (3) traz a fórmula de cálculo deste fator:

$$\left(\frac{P}{F}; i; n\right) = \frac{1}{(1+i)^n} \quad (3)$$

A Figura 1.1 abaixo apresenta os custos considerados para o cálculo do CAUE de maneira isolada (curvas A e B), bem como a soma deles para a obtenção do custo total (curva C). O custo total geralmente é representado por uma parábola (polinômio de segundo grau) a qual possui uma inflexão em dado momento da vida do veículo para representar o menor custo anual unitário equivalente do veículo. Este momento consiste na vida econômica do veículo e determina o ponto ótimo para a sua substituição, pois, após este momento, os custos subirão e não irão compensar o benefício de operá-lo (Montenegro *et al.*, 2011).

Figura 1.1 - Variação dos custos do veículo ao longo do tempo.



Fonte: Adaptado de VALENTE; PASSAGLIA; NOVAES, 1997.

Fonte: Adaptado de VALENTE; PASSAGLIA & NOVAES, 1997.

Como pode ser observado pela curva A, os veículos mais novos possuem menores custos de manutenção, pois há um aumento dos custos para reparar ou substituir peças mecânicas e outros componentes que sofrem maior desgaste natural com o passar do tempo. Os custos de manutenção são potencializados por uma utilização baixa, na medida em que o veículo possui baixa eficiência devido ao fato de permanecer parado para manutenções por boa parte do tempo. Este custo excessivo com a manutenção é capaz de superar a economia de não ter adquirido outro veículo (Montenegro *et al.*, 2011).

Ao considerar a curva B, entretanto, nota-se que a depreciação parte de valores maiores no início da vida útil do veículo e diminui ao longo do tempo pelo fato de veículos mais velhos perderem menos valor de um ano para o outro quando comparados a veículos recentes. Esta curva também contém os custos de remuneração do capital, também denominados custos de capital, que representam o valor que o investidor deixa de ganhar ao investir na compra do veículo. Estes decrescem com o tempo pelo fato de o veículo perder valor e o capital investido apresentar um montante menor (Montenegro *et al.*, 2011).

2.4 RENOVAÇÃO DA FROTA

O conceito da substituição de equipamentos remonta à Administração Científica e apresenta a finalidade de maximizar o valor presente do ativo considerado a partir de dados sobre o ciclo de vida e conseqüente determinação do ponto ótimo para a sua substituição, denominado vida econômica (Feldens *et al.*, 2010).

Segundo Motta e Calôba (2002), o problema da determinação da vida econômica de equipamentos para efeito de substituição se visualiza em quatro tipos de situação:

- Quando o bem já se encontra inadequado para a atividade por perder a capacidade de operar de maneira eficiente;
- Quando o bem já atingiu seu limite de vida útil;
- Quando o bem já se encontra obsoleto devido ao avanço tecnológico;
- Quando métodos mais eficientes podem ser mais econômicos.

No Brasil, a maioria das empresas costuma manter os equipamentos antigos em funcionamento mesmo quando sua operação não é mais viável economicamente. Há um elevado potencial de redução dos custos se os equipamentos obsoletos, que operam por um longo período ou produzem fora das especificações, forem substituídos. A cultura administrativa brasileira dominante se baseia na idéia de resolver os problemas na medida em que eles aparecem, não se antecipando a eles de forma preventiva como na decisão de substituição de ativos (Casarotto e Kopittke, 2010).

A substituição de equipamentos pode ocorrer por formas distintas, abrangendo desde a seleção de ativos similares, porém novos, até a avaliação de ativos que atuam de modos completamente distintos no desempenho da mesma função. Segundo Casarotto e Kopittke (2010), os tipos de substituição de equipamentos podem ser agrupados em cinco modelos tradicionais:

- i. Baixa sem reposição: ocorre em casos de desativação de linhas de produção ou de projetos, nos quais o equipamento perde a utilidade para a empresa;
- ii. Substituição idêntica: ocorre quando o equipamento não sofre mudanças significativas devido ao avanço tecnológico, sendo substituído por ativos de mesmas características. Grande parte dos veículos, motores elétricos e máquinas operatrizes passam por este tipo de método (Vey e Rosa, 2003);
- iii. Substituição não idêntica: ocorre quando o equipamento é substituído por outro ativo de características distintas e mais aperfeiçoadas devido ao avanço tecnológico pontual;
- iv. Substituição com progresso tecnológico: os avanços tecnológicos são considerados contínuos e, por isso, proporcionam vantagem operacional à empresa ao passo em que os equipamentos mais modernos superam os antigos em termos de economia financeira e tempo de operação;
- v. Substituição estratégica: consequência da busca por equipamentos que forneçam uma produção diversificada e com maior qualidade, havendo uma preocupação com as receitas geradas pelos equipamentos.

A depreciação, os elevados custos e tempo de manutenção, a confiabilidade associada à incerteza do desempenho do equipamento, bem como a quilometragem percorrida para indicar o desgaste mecânico consistem em parâmetros utilizados para se estabelecer o momento ideal para substituir os veículos (Casarotto e Kopittke, 2010).

Ao aplicar o método fundamentado do CAUE na renovação da frota, ganhos financeiros podem ser obtidos ao evitar gastos excessivos com manutenção, além da qualidade ampliada pela produtividade, disponibilidade e conforto do motorista na utilização, que interferem de maneira direta na satisfação do cliente. Entretanto, deve-se considerar que, além de serem geralmente irreversíveis, as substituições envolvem elevadas quantias de investimento e não possuem liquidez, ou seja, os ativos não são convertidos em receita rapidamente. Portanto, a tomada de decisão quanto a elas deve ser realizada com base em dados confiáveis e realistas, seguindo a política financeira da organização, já que uma decisão precipitada pode causar sérios problemas de capital de giro (Casarotto e Kopittke, 2010).

Além disso, o veículo também tem o papel de representar a imagem da organização e, quando novo e bem cuidado, tende a demonstrar um aspecto positivo quando se associa esse veículo à empresa proprietária (Montenegro *et al.*, 2011). Portanto, o momento ideal para substituição da frota

reflete sobre o processo de atendimento na medida em que evita problemas relacionados à baixa confiabilidade, ou seja, apresentação de um elevado número de defeitos na prestação de serviços, como a quebra do caminhão, paralisação para socorro mecânico, reboque e atrasos (Valente, Passaglia e Novaes, 1995).

2.5 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

A quantificação em termos monetários dos impactos ambientais tem sido desenvolvida pela aplicação da teoria econômica do meio ambiente. É neste contexto que a queima de combustíveis fósseis pelos veículos automotores, como a gasolina, o álcool e o diesel, consiste em uma das várias fontes responsáveis pela poluição atmosférica (Esteves *et al.*, 2007; May *et al.*, 2003; Rosa e Ribeiro, 2001). Os veículos emitem gases tóxicos como o monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x), hidrocarbonetos (HC), óxidos de enxofre (SO_x), material particulado (MP), entre outros poluentes (CETESB, 2013).

Ao considerar veículos obsoletos em tecnologias automobilísticas e com idade avançada, há uma tendência em emitir maiores níveis de gases poluentes, provocando impactos negativos na qualidade de vida dos indivíduos. Estes veículos mais antigos despejam mais CO₂ na atmosfera comparados aos veículos novos pelo fato de apresentarem menor eficiência energética (Cruvinel, Pinto e Granemann, 2012). Assim, contribuem para o aquecimento global com conseqüências negativas para a humanidade, bem como para os ecossistemas e sua biodiversidade (Esteves *et al.*, 2007; Rosa e Ribeiro, 2001).

Como forma de expressar a externalidade da poluição atmosférica em forma de custos monetários, os autores Rocha *et al.* (2009), Arruda (2010) e Cruvinel, Pinto e Granemann (2012) relacionam o custo de poluição do veículo com a sua idade. A Equação (4) abaixo, proposta por Rocha *et al.* (2009) e Arruda (2010), supõe que o caminhão antigo é mais poluidor que o caminhão novo (não poluidor) e pretende calcular a externalidade da poluição gerada pela frota de veículos obsoletos.

$$\varepsilon_{PA} = PC_{novo} - PC_{velho} \times (1 + \delta)^t$$

(4)

Nesta Equação (4), ε_{PA} é a externalidade de poluição atmosférica subjacente à frota de caminhões; PC_{novo} é o preço do caminhão novo; PC_{velho} é o preço médio do caminhão em circulação da atual frota; e δ é uma taxa de atualização correspondente à taxa de inflação utilizada para atualizar o preço do caminhão antigo. Portanto, o valor da poluição atmosférica produzida pela frota de caminhões é igual à diferença entre o preço do caminhão novo e o preço do caminhão velho atualizado monetariamente para o período t , assumindo algebricamente que o caminhão novo não possua tecnologias para outros fins relativamente ao caminhão velho (Rocha *et al.*, 2009). A externalidade da poluição atmosférica

também é denominada de custos evitados, os quais correspondem aos gastos que seriam incorridos para não degradar o recurso ambiental analisado (May *et al.*, 2003).

Posteriormente, Cruvinel, Pinto e Granemann (2012) realizaram um estudo para estimar as emissões de gás carbônico (CO₂) da frota brasileira de caminhões por intermédio da metodologia *Top-Down* de Mattos (2001), a qual apresenta como base para o cálculo os dados de produção e consumo de energia. Sendo assim, Cruvinel, Pinto e Granemann (2012) obtiveram uma produção total de 93 milhões de toneladas de CO₂, relativa a todos os tipos de modais logísticos que utilizam o óleo diesel como combustível. De acordo com o Boletim Ambiental do Despoluir (CNT, 2010), a frota de caminhões brasileira representa 44% da emissão de CO₂. Portanto, por meio da proporção definida, foi possível concluir que a frota brasileira de caminhões foi responsável pela emissão total de aproximadamente 41 milhões de toneladas de CO₂ em 2008.

Além disso, Cruvinel, Pinto e Granemann (2012) estimaram a redução monetária resultante da retirada dos caminhões de transportadores autônomos, com idade superior a 30 anos, da frota brasileira de transporte rodoviário de cargas. Os valores unitários correspondem ao ano de realização da pesquisa, apesar de terem sido alterados até o presente momento. Os resultados obtidos estão presentes na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Redução das emissões de CO₂ e do consumo de combustível.

Cenários	Emissões de CO ₂ [ton]	Consumo de Combustível [l]
Frota 2008	27,8 milhões	10,4 bilhões
Frota com idade < 30 anos	24,8 milhões	9,3 bilhões
Redução	3 milhões	1,1 bilhões
Valores unitários	R\$ 37,85	R\$ 2,00
Benefício econômico	R\$ 113 milhões	R\$ 2,2 bilhões

Fonte: Cruvinel, Pinto e Granemann, 2012.

3 ANÁLISE DA VIDA ECONÔMICA DE UMA FROTA DE CAMINHÕES DE EMPRESAS DE TRANSPORTE

O presente capítulo tem o objetivo de realizar a análise da vida econômica de uma frota de caminhões de empresas de transportes pertencentes a uma base de dados do RNTRC de 2011 fornecida pela ANTT, a qual será detalhada na primeira seção do capítulo relativa à seleção do veículo a partir da base de dados. Os cálculos necessários para a obtenção da vida econômica serão divididos em custos de depreciação operacional e de capital, custos de manutenção e o próprio CAUE. Por fim, os impactos econômicos da substituição idêntica e a externalidade da poluição atmosférica dos veículos obsoletos serão mensurados.

3.1 SELEÇÃO DO VEÍCULO A PARTIR DA BASE DE DADOS

A base de dados utilizada para o desenvolvimento do presente trabalho foi fornecida pela ANTT e retrata uma parcela do RNTRC referente ao ano de 2011, na medida em que aborda apenas o grupo de empresas de transportes (ANTT, 2011). Sendo assim, o banco de dados contém exatamente 173.601 veículos registrados, os quais são pertencentes a 13.694 empresas de transporte diferentes dos estados de São Paulo–SP, Amazonas–AM e Amapá–AP. Os registros das empresas representam aproximadamente 14% dos valores divulgados pelo RNTRC ao final do ano de 2011 e os 20% dos registros de veículos, conforme pode ser observado na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Transportadores e Frota de Veículos de 2011.

Tipo do Transportador	Registros Emitidos	Veículos	Veículos/Transportador
Autônomo	540.388	749.400	1,4
Empresa	100.934	854.315	8,5
Cooperativa	278	11.496	41,4
Total	641.600	1.615.211	2,5

Fonte: ANTT, 2011.

Na base de dados utilizada, os veículos registrados são classificados em 11 categorias diferentes, listadas na Tabela 3.2 a seguir:

Tabela 3.2 - Categorias de veículos registrados pelo RNTRC.

Identificação	Categoria	Registros
1	Caminhão Leve (3,5ton a 7,99ton)	7.716
2	Caminhão Simples (8ton a 29ton)	36.671
3	Caminhão Trator	43.675
4	Caminhão Trator Especial	72
5	Caminhonete / Furgão (1,5ton a 3,49ton)	6.887
6	Reboque	7.259
7	Semi-Reboque	68.762
8	Semi-Reboque com 5ª roda / Bitrem	41
9	Semi-Reboque Especial	163
10	Utilitário Leve (0,5ton a 1,49ton)	1.310
11	Veículo Operacional de Apoio	1.045
Total		173.601

Fonte: ANTT, 2011.

De acordo com Código de Trânsito Brasileiro (2008), o caminhão é um tipo de veículo de carga, que pode transportar dois passageiros, inclusive o condutor. O caminhão trator é um veículo destinado a tracionar ou arrastar outro. A caminhonete é um veículo destinado ao transporte de carga com peso bruto total de até três mil e quinhentos quilogramas. O reboque é um veículo destinado a ser engatado na parte traseira de um veículo automotor. O semi-reboque, por sua vez, consiste em um veículo de um ou mais eixos que se apóia na sua unidade tratora ou é ligado a ela por meio de articulação. O utilitário leve é um veículo misto caracterizado pela versatilidade de uso com peso bruto de até mil e quinhentos quilogramas. Por fim, o veículo operacional de apoio tem a função de auxiliar o transporte de carga.

Como o escopo do trabalho envolve apenas caminhões, somente as quatro primeiras categorias servirão de base para a análise dos dados. Dessa forma, filtrando os dados para apenas esses tipos de veículos, obteve-se um total de 88.134 caminhões. Considerando apenas estes registros, tem-se que o modelo de veículo mais comum é o caminhão trator com 43.675 registros, representando aproximadamente 50% do total de registros de caminhões. Logo, a base de dados utilizada nas análises é composta por 43.675 registros de veículos do modelo caminhão trator, os quais pertencem a 6.776 empresas de transportes diferentes. A contabilização de registros de veículos para cada intervalo de 10 anos de fabricação é apresentada na Tabela 3.3:

Tabela 3.3 - Registros por intervalo de anos de fabricação.

Intervalo de Anos de Fabricação	Registros
1891-1901	1
1902-1912	0
1913-1923	0
1924-1934	0
1935-1945	1
1946-1956	6
1957-1967	31
1968-1978	398
1979-1989	1.580
1990-2000	7.069
2001-2011	34.589
Total	43.675

Fonte: ANTT, 2011.

Por meio da Tabela 3.3, é possível concluir que dentre os 43.675 caminhões trator considerados, o intervalo de anos com a maior quantidade de veículos fabricados é o último, correspondente aos anos de 2001 a 2011. Pelo fato deste intervalo apresentar 79% dos veículos registrados, apresenta-se a quantidade de caminhões registrados para cada um dos 10 anos abordados na Tabela 3.4:

Tabela 3.4 – Quantidade de caminhões registrados nos anos de 2001 a 2011.

Ano de Fabricação	Registros
2001	1.180
2002	1.238
2003	1.705
2004	2.627
2005	2.527
2006	2.535
2007	3.876
2008	6.658
2009	3.851
2010	7.069
2011	1.323
Total	34.589

Fonte: ANTT, 2011.

A escolha da marca e modelo de caminhão trator a ser utilizado como base de cálculo da vida econômica foi realizada por meio de consulta à Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores – Anfavea, optando-se pelo modelo de caminhão trator mais vendido no ano mais recente da base de dados, 2011. Sendo assim, o Volvo FH 440 6x2 Tractor, que recebeu o Prêmio Lótus 2011 na categoria “veículos pesados” devido às 6.526 unidades vendidas no ano, serviu como a referência de cálculo da análise econômica (Bispo Neto, 2012). O caminhão pertence à família FH da Volvo, seu motor tem potência de 440 cavalos e a tração é 6x2 (Volvo, 2011). A seguir, apresenta-se uma figura ilustrativa (Fig. 3.1) do veículo:

Figura 3.1- Caminhão Volvo FH 440 6x2 Tractor.



Fonte: Bispo Neto, 2012.

A Tabela 3.5 apresenta mais informações a respeito do modelo de caminhão extra pesado considerado, no caso um veículo novo:

Tabela 3.5 - Informações sobre o Volvo FH 440 6x2 Tractor.

Modelo	Motor	Potência (cv/rpm)	Tara (Kg)	Carga útil (Kg)	Peso bruto com 3º eixo (Kg)	Preço (R\$)
Volvo FH 440 6x2 Tractor	D13A	440 a 1.400/1.800	8.550	até 40.000	até 60.000	435.000

Fonte: Revista Caminhoneiro, 2012.

A análise da vida útil do modelo de caminhão trator selecionado determinará o intervalo de anos para o qual o método do Custo Anual Uniforme Equivalente será aplicado. Portanto, tem-se que a vida útil do modelo selecionado é de 25 anos, de acordo com a determinação da vida útil para caminhões da categoria “pesados e extra pesados”, proposta pelo Manual de Estudos de Tráfego do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT no ano de 2006 (DNIT, 2006).

3.2 CÁLCULO DA VIDA ECONÔMICA

O método de substituição a ser adotado na análise da frota de caminhões trator foi o de substituição idêntica, a qual propõe que todos os veículos com idade superior à vida econômica sejam substituídos por um veículo do mesmo modelo, porém novo. A simulação a ser aplicada irá simplificar a amostra ao supor que todos os registros do banco de dados referentes aos caminhões trator são da marca e modelo escolhidos previamente, ou seja, Volvo FH 440 6x2 Tractor.

Apenas os veículos que possuem idade menor ou igual à vida útil serão contabilizados no cálculo dos impactos econômicos da substituição idêntica da frota, na medida em que veículos com idade superior à vida útil são muito obsoletos. Além disso, deve-se considerar o fato de que a vida econômica é sempre inferior ou igual à vida útil. Portanto, apenas serão analisados os caminhões com ano de fabricação a partir de 1986. A amostra passará por uma simulação simplificada e não pretende

apresentar um levantamento real pelo fato de não contemplar todos os dados, pois representa apenas uma parcela dos registros de veículos de empresas de transporte do referido ano de 2011, os quais representam apenas três estados do Brasil (São Paulo–SP, Amazonas–AM e Amapá–AP). Sendo assim, considerando os caminhões cujo ano de fabricação pertence ao intervalo de 1986 até 2011, tem-se o total de 42.569 registros.

Para a realização do cálculo da vida econômica pelo método do Custo Anual Uniforme Equivalente, é preciso obter os custos de depreciação, de capital e de manutenção do caminhão escolhido para somá-los e obter os custos totais distribuídos pelos 25 anos de vida útil do veículo.

3.2.1 Custos de depreciação e de capital

Os custos de possuir, constituídos pela depreciação e custos de capital, decrescem rapidamente nos primeiros anos e moderadamente ao longo do restante da vida útil do veículo (Rodrigues, 2012). Para o cálculo da depreciação, o valor residual de um modelo de caminhão semelhante ao considerado na análise e com idade igual à vida útil do veículo será utilizado na aplicação da depreciação operacional por meio de uma curva exponencial para obter a taxa constante de desvalorização anual (depreciação). Os custos de capital, por sua vez, serão calculados a partir de uma Taxa Mínima de Atratividade – TMA, representada pela taxa de juros do mercado, aplicada sobre o valor de investimento do veículo, equivalente ao seu valor residual em cada um dos anos de vida útil (Radel *et al.*, 2012).

De acordo com Valente, Passaglia e Novaes (1995), há diferentes métodos para o cálculo de depreciação de veículos e equipamentos. Os modelos de custos decrescentes com a idade dos veículos são os mais adequados por refletirem de forma mais realista a perda de valor em comparação aos modelos de depreciação linear. Sendo assim, o método escolhido para o cálculo da depreciação operacional do veículo considerado foi o de depreciação exponencial, o qual parte do princípio de que o valor do caminhão diminui anualmente segundo uma porcentagem fixa do valor que possuía no início do período.

A depreciação operacional é conduzida por uma curva exponencial com queda acentuada nos primeiros anos e mais suave nos anos posteriores (Casarotto e Kopittke, 2010). Utiliza-se, então, a Equação (5) a seguir:

$$VRE = P x (1 + t)^N \quad (5)$$

Na qual VRE é o valor residual estimado, P é o preço de compra do caminhão, t é a taxa de depreciação e N é o período em anos. A taxa t é calculada pela Equação (6):

$$t = \left(\frac{VRE}{P}\right)^{\frac{1}{N}} - 1 \quad (6)$$

Por fim, o valor residual para o referido ano n é dado pela Equação (7):

$$VRn = Px(1 + t)^n$$

(7)

Primeiramente, é necessário obter o valor de investimento do veículo. O preço de um modelo novo do Volvo FH 440 6x2 Tractor, conforme apresentado anteriormente, é de R\$ 435.000,00. Além disso, tem-se que o preço médio de um caminhão Volvo com 25 anos de idade, similar ao modelo de caminhão considerado, é de R\$ 75.981,00 se vendido no ano de 2015 (FIPE, 2015). Portanto, aplicando este valor na Equação (6) anterior para o valor residual estimado, a taxa de depreciação para os 25 anos de vida útil a serem considerados é de -0,07, ou seja, é de 7% de depreciação ao ano. Porém, na contabilidade fiscal, a depreciação é calculada pela taxa prevista na normativa da Receita Federal, a qual prevê uma vida útil de 5 anos para veículos de carga, com depreciação de 20% ao ano (Receita Federal, 1984).

A Tabela 3.6 apresenta os valores residuais para os 25 anos de vida útil do caminhão considerado.
Tabela 3.6 - Valor residual do caminhão para os 25 anos de vida útil.

Ano	Valor Residual (R\$)	Ano	Valor Residual (R\$)
1	405.674,67	14	163.730,68
2	378.326,29	15	152.692,85
3	352.821,59	16	142.399,13
4	329.036,27	17	132.799,35
5	306.854,44	18	123.846,74
6	286.167,98	19	115.497,67
7	266.876,09	20	107.711,45
8	248.884,76	21	100.450,13
9	232.106,30	22	93.678,32
10	216.458,95	23	87.363,04
11	201.866,47	24	81.473,50
12	188.257,73	25	75.981,00
13	175.566,42		

Fonte: Elaboração da autora.

Para o cálculo da depreciação operacional referente a cada ano n de vida útil, será utilizada a Equação (8) a seguir, a qual se baseia no valor residual do ano anterior multiplicado pela taxa de desvalorização para obter a depreciação de determinado ano:

$$Dn = t \times VR_{n-1} \quad (8)$$

A Tabela 3.7 contém a depreciação operacional para cada ano de vida útil do veículo.

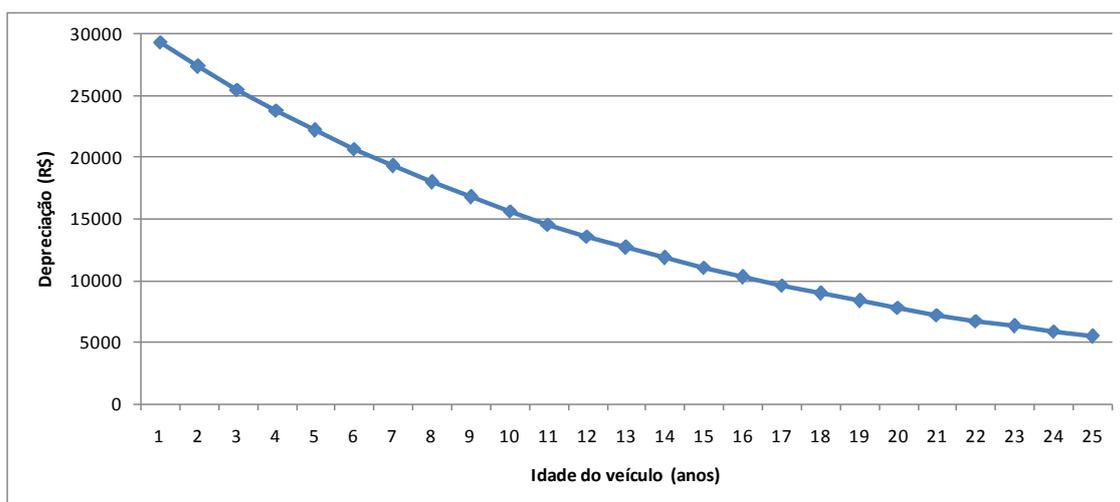
Tabela 3.7 – Depreciação operacional para os 25 anos de vida útil.

Ano	Depreciação Operacional (R\$)	Ano	Depreciação Operacional (R\$)
1	29.325,33	14	11.835,73
2	27.348,38	15	11.037,83
3	25.504,70	16	10.293,72
4	23.785,31	17	9.599,77
5	22.181,84	18	8.952,61
6	20.686,46	19	8.349,07
7	19.291,89	20	7.786,22
8	17.991,33	21	7.261,32
9	16.778,46	22	6.771,80
10	15.647,34	23	6.315,28
11	14.592,49	24	5.889,54
12	13.608,74	25	5.492,50
13	12.691,31		

Fonte: Elaboração da autora.

A Figura 3.2 a seguir apresenta o gráfico da curva exponencial da depreciação operacional.

Figura 3.2 – Curva exponencial da depreciação operacional.



Fonte: Elaboração da autora.

A partir da Fig. 3.2, é possível perceber maiores valores de depreciação nos primeiros anos de vida útil do veículo, seguidos por menores valores nos últimos anos. Isto justifica o fato de os veículos perderem mais valor de um ano para o outro nos anos iniciais da vida útil, se comparado à menor queda de valor característica dos anos mais avançados.

Os custos de possuir de um veículo não correspondem unicamente à depreciação operacional, incluindo também a remuneração do capital empregado. A remuneração do capital, também denominada custo de capital, mede o retorno nominal em porcentagem do capital total investido na aquisição do veículo, representando um rendimento sobre o valor do veículo caso esse valor fosse aplicado no mercado financeiro (Rodrigues, 2012). A TMA adotada será correspondente a taxa de

juros aplicada no mercado, ou seja, a taxa do BNDES Finame, a qual consiste na taxa de financiamento do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social – BNDES feito por meio de instituições financeiras credenciadas para a produção e aquisição de máquinas e equipamentos novos de fabricação nacional para empresas que estejam credenciadas no BNDES (BNDES, 2015). Sendo assim, a taxa de juros do financiamento proposta pelo BNDES no início de 2015 é fixa de 15,74% ao ano, garantindo estabilidade no valor das parcelas do financiamento (François, 2015).

Considerando os valores residuais para os 25 anos e aplicando a taxa Finame fixa de 15,74% a cada ano, a Tabela 3.8 apresenta os custos de capital para o período de vida útil considerado.

Tabela 3.8 – Custo de capital para os 25 anos de vida útil com taxa Finame de 15,74%.

Ano	Custo de Capital (R\$)	Ano	Custo de Capital (R\$)
1	63.853,19	14	25.771,21
2	59.548,56	15	24.033,85
3	55.534,12	16	22.413,62
4	51.790,31	17	20.902,62
5	48.298,89	18	19.493,48
6	45.042,84	19	18.179,33
7	42.006,30	20	16.953,78
8	39.174,46	21	15.810,85
9	36.533,53	22	14.744,97
10	34.070,64	23	13.750,94
11	31.773,78	24	12.823,93
12	29.631,77	25	11.959,41
13	27.634,15		

Fonte: Elaboração da autora.

Sendo assim, a Tabela 3.9 apresenta os custos de possuir, os quais representam a soma da depreciação operacional aos custos de capital para cada ano da vida útil do veículo.

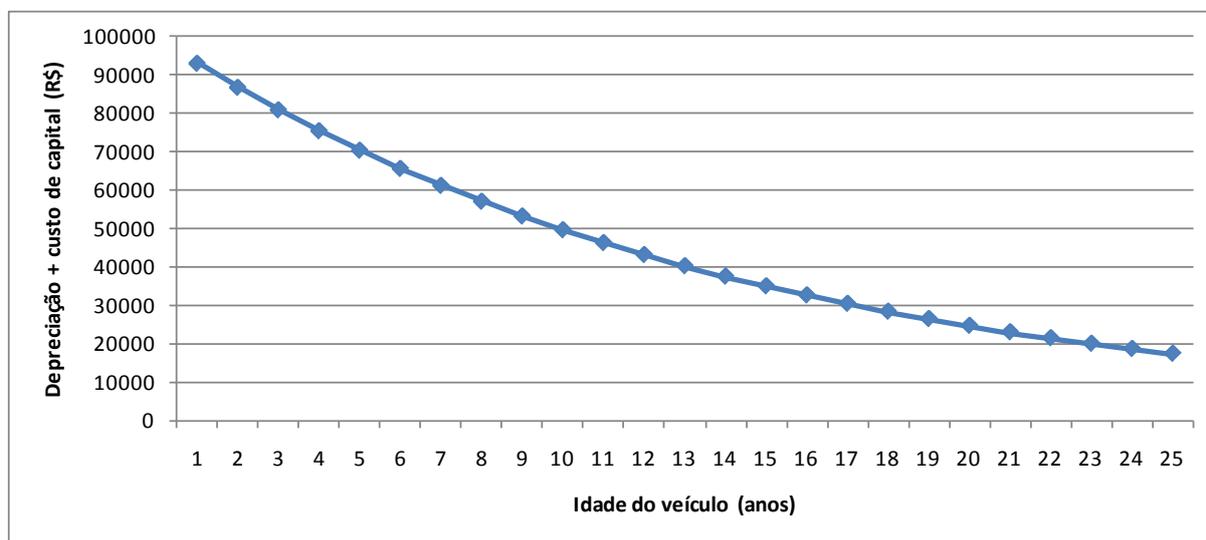
Tabela 3.9 – Depreciação mais custo de capital para os 25 anos de vida útil.

Ano	Depreciação mais Custo de Capital (R\$)	Ano	Depreciação mais Custo de Capital (R\$)
1	93.178,53	14	37.606,94
2	86.896,94	15	35.071,69
3	81.038,82	16	32.707,34
4	75.575,62	17	30.502,39
5	70.480,72	18	28.446,09
6	65.729,30	19	26.528,41
7	61.298,19	20	24.740,01
8	57.165,80	21	23.072,17
9	53.311,99	22	21.516,77
10	49.717,98	23	20.066,23
11	46.366,27	24	18.713,47
12	43.240,51	25	17.451,91
13	40.325,47		

Fonte: Elaboração da autora.

A partir da Tabela 3.9, foi possível construir o gráfico retratado pela Figura 3.3 a seguir, contendo a soma da depreciação ao custo de capital para cada ano de vida útil do veículo. Nota-se que a curva segue o mesmo padrão da curva exponencial de depreciação, já que o custo de capital é calculado a partir do valor residual obtido após a depreciação.

Figura 3.3 – Curva de depreciação mais custo de capital.



Fonte: Elaboração da autora.

3.2.2 Custos de manutenção

No que se refere aos custos de manter, os quais são baixos no início e aumentam de forma acurada nos últimos anos da vida útil do veículo, deve-se levar em consideração os custos de manutenção, bem como os custos de paralisação para manutenção. Segundo Valente, Passaglia e Novaes (1995), ao atingir certa idade, o veículo deve ser trocado por um novo com o objetivo de evitar despesas elevadas e paradas excessivas para conserto.

Uma medida usual para determinar o custo de manutenção é a de expressá-lo em função do valor do veículo novo. Dessa forma, o somatório das despesas de manutenção de determinado ano, o qual inclui despesas com peças, mão de obra e paralisação para manutenção, é relativo ao valor do investimento no veículo novo. Neste caso, como os custos de manutenção crescem com a idade do veículo, serão aplicados os percentuais crescentes estimados por Valente, Passaglia e Novaes (1995) para o custo anual de manutenção.

As porcentagens aplicadas sobre o valor do veículo novo propostas Valente, Passaglia e Novaes (1995) foram adotadas e são apresentadas na Tabela 3.10. É importante considerar que estas porcentagens são estimativas, na medida em que estes custos devem ser levantados diretamente a partir da contabilidade da empresa pelo fato de variarem em função da sistemática de manutenção adotada, campanha e programas de treinamento de motoristas, tipo de carga transportada, condições das vias percorridas, entre outros fatores. Como as porcentagens foram determinadas para apenas 12

anos de vida útil, o valor relativo ao décimo segundo ano (41,70%) foi mantido para os anos subsequentes para se adequar à vida útil do caminhão.

Tabela 3.10 – Custo anual de manutenção em % do valor do veículo novo para os 25 anos de vida útil.

Ano	Custo Anual de Manutenção em % do Valor do Veículo Novo	Ano	Custo Anual de Manutenção em % do Valor do Veículo Novo
1	11,20	14	41,70
2	12,30	15	41,70
3	13,50	16	41,70
4	15,70	17	41,70
5	17,80	18	41,70
6	20,10	19	41,70
7	22,30	20	41,70
8	25,50	21	41,70
9	28,80	22	41,70
10	32,40	23	41,70
11	36,80	24	41,70
12	41,70	25	41,70
13	41,70		

Fonte: Adaptado de Valente, Passaglia e Novaes, 1995.

Portanto, o custo anual de manutenção para cada ano de vida útil do caminhão será calculado através da aplicação das porcentagens apresentadas acima sobre o valor do veículo novo (R\$ 435.000,00). A Tabela 3.11 apresenta estes valores.

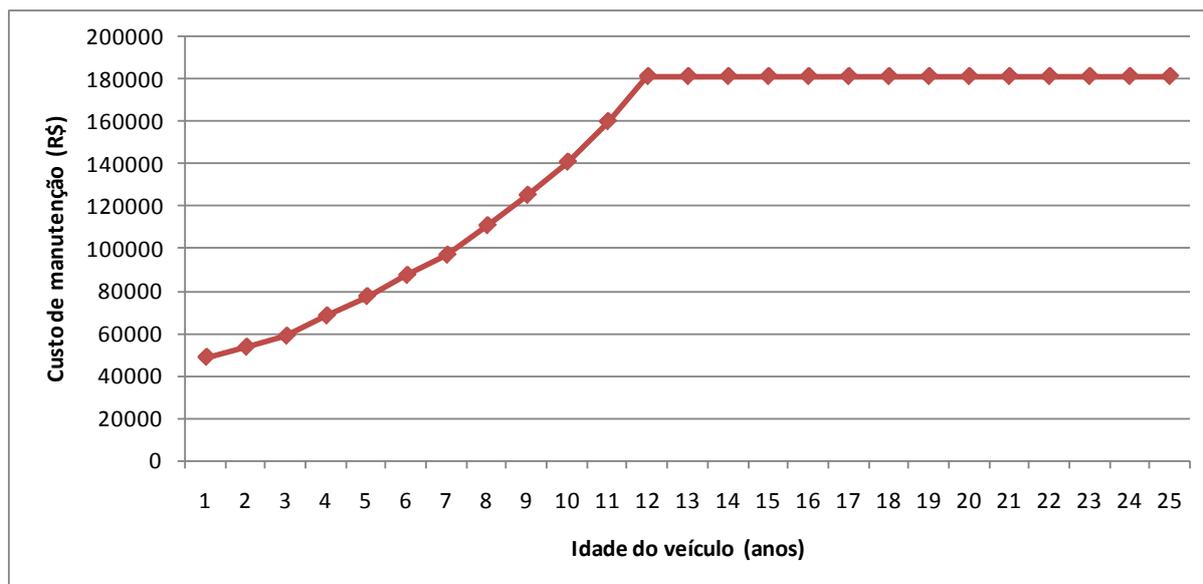
Tabela 3.11 – Custo anual de manutenção para os 25 anos de vida útil.

Ano	Custo Anual de Manutenção (R\$)	Ano	Custo Anual de Manutenção (R\$)
1	48.720,00	14	181.395,00
2	53.505,00	15	181.395,00
3	58.725,00	16	181.395,00
4	68.295,00	17	181.395,00
5	77.430,00	18	181.395,00
6	87.435,00	19	181.395,00
7	97.005,00	20	181.395,00
8	110.925,00	21	181.395,00
9	125.280,00	22	181.395,00
10	140.940,00	23	181.395,00
11	160.080,00	24	181.395,00
12	181.395,00	25	181.395,00
13	181.395,00		

Fonte: Elaboração da autora.

A partir da Tabela 3.11, foi possível construir o gráfico retratado pela Figura 3.4 a seguir, contendo os custos de manutenção para cada ano de vida útil do veículo. Nota-se que os valores são maiores para idades mais avançadas. Como as porcentagens relativas ao valor do veículo novo são retratadas somente até 12 anos de vida útil, a partir desse ano tem-se um valor constante para o custo de manutenção. Porém, estes valores constantes não impactam no cálculo da vida econômica.

Figura 3.4 – Curva de custo de manutenção.



Fonte: Elaboração da autora.

3.2.3 Custo Anual Uniforme Equivalente

Conforme Casarotto e Kopittke (2010), para o cálculo do Custo Anual Uniforme Equivalente, é necessário obter os fatores das tabelas financeiras (achar A dado P, achar A dado F e achar P dado F). Sendo assim, a Tabela 3.12 a seguir apresenta os valores para o fator “achar A dado P” para cada ano de vida útil do veículo.

Tabela 3.12 – “Achar A dado P” para os 25 anos de vida útil.

Ano	Achar A dado P (juros de 15,74% a.a.)	Ano	Achar A dado P (juros de 15,74% a.a.)
1	1,15740	14	0,18075
2	0,62092	15	0,17718
3	0,44336	16	0,17420
4	0,35552	17	0,17171
5	0,30356	18	0,16961
6	0,26952	19	0,16784
7	0,24572	20	0,16634
8	0,22830	21	0,16506
9	0,21512	22	0,16398
10	0,20490	23	0,16305
11	0,19682	24	0,16226
12	0,19034	25	0,16158
13	0,18507		

Fonte: Elaboração da autora.

A Tabela 3.13 contém os valores para o fator “achar A dado F” para cada ano de vida útil do veículo.

Tabela 3.13 – “Achar A dado F” para os 25 anos de vida útil.

Ano	Achar A dado F (juros de 15,74% a.a.)	Ano	Achar A dado F (juros de 15,74% a.a.)
1	1,000000	14	0,023351
2	0,463521	15	0,019777
3	0,285961	16	0,016800
4	0,198122	17	0,014308
5	0,146159	18	0,012211
6	0,112123	19	0,010440
7	0,088319	20	0,008940
8	0,070898	21	0,007665
9	0,057721	22	0,006579
10	0,047502	23	0,005652
11	0,039424	24	0,004860
12	0,032940	25	0,004181
13	0,027673		

Fonte: Elaboração da autora.

Por fim, a Tabela 3.14 a seguir possui os valores para o fator “Achar P dado F” para cada ano de vida útil do veículo.

Tabela 3.14 – “Achar P dado F” para os 25 anos de vida útil.

Ano	Achar P dado F (juros de 15,74% a.a.)	Ano	Achar P dado F (juros de 15,74% a.a.)
1	0,864006	14	0,129191
2	0,746506	15	0,111621
3	0,644985	16	0,096442
4	0,557271	17	0,083326
5	0,481485	18	0,071994
6	0,416006	19	0,062203
7	0,359431	20	0,053744
8	0,310550	21	0,046435
9	0,268317	22	0,040120
10	0,231828	23	0,034664
11	0,200300	24	0,029950
12	0,173061	25	0,025877
13	0,149525		

Fonte: Elaboração da autora.

Para obter o Custo Anual Uniforme Equivalente, é preciso obter os custos totais referentes a cada ano de vida útil do veículo. Estes custos são obtidos ao somar a depreciação aos custos de capital e manutenção. Sendo assim, a Tabela 3.15 apresenta os custos totais para todos os anos de vida útil.

Tabela 3.15 – Custo total para os 25 anos de vida útil.

Ano	Custo Total (R\$)	Ano	Custo Total (R\$)
1	141.898,53	14	219.001,94
2	140.401,94	15	216.466,69
3	139.763,82	16	214.102,34
4	143.870,62	17	211.897,39
5	147.910,72	18	209.841,09
6	153.164,30	19	207.923,41
7	158.303,19	20	206.135,01
8	168.090,80	21	204.467,17
9	178.591,99	22	202.911,77
10	190.657,98	23	201.461,23
11	206.446,27	24	200.108,47
12	224.635,51	25	198.846,91
13	221.720,47		

Fonte: Elaboração da autora.

Obtidos todos os valores para o cálculo do CAUE, basta aplicá-los da maneira correta. Dessa forma, para cada ano de vida útil, deve-se trazer todos os custos anuais que não estão nos anos inicial ou final do período considerado para o presente a partir do fator “achar P dado F” do respectivo ano. Após multiplicar cada custo anual pelo seu respectivo fator “achar P dado F”, deve-se somar estes resultados ao valor de investimento do veículo e aplicar o fator “achar A dado P” para obter a série uniforme equivalente ao valor presente P total. Posteriormente, deve-se reduzir o valor residual do custo total do referido ano (ano final do período) e multiplicar este valor pelo fator “achar A dado F” para obter uma série uniforme A equivalente ao valor futuro F. Soma-se este valor à série uniforme obtida pelo fator “achar A dado P” para encontrar o Custo Anual Uniforme Equivalente para cada um dos 25 anos de vida útil do veículo.

De forma simplificada, Silva, Nogueira e Reis (2012) propõe a Equação (9) para o cálculo do CAUE:

$$CAUE_t = \sum_{t=n}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} \times \frac{(1+i)^t \times i}{(1+i)^t - 1} \quad (9)$$

Na Equação (9) acima, CAUE_t representa o Custo Anual Uniforme Equivalente para o período t, FC_t é o fluxo de caixa líquido do período t, i é a TMA e t é o período, transformando um fluxo de caixa líquido desigual em uma série de pagamentos uniformes, com saídas de caixa idênticas em cada um dos períodos analisados.

Portanto, os valores encontrados para o CAUE nos respectivos anos de vida útil são apresentados na Tabela 3.16 a seguir:

Tabela 3.16 – Custo Anual Uniforme Equivalente.

Ano	Custo Anual Uniforme Equivalente (R\$)	Ano	Custo Anual Uniforme Equivalente (R\$)
1	239.692,86	14	233.061,83
2	235.943,28	15	233.461,60
3	232.761,61	16	233.713,07
4	230.865,28	17	233.858,97
5	229.552,42	18	233.930,25
6	228.722,39	19	233.949,42
7	228.185,02	20	233.932,89
8	228.178,17	21	233.892,65
9	228.545,66	22	233.837,39
10	229.224,62	23	233.773,44
11	230.245,10	24	233.705,28
12	231.555,23	25	233.636,12
13	232.454,29		

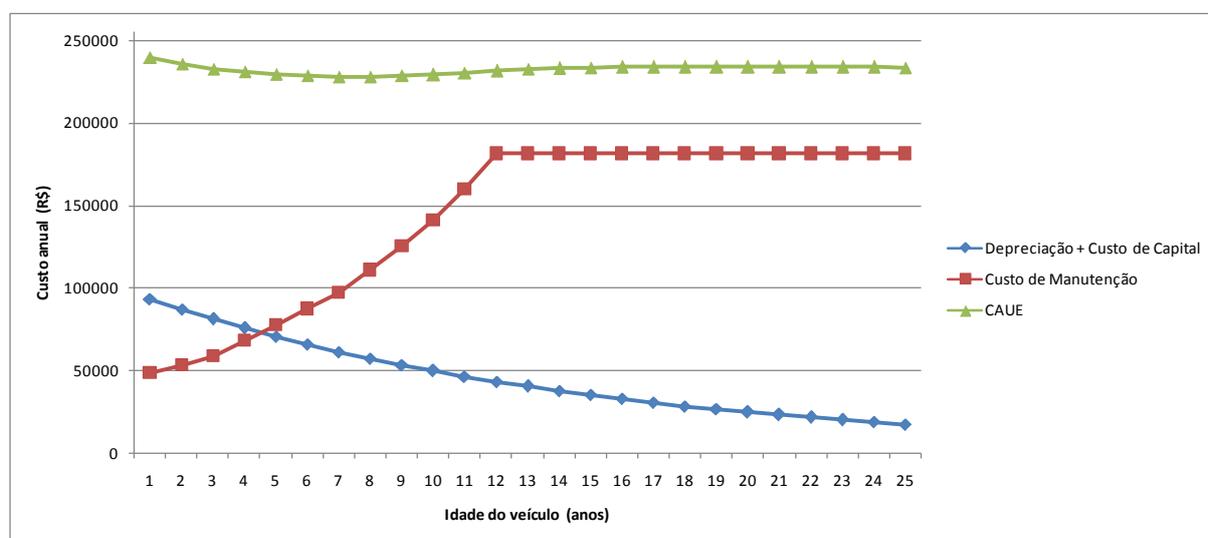
Fonte: Elaboração da autora.

Conclui-se que o menor Custo Anual Uniforme Equivalente é obtido com oito anos de vida do veículo, representando, portanto, uma vida econômica de 8 anos. Dessa forma, é possível dizer que até os 8 anos é menos custoso manter o veículo do que substituí-lo. Porém, após esta idade, a substituição é recomendada na medida em que os custos anuais começam a aumentar no ano seguinte. Além disso, deve-se considerar que, ao trocar um veículo de 8 anos ou mais por um veículo novo, o CAUE para o primeiro ano é superior ao CAUE dos demais anos de vida útil. Porém, é necessário reduzir o valor da venda do veículo antigo do CAUE para justificar o benefício da renovação.

é necessário levar em consideração o valor da venda do veículo.

A Figura 3.5 a seguir contém a evolução dos custos calculados: depreciação mais custo de capital, custo de manutenção e o Custo Anual Uniforme Equivalente.

Figura 3.5 - Custo Anual Uniforme Equivalente.



Fonte: Elaboração da autora.

A Fig. 3.5 tem o objetivo de mostrar a visualização da vida econômica do caminhão considerado de forma gráfica, correspondente ao ponto no qual o CAUE é mínimo. Portanto, o gráfico identifica o momento até o qual é vantajoso manter o veículo e a correspondente idade a partir da qual é viável substituí-lo, consistindo em uma importante ferramenta de apoio à tomada de decisão referente ao transporte rodoviário de cargas (Radel *et al.*, 2012).

3.3 IMPACTOS ECONÔMICOS DA SUBSTITUIÇÃO IDÊNTICA

Ao substituir os veículos com idade acima da vida econômica de 8 anos, os custos são reduzidos e a prestação do serviço do transporte rodoviário de cargas se torna mais eficiente, além das externalidades negativas serem diminuídas. Sendo assim, calcula-se o impacto econômico da substituição idêntica dos veículos com idade igual ou superior a 8 anos do referido banco de dados.

A Tabela 3.17 abaixo mostra a quantidade de veículos registrados entre 1986 até 2003, ou seja, caminhões que possuem pelo menos 8 anos de idade:

Tabela 3.17 – Registros de veículos fabricados entre 1986 até 2003.

Ano de Fabricação	Registros
1986	215
1987	166
1988	231
1989	299
1990	356
1991	309
1992	244
1993	504
1994	721
1995	929
1996	592
1997	882
1998	781
1999	705
2000	1046
2001	1180
2002	1238
2003	1705
Total	12.103

Fonte: Elaboração da autora.

Conforme a Tabela 3.17, há 12.103 veículos que possuem 8 anos de idade ou mais e, portanto, devem ser substituídos. Para tal renovação da frota, supõe-se que todos estes veículos serão substituídos por um caminhão novo com modelo idêntico ao Volvo FH 440 6x2 Tractor, cujo investimento é de R\$ 435.000,00. Desta forma, o impacto econômico para a substituição idêntica destes 12.103 caminhões obsoletos corresponde a um montante de R\$ 5.264.805.000,00, ou seja, mais de 5 bilhões de reais.

Considerando que 28% dos veículos da base de dados utilizada devem ser substituídos e mantendo esta proporção para o total de veículos registrados em 2011, incluindo os três grupos do RNTRC, tem-se que o impacto econômico para toda a frota brasileira de caminhões seria equivalente a R\$ 199.764.404.821,70.

3.4 EXTERNALIDADE DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

Os veículos obsoletos tendem a emitir níveis maiores de gases poluentes comparados aos veículos novos devido à sua menor eficiência energética, gerando externalidades negativas aos indivíduos e ecossistemas (Cruvinel, Pinto e Granemann, 2012). Sendo assim, os custos monetários da externalidade da poluição atmosférica serão calculados para os veículos com idade superior à vida econômica de 8 anos, a partir do modelo proposto por Rocha *et al.* (2009) e Arruda (2010).

A Equação (4) apresentada anteriormente será aplicada para obter a externalidade negativa da poluição, aplicando a taxa de inflação de 6,5% referente ao ano de 2011. Sendo assim, tem-se que para cada um dos veículos com idades que vão de 8 a 25 anos, o custo monetário de poluição individual equivale aos valores apresentados na Tabela 3.18, além do custo monetário de poluição total obtido por meio da multiplicação do custo monetário de poluição individual pela quantidade de registros.

Tabela 3.18 – Custo monetário de poluição.

Ano	Custo Monetário de Poluição Individual (R\$)	Registros	Custo Monetário de Poluição Total (R\$)
8	77.041,81	1705	131.356.287,30
9	85.658,50	1238	106.045.220,46
10	94.067,77	1180	110.999.964,18
11	102.274,61	1046	106.979.240,58
12	110.283,90	705	77.750.147,88
13	118.100,39	781	92.236.403,84
14	125.728,72	882	110.892.734,22
15	133.173,43	592	78.838.670,95
16	140.438,93	929	130.467.766,37
17	147.529,54	721	106.368.796,00
18	154.449,46	504	77.842.527,66
19	161.202,81	244	39.333.485,09
20	167.793,59	309	51.848.219,55
21	174.225,72	356	62.024.357,04
22	180.503,02	299	53.970.403,12
23	186.629,21	231	43.111.348,26
24	192.607,94	166	31.972.917,66
25	198.442,74	215	42.665.189,90
Total			1.454.703.680,08

Fonte: Elaboração da autora.

Portanto, o custo monetário de poluição total referente à frota antiga que deve ser substituída é de R\$ 1.454.703.680,08, correspondendo aos gastos que seriam incorridos para não degradar o meio ambiente ao supor que os veículos novos são menos poluidores.

4 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Por meio da realização do presente trabalho, é possível concluir que a vida econômica de um veículo pode ser calculada pelos seus custos de possuir e manter, determinando o momento ideal para a sua substituição. Sendo assim, aplicou-se o método do Custo Anual Uniforme Equivalente – CAUE para obter a vida econômica do modelo de caminhão mais usado da base de dados de empresas de transporte considerada. Os valores mostram que 12.103 veículos do grupo de 42.569 caminhões trator com até 25 anos de idade estão acima da vida econômica de 8 anos, devendo ser substituídos por novos veículos. Sendo assim, conclui-se que 28% dos veículos registrados na amostra utilizada para análise são obsoletos e possuem idade além da vida econômica. Além disso, pode-se concluir que o valor encontrado para a vida econômica está de acordo com o valor médio de vida econômica da frota brasileira de caminhões segundo Pereira (2006) e Pereira e Rocha (2006).

Os veículos antigos geram altos custos de manutenção. O ideal é que a substituição deles seja realizada antes que estes custos atinjam um nível insustentável para o transportador remunerado, momento no qual a sua vida econômica já terá sido ultrapassada. Este fato pode ser explicado pela dificuldade das empresas de transporte na tomada de decisão quanto ao momento ideal para a troca do caminhão devido à falta de conhecimento de métodos com base econômica como o utilizado no presente projeto.

As informações obtidas pela realização do presente trabalho poderão servir de base para incentivar a criação de políticas e projetos de financiamento de forma a regularizar e tornar a frota rodoviária de cargas do Brasil mais segura e eficiente, na medida em que grande quantidade de caminhões circula com idades elevadas, emitindo altos níveis de gases poluentes além de contribuir para o incremento do número de acidentes de tráfego rodoviário. Como forma de reduzir os custos sociais destes veículos obsoletos, sugere-se a sua substituição por veículos novos.

A idade dos veículos tem uma relação direta com o desenvolvimento econômico do país, na medida em que afeta a operação do serviço de transporte. O governo brasileiro deve implementar projetos que incentivem a constante retirada de circulação dos veículos antigos por meio do acesso ao crédito, além de estimular o setor privado a capitanear a iniciativa. Como exemplo, tem-se o Plano Nacional de Renovação de Frota de Caminhões – RenovAr. Lançado em 2009, o programa tem como objetivo reduzir a idade média dos veículos que operam no transporte de cargas no país ao recolher caminhões antigos em centros de reciclagem e oferecer um bônus ao transportador para ser usado na compra de um caminhão novo. A implantação desse tipo de programa é facilitada pela Política Nacional de Resíduos Sólidos, baseada na responsabilidade compartilhada, e pela Política Nacional de Mudança do Clima (Andrade, 2013).

Recomenda-se para trabalhos futuros o cálculo do Custo Anual Uniforme Equivalente para os demais grupos pertencentes ao RNTRC (transportadores autônomos e cooperativas de transporte), além da utilização de bases de dados maiores ou até mesmo completas dos registros disponibilizados

pela ANTT. Sugere-se também analisar a comparação entre métodos distintos de substituição dos veículos a partir do impacto econômico da renovação da frota gerado por cada um deles. Por fim, mensurar outras externalidades negativas como fretes e acidentes com o objetivo de analisar as externalidades em conjunto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARENGA, A.C; NOVAES, A. G. N. *Logística aplicada*. São Paulo: Blucher, 2000.
- ANDRADE, C. Renovar a frota de caminhões é essencial, defende presidente da CNT. Disponível em: <http://www.cnt.org.br/Paginas/Agencia_Noticia.aspx?n=8772> Acesso em: 10 de maio de 2014.
- ANTT. Banco de dados RNTRC – Registro Nacional dos Transportadores Rodoviários de Carga. Agência Nacional de Transportes Terrestres, Brasília-DF, 2011.
- ANTT. Registro Nacional dos Transportadores Rodoviários de Carga - RNTRC. Agência Nacional de Transportes Terrestres, Brasília-DF, 2015.
- ARRUDA, B. D. L. *Análise dos programas nacionais de financiamento para renovação de frota dos transportadores autônomos*. Dissertação de Mestrado em Transportes. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2010.
- AVILA, A. V. *Custos industriais e precificação*. Florianópolis: Programa de Educação Tutorial em Engenharia Civil – UFSC, 2012.
- BISPO NETO, B. Volvo FH440 recebe o “Prêmio Lótus” pelo segundo ano consecutivo em SP. Paraná online. Disponível em: <<http://www.parana-online.com.br/canal/automoveis/news/522182/?noticia=VOLVO+FH440+RECEBE+O+PREMIO+LO TUS+PELO+SEGUNDO+ANO+CONSECUTIVO+EM+SP>> Acesso em: 20 de setembro de 2015.
- BNDES. BNDES Finame - Financiamento de máquinas e equipamentos. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br/bndesfiname>> Acesso em: 10 de novembro de 2015.
- CAIXETA-FILHO, J.V. *Sistemas de transporte e logística: conceitos básicos e modelagem matemática*. In Décio ZYLBERSZTAJN e MARCOS FAVA NEVES (org.). Economia & gestão de negócios agroalimentares. São Paulo: Pioneira, 2000.
- CASAROTTO FILHO, N.; KOPITKE, B. H. *Análise de investimentos: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão e estratégia empresarial*. 11. ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- CETESB. Emissão Veicular. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Disponível em: <<http://veicular.cetesb.sp.gov.br/>>. Acesso em: 22 de novembro de 2015.
- CNT. *Revista CNT: Boletim Ambiental do Despoluir*. Confederação Nacional do Transporte. Edição 178. Disponível em: <http://vm-sharepoint.sestsenat.org.br:9002/Downloads/Boletim_20Ambiental_20do_20DESPOLUIR_Revista_20CNT_Ed_20178.pdf>. Acesso em: 05 de julho 2012.
- CNT. *O que o Brasil precisa em transporte e logística*. Confederação Nacional do Transporte, Brasília-DF, 2014.
- CONTADOR, C. *Projetos sociais: avaliação e prática*. Atlas, São Paulo-SP, 2000.
- CORREIO GOIANO. Ao invés de 10 anos, carros vão pagar IPVA até 15 anos, a partir de janeiro de 2016; Lei aprovada. Disponível em: <<http://www.correiogoiano.com.br/site/index.php/noticias/ver/57/ao-inves-de-10-anos-carros-vaopagar-ipva-ate-15-anos-a-partir-de-janeiro-de-2016-lei-aprovada>>. Acesso em: 22 de novembro de 2015.
- CRUVINEL, R. R. S.; PINTO, P. V. H. ; GRANEMANN, S. R. Mensuração econômica da emissão de CO₂ da frota dos transportadores autônomos de cargas brasileiros. *Journal of Transport Literature*, v.6, n.2, pp. 234-252, 2012.
- CTB. *Código de Trânsito Brasileiro*. Instituído pela lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997.
- DEGARMO, E. P.; CANADA, J. R. *Engineering economy*. 5. ed. New York: Macmillan Publishing Co. Inc, 1973.
- DNIT. *Manual de Estudos de Tráfego*. Rio de Janeiro - RJ, 2006.
- ESTEVES, G.R.T., BARBOSA, S.R.S., SILVA, E.P. e ARAÚJO, P.D. Estimativa dos efeitos da poluição atmosférica sobre a saúde humana: algumas possibilidades metodológicas e teóricas para a cidade de São Paulo. *Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente*, v.1, n.3, Artigo 4, abril 2007.
- FELDENS, A.; MULLER, C. J; FILOMENA, T. P.; KLIEMANN NETO F. J.; CASTRO, A. S.; ANZANELLO, M. J. *Política para Avaliação e Substituição de Frota por Meio da Adoção de Modelo Multicritério*. ABCustos - Associação Brasileira de Custos, v.5, n.1, 2010.
- FIPE. Preço médio de veículos. Disponível em: <<http://www.fipe.org.br/pt-br/indices/veiculos/caminhao/volvo/11-2015/516051-0/1990/d/7155s732nxcd>>. Acesso em: 30 de novembro de 2015.

- FLEURY, P. F.; WANK, P.; FIGUEIREDO, K. F. *Logística Empresarial: a perspectiva brasileira*. São Paulo: Atlas, 2000.
- FRANÇOIS, V. Nova regra do Finame beneficia caminhões. Disponível em: <<http://www.automotivebusiness.com.br/noticia/21357/nova-regra-do-finame-beneficia-caminhoes>> Acesso em: 10 de novembro de 2015.
- KARDEC, A.; NASCIF, J. *Manutenção – Função Estratégica*. 1.ed. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 1998.
- MARCORIN, W. R., LIMA, C. R. C. Análise dos Custos de Manutenção e de Não-manutenção de Equipamentos Produtivos. *Revista de Ciência & Tecnologia* • v. 11, nº 22 – pp. 35-42, 2003.
- MATTOS, L. B. R. *A Importância do Setor de Transportes na Emissão de Gases do Efeito Estufa – o Caso do Município do Rio de Janeiro*. Dissertação de Mestrado em Ciências em Planejamento Energético, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2001.
- MAY, P. H.; LUSTOSA, M.C.; VINHA, V. *Economia do meio ambiente: teoria e prática*. Campus, Rio de Janeiro-RJ, 2003.
- MONTENEGRO, L. C. S., BOURAHLI, A., FERNANDES, I. A. Determinação do momento adequado para substituição de veículos em empresas com frota própria: estudo de caso no setor público. *Revista de Administração, Contabilidade e Economia da FUNDACE*, Ribeirão Preto-SP, 2011.
- MOTTA, R. R.; CALÔBA, G. M. *Análise de investimentos: tomada de decisão em projetos industriais*. São Paulo: Atlas, 2002.
- MOURA, G. A. *A viabilidade de cooperativas para a renovação da frota autônoma de caminhões*. Dissertação de Mestrado em Transportes. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2012.
- MOURA, G. A.; PINTO, P. V. H. *Transporte rodoviário de cargas – um estudo sobre acidentes nas rodovias brasileiras e norte-americanas*. 5º Congresso Luso-brasileiro Para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável, PLURIS, Brasília-DF, 2012.
- NTC. Manual de Cálculo de Custos e Formação de Preços do Transporte Rodoviário de Cargas. Disponível em: <<http://www.guiadotrc.com.br/pdf/FILES/MANUAL.pdf>>. Acesso em: 17 de junho de 2014.
- PEREIRA, D. B. S. *Análise do impacto das condições de rodovias pavimentadas na renovação da frota de transporte rodoviário de carga*. Dissertação de Mestrado em Transportes. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2006.
- PEREIRA, D. B. S.; ROCHA, C. H. *Análise do impacto das condições de rodovias pavimentadas na rentabilidade da frota de transporte rodoviário de carga: um estudo de caso*. Brasília: Anais da ANPET, 2006.
- RADEL, E., SANDOVAL, D. M. G. L., PEREIRA, P. R., MACHADO, S. C. C., GRANEMANN, S.R. *Análise da vida econômica da frota brasileira de caminhões*. II Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção, Ponta Grossa-PR, 2012.
- RECEITA FEDERAL. Depreciação de Bens do Ativo Imobilizado. Disponível em: <<http://www.receita.fazenda.gov.br/pessoajuridica/dipj/2003/pergresp2003/pr460a473.htm>> Acesso em: 09 de dezembro de 2015.
- REVISTA CAMINHONEIRO. *Especial dia do caminhoneiro: as facetas da profissão*. Ano 29 nº 293, Julho, 2012.
- ROCHA, C. H., ARRUDA, B. D. L.; ROCHA, M. O. M. *Renovação da frota de caminhões de carga agropecuária*. Anais do XXIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, Vitória-ES, 2009.
- RODRIGUES, R. H. P. Plano diretor de transportes frota oficial. Disponível em: <<http://www.gestaodoservidor.ce.gov.br/site/images/stories/manuais/bt22.pdf>> Acesso em: 11 de maio de 2014.
- ROSA, L. P.; RIBEIRO, S. K. The present, past and future contributions do global warming of CO2 emissions from fuels: a key for negotiation in the climate convention. *Climatic Change*, n.48, pp. 209-308, 2001.
- SILVA, B. A. O.; NOGUEIRA, S. G.; REIS, E. A. D. *Determinação do momento ótimo para substituição de equipamentos sob as óticas da gestão econômica e da engenharia econômica*. XXXII Encontro Nacional De Engenharia De Produção. Bento Gonçalves-RS, 2012.
- UELZE, R. *Transporte e frotas*. São Paulo: Pioneira, 1998.
- VALENTE, A. M., PASSAGLIA, E., NOVAES, A.G. *Gestão de Frotas*. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – UFSC. Florianópolis-SC, 1995.

- VALENTE, A.M., PASSAGLIA, E. E NOVAES, A.G. *Gerenciamento de transporte e frotas*. Pioneira: São Paulo, 1997.
- VEY, I. H.; ROSA, R. M. *Substituição de frota em empresa de transporte municipal de passageiros: um estudo de caso*. Anais da IX Convenção de Contabilidade do Rio Grande do Sul. Gramado-RS, 2003.
- VILLELA, T. M. de A. e G. M. I. TEDESCO. Sistema de transporte rodoviário de cargas: uma proposta para sua estrutura e elementos. *Transportes*. v. 19, n. 2, p. 57– 65, 2011.
- VOLVO. FH 440 é o caminhão pesado mais vendido. Disponível em: <http://www.volvogroup.com/group/brazil/pt-br/imprensa_revistaeurodo/pressreleases/_layouts/CWP.Internet.VolvoCom/NewsItem.aspx?News.ItemId=98531&News.Language=pt-br> Acesso em: 20 de setembro de 2015.