



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

EMANOEL COELHO BENEVIDES JUNIOR

**ELABORAÇÃO DE FERRAMENTA COMPUTACIONAL
PARA DIMENSIONAMENTO DE FROTA DE DISTRIBUIÇÃO
EM AMBIENTE URBANO**

Juazeiro - BA
2014

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

EMANOEL COELHO BENEVIDES JUNIOR

**ELABORAÇÃO DE FERRAMENTA COMPUTACIONAL
PARA DIMENSIONAMENTO DE FROTA DE DISTRIBUIÇÃO
EM AMBIENTE URBANO**

Trabalho apresentado à Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, Campus Tecnológico, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Paulo César Rodrigues de Lima Júnior.

Juazeiro - BA
2014

	Benevides Junior, Emanuel.
B465e	Elaboração de ferramenta computacional para dimensionamento de frota de distribuição em ambiente urbano / Renato Ramos Lima. -- Juazeiro, 2014. xiv, 83f. : il. ; 29 cm.
	Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Juazeiro, 2014.
	Orientador: prof. Dr. Paulo César Rodrigues de Lima Júnior.
	1. Logística. 2. Transporte. Sistema de Informação Gerencial I. Título. II. Lima Júnior, Paulo César Rodrigues de. IV. Universidade Federal do Vale do São Francisco.
	CDD 658.78

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Integrado de Biblioteca SIBI/UNIVASF
Bibliotecário: Renato Marques Alves

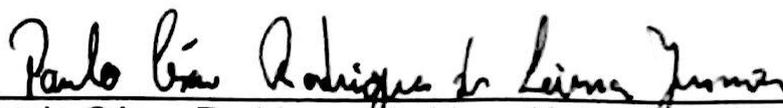
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

FOLHA DE APROVAÇÃO

EMANOEL COELHO BENEVIDES JUNIOR

**ELABORAÇÃO DE FERRAMENTA COMPUTACIONAL
PARA DIMENSIONAMENTO DE FROTA DE DISTRIBUIÇÃO
EM AMBIENTE URBANO**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito para obtenção de título de Bacharel em Engenharia de Produção, pela Universidade Federal do Vale do São Francisco.



Paulo César Rodrigues de Lima Júnior, Dr. – UNIVASF

Orientador



Ana Cristina Gonçalves Castro Silva, M. Sc. – UNIVASF

Avaliadora



José Luiz Moreira de Carvalho, Dr. – UNIVASF

Avaliador

Aprovado pelo Colegiado de Engenharia de Produção em 2010081204

RESUMO

A logística empresarial é considerada uns dos conceitos gerenciais mais modernos, sendo vista como uma atividade estratégica e fonte potencial de vantagem competitiva. Sua abordagem é ampla e atinge todos os níveis da cadeia de suprimentos de uma empresa. Por isso, os olhos dos administradores estão sempre voltados para a logística em busca de elevar o nível de serviço oferecido. Como subárea que vem ganhando especial destaque, a distribuição física tem o papel de suprir a lacuna de tempo e espaço entre os pontos de processamento da empresa e seus consumidores. Logo, é a distribuição física que cria um vínculo entre a firma e seus clientes caracterizando-se como uma das principais atividades das corporações. No cumprimento dessa função, a atividade de transporte absorve grande parte dos investimentos logísticos e é determinante na definição da estrutura de custos da empresa. Como ferramenta de apoio ao planejamento dos transportes surge o dimensionamento de frota, processo no qual é projetada a quantidade certa de veículos, bem como a composição para atender à real demanda de transportes da empresa, obedecendo restrições de capacidade do veículo e tempo (jornada de trabalho), além de oferecer o menor custo de distribuição possível. Diante disso verificou-se a necessidade de elaborar uma ferramenta computacional para resolver essa problemática no âmbito das distribuidoras de ambiente urbano, implementando computacionalmente um método que seja prático, fácil de entender e robusto. Cabe salientar que na literatura encontra-se vários estudos que propõem resolver o problema de dimensionamento de frota em ambiente urbano por diversos modelos, mas são escassos os trabalhos que sugerem a formulação de uma ferramenta computacional que crie uma interface com o gestor facilitando a sua tomada de decisão. O método escolhido foi o do custo unitário de Novaes (2004) por suprir os critérios impostos por essa pesquisa. A elaboração ferramenta computacional se deu pelo software de programação *Delphi XE5*, e possui um *design* simples parecido com um programa do *Windows* qualquer, além de apresentar através de sua interface, a solução do problema, análise de sensibilidade e outras informações relevantes que ajudarão o gestor a tomar boas decisões na esfera da distribuição física.

Palavras-chave: Distribuição física, Transporte, Dimensionamento de frota, Ferramenta computacional, Método do custo unitário de Novaes (2004).

ABSTRACT

The logistics business is considered one of the most modern management concept being seen as a strategic activity and potential source of competitive advantage. This approach is broad and reaches all levels of supply Chain's Company. Thus, the manager's eyes are always focused on logistics in order to raise the level of service offered. As subarea that has gained special spotlight, the physical distribution role is supply the time gap and space between the processing points of the company and its consumers. Therefore, the physical distribution creates a link between the firm and its clients that is characterized as one of the main activities from a corporation. In fulfilling this function, the transport activity absorbs a large part of the logistical investments and is determining factor in the cost structure of the company. As a support tool to the transportation planning arises the fleet dimensioning, process that is designed the correct amount of vehicles, as well as composition to attend the real transport demand of company, obeying constraints of vehicle capacity and time (workday), besides it offer the lowest distribution cost possible. Given this, it was verified the need to develop a computational tool to solve this problematic in the context of the urban distribution environment, implementing a practical computational method, understandable and robust. It worth to mentioned that several of studies in the literature suggest various models to solve the fleet dimensioning problem in urban environment, but just a few studies suggest a computational formulation tool to create an interface with the managers facilitating their decision-making. The method chosen was the unit cost by Novaes (2004) for meet imposed requirements for this research. The computational tool elaboration made by Delphi XE5, and has a simple design similar to any windows program, besides showing through its interface, the problem solution, sensibility analysis and other relevant information that will support the manager to take good decisions in the scope of physical distribution.

Keywords: physical distribution, transportation, fleet sizing, computational tools, the unit cost method of Novaes (2004).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Divisão da logística empresarial	2
Figura 2 - Esquema típico de distribuição “um para muitos”	5
Figura 3 - Participação do modal rodoviário nas empresas	9
Figura 4 - Níveis de decisão.....	11
Figura 5 - Fluxograma de delineamento da pesquisa	16
Figura 6 - Atividades primárias e de apoio	19
Figura 7 - Etapas do processo de simulação	38
Figura 8 - Fluxograma do método do custo unitário	44
Figura 9 - Aproximação da região servida para um anel.....	48
Figura 10 - Distância real e euclidiana entre dois pontos.....	49
Figura 11 - Curva normal.....	52
Figura 12 - Interface do “ <i>Fleet Sizing</i> ”	58
Figura 13 - Dados Gerais do Dimensionamento do exemplo teste 1	59
Figura 14 - Caixa de itens	60
Figura 15 - Dados dos Veículos do exemplo teste 1	61
Figura 16 - Resultados do exemplo teste 1	61
Figura 17 - Mensagem de texto com o resultado	62
Figura 18 - Memória de Cálculo/Análise de Sensibilidade	63
Figura 19 - Memória de Cálculo do exemplo teste 1	68
Figura 20 - Análise de Sensibilidade do exemplo teste 1	69
Figura 21 - Resultados do “ <i>Fleet Sizing</i> ” para o exemplo hipotético 1	71
Figura 22 - Resultados do “ <i>Fleet Sizing</i> ” para o exemplo teste 2.....	72
Figura 23 - Resultados do “ <i>Fleet Sizing</i> ” para o exemplo hipotético 2	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Matriz do transporte de cargas: Brasil versus EUA	8
Tabela 2 - Custo dos rebocadores	32
Tabela 3 - Total de clientes por grupo.....	46
Tabela 4 - Rotina de cálculo.....	47
Tabela 5 - Área da distribuição normal.....	53

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Situações da carga em relação à capacidade do veículo	6
Quadro 2 - Modelos de dimensionamento de frota	11
Quadro 3 - Característica do problema de dimensionamento de frota	24
Quadro 4 - Custos de Transportes	26
Quadro 5 - Comparativo das características dos modelos de dimensionamento de frota	34
Quadro 6 - Continuação do comparativo das características dos modelos de dimensionamento de frota	35
Quadro 7 - Características do modelo do custo unitário de Novaes (2004)	42
Quadro 8 - Informações dos veículos analisados	45
Quadro 9 - Etapas do método	56
Quadro 10 - Informações dos veículos analisados do exemplo teste 1	60
Quadro 11 - Resolução manual do exemplo teste 1 para o veículo 1 com $N_z=19$	64
Quadro 12 - Continuação da resolução manual do exemplo teste 1 para o veículo 1 com $N_z=19$	65
Quadro 13 - Resolução manual do exemplo teste 1 para o veículo 1 com $N_z=21$	66
Quadro 14 - Continuação da resolução manual do exemplo teste 1 para o veículo 1 com $N_z=21$	67
Quadro 15 - Solução do problema em relação à variação dos valores dos parâmetros do exemplo teste 1	69
Quadro 16 - Dados operacionais e resolução manual do exemplo hipotético 1	70
Quadro 17 - Dados operacionais e resolução manual do exemplo teste 2	71
Quadro 18 - Dados operacionais e resolução manual do exemplo hipotético 2	73

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PIB – Produto Interno Bruto

PNB – Produto Nacional Bruto

SCM – Supply Chain Management

GCS – Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos

MDC – Apparent Cubic Meter of Charcoal (Metro Cúbico Aparente do Carvão Vegetal)

PADV – Problema de Alocação Dinâmica de Veículos

Ar = Área da região servida

Az = Área da zona

c = Custo unitário do veículo

cf = Custo fixo do veículo

cv = Custo variável do veículo

Cv = Consumo do veículo no mês

D = Distância total percorrida

dE = Distância euclidiana

D1 = Distância percorrida do CD ao bolsão

D2 = Distância percorrida dentro do bolsão

E = Encargos

Fm = Valor médio da franquia

Fr = Franquia

FRC = Fator de recuperação de capital

H = Jornada de trabalho

I = investimento para adquirir um veículo novo

J = Taxa de juros ou de oportunidade

k = Coeficiente de correção

L = Despesa correspondente a uma operação de lubrificação (mão-de-obra, graxa, óleo lubrificante, filtro, etc)

LD = Carregamento médio

LDmax = Carregamento máximo

M = Despesa de manutenção no mês

n = Vida útil do veículo

N = Número de clientes visitados por zona

No = Número de ocorrência de sinistro no ano

Nv = Número de veículos em operação

Nz = Número de zonas

Pn = Preço do pneu novo

Pr = Preço da recapagem

q = Quantidade média de produto entregue num cliente

Q = Quilometragem rodada no mês

QCC = Quantidade de clientes que compram

Qml = Quilometragem média entre lubrificações sucessivas

Qn = Quilometragem rodada com o pneu novo

Qr = Quilometragem rodada com a recapagem

R1 = Raio interno do anel

R2 = Raio externo do anel

S = Salários do motorista e ajudante

Sg = Apólice do seguro

TC = Tempo de ciclo

TCmax = Tempo de ciclo máximo

tp = Tempo médio de parada num cliente

t1 = Tempo de percurso do CD ao bolsão

t2 = Tempo de percurso dentro do bolsão

t3 = Tempo total de parada

Va = Valor do veículo atual do veículo

Vn = Valor do veículo novo no mês

VR = Valor residual do veículo

V1 = Velocidade média no trecho entre CD e zona

V2 = velocidade média dentro da zona

W1 = Capacidade do veículo tipo 1

LISTA DE SÍMBOLOS

θ = Ângulo

σ_{t1} = Desvio padrão de t1

σ_{t2} = Desvio padrão de t2

σ_{t3} = Desvio padrão de t3

σ_{tp} = Desvio padrão do tempo de parada

σ_{TC} = Desvio padrão do tempo de ciclo

σ_{LD} = Desvio padrão de LD

SUMÁRIO

RESUMO.....	v
ABSTRACT	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE QUADROS	ix
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	x
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Apresentação do Trabalho	1
1.2. Definição do Problema	4
1.3. Objetivos	8
1.3.1. Geral	8
1.3.2. Específicos	9
1.4. Justificativa	9
1.5. Estrutura do Trabalho	13
2. METODOLOGIA	14
2.1. Finalidade da Pesquisa	14
2.2. Tipologia da Pesquisa	14
2.3. Delineamento da Pesquisa	15
2.4. Variáveis da pesquisa	17
3. REFERENCIAL TEÓRICO	18
3.1. Logística Empresarial	18
3.2. Distribuição Física	20

3.3.	Transportes.....	22
3.4.	Dimensionamento de Frota.....	23
3.4.1.	Características do problema de dimensionamento de frota.....	24
3.4.1.1.	Dimensionamento.....	25
3.4.1.2.	Frota.....	25
3.4.1.3.	Custos.....	25
3.4.1.4.	Demanda.....	27
3.4.1.5.	Modelos e Métodos.....	27
3.4.1.6.	Algoritmos.....	35
3.4.2.	Procedimento a serem seguidos.....	36
3.5.	Simulação.....	37
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	40
4.1.	O Método de Novaes (2014).....	40
4.2.	A Ferramenta Computacional.....	57
5.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	74
5.1.	Conclusões.....	74
5.2.	Recomendações.....	76
	REFERÊNCIAS.....	77

1.INTRODUÇÃO

1.1.Apresentação do Trabalho

A logística é uma das atividades econômicas mais antigas, tão remota que seu surgimento se confunde com a origem da atividade econômica organizada. Paradoxalmente, é também considerada uns dos conceitos gerenciais mais modernos sendo vista como uma atividade estratégica e fonte potencial de vantagem competitiva (FLEURY, 2000).

Geralmente, os consumidores não residem nas proximidades onde os bens ou produtos estão localizados. Configura-se dessa forma um hiato entre a produção e a demanda. A logística, no entanto, tem como objetivo atender aos consumidores independente da sua dispersão geográfica, de modo que os clientes tenham bens e serviços quando e onde quiserem, e na condição física que desejarem. Em outras palavras, é missão da logística colocar as mercadorias ou os serviços certos no lugar e no instante corretos e na condição desejada, ao menor custo possível (BALLOU, 2007).

Em face ao exposto, a logística é definida pelo *Council of Logistics Management* norte-americano e citada por Novaes (2004; p. 35) como:

O processo de planejar, implementar e controlar de maneira eficiente o fluxo e a armazenagem de produtos, bem como os serviços e informações associados, cobrindo desde o ponto de origem até o ponto de consumo, com o objetivo de atender aos requisitos do consumidor.

Afim de se ter um nível máximo de controle gerencial no interior da firma, Ballou (2006) defende que a logística pode ser dividida de acordo com seus canais físicos imediatos, sendo eles: canal físico de suprimento e canal físico de distribuição (Figura 1). O primeiro corresponde à lacuna em tempo e espaço entre as fontes materiais imediatas de uma empresa e seus pontos de processamento; de maneira análoga, o segundo se refere à lacuna em tempo e espaço entre os pontos de processamento da empresa e seus clientes.

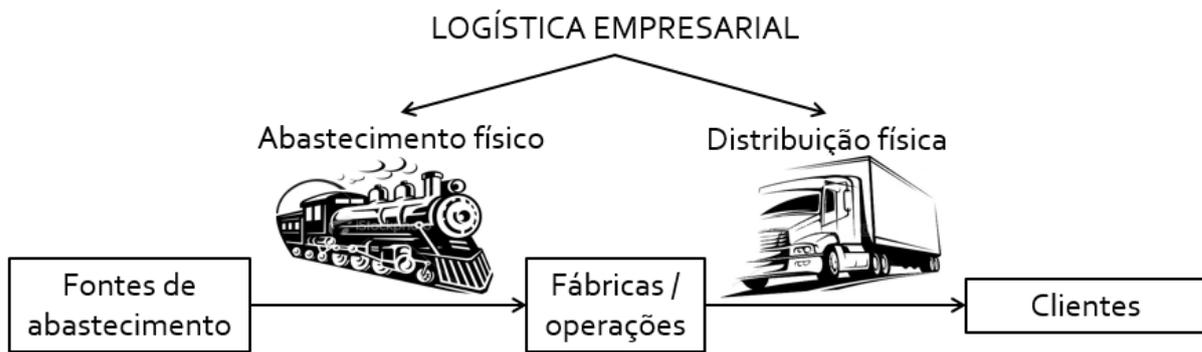


Figura 1 - Divisão da logística empresarial
 Fonte: Adaptado de Ballou (2006; p. 31)

Logo, a distribuição física caracteriza-se como uma das principais atividades das corporações, pois consegue definir o sucesso no processo de atendimento aos clientes. É a distribuição que cria um vínculo entre a empresa e seus clientes (BURIN, 2011). Para isso, é preciso otimizar, entre outros elementos, a utilização dos sistemas de transporte (BALLOU, 2007).

Barros & Nogueira Neto (2008) definem transporte como o movimento de um produto de um local a outro, percorrendo a cadeia de suprimento do seu início até a entrega ao cliente. Embora essa atividade não agregue valor monetário ao produto (não modificando suas características físicas), é de fundamental importância para a logística.

Portanto, no cenário econômico, os custos logísticos absorveram 8,7% do produto interno nacional bruto da economia americana como um todo, cerca 11,5% do PIB brasileiro em 2012, além de reter 12% do PIB mundial. Nesse interim, dos 11,5% dos gastos em logística no Brasil o transporte colaborou com 7,1% culminando na conhecida proporção de 2/3 da colaboração do custo de transporte em relação aos custos logísticos, que neste caso é de aproximadamente 62%. Essa proporção é aceita nas principais economias mundiais. Por reter uma boa fatia do PNB e atrelar ao seu grande desenvolvimento intrínseco na economia, o transporte é considerado pelo congresso dos EUA “a indústria mais importante do mundo” (BALLOU, 2006; DURÃO, 2012).

No âmbito empresarial, o “transporte e distribuição física” são considerados os principais elementos dos sistemas logísticos. Esse elemento costuma absorver cerca de 64% dos custos logísticos de uma empresa, e 4,3% do seu faturamento. Em alguns

casos, pode chegar a mais que o dobro do lucro, além de ser uma operação essencial, pois nenhuma firma moderna pode operar sem providenciar a movimentação de suas matérias-primas ou dos seus produtos acabados de alguma forma (SOUZA et al., 2012; BALLOU, 2007). Portanto, qualquer redução nesses custos pode obter forte impacto nas margens, culminando no aumento dos lucros de uma companhia (FLEURY, 2000).

Para isso, otimizar a utilização dos equipamentos e pessoal de transporte é uma das maiores preocupações desse setor. Redução dos custos de transporte, roteirização de veículos, utilização da capacidade dos veículos e gestão de frota são algumas das decisões que os gestores frequentemente se deparam na administração da atividade do transporte (BALLOU, 2007).

Imersa nessa grande área da logística denominada transporte e distribuição física, a gestão de frota é responsável por reger, administrar e gerenciar um conjunto de veículos pertencentes a uma mesma organização (MONTENEGRO et al., 2009). Segundo os autores, o processo de gestão de frotas de veículos não vem sendo entendido como um fator estratégico, mas tão somente um centro de custo. Grande porção das empresas não analisa esse tema como um fator isolado, tendo como fruto o desconhecimento dos benefícios que uma gestão de frota pode acarretar ao seu desempenho global.

Dimensionamento de frota, por sua vez, consiste em uma subárea da gestão de frota, e tem como função definir a quantidade certa de veículos para atender à real demanda de transportes da empresa (ARAÚJO, 2002). De acordo com Barth & Michel (2012), esse problema afeta as companhias indiscriminadamente, sendo elas de pequeno, médio ou grande porte, e ocorre diante a dificuldade de se escolher o melhor modelo e quantidade de veículo necessário para transportar a mercadoria em questão aos vários clientes distribuídos no bolsão de entrega. Um bom estudo analisa as características dos veículos, identificando os modelos que melhor se adequam ao transporte desejado, levando em consideração a eficiência das operações envolvidas no processo como: carregamento, transporte e descarregamento.

Ainda segundo Barth & Michel (2012), o problema de dimensionamento de frota é pouco explorado no Brasil, agravando o aumento dos gastos desnecessários tanto para os frotistas terceirizados como para o transporte das empresas. Eles ressaltam que a falta de conhecimento para mensurar este critério é o principal fator de causa desse problema.

1.2. Definição do Problema

Em frente a um mercado dinâmico que vem exigindo cada vez mais agilidade e eficácia das empresas, onde fatores como: ciclos de vida dos produtos mais curtos, diminuição dos lotes de fabricação, aumento do grau de diversificação, maior nível de sofisticação dos clientes e forte concorrência são imprescindíveis à competitividade das firmas impondo-as a busca desenfreada por vantagem competitiva. Essa procura resulta em diferenciar serviços, custos, prazos e flexibilidade, o que exige certas demandas nas operações tanto internas quanto externas da companhia. Para manter assim, um padrão de excelência, porventura difícil de se alcançar, face ao atendimento das necessidades de seus consumidores (MORELLI & SIMON, 2012).

Para Enomoto & Lima (2007), é a distribuição física que define o sucesso no processo de atendimento da empresa aos seus clientes. Nesse contexto, é desafio da distribuição física manter esse padrão de excelência, pois é sua competência entregar o produto que o cliente quer, na quantidade e condição por ele estipulados, no local e momento definido a um custo conveniente (MORELLI & SIMON, 2012).

Conforme Novaes (2004), o sistema de distribuição física de produtos ocorre em duas situações básicas: distribuição “um para um” e distribuição “um para muitos”. Contudo, é o segundo tipo onde encontra-se a maioria dos casos que ocorrem em ambiente urbano. Nesse tipo de distribuição, o veículo é carregado no CD do varejista com mercadorias destinadas a diversas lojas ou clientes, e segue um roteiro predeterminado. O percurso do veículo inicia-se no depósito, onde carregado percorre uma distância d até o bolsão de entrega (ou zona de entrega). Uma vez dentro do bolsão, o carro realiza n visitas a vários clientes, efetuando operações de entrega e coleta. Ao fim do serviço, volta ao depósito, percorrendo a distância d novamente. A Figura 2 demonstra de uma forma didática essa típica situação.

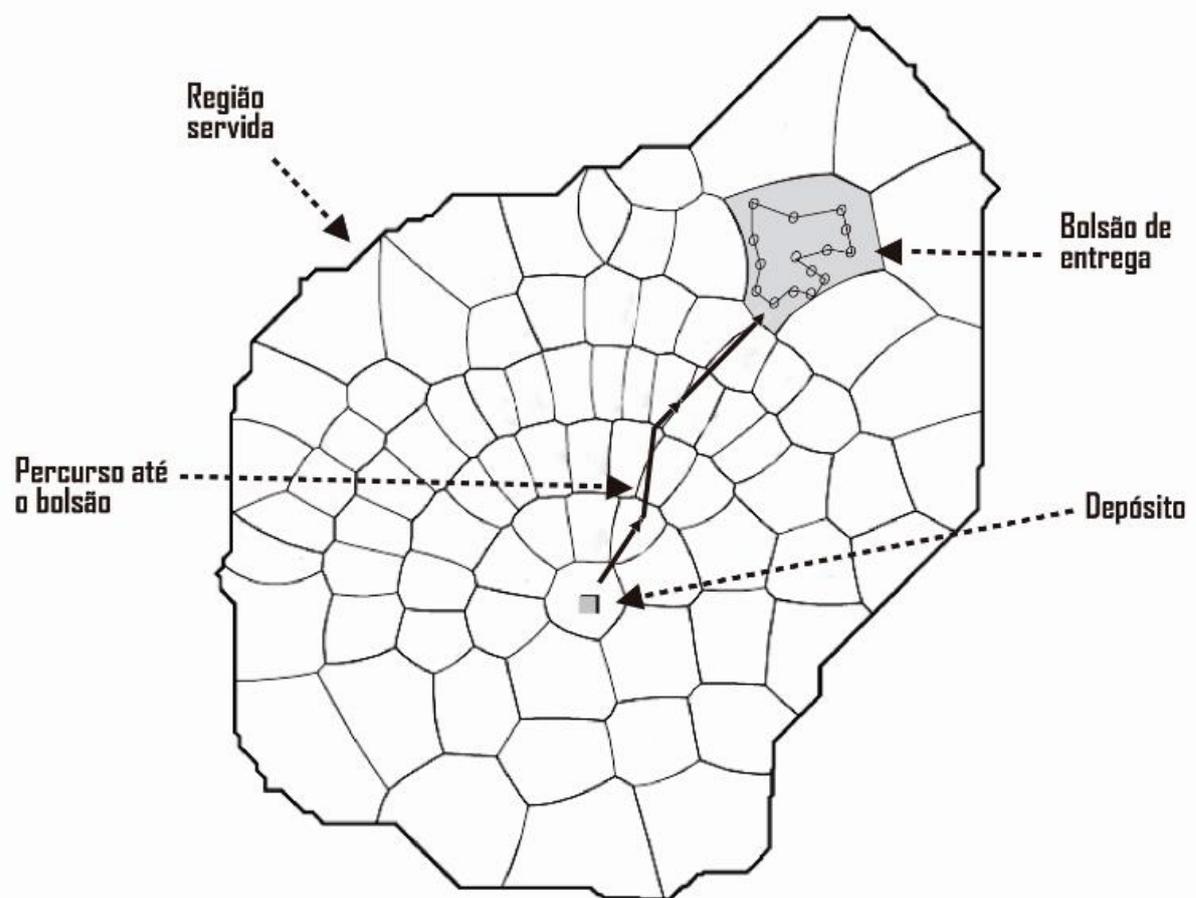


Figura 2 - Esquema típico de distribuição “um para muitos”
 Fonte: Adaptado de Novaes (2004; p. 176)

Para Galvão (2003), é muito comum se deparar com o problema onde veículos fazem entregas de um depósito central para atender clientes que estão geograficamente dispersos sobre uma determinada região, necessitando definir uma frota e as zonas para essa região de distribuição física de produtos, minimizando o custo total de operação da frota.

Em face ao exposto, Barth & Michel (2012) completam afirmando que o problema de dimensionamento de frota ocorre diante a dificuldade de se escolher o melhor modelo e quantidade de veículos necessários para transportar a mercadoria aos vários clientes distribuídos no bolsão de entrega. Um bom estudo analisa as características dos veículos, identificando os modelos que melhor se adequam ao transporte desejado, levando em consideração a eficiência das operações envolvidas no processo como: carregamento, transporte e descarregamento.

Fabrício & Subramanian (2008) salientam que, dependendo das características físicas da carga e da capacidade do veículo, podem ocorrer superlotação ou baixa taxa de ocupação. Tanto a falta de capacidade quanto o excesso representam um problema para a empresa. O primeiro implica no não atendimento da demanda e, o segundo, no desperdício de recursos (Quadro 1).

Quadro 1 - Situações da carga em relação à capacidade do veículo

Carga	>	Capacidade do veículo	Não atendimentos da demanda
Carga	<	Capacidade do veículo	Desperdício de recursos
Carga	=	Capacidade do veículo	Situação ideal

Fonte: Próprio autor

Cabe ressaltar uma análise importante para essa problemática no âmbito do *trade-off* entre capacidade do veículo e os custos. Para um mesmo bolsão de entrega com n clientes, há uma tendência de contar com uma quantidade numérica maior de veículos de menor capacidade aos veículos de maior capacidade para a realização do mesmo serviço, interferindo diretamente nos custos. Portanto, quanto mais veículos são adquiridos para prestar o serviço de entrega maior é o custo fixo alocado com equipamentos e pessoal, tornando explícito que caminhões de menor capacidade absorvem parcela maior desses custos. No caso do custo variável, que é diretamente proporcional à distância percorrida a relação é a seguinte, veículo pequeno viaja uma distância menor pois descarrega mais rapidamente, veículo maior viaja um percurso maior pois demora mais tempo para descarregar, resultando num maior custo variável do caminhão que percorre maior distância (TEIXEIRA & CUNHA, 2002).

Portanto, em face ao problema supra, Novaes (2004) afirma que a situação ideal é aquela que leva a um equilíbrio entre a plena utilização da capacidade do veículo (Quadro 1) e, ao mesmo tempo que trabalha durante todas as horas do dia útil, ou seja, respeitando as restrições de capacidade máxima do veículo e tempo (jornada de trabalho). Nem sempre se pode chegar a essa solução ideal, mas é perfeitamente possível a busca de uma configuração que se aproxime dela. Para o autor, o que se busca é a solução que, atendendo às necessidades dos clientes, apresente o menor custo possível.

Diante desse desafio, constatou-se, a partir do final da década de 50, o surgimento de estudos sobre resoluções relacionadas aos inúmeros problemas que envolvem dimensionamento de frota, iniciou-se com o trabalho de Kirty (1959) dimensionando frota de vagões ferroviários, por ser mais simples em relação aos outros modais (FABRÍCIO & SHUBRAMANIAN, 2008). Com o passar do tempo foram propostos novos modelos com emprego de método mais complexo abarcando os mais diversos tipos de variáveis permitindo dimensionar a frota de qualquer tipo de modal (exceto o dutoviário). Segundo Ballou (2006), cinco são os modais básicos, para realizar o transporte de produtos desde a fábrica até aos diversos componentes dos canais de distribuição, sendo eles: rodovia, ferrovia, transporte aquaviário, aéreo, e dutos para os casos especiais (gás, gasolina, óleo diesel e álcool).

Contudo, no Brasil, não se tem essa disponibilidade de opções modais. As alternativas de transporte marítimo não são amplas. As ferrovias não formam uma rede com boa cobertura do território nacional. Na distribuição interna, a esmagadora parte do transporte de produtos manufaturados é constituída pelo transporte rodoviário. Para os embarcadores restam poucas opções de transporte conjugado, levando ao uso intensivo de apenas um deles, o rodoviário (NOVAES, 2004).

A forte dependência deste meio de transporte está sustentada pelo contexto histórico cujo advento ocorreu no final da década de 50. Ações como incentivos dos governantes, utilização do modal, instalação das montadoras e a pavimentação das principais rodovias, resultou na expansão da malha rodoviária de tal forma que hoje domina amplamente o transporte de mercadorias no país facilitando o acesso às mais diversas localidades (BARTH & MICHEL, 2012).

Desde então a matriz de transporte do Brasil possui uma distorção significativa, tomando como referência a matriz dos EUA (Tabela 1). Sendo o modal rodoviário brasileiro responsável por 67% do transporte de carga.

Tabela 1 - Matriz do transporte de cargas: Brasil versus EUA

Modal	Brasil	EUA
Rodoviário	67%	31%
Ferrovário	18%	37%
Aquaviário	11%	10%
Dutoviário	3%	21%
Aeroviário	0,04%	0,3%

Fonte: Adaptado de Ilos (2014; p. 6)

Cabe salientar que na literatura encontra-se vários estudos que propõem resolver o problema de dimensionamento de frota em ambiente urbano por diversos modelos, autores como: Paula Junior & Pereira (1980), Seixas & Widmer (1993), Teixeira & Cunha (2002), Galvão (2003), Fabrício & Subramanian (2008), Barros & Nogueira Neto (2008), Masiero (2008), Vasco & Morabito Neto (2011) e Barth & Michel (2012) são exemplos de publicações bem sucedidas que evidenciam a possibilidade da resolução desse problema.

Diante do contexto supracitado, tem-se como proposta de temática para o presente trabalho a seguinte questão: Como elaborar uma ferramenta computacional tendo como base o método de dimensionamento de frota em estudo, com o intuito proporcionar soluções rápidas e fidedignas à realidade das empresas de distribuição em ambiente urbano?

1.3.Objetivos

1.3.1.Geral

O objetivo desse trabalho é elaborar uma ferramenta computacional para o método/modelo de dimensionamento de frota em estudo, a fim de proporcionar soluções rápidas e fiéis à realidade das empresas de distribuição em ambiente urbano, auxiliando a tomada de decisão.

1.3.2. Específicos

O objetivo geral desdobra-se nos seguintes objetivos específicos:

1. Fazer um levantamento dos métodos/modelos existentes de dimensionamento de frota;
2. Selecionar o método/modelo mais adequado, e implementá-lo, criando uma ferramenta computacional;
3. Realizar testes da ferramenta com o intuito de validar a qualidade de seus resultados.

1.4. Justificativa

Conforme Masiero (2008), a capacidade de oferta das transportadoras atuantes no Brasil está na iminência de se esgotar. Apenas 20% trabalham com alguma folga; 52% estão sem folga alguma no seu atendimento; e 28% simplesmente não conseguem dar conta de toda a demanda.

Sabendo que, dos modais existentes, o mais utilizado no Brasil é o rodoviário (Figura 3), tendência esta que se mantém inclusive no transporte de carga, cujo setor abrange 1,79 milhões de caminhões no país. As grandes empresas transportam 88,3% de suas cargas por rodovia e um terço optam por usar somente o modal rodoviário (MASIERO, 2008).

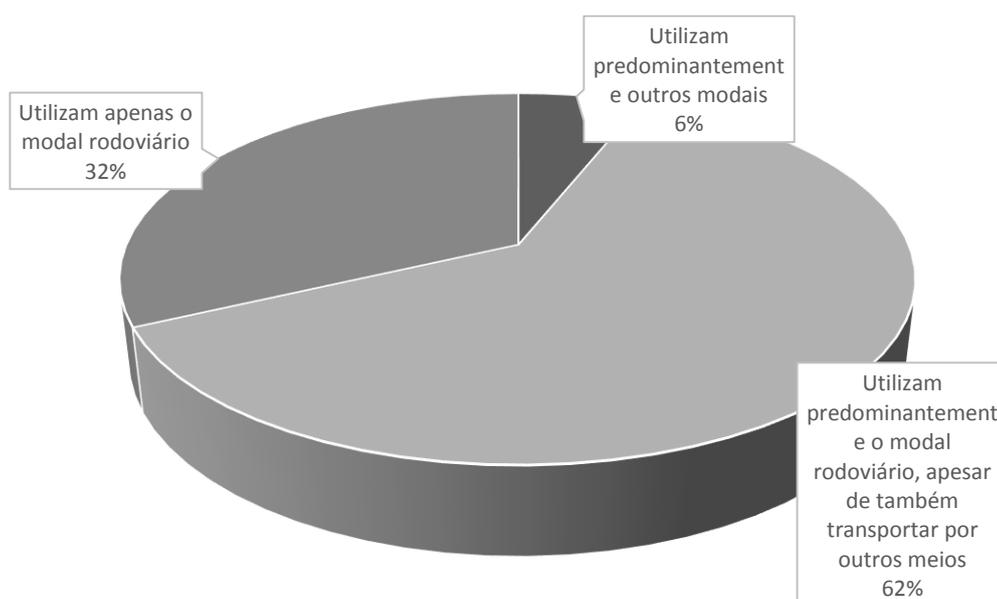


Figura 3 - Participação do modal rodoviário nas empresas
Fonte: Adaptado de Masiero (2008, p. 01)

Para agravar ainda mais a situação, pesquisas realizadas revelam que o transporte rodoviário de cargas apresenta apenas 43% de ocupação de sua capacidade total, o caminhão médio é o campeão da ociosidade. Enquanto o caminhão extrapesado (acima de 40 toneladas) destaca-se por ser mais utilizado (com sobrecarga de 3,4 toneladas, em média, acima de seu peso ideal, em 57,4% das viagens) (VALENTE et al., 2013).

A depender das características físicas da carga e da capacidade do veículo, podem acarretar duas situações com a sua lotação, sendo elas: superlotação ou baixa taxa de ocupação (Quadro 1). Tanto a falta de capacidade quanto o excesso representam um problema para a empresa. O primeiro implica no não atendimento a demanda e o segundo no desperdício de recursos (FABRÍCIO & SUBRAMANIAN, 2008).

Seixas (1992) ressalta a necessidade de se planejar o transporte, procurando considerar a melhor composição dos veículos. Para ele, mesmo considerando a frota de terceiros, cabe à empresa realizar tal planejamento para as suas operações, pois através do mesmo possibilitar-se-á uma maior eficiência no uso dos veículos, maiores ganhos por parte do proprietário do veículo no que tange a redução do valor pago pelo frete em virtude da racionalização do processo do transporte.

Em conformidade com Seixas (1992), Burin (2011) comenta que é necessário otimizar vários itens nas tarefas de entrega e/ou coleta, sendo um melhor aproveitamento da frota disponível indispensável para o aumento da eficiência nesse processo.

Algumas publicações como: Seixas & Widmer (1993), Sherali & Tuncbilek (1997), Rocha (2001), Masiero (2008), Fabrício & Subramanian (2008), Shein & Lima (2010) visualizadas no Quadro 2, destacam o dimensionamento de frota e sua estrita relação com o custeio das atividades de transporte. São discutidos diversos métodos para o cálculo do número de variadas frotas, evidenciando o quão flexível é esse tema, não se limitando apenas ao modal rodoviário.

Quadro 2 - Modelos de dimensionamento de frota

Modelo	Resultados	Modal
Seixas & Widmer (1993)	Redução em 40% dos custos de transporte.	Rodoviário
Sherali & Tuncbilek (1997)	Definição do tamanho da frota quase ideal.	Ferroviário
Rocha (2001)	Redução dos custos.	Aéreo (helicópteros)
Masiero (2008)	Ganho monetário de R\$ 3 milhões pela redução da frota.	Rodoviário
Fabício & Subramanian (2008)	Redução de 12% dos custos totais de transporte.	Rodoviário
Shein & Lima (2010)	Cálculo da quantidade ótima de rebocadores a um menor custo possível.	Aquaviário

Fonte: Próprio autor

Além da redução dos custos, Enomoto (2005) defende que um bom dimensionamento de frota realizado pela firma promove resultados satisfatórios nas atividades do nível operacional da empresa, servindo de base, por exemplo, para a resolução do problema de roteirização de veículos, já que este pertence às decisões relacionadas ao nível operacional, e aquele são resultados de decisões do nível tático.

Para Enomoto (2005), o gerenciamento da distribuição física se dá em três níveis: estratégico, tático e operacional (Figura 4). Decisões importantes do nível operacional são tomadas a partir de boas decisões previamente elaboradas no nível tático. Decisões estas que juntas promovem melhorias no processo, aumento de produtividade, redução de veículos, redução de *lead times* de movimentação, melhoria de padrões de qualidade e nível de serviço prestado entre outros.

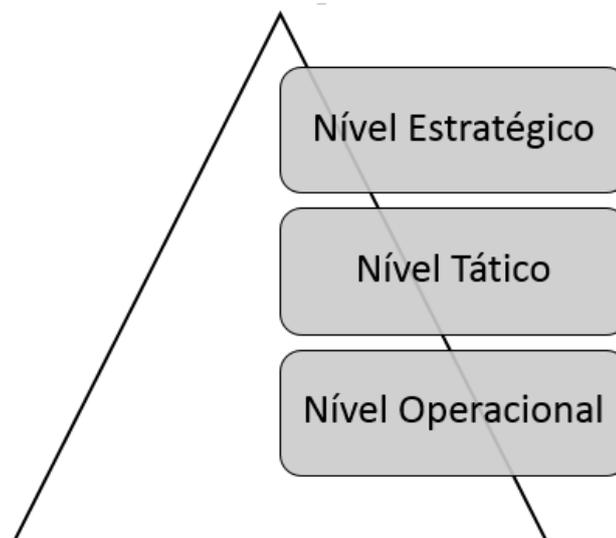


Figura 4 - Níveis de decisão
Fonte: Próprio autor

Compartilhando a mesma ideia de Enomoto (2005), Burin (2011) comenta que os problemas relacionados à roteirização e programação são abordados na fase operacional, onde a frota e as zonas de distribuição já estão definidas. Contudo, para que a otimização dos roteiros apresente resultados satisfatórios é necessário que o sistema tenha sido bem planejado e dimensionado nos níveis estratégicos e táticos.

A confecção de uma ferramenta computacional, por sua vez, tem como propósito suprir a necessidade de resolver o problema de dimensionamento de frota de uma maneira mais eficiente e robusta, proporcionando decisões mais precisas, com rapidez e facilidade na obtenção das mesmas (TEIXEIRA & CUNHA, 2002). De acordo com os autores, robustez é a capacidade de um modelo resolver satisfatoriamente problemas com diferentes restrições, sem degradação sensível na qualidade das soluções e nos tempos de processamento.

Cabe salientar que na literatura encontram-se vários estudos que propõem resolver o problema de dimensionamento de frota em ambiente urbano por diversos modelos, mas são escassos os trabalhos que sugerem a formulação de uma ferramenta computacional que crie uma interface com o gestor facilitando a sua tomada de decisão.

Logo, a utilização de uma ferramenta computacional se faz justificável e até essencial à competitividade, para que, por meio dela, as firmas possam obter o melhor proveito de seus sistemas produtivos e recursos. “Muitas empresas possuem recursos disponíveis, os quais, quando corretamente empregados, podem trazer significativa melhoria tanto em produtividade quanto em qualidade” (BARROS & NOGUEIRA NETO, 2008).

Por fim, o dimensionamento de frota possui uma estrita relação com a logística, esta por sua vez é considerada pela Comissão de Graduação da ABEPRO uma das dez áreas da Engenharia de Produção e engloba em seus tópicos o projeto e análise de sistemas logísticos, transporte e distribuição física, logística empresarial, logística reversa e gestão da cadeia. Além de ser considerada por Ballou (2006) a última fronteira para a redução de custos nas empresas.

1.5. Estrutura do Trabalho

O presente trabalho está estruturado em cinco partes, sendo elas:

- Introdução;
- Metodologia;
- Referencial Teórico;
- Resultados e Discussões;
- Conclusões e Recomendações.

O primeiro capítulo foi reservado para a apresentação de uma contextualização acerca da pesquisa, com exposição de características gerais da temática estudada, bem como a definição do problema, os objetivos envolvidos nessa pesquisa e a justificativa.

No capítulo 2, é abordada a metodologia explicando a tipologia e os passos a serem seguidos neste estudo.

Dando continuidade ao trabalho, o capítulo 3 apresenta todo o arcabouço literário, que delimita o presente estudo, sendo abordados a Logística Empresarial, Distribuição Física, Transporte, Dimensionamento de Frota e Simulação.

O quarto capítulo é dedicado ao estudo propriamente dito, com seu desencadeamento em análises dos resultados e discussões.

Finalmente, o capítulo 5 apresenta as principais considerações finais, bem como algumas sugestões de continuidade para trabalhos futuros.

2.METODOLOGIA

Esse capítulo visa expor o procedimento metodológico que será utilizado no trabalho de monografia, a fim de facilitar a compreensão do desdobramento da pesquisa. Para isto é inicialmente apresentada a finalidade da pesquisa, seguida da tipologia e delineamento da mesma, por último, são detalhadas as variáveis analisadas do estudo.

2.1.Finalidade da Pesquisa

Cervo et al. (2007) explanam o destaque dado quanto à distinção entre pesquisa pura e pesquisa aplicada. A pesquisa pura, também conhecida como pesquisa básica, tem como objetivo o saber, ou seja, a satisfação na necessidade intelectual do investigador; já na pesquisa aplicada, o pesquisador é imbuído pela necessidade de contribuir com fins práticos, procurando solucionar problemas reais, transformando os resultados em ações pragmáticas.

Esse trabalho tem em vista a finalidade de adquirir maior conhecimento sobre o assunto abordado (dimensionamento de frota) por parte do autor, bem como, assume um caráter prático na elaboração da ferramenta computacional, vale ressaltar que a implementação do método escolhido é puramente computacional não sendo aplicado nas empresas como um estudo de caso. Em outras palavras, o presente trabalho assume o caráter tanto de pesquisa pura quanto aplicada, sabendo que os conceitos supracitados não são mutualmente excludentes.

2.2.Tipologia da Pesquisa

O presente trabalho apresenta uma tipologia exploratória quali-quantitativa, visto que busca maior familiarização com o problema, tornando-o mais explícito. Andrade (2009) explica que a pesquisa exploratória é o primeiro passo de todo o trabalho científico, com o objetivo de proporcionar maiores informações sobre determinado assunto. Rodrigues (2007), por sua vez, elucida que a pesquisa qualitativa analisa dados obtidos indutivamente e traduz fenômenos e a atribuição dos significados, enquanto a quantitativa obtém informações a partir da interpretação dos números em busca de classificá-las e analisá-las.

Trata-se também de uma pesquisa de cunho prático, com prévio levantamento bibliográfico, pois esse estudo objetivou elaborar uma ferramenta computacional que proporcione a resolução do problema real de dimensionamento de frota que atinge as empresas de distribuição em ambiente urbano. Cervo et al. (2007) destacam que na pesquisa aplicada, o pesquisador é instruído pela necessidade de contribuir com fins práticos, procurando solucionar problemas reais, transformando os resultados em ações pragmáticas.

Quanto aos procedimentos, Andrade (2009) distingue as duas maneiras na qual se obtém os dados necessários, sendo pesquisa bibliográfica ou documental. A diferença entre ambas está na espécie de documentos que compõem as fontes das pesquisas, a bibliográfica baseia-se em fontes secundárias, ou seja, livros, artigos, dissertações e outros documentos bibliográficos; a pesquisa documental utiliza fontes primárias, que ainda não foram utilizados por nenhum outro estudo ou pesquisa.

2.3.Delineamento da Pesquisa

O presente trabalho tem como ponto de partida a revisão de literatura do assunto através de livros, artigos, dissertações, teses e revistas. Esta etapa foi de suma importância pois serviu de alicerce para o desenvolvimento de todo o trabalho. Reforçando essa ideia, Cervo et al. (2007) comentam que, qualquer tipo de estudo tem como início uma pesquisa bibliográfica, sendo esta essencial para a compreensão do estado da arte do tema.

A par da revisão de literatura, foi realizada uma avaliação dos métodos/modelos existentes de dimensionamento de frota, seguida da seleção de um desses procedimentos para a implementação computacional. Os critérios tomados em consideração para o método preferido foram: didatismo; fácil implementação; robustez, ou seja, a capacidade que o mesmo tem de resolver os mais variáveis tipos de problemas possíveis; cálculo manual demorado e quando implementada computacionalmente tenha rápido tempo de processamento, ao passo que o desenvolvimento da ferramenta aspirou a redução substancial do tempo de resolução do problema.

Posteriormente à escolha do método/modelo preferido iniciou-se a fase de implementação computacional. Para isto, foi necessário munir-se da linguagem de programação *Delphi*, que segundo Barcelos (2012) é uma ferramenta de desenvolvimento de aplicativo baseada na linguagem *Object Pascal*, trata-se de uma linguagem híbrida que uniu as vantagens da programação estruturada atrelada às facilidades das interfaces, portanto a forma de construção do programa segue o padrão de janelas com todas as facilidades que elas possuem. Assim, durante todo o desenvolvimento da ferramenta, o programador visualiza o *layout* de sua aplicação, podendo arrastar e soltar componentes prontos em sua biblioteca, bem como gerar relatórios formulários e gráficos. Com essa conjuntura a autora afirmou que o *Delphi* “graças a sua suíte é fácil e prático desenvolver aplicativos científicos e comerciais com alto desempenho e de fácil utilização”.



Figura 5 - Fluxograma de delineamento da pesquisa
Fonte: Próprio autor

Por fim, realizaram-se testes computacionais abrangendo dois cenários encontrados na literatura denominado de exemplo teste 1 e exemplo teste 2, onde em cada um desses cenários foram alterados alguns parâmetros originando o exemplo hipotético 1 e o exemplo hipotético 2 respectivamente. Juntos são somados quatro

testes computacionais, todos envolvem o problema de dimensionamento de frota, com o intuito de validar a ferramenta, a fim de habilitá-la para o uso em situações reais. Todas essas atividades podem ser visualizadas de uma forma mais didática no fluxograma de delineamento da pesquisa, encontrado na Figura 5.

2.4.Variáveis da pesquisa

As variáveis contempladas no presente estudo são o tipo, capacidade do veículo, custos (fixo e variáveis), informações sobre os pontos (clientes) para a distribuição (localização, quantidade e frequência de pedidos), área da região de entrega, distância do Centro de Distribuição ao bolsão de entrega, velocidade média dentro e fora do bolsão e o tempo das operações (carga, trânsito e descarga). Esses elementos servirão de *input* para que a ferramenta processe e retorne com o melhor veículo, bem como sua quantidade (tamanho da frota) e o menor custo.

3.REFERENCIAL TEÓRICO

No presente capítulo são contemplados os principais conceitos que fundamentam ou se relacionam com o tema deste trabalho, entre estes podem-se destacar a Logística Empresarial, Distribuição Física, Transporte, Dimensionamento de Frota, no qual é dado maior enfoque e, por fim, Simulação.

3.1.Logística Empresarial

A logística sempre existiu, desde as épocas mais antigas da história documentada da humanidade; porém, de uma forma limitada devido a inexistência de sistemas desenvolvidos de transporte e armazenamento (BALLOU, 2006). Entretanto desde a Segunda Guerra Mundial, a logística apresentou uma evolução continuada, sendo hoje considerada uns dos elementos fundamentais que compõem a estratégia competitiva das empresas, bem como a mola propulsora da cadeia produtiva integrada, procurando posicionar-se sempre de acordo com o contemporâneo conceito de SCM – Supply Chain Management (Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos) (NOVAES, 2004).

Ambos os termos: logística empresarial e gerenciamento da cadeia de suprimentos, quando comparados, causam bastante discussão entre os teóricos. Há quem diga que GCS é apenas um sinônimo de gestão integrada da logística empresarial, outros há que consideram o GCS como uma ampliação da atividade logística para além das fronteiras organizacionais, na direção de cliente e fornecedores na cadeia de suprimentos (BALLOU, 2006).

O fato é que, em termos práticos, o limite entre esses termos é indistinto tornando muito difícil separar a gestão da logística empresarial de gerenciamento da cadeia de suprimentos. Ocorre que, em um número muito grande de aspectos, as duas têm missão idêntica: Colocar os produtos ou serviços certos no lugar certo, no tempo certo e nas condições desejadas, dando ao mesmo tempo a melhor contribuição possível para a empresa (BALLOU, 2006).

Em face ao exposto, o *Council of Supply Chain Management Professional* (CSCMP, 2013) explana que a logística é a parte da Cadeia de Suprimentos (*Supply Chain*) que planeja, implanta e controla a eficiência, efetividade do escoamento e do

estoque e fluxo reverso de bens, serviços e informações relacionadas com o ponto de origem e o ponto de consumo com objetivo de atender as restrições de serviço.

Diante disso, Luz (2013) afirma que em qualquer ramo de negócio, quer seja no automobilismo, alimentos, saúde, têxtil, etc., desde o mais simplório dos estabelecimentos à mais complexa corporação, a competência da logística se faz necessária, ofertando recurso e tecnologia a cada atividade. De acordo com Camargo (2004) essas atividades podem ser divididas em primárias (transporte, estoque e processamento de pedido) ou de apoio (armazenagem, manuseio, embalagem de proteção, obtenção/compras, programação de produtos e manutenção da informação (Figura 6).

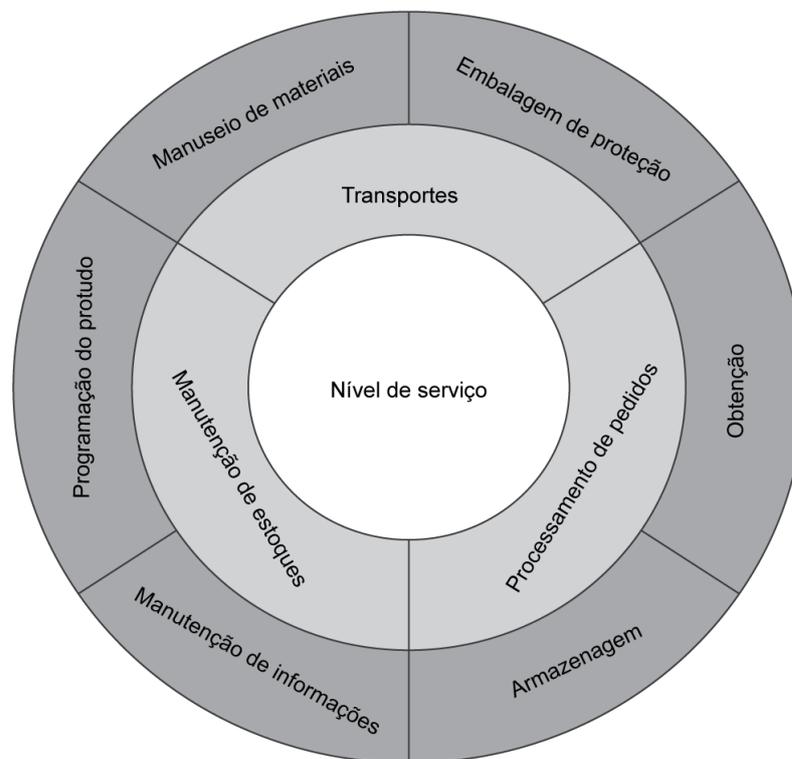


Figura 6 - Atividades primárias e de apoio
Fonte: Adaptado de Ballou (2007; p. 26)

As atividades primárias levam esse nome porque contribuem com a maior parcela do custo total da logística e são essenciais para o seu gerenciamento, enquanto as atividades de apoio contribuem com o suporte para a realização dos processos logísticos (BOTTIN et al., 2013). Atividades estas que tem como o resultado de todo o esforço logístico, aumentar o nível de serviço ao cliente, aditando ao produto valor de tempo e espaço (NOVAES, 2004).

Para Novaes (2004), o produto, ao sair de uma fábrica, possui um valor intrínseco a ele agregado, porém, para o cliente que vai consumi-lo esse valor está ainda incompleto, pois não está a seu alcance. Para que o consumidor possa desfrutar dos benefícios do produto em toda sua plenitude, faz-se necessário que a mercadoria seja colocada no momento e lugar adequado. Portando conclui-se que o sistema logístico, mesmo o mais primitivo, agrega valor de tempo e lugar ao produto, principalmente por meio dos estoques e dos transportes respectivamente.

Nesse contexto, afim de se ter um nível máximo de controle gerencial no interior da firma, Ballou (2006) defende que a logística pode ser dividida de acordo com seus canais físicos imediatos, sendo eles: canal físico de suprimento e canal físico de distribuição. Portanto o objeto de estudo deste trabalho encontra-se engajado ao processo de distribuição física, que será abordado no tópico subsequente dando ênfase ao seu conceito, que contempla, entre outros aspetos, a questão dos transportes.

3.2.Distribuição Física

Bowersox & Closs (2001) definem a distribuição física como a movimentação de produtos acabados para a entrega aos clientes, considerado como o destino final o consumidor, ou seja, é um dos meios utilizados na logística, que tem como finalidade administrar o procedimento da saída do produto da linha de produção até a chegada da mercadoria nas mãos do cliente. Para alguns teóricos, a distribuição é um dos processos mais difíceis de serem trabalhados, pois está ligada diretamente com os atrasos das entregas refletindo, portanto, na satisfação do cliente (CIRIBELI & PIRES, 2013).

Para facilitar o trabalho dos gestores referentes às decisões concernentes a distribuição física, seu gerenciamento é dividido em três níveis, que segundo Enomoto (2005), Galvão (2003), Masiero (2008), Fabrício & Subramanian (2008) e Burin (2011) são: estratégico tático e operacional.

O nível estratégico trata de decisões a longo prazo, que geralmente envolve um período maior de tempo a ser executado, pois consiste em questões da alta direção. Nesse nível procura-se definir a rede logística reduzindo seus custos, mantendo, porém, o nível de serviço. Questões como localização das instalações

produtivas de armazenamento (fábricas, armazéns e centrais de distribuição); canais de distribuição; tecnologias a serem empregadas; sistema de processamento de pedido e faturamento; outros.

O planejamento tático é feito para um horizonte de médio a curto prazo, de forma a garantir maior eficiência na operação do sistema logístico, bem como na utilização dos equipamentos dos veículos e as instalações. Decisões como: dimensionamento e definição das características da frota de veículos; planejamento dos transportes; seleção e contratação de transportadores; análise de frete de retorno; entre outros.

O nível operacional engloba decisões a curto prazo e tem como objetivo otimizar as características do sistema de transportes em operação. Algumas atividades como: armazenamento e movimentação interna dos materiais; processo de carga e descarga dos veículos, emissão de documentos; programação de roteiros de entregas, pertencem à competência desse nível.

Embora muitas situações de distribuição física de produtos possa ocorrer na prática, Novaes (2004) tenta organizá-las resumindo-as em duas configurações básicas, a saber:

- Distribuição “um para um” ou transferência de produtos: onde o veículo é totalmente carregado no depósito da fábrica ou num centro de distribuição (CD) do varejista e transporta a carga para um outro ponto de destino, podendo ser outro CD, uma loja, ou outra instalação;
- Distribuição “um para muitos” ou compartilhada: em que o veículo é carregado no CD do varejista com mercadorias destinadas a diversas lojas ou clientes, e executando um roteiro de entregas predeterminado.

Segundo Novaes (2004), uma das particularidades de ambas configurações é que a distribuição “um para muitos” faz-se mais complexo ter um bom aproveitamento interno do caminhão, devido o mesmo ser carregado na ordem inversa das entregas, impedindo a otimização do arranjo das mercadorias dentro do veículo. Diferentemente da “distribuição um para um”, onde o carregamento do veículo é efetuado de forma a lotá-lo completamente, no que tange ao agrupamento dos produtos nos espaços disponíveis, visando o melhor aproveitamento possível de sua capacidade.

Nesta conjuntura, não importando qual distribuição física se apresente à empresa, a atividade de transporte se posiciona como uma das mais importantes. Por isso, será - o transporte - o foco de discussão do próximo tópico.

3.3. Transportes

O transporte é definido no dicionário Aurélio como o ato ou efeito de conduzir um produto de uma local a outro FERREIRA (2010), exerce imperial importância na distribuição física e é considerado o mais importante custo logístico na maior parte das firmas. Assim, um bom sistema de transporte ajuda a aumentar a competição no mercado, garantir a economia de escala na produção e reduzir preços das mercadorias (BALLOU, 2007).

Portanto, um país bem desenvolvido tem sempre um eficiente sistema de movimentação. Não é à toa que as nações mais ricas são as que possuem os melhores sistemas de transporte, comprovando que o Produto Interno Bruto (PIB) e a qualidade dos transportes são grandezas intimamente relacionadas (VALENTE, 2013).

O Brasil por sua vez, ainda que em desenvolvimento, possui uma estrutura rodoviária respeitável, maior que a maioria dos outros países, e é responsável por 67% do escoamento de carga, que vai desde simples encomendas em pequenas caixas à safras inteiras. Além de contribuir com 7,5% do PIB do país, ou seja, chega a aproximadamente vultosos 30 bilhões de dólares por ano (VALENTE et al., 2013).

Essa movimentação de carga deve atender às necessidades dos clientes com o objetivo de oferecer, velocidade no atendimento, cumprimento das demandas existentes (confiabilidade) e flexibilidade. Portanto, o transporte dessas mercadorias pode ser realizado através de vários modais, dentre eles se encontram: o transporte ferroviário, transporte aquaviário, transporte aéreo, transporte dutoviário e transporte rodoviário (BURIN, 2011). Sendo que este trabalho optou em delimitar o transporte rodoviário, mais especificamente urbano.

Para a empresa, a frota rodoviária é considerada essencial para a sua grandeza. É com seus veículos que ela obtém receitas, presta serviços, desenvolve e amplia seus negócios. Portanto pode-se afirmar que a sua participação é significativa, no que tange a frota ser o principal equipamento da transportadora. A partir disso,

Valente et al. (2013) consideram imprescindível uma boa gestão de frota, iniciando pelo bom dimensionamento da mesma.

3.4. Dimensionamento de Frota

As empresas de transporte têm alcançado níveis produtividade nunca antes atingidos nesse setor, alavancadas principalmente pela profissionalização dos gestores da empresa. Alta administração esta que inicialmente era ocupada por empresários com apenas conhecimento empírico do negócio, gradativamente foi cedendo espaço, na maioria das vezes, aos seus filhos com formação superior na administração (VALENTE et. al., 2013)

Porém, existem fatores que fazem a produtividade no setor de transportes apresentar índice bem aquém de outros ramos da economia. Veículos com características inadequadas ao tipo de transporte a que se destinam; lentidão nas atividades de carga e descarga; má conservação das vias; bem como a falta de relacionamento dos empresários com os fabricantes de automóveis, com o intuito de sincronizar as necessidades das empresas com o produto ofertado, são situações que corroboram para essas ineficiências. Um exemplo dessa falta de sincronismo é o não aproveitamento das medidas limites permitidas pela lei dos veículos de 16 metros utilizados largamente, quando a legislação permite 18,5 metros (VALENTE et. al., 2013).

Para Araújo (2002) normalmente, quando se trata de transporte as empresas preocupam-se mais com os dispêndios monetários envolvidos à adequação do veículo ao serviço. Segundo o autor, a má escolha do equipamento pode acarretar na segurança, produtividade, qualidade do serviço e custo.

Portanto, a empresa deve fazer um estudo de dimensionamento de frota, para que possa compatibilizar os veículos às suas necessidades operacionais, bem como definir a quantidade certa desses automóveis para atender à real demanda de transportes. Não colocando a mercê a segurança e qualidade do serviço. A seleção dos carros é feita através de critérios técnicos, buscando um denominador comum entre as especificações do fabricante e as atividades a serem requeridas com o uso do referido veículo (ARAÚJO, 2002).

Ainda segundo Araújo (2002), dimensionar frota é definir a quantidade certa de veículos, bem como a composição para atender à real demanda de transportes da empresa obedecendo as restrições de capacidade do veículo e tempo (jornada de trabalho). Esse estudo é feito determinando as características da quantificação da frota e seguir alguns procedimentos como coleta de dados, que são abordados nos próximos tópicos.

3.4.1. Características do problema de dimensionamento de frota

O problema de dimensionamento de frota possui algumas características a serem observadas, sendo elas: dimensionamento, tipo de frota, custos a serem considerados, tipo de demanda, método e algoritmo. Cada característica é decomposta em outras subcaracterísticas. São encontrados em qualquer problema de dimensionamento de frota, porém cabe ao decisor selecionar o conjunto desses elementos que melhor se adapte ao seu problema real, para obter a solução ótima. A seguir é apresentado o Quadro 3, que resume todos os elementos do dimensionamento de frota.

Quadro 3 - Característica do problema de dimensionamento de frota

Características	Subcaracterísticas
Dimensionamento	<ul style="list-style-type: none"> • Composição • Quantificação • Composição e Quantificação
Frota	<ul style="list-style-type: none"> • Homogênea • Heterogenia
Custo	<ul style="list-style-type: none"> • Fixo • Variável • Fixo e variável
Demanda	<ul style="list-style-type: none"> • Determinística • Estocástica
Método	<ul style="list-style-type: none"> • Algébrico • Programação linear • Programação dinâmica • Teoria das filas • Simulação • Heurística • Outros
Algoritmo	<ul style="list-style-type: none"> • Com envolvimento do problema de roteirização • Sem envolvimento do problema de roteirização • Baseado no tempo de ciclo

Fonte: Adaptado de Araújo (2002)

Os itens em seguida explicam, de uma forma mais aprofundada todas as características elucidadas no Quadro 3 e conseqüentemente seus subitens.

3.4.1.1.Dimensionamento

Em relação à característica dimensionamento, o problema de dimensionamento de frota pode deparar-se em três situações, a primeira é a composição da frota, na qual o problema determina apenas o tipo de veículo mais adequado dentre vários outros para a situação da empresa; a segunda é a quantificação, aqui é definido apenas o tamanho da frota de apenas um veículo predeterminado; a terceira, é mais abrangente e abarca as duas situações anteriores, determinando o tipo de veículo mais adequado e sua quantidade.

3.4.1.2.Frota

Quanto ao tipo da frota, Naruo (2003) divide em heterogênea e homogênea, onde são problemas que abordam apenas um tipo de veículo e vários tipos de veículos para a composição da frota global da empresa respectivamente. Nesse caso problemas com frotas heterogêneas, tentam ponderar o custo fixo dos veículos utilizados versus o custo variável com a distância percorrida, mesclando a frota com vários tipos de veículos. Ao contrário de problemas com frota homogênea, onde admite-se como razoável minimizar a frota total alocada (TEIXEIRA & CUNHA, 2002).

3.4.1.3.Custos

São considerados custos de transporte todos os gastos relacionados à movimentação de materiais fora da empresa, e são divididos em dois tipos: fixos e variáveis. O primeiro tipo não varia com a produção do serviço, por isso é chamado de fixo, são exemplos o aluguel mensal do depósito e salários dos empregados; já o segundo varia diretamente com a quantidade produzida, por exemplo, o custo de pneus e gasolina está diretamente relacionado com a quilometragem percorrida. O Quadro 4 pormenoriza esses custos (CHING, 2006; VALENTE et. al., 2013; CAIXETA-FILHO & MARTINS, 2001).

Quadro 4 - Custos de Transportes

Custos fixos	Custo de capital	$(I-VR)*FRC+VR*J$ <p>Onde, I = investimento para adquirir um veículo novo VR = Valor residual do veículo FRC = Fator de recuperação de capital</p> $FRC = \frac{J*(1+J)^n}{(1+J)^n-1}$ <p>Onde, J = Taxa de juros ou de oportunidade n = Vida útil do veículo</p>
	Depreciação	É um custo contábil que leva em conta o fato de que equipamentos e instalações se deterioram com o uso
	Remuneração e Despesas com pessoal (salários e encargos)	$S+E$ <p>Onde, S = Salários do motorista e ajudante E = Encargos</p>
	Cobertura de risco	$Sg+Fr$ <p>Onde, Sg = Apólice do seguro Fr = Franquia</p> $Fr = \frac{No}{Nv} + \frac{Fm}{12}$ <p>Onde, No = Número de ocorrência de sinistro no ano Nv = Número de veículos em operação Fm = Valor médio da franquia</p>
Custos variáveis	Combustível	$Cv*Q$ <p>Onde, Cv = Consumo do veículo no mês Q = Quilometragem rodada no mês</p>
	Lubrificantes (óleo de motor e óleo de transmissão)	$\frac{L}{Qml}$ <p>Onde, L = Despesa correspondente a uma operação de lubrificação (mão-de-obra, graxa, óleo lubrificante, filtro, etc) Qml = Quilometragem média entre lubrificações sucessivas</p>
	Manutenção	$\frac{\frac{M}{Vn} * Va}{Q}$ <p>Onde, M = Despesa de manutenção no mês Vn = Valor do veículo novo no mês Va = Valor do veículo atual do veículo Q = Quilometragem rodada no mês</p>
	Pneus	$\frac{PN + Pr}{Qn + Qr}$ <p>Onde, Pn = Preço do pneu novo Pr = Preço da recapagem Qn = Quilometragem rodada com o pneu novo Qr = Quilometragem rodada com a recapagem</p>

Fonte: Adaptado de Lima Júnior (2013)

No que tange aos custos, são considerados quais deles o problema de dimensionamento abarcará em seus cálculos, se os fixos, se apenas os variáveis, ou os dois. Obviamente o método que englobar ambos os custos torna-se mais fiel à realidade do problema em estudo.

3.4.1.4.Demanda

Em relação à demanda, esta pode ser dividida em determinística e estocástica. Um modelo determinístico possui um conjunto de entradas conhecido na qual resultará um único conjunto de saídas, e sempre que esse mesmo conjunto de entrada for processado se produz o mesmo conjunto de saída. Já um modelo é chamado de estocástico ou probabilístico quando possui uma ou mais variáveis aleatórias como entrada, portanto entradas aleatórias produz saídas aleatórias (VIALI, 2013).

O método estocástico se aproxima mais da realidade, devido a representação fiel de um sistema passar, inevitavelmente, pela aleatoriedade de seus eventos. Portanto, conclui-se que a demanda estocástica quantifica de uma maneira mais fidedigna a demanda de uma empresa. Contudo, Vasco & Morabito Neto (2011) afirmaram que, apesar de os modelos determinísticos serem mais simples, ainda são viáveis na prática.

3.4.1.5.Modelos e Métodos

De acordo com Barbetta, Reis & Bornia (2004), um modelo é uma representação da realidade analisada, onde se destaca aspectos relevantes e se despreza detalhes insignificantes. De uma forma geral, eles servem para simplificar, descrever, e facilitar através dos métodos a interpretação daquilo que está estudando.

Para a resolução da problemática da dimensão de frota, os modelos vêm sendo desenvolvidos para este fim desde o final da década de 50. Rocha (2001, apud Araujo, 2002) afirmam que Kirby (1959) foi uns dos pioneiros a resolver esse problema utilizando a formulação algébrica como método, a frota por sua vez era de vagões ferroviários. O seu trabalho tinha como proposta a seguinte reflexão: "Sua frota é do tamanho certo?". Se a frota fosse pequena, haveria a necessidade de alugar vagões a custos extras, caso contrário, o índice de utilização do vagão seria baixo.

Outro trabalho que se muniu do método algébrico e é considerado como uma extensão de estudo de Kirby (1959) é o de Wyatt (1961). Sua essência consistiu na averiguação do tamanho ótimo de uma frota de barcas de uma companhia de petróleo, com proposta de aluguel de outras barcas caso a frota fosse insuficiente (ROCHA 2001 apud ARAUJO 2002).

Com o passar do tempo outros procedimentos foram propostos na literatura além do algébrico para a resolução do problema de dimensionamento de frota. São citados a seguir vários estudos onde aborda essa problemática por diferentes métodos. Percebe-se que, até onde pode se pesquisar, existe uma preferência dos acadêmicos por determinados métodos, sendo alguns mais aproveitados do que outros, os mais comumente aplicados são: programação linear, programação dinâmica, teoria das filas, simulação e heurística.

O modelo de Gould (1969) ampliou a abrangência dos estudos anteriores de Kirby (1959) e Wyatt (1961), abordando a frota como heterogêneas em relação à capacidade de transporte (tipo e peso das cargas). As aproximações de Kirby (1959) e Wyatt (1961) são de difícil utilização para tratamento de frotas heterogêneas. Por esta razão Gould (1969) desenvolveu um modelo em programação linear para este fim.

Pouco mais de uma década depois, Mole (1975) visualizou algumas limitações nos trabalhos de Kirby (1959) e Wyatt (1961) no que se refere ao tratamento do conceito que a frota ótima é dependente do tempo, onde as características do problema citado no Quadro 3 como a demanda e os custos variam ao longo de determinados períodos. O autor então sugere a utilização da programação dinâmica para a identificação das frotas ótimas específicas para cada um dos períodos observados (ROCHA, 2001 apud ARAUJO, 2002).

Parikh (1977) inovou ao tratar o problema de dimensionamento de frota, não como a investigação da frota ótima do ponto de vista do custo mínimo, diferentemente de todos os autores citados anteriormente, ele trouxe a ideia de abordar a problemática sob o ponto de vista da frota necessária para se atender um determinado nível de serviço mínimo, medido pelo percentual máximo de atendimentos realizados com atraso através do método da teoria das filas. A grande mudança dessa nova

abordagem gira em torno de como tratar a demanda, que até então era determinística, a partir de Parikh (1977) surge o primeiro modelo de dimensionamento de frota que trata a demanda como um padrão estocástico (ROCHA, 2001 apud ARAUJO, 2002).

Paula Junior & Pereira (1980) realizaram um estudo de caso em uma área de 100 mil há de Eucalipto, utilizada para a produção de carvão e reflorestada pela Florestal Acesita S.A. localizada no Vale do Jequitinhonha, nos municípios de Capelinha, Itamarandiba Minas Novas e Turmalina – MG. O objetivo desse estudo era determinar a melhor rota entre cinco e o caminhão mais adequado entre três tipos analisados, nos quais são: Mercedes Benz: de 1, 2 e 3 eixos. O método empregado foi a programação linear cuja função objetivo tinha como critério a minimização de custos operacionais. A parte interessante desse trabalho foi a incorporação de outros componentes nos cálculos como o sistema de carga (sacaria ou gaiola), épocas do ano (seca ou chuva), oferta de carvão variando de 30.000 a 70.000 MDC/mês e, por fim, o tempo de trajeto que varia de acordo com o caminhão, rota, peso e época do ano. Outra particularidade desse estudo é a presença de várias origens (fazendas de Eucalipto) e apenas um destino (fábrica de carvão), diferentemente da grande maioria das pesquisas onde abarca apenas uma origem e diversos pontos de entrega.

Como o modelo de Etezadi & Beasley (1983), que se aplica a processos de distribuição física com centro de distribuição único atendendo a diversos clientes, tanto para sistemas de viagens pendulares (atendimento a um único cliente por viagem, com origem e destino no CD), assim como para viagens de atendimento múltiplo (atendimento a diversos clientes, com origem e destino no CD). O método empregado foi programação linear (ROCHA, 2001 apud ARAUJO, 2002).

Seixas & Widmer (1993) realizaram o dimensionamento de frota para uma empresa de celulose no estado de São Paulo utilizando programação linear não inteira para a resolução do problema, e programas como CALCA e QUATTRO para somar sinergias à otimização da solução final. O transporte é feito por uma fábrica que recolhe a madeira de várias origens (fazendas). Essa fábrica conta com uma frota de 87 veículos com capacidade, tamanho, potência e custos unitários diferentes. De acordo com os autores, eles produziram cenários que reduziam em até 40% os custos de transporte.

Sherali & Tuncbilek (1997) utilizaram um heurística de decomposição baseada na resolução de subproblemas para resolver o modelo de dimensionamento de frota para empresas ferroviárias. Os resultados apresentados definiram o tamanho da frota total quase ideal.

Rocha (2001) criou um modelo de dimensionamento de frota de helicópteros para um sistema de distribuição física de pessoas voltado às atividades offshore de exploração e produção de uma bacia de petróleo, com o objetivo de reduzir custos.

Já Teixeira & Cunha (2002) valeram-se da heurística das economias para o dimensionamento e roteirização de uma frota heterogênea, abrangendo os custos fixos e variáveis e restrições de capacidade. Tais heurísticas baseiam-se em combinações de rotas obtidas a partir da solução de problemas de designação, o objetivo era minimizar os custos de distribuição.

Stringher (2004), por sua vez, conseguiu quantificar o tamanho ideal de uma frota levando em conta o método de programação linear inteira baseado no tempo de ciclo e com essa proposta o autor buscou a minimização dos custos de transporte. Vale ressaltar que o tempo de ciclo corresponde a soma de todos os tempos de operação que compõem a viagem do veículo. Foi realizado um estudo de caso onde a metodologia é aplicada em uma rede de distribuição de um fabricante de linha branca no Brasil.

Novaes (2004), elaborou um método baseado em formulações algébricas com várias simplificações, pois segundo o autor a análise da distribuição compartilhada ou “um para muitos” é bastante complexa. Diante disso, seu modelo tem como proposta solucionar a problemática oferecendo como resposta o melhor veículo dentre vários em análise, bem como a quantidade ideal da frota e o custo unitário necessário para a prestação do serviço de distribuição, respeitando restrições de capacidade do veículo e jornada de trabalho da empresa.

Yagui (2006) desenvolveu um modelo capaz de estimar a frota ótima de contêineres próprios ou alugado de uma empresa de navegação empregando programação linear como método. A proposta do modelo é auxiliar o planejador a tomar decisões estratégicas no âmbito do tamanho da frota própria de contêineres necessários para suprir a demanda ao longo do horizonte de planejamento, bem como

quantificar a frota de contêineres alugados em operações emergenciais relacionadas a picos de demanda.

Barros & Nogueira Neto (2008) realizaram um estudo de caso em uma transportadora localizada na cidade de Santos – SP cujo *core business* é o transporte de carga e distribuição operando por todo território nacional. O artigo vale-se da simulação computacional para dimensionar a frota rodoviária de carga da empresa. Foi modelado primeiramente o “Cenário Atual” onde trata-se da situação atual que a empresa se encontra, posteriormente modelou-se o “Cenário Proposto” utilizando carretas diferentes. Segundo os autores este cenário evidenciou o mesmo nível de serviço com um menor número de veículos proporcionando um melhor aproveitamento dos recursos, o que foi constatado pelo aumento da produtividade em 28,6% em relação àquele.

Masiero (2008) utilizou um método heurístico para resolver o problema de dimensionamento de frota de uma transportadora que possui sede fora do Brasil e atua em mais de 200 países. A contribuição desse trabalho foi ganho monetário de R\$ 3 milhões pela redução da frota, aumento do número relativo de carretas por cavalo, que passou de 1,56 para 1,78, o que significa um melhor aproveitamento dos cavalos. Lembrando que o preço de um cavalo é quase cinco vezes maior que de uma carreta.

Fabício & Shubramanian (2008) trataram do problema de dimensionamento de frota de veículos rodoviários em uma indústria de bebidas de grande porte a qual possui 11 filiais e 14 carretas para efetuar a distribuição dos produtos para esses representantes. Foi proposto um modelo de programação inteira, na qual considerou a utilização de veículos próprios e de terceiros para atender a demanda, essa formulação matemática foi testada ao longo de um horizonte de 1 ano. O resultado foi a redução de 12% nos custos totais de transporte em relação aos dados reais para a operação estudada. Além disso, foi possível determinar o tamanho ótimo da frota em cada período, onde constatou que esta tem sido superdimensionada para efetuar tal operação.

Schein & Lima (2010) Apresentaram uma metodologia para o dimensionamento de frota de rebocadores em terminais portuários, fazendo uso do método da teoria das filas com a ideia de aplica-la ao Porto do Rio Grande, bem com encontrar o número de rebocadores adequado à movimentação do porto, de modo a obter economia e satisfação dos clientes. Com a devida modelagem do sistema, os autores chegaram à conclusão que a chegada dos navios era regida pela distribuição de Poisson e o processo de atendimento por uma distribuição Exponencial. Adicionando o custo de um rebocador por dia e restrições como jornada de trabalho no cálculo, chegaram à conclusão de que três rebocadores ofereceriam um bom nível de serviço a custos operacionais (Tabela 2). Esse estudo ainda fez uma análise de regressão com uma função potência para os anos de 2010 à 2015, dimensionando a frota dos rebocadores no futuro, o que tornou esse trabalho bem mais conveniente não se limitando apenas à situação na qual se encontrava.

Tabela 2 - Custo dos rebocadores

Nº de rebocadores	Custo operacional dos rebocadores (US\$/dia)	Custo operacional de espera dos navios (US\$/dia)	Custo total (US\$/dia)
2	13.000	10.517,57	23.510,57
3	19.500	1.464,66	20.964,66
4	26.000	253,71	26.253,71
5	32.500	41,97	32.541,97
6	39.000	6,58	39.006,58
7	45.500	0,91	45.500,91

Fonte: Schein & Lima (2010; p. 10)

Vasco (2012) utilizou uma abordagem diferente. Segundo ela, o seu modelo empregou pela primeira vez o problema de dimensionamento de frota simultaneamente com o problema de alocação dinâmica de veículos, também conhecido pela sigla PADV. Tãmanha é a complexidade desse problema que métodos como programação linear inteira, heurística e metaheurística foram utilizados em conjunto para a otimização do uso de veículos nos transportes de transferências de cargas entre terminais (VASCO & MORABITO NETO, 2011).

Barth & Michel (2012), a partir de uma análise inicial, constataram que haviam veículos ociosos por tempo demasiados nas dependências da empresa em estudo. Verificaram, assim, a necessidade de mensurar o nível de utilização operacional da frota. O dimensionamento de veículos realizado utilizou o método algébrico baseado no tempo de ciclo. O foco da pesquisa foi reduzir custos, foram englobados nos cálculos tanto os fixos quanto os variáveis.

Netto (2012), a partir de simulação matemática por eventos discretos, elaborou um modelo que permite a formulação de cenários cuja combinação de dois parâmetros (frota de navios e demanda de contêineres) fornecia a frota de contêineres vazios necessária para que não houvesse perda de transporte nas grandes empresas de navegação.

Redmer et al. (2012) procuraram resolver o problema de um armazém regional de combustível (deposito) que serve uma região com 100 postos de gasolina (clientes) através da heurística. Os pedidos dos clientes incluem quantidades aleatórias de 4 tipos de combustível, que são distribuídas por uma frota especializada de “caminhões-cisterna”, essa frota inclui 4 petroleiros e 8 câmaras que são caracterizadas por diferentes capacidades de carga. Uma vez que diferentes tipos de combustível não podem ser misturados entre si durante todo o processo de distribuição, o problema consiste em compor uma frota ideal de petroleiros para o atendimento da região servida garantindo a homogeneidade dos combustíveis.

Como visto nos diversos modelos apresentados anteriormente e resumidos no Quadro 5 e Quadro 6, percebe-se duas tendências dos academicos em relação ao problema de dimensionamento de frota. A primeira é a preferencia por determinados métodos para a resolução dessa problemática, como: formulação algébrica, programação linear, programação dinamica, teoria das filas, simulação e heurísticas; a segunda é, a medida que os anos se aproximam da atualidade, a quantidade numérica de estudos relacionados a este tema tem se multiplicado, aludindo na crescente preocupação dos estudiosos por essa área.

Quadro 5 - Comparativo das características dos modelos de dimensionamento de frota

Modelos	Dimensionamento	Frota	Custos	Demanda	Método	Algoritmo
Kirty (1959)	Quantificação	Homogênea própria ou terceirizada	Fixos	Determinística Cliente único	Fórmula algébrica	Otimização sem alocação de roteiros
Wyatt (1961)	Quantificação	Homogênea própria ou terceirizada	Fixos e variáveis	Determinística Cliente único	Fórmula algébrica	Otimização sem alocação de roteiros
Gould (1969)	Composição	Heterogênea própria ou terceirizada	Fixos e variáveis	Determinística Cliente único	Programação linear	Otimização sem alocação de roteiros
Mole (1975)	Quantificação	Homogênea própria ou terceirizada	Fixos e variáveis	Determinística Cliente único	Programação dinâmica	Otimização sem alocação de roteiros
Parikh (1977)	Composição	Heterogênea própria	Fixos e variáveis	Estocástica Múltiplos clientes	Teoria das filas	Aproximação matemática com alocação de roteiros
Paula Junior & Pereira (1980)	Composição e quantificação	Homogênea própria	Fixo e variáveis	Estocástica	Programação linear	Otimização com alocação de roteiros
Etezadi & Beasley (1983)	Composição	Heterogênea própria ou terceirizada	Fixos e variáveis	Determinística Cliente único	Programação linear	Simulação com alocação de roteiros
Seixas & Widmer (1993)	Composição e quantificação	Homogênea própria	Fixos e variáveis	Estocástica	Programação linear não inteira	Otimização sem alocação de roteiros
Teixeira & Cunha (2002)	Composição e quantificação	Homogênea própria	Fixos e variáveis	Estocástica	Heurística	Out-of-kilter com alocação de roteiros
Stringher (2004)	Quantificação	Homogênea Própria	Fixos e variáveis	Estocástica	Programação linear inteira	Baseado no tempo de ciclo com alocação de roteiros
Novaes (2004)	Composição e quantificação	Homogênea própria	Fixos e variáveis	Estocástica	Fórmula algébrica	Otimização sem alocação de roteiros
Yagui (2006)	Composição e quantificação	Homogênea própria ou terceirizada	Variáveis	Determinística e estocástica	Simulação e Programação linear	Otimização com alocação de roteiros
Barros e Nogueira Neto (2008)	Composição e quantificação	Heterogênea própria ou terceirizada	Fixo	Estocástica	Simulação	Otimização sem alocação de roteiros
Masiero (2008)	Composição e quantificação	Heterogênea própria	Fixo e variáveis	Determinística	Heurística (busca-tabu)	Otimização com alocação de roteiros
Fabício & Shubramanian (2008)	Composição e quantificação	Heterogênea própria ou terceirizada	Fixo e variáveis	Determinística	Programação inteira	Otimização com alocação de roteiros
Schein & Lima (2010)	Quantificação	Homogênea própria	Variável	Estocástica	Teoria das filas	Baseado no tempo de ciclo
Vasco & Morabito Neto (2012)	Composição e quantificação	Heterogênea própria	Fixos e variáveis	Determinística	Programação linear	Otimização sem alocação de roteiros

Fonte: Adaptado de Araujo (2002; p. 17)

Quadro 6 - Continuação do comparativo das características dos modelos de dimensionamento de frota

Modelos	Dimensionamento	Frota	Custos	Demanda	Método	Algoritmo
Barth & Michel (2012)	Composição e quantificação	Heterogênea própria	Fixo e variáveis	Determinística	Teoria das filas	Baseado no tempo de ciclo
Netto (2012)	Quantificação	Homogênea própria	Variáveis	Estocástica	Simulação	Otimização com alocação de roteiros
Redmer et al. (2012)	Quantificação	Homogênea própria	Fixos e variáveis	Estocástica	Heurística	Otimização com alocação de roteiros

Fonte: Adaptado de Araujo (2002; p. 17)

3.4.1.6. Algoritmos

Barth & Michel (2012) classificam a problemática do dimensionamento de frota de três formas distintas conforme seu algoritmo, sendo elas: como um problema de roteirização, como um problema de complexidade matemática sem o envolvimento de roteamento ou *scheduling* de veículos, ou se baseando no princípio do tempo de ciclo do veículo.

O primeiro trata a questão da quantificação da frota como uma consequência da roteirização de veículos. Em muitos trabalhos os autores consideram os veículos como dados de entrada para a resolução do problema, porém recebem pouca atenção na parte de resultados e conclusões. São problemas considerados de alta complexidade matemática combinatória do tipo NP-Difícil, que representa uma classe de problemas com ordem de complexidade exponencial. Nesse caso o esforço computacional para atingir a solução cresce exponencialmente com o tamanho do problema (MASIERO, 2008).

O segundo tipo se caracteriza por abordar o dimensionamento de forma isolada, tais problemas também são considerados de grande complexidade matemática. O terceiro e último algoritmo determina o tamanho da frota levando em conta o tempo de ciclo de cada veículo. O cálculo desse tempo de ciclo é resultado do somatório de todos os tempos que compõem a viagem são eles: tempo de carregamento, tempo de viagem ida, tempo de descarga, tempo de viagem de roteiro, tempo de viagem volta, tempo de espera. Essa questão, por sua vez é considerada como problema aproximativo sem complexidade matemática (BARTH & MICHEL, 2012).

3.4.2.Procedimento a serem seguidos

Com as características anteriores bem definidas, o dimensionamento de frota deve seguir uma sequência de passos, ou seja, uma metodologia onde se ressalta a importância da fase de recolhimento de dados, que deve ser realizada com precisão para garantir a acuraciadade dos dados (BARTH & MICHEL, 2012). Valente et al. (2013) aconselham alguns procedimentos a serem seguidos para a realização do dimensionamento de frota:

- Determinar a demanda mensal de carga;
- Fixar os dias de trabalho/mês e as horas de trabalho/dia;
- Verificar as rotas a serem utilizadas, analisando aclives, condições de tráfego, rugosidade da pista, tipo de estradas (asfaltada, de terra, cascalhada) etc.;
- Com dados sobre as rotas, determinar a velocidade de cruzeiro no percurso;
- Determinar os tempos de carga, descarga, espera, refeição e descanso do motorista etc.;
- Analisar as especificações técnicas de cada modelo de veículo disponível na praça, a fim de determinar o que melhor atende às exigências necessárias para o transporte desejado;
- Identificar a capacidade de carga útil do veículo escolhido;
- Calcular o número de viagens/mês possíveis de serem realizadas por veículo;
- Determinar o número de toneladas transportadas por veículo.

O sucesso da logística depende muito do desenvolvimento da tecnologia e informática e seu emprego nos processos de distribuição da empresa, ocasionando a integração dinâmica entre fornecedor-empresa-cliente que culmina na agilização da cadeia de suprimentos. A simulação nesse âmbito vem ganhando espaço, principalmente na elaboração de softwares e ferramenta computacionais que modelam situações reais facilitando as operações distribuição física e auxiliando a tomada de decisão.

3.5.Simulação

Pereira et al. (2012), afirmam que simulação pode ser definida como uma imitação de um sistema, ou um arcabouço de métodos e aplicações que procuram modelar de forma mais fidedigna possível o comportamento de sistemas reais, usualmente em um computador com o software apropriado.

Correia et al. (2012), consideram a simulação como um processo de desenvolvimento de um modelo de um sistema real, através desse modelo é permitido a conclusão de experimento com o intuito de entender o comportamento do sistema e avaliar várias estratégias, utilizando limites impostos por um critério ou conjunto de critérios, para a operação do sistema.

A modelagem tem sempre seu advento a partir do sistema que se almeja simular. Um sistema é composto por entidades que são processadas (documentos, clientes, produtos, informações), atividades que são realizadas (atendimento ao cliente, montagem e acabamento de produtos), recursos que são aproveitados (funcionários e máquinas) para realizar as atividades e controles (sequência de roteamento, programação de produção e instruções) que definem como, quando e onde as atividades são desempenhadas (HARREL, GHOSH & BOWDEN, 2004).

Um projeto de simulação, segundas conclusões de Montevechi et al. (2010), engloba três etapas como explicitado na Figura 7.

- A simulação começa na fase de concepção, aqui os pesquisadores estudam o processo a ser simulado, delimitam o sistema, definem os objetivos da pesquisa, a abrangência e o nível de detalhe do modelo. No decorrer dessa etapa é elaborado o modelo conceitual, que nada mais é do que uma abstração da realidade elaborada utilizando alguma ferramenta de mapeamento de processo;
- A etapa de implementação é realizada o modelo computacional, onde os analistas utilizam um software de simulação para construir o modelo computacional, o analista deve certificar-se da capacidade do modelo em simular a realidade. Um modelo é considerado validado se cumprir com as metas do modelo com exatidão necessária;

- Após a validação, analisa-se os resultados do modelo, chegando-se a última etapa do projeto de simulação, a etapa de análise. É nessa fase que os resultados coletados são analisados e considerados aptos para apoiarem a tomada de decisões.

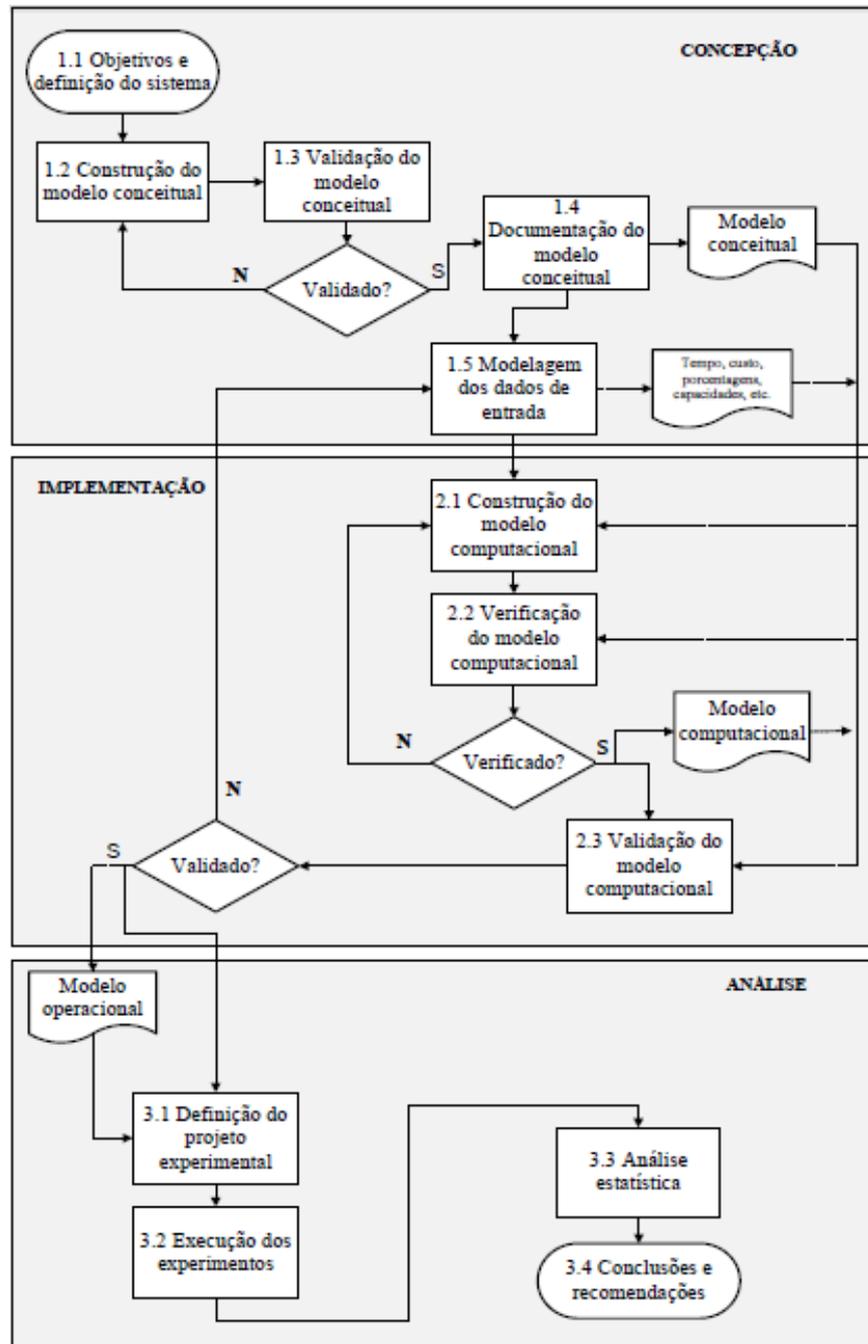


Figura 7 - Etapas do processo de simulação
Fonte: Montevechi et al (2010)

As ferramentas de simulação e os estudos baseados nelas pode mostrar fatores da função observada que não são intuídas, no que se refere ao comum. O andamento da simulação irá tornar claro como será a reação de determinadas qualidade do processo em um cenário variável ou hipotético, enquanto que sua conclusão mostrará se o processo é bem-sucedido e quais são os melhoramentos possíveis (ROQUINI et al., 2012).

Precisa ficar explícito que os métodos e técnicas utilizados para simulação, independentemente de quais forem, não oferecerão, necessariamente, resultados concretos e precisos a fim de que sejam referência de atitudes tomadas pelo gestor, contudo mostrarão sim quais são as possibilidades para os mais variados casos em questão. No entanto o estudo mostrará apenas resultados hipotéticos, a partir disso surge a necessidade de um raciocínio flexível por parte do planejador que deverá implementar o estudo ao modo que lhe for mais conveniente, assim, o sucesso do projeto dependerá meramente dessa qualidade e capacidade de posicionamento (ROQUINI et al., 2012).

4.RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo é dedicado ao estudo propriamente dito, com seu desencadeamento em análises dos resultados e discussões. Primeiramente é explicado o método preferido para implementação computacional, com um passo a passo devidamente discriminado, assim como os motivos para a sua escolha. Em segundo lugar é elucidada a ferramenta computacional engajado a dois exemplos testes e dois exemplos hipotéticos, com o intuito de explicar suas funcionalidades de uma maneira mais didática.

4.1.O Método de Novaes (2014)

Supõe-se uma situação comum a várias empresas de distribuição, onde uma determinada região, composta por diversas lojas ou clientes, é servida periodicamente por uma frota de veículos de entrega de mercadorias. Inicialmente é realizado o serviço de pré-venda, onde funcionários da empresa, geralmente de motocicletas, circulam pela região servida para anotar os pedidos dos clientes. Em um dia posterior à atividade de pré-venda o caminhão sai do depósito com uma lista dos produtos já comprados pelos consumidores, realizando apenas a entrega da mercadoria, não comercializando-a, aumentando assim a eficiência da distribuição. O ideal é que a frota saia no início da manhã totalmente carregada e volte completamente vazia ao final do expediente para o CD. Sabendo que o veículo tem que respeitar as restrições de capacidade e tempo (jornada de trabalho) onde, se voltar mais cedo, o veículo fica ocioso, se voltar tarde, implica em custos com horas extras, e se voltar no horário correto, mas com parte da carga, imputa na degradação do serviço ao cliente pois este estava programado para receber a mercadoria no dia e a mesma não foi efetuada. Com essa conjuntura, o veículo precisa ter o tamanho certo para voltar a tempo ao CD sem carga parcial e atendendo todos os clientes para qual estava planejado.

Para a resolução desse problema foi escolhido o modelo do custo unitário de Novaes (2004), cujo método obedece perfeitamente aos critérios impostos por essa pesquisa para a implementação computacional, sendo eles: o didatismo, diante a sua simplicidade e fácil entendimento, não possuindo alta complexidade matemática; cálculo trabalhoso, mesmo utilizando apenas formulações algébricas de fácil compreensão, sua resolução é árdua e demorada, demandando considerável tempo

para encontrar a solução final; simples manuseio, sendo fácil implementá-lo computacionalmente, não exigindo programação complexa, resultando num rápido tempo de processamento, ao passo que o desenvolvimento da ferramenta aspirou a redução substancial do tempo de resolução do problema; e finalmente a robustez, ou seja, a capacidade que o mesmo tem de resolver os mais variados tipos de problemas possíveis.

Diante disso, vários são os parâmetros que o modelo de Novaes (2004) considera, contribuindo para sua robustez. Quinze são as variáveis gerais analisadas, sendo elas listadas abaixo:

- Visitas por Semana – total de visitas realizadas pela equipe de vendas a cada bolsão de entrega;
- Ar – área da região servida;
- Total de Clientes – quantidade de clientes presentes uniformemente na região;
- k – coeficiente de correção de distância percorrida;
- Cobertura – porcentagem de clientes visitados que efetuaram compras;
- H – jornada de trabalho máxima da empresa;
- D1 – distância euclidiana do CD aos bolsões de entrega;
- V1 – velocidade média no trecho entre o CD e o bolsão de entrega;
- V2 – velocidade média dentro do bolsão de entrega;
- q – peso médio dos pedidos;
- σq – desvio padrão do peso médio dos pedidos;
- t_p – tempo de parada por cliente;
- σt_p – desvio padrão do tempo de parada por cliente;
- σt_1 – desvio padrão do tempo referente ao percurso do CD ao bolsão de entrega;
- σt_2 – desvio padrão do tempo referente ao percurso dentro do bolsão de entrega;

Outros parâmetros são considerados, esses dados não são gerais como os quinze mencionados anteriormente, mas sim, específicos a cada veículo em análise, conseqüentemente denominados de dados dos veículos, sendo eles: capacidade, custo fixo e custo variável. Os dados dos veículos somado aos dados gerais do

problema unem-se formando os dados operacionais, que servem de entrada para a resolução do problema.

Como todo modelo de dimensionamento de frota possui um conjunto de características, já discutidas e visualizadas no Quadro 3, que trata essa problemática conforme a necessidade presente a cada situação, se adaptando melhor a realidade. Com o modelo de Noves (2004) não é diferente, essas propriedades estão presentes e influenciam na qualidade da solução final. Portanto esse modelo é conhecido por ser um problema de quantificação e composição quanto ao dimensionamento do veículo; em relação à frota considera-a apenas homogênea; abarca tanto os custos fixos quanto os variáveis; por possuir variáveis aleatórias em relação a quantidade de mercadoria a ser entregue aos clientes pode-se considerar a demanda como estocástica; o método empregado é a formulação algébrica com algoritmo sem o emprego da roteirização de veículo (Quadro 7)

Quadro 7 - Características do modelo do custo unitário de Novaes (2004)

Características	Modelo do custo unitário de Novaes (2004)
Dimensionamento	Composição e quantificação
Frota	Homogênea
Custos	Fixo e variável
Demanda	Estocástica
Método	Formulação algébrica
Algoritmo	Sem o envolvimento de roteirização de veículo

Fonte: Próprio autor

Um viés desse modelo é a consideração da frota como homogênea (Quadro 7), não mesclando vários tipos de veículos a sua composição para se obter um menor custo global, porém grande parte das empresas optam por utilizar apenas um tipo de veículo, por facilitar o controle dos custos e a gestão da frota. Outra limitação é a não consideração de frota mista analisando os custos da frota própria com os de terceiros, já que a terceirização vem ganhando espaço na logística, apresentando alternativas convenientes para as empresas a um custo aceitável.

No entanto as características como o dimensionamento, o custo e a demanda (Quadro 7) são as mais abrangentes possíveis fazendo que esse método seja mais fiel à realidade das distribuidoras. Quanto ao dimensionamento, é considerado de composição e quantificação, pois não só mostra o melhor veículo para prestar o serviço, dentre outros analisados, como também quantifica-o, para essa característica específica, é a melhor opção. Quanto ao custo, abarca tanto os fixos quanto os variáveis, em detrimento de outros métodos que analisa apenas um desses custos. Quanto à demanda, o método a considera como estocástica, como a representação fiel de um sistema passa, inevitavelmente, pela aleatoriedade de seus eventos, o método estocástico se aproxima mais da realidade, portanto, conclui-se que a demanda estocástica quantifica de uma maneira mais fidedigna a demanda de uma empresa. Finalmente o algoritmo, é considerado sem o envolvimento de roteirização de veículo, pois resolve o problema de dimensionamento de frota de uma forma pura, respeitando o enfoque desta pesquisa que é, obviamente, o dimensionamento de frota, uma das áreas de pesquisa da logística.

Para facilitar o entendimento, o método do custo unitário foi organizado em 8 etapas, a saber:

- 1ª etapa – Rotina de cálculo;
- 2ª etapa – Cálculo das áreas;
- 3ª etapa – Cálculo do número de clientes visitados por zona;
- 4ª etapa – Cálculo da distância total percorrida;
- 5ª etapa – Cálculo do tempo de ciclo máximo;
- 6ª etapa – Cálculo do carregamento máximo;
- 7ª etapa – Verificação das restrições;
- 8ª etapa – Cálculo do custo unitário.

Cada uma dessas etapas possui procedimentos a serem seguidos, que podem ser visualizados no fluxograma apresentado na Figura 8. Cada procedimento possui sua fórmula provinda de simplificações e estudos de Novaes (2004). Todas elas são explicadas e comentadas no decorrer desta seção.

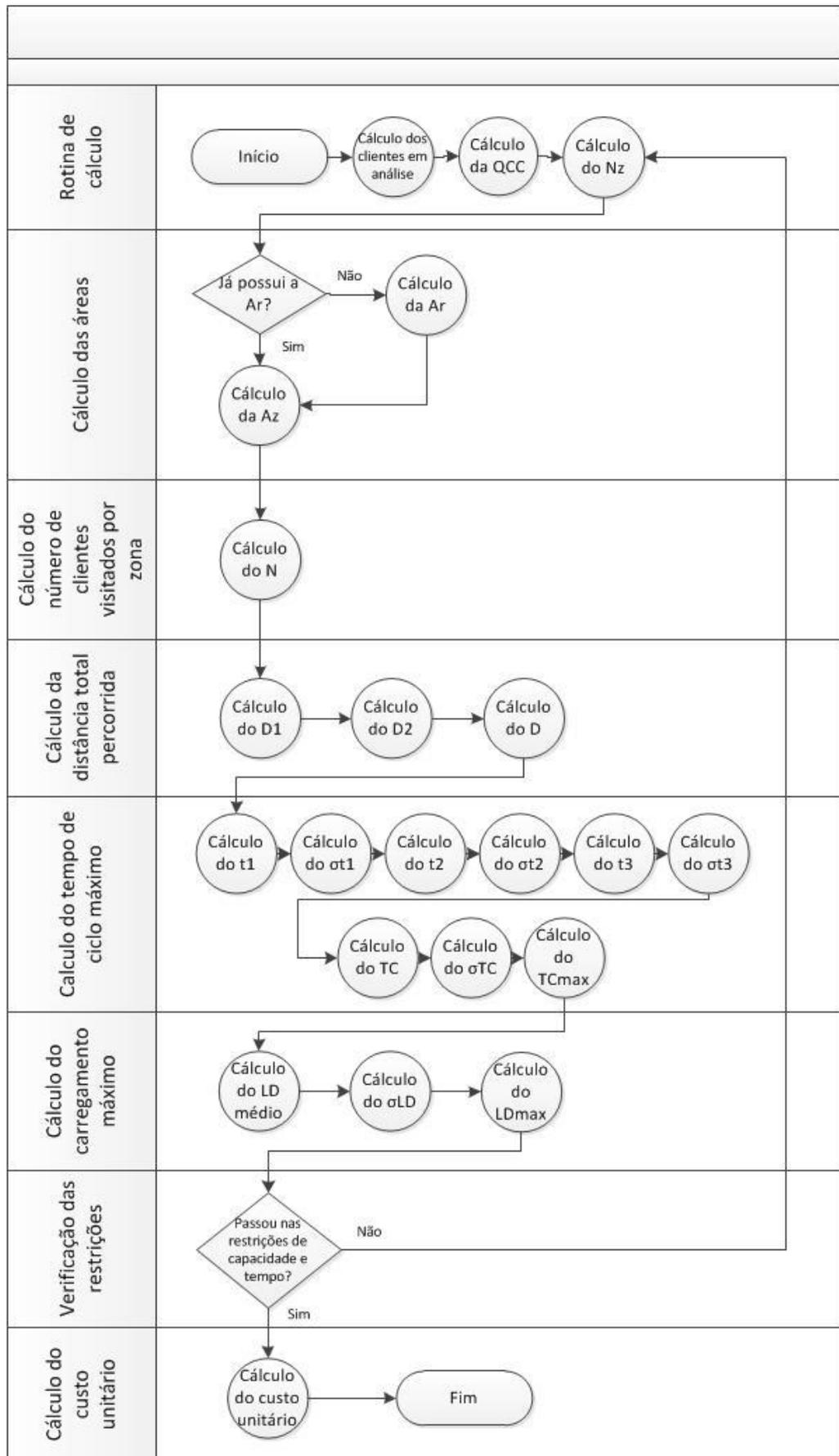


Figura 8 - Fluxograma do método do custo unitário
 Fonte: Adaptado de Novaes (2004)

Para facilitar a compreensão do método do custo unitário, supõe-se que são quatro os tipos de veículos a considerar na análise, cada um possui três variáveis: capacidade “W” em quilos, custo fixo “Cf” em R\$ por dia e custo variável “Cv” em R\$ por quilômetro percorrido, resumidos didaticamente no Quadro 8.

Quadro 8 - Informações dos veículos analisados

Variáveis	Veículo 01	Veículo 02	Veículo 03	Veículo 04
Capacidade (kg)	W1	W2	W3	W4
Custo Fixo (R\$/dia)	Cf1	Cf2	Cf3	Cf4
Custo Variável (R\$/km)	Cv1	Cv2	Cv3	Cv4

Fonte: Próprio autor

Escolhe-se um tipo de veículo para dimensionar sua frota, a ordem de escolha não interfere nos resultados, pois os cálculos para cada veículo são independentes. Portanto, o veículo escolhido será o do tipo 01.

Primeiramente define-se a quantidade de “Clientes em análise”, para isso é necessário conhecer o número de visitas realizado pelo caminhão na região servida por semana, de acordo com a oscilação da demanda a empresa pode optar em dividir o total de clientes em grupos menores, para facilitar o processo de distribuição. Muitas distribuidoras adotam apenas o domingo como dia de descanso para seus funcionários, trabalhando, conseqüentemente, os outros seis dias. Diante disso, para que cada cliente possa ser visitado ao menos uma vez a cada semana de maneira periódica, quatro são as opções possíveis:

- 1 visita por semana: a região servida é dividida em 6 grupos de clientes, onde cada grupo é visitado um dia da semana;
- 2 visitas por semana: a região servida é dividida em 3 grupos de clientes, onde cada grupo é visitado 2 dias a cada semana;
- 3 visitas por semana: a região servida é dividida em 2 grupos de clientes, onde cada grupo é visitado 3 dias na semana;
- 6 visitas por semana: a região servida possui apenas um grupo de clientes que são visitados todos os dias da semana.

Assim, a quantidade de clientes em análise considerada nos cálculos será alterada a medida que o número de visitas for mudado modificando conseqüentemente a quantidade de grupos (Tabela 3).

Tabela 3 - Total de clientes por grupo

Nº de visitas por semana	Qtd. de grupos	Clientes em análise
1	6	Total de Clientes <u>6</u>
2	3	Total de Clientes <u>3</u>
2	2	Total de Clientes <u>2</u>
6	1	Total de Clientes <u>1</u>

Fonte: Próprio autor

Portanto a fórmula que melhor se adapta a essa variação é a Equação 1.

$$\text{Clientes em análise} = \frac{\text{Total de clientes}}{\text{Qtd de grupos}} \quad (1)$$

É definida agora a quantidade de clientes que compraram “QCC”, tendo em vista que o serviço de pré-venda já foi realizado e a quantidade de grupos já definida. O “QCC” é calculado pela Equação 2, esse número é aproximado devido à quantidade efetiva de clientes que compraram a cada viagem do vendedor ao bolsão, e é resultado do produto da “Cobertura” e o “Total de clientes por visita”. Este é a quantidade total de clientes da empresa presentes na região servida. Como nem sempre todos os clientes compram é multiplicado por aquele, que simplesmente é um valor dado em percentual, por isso é realizado a divisão por 100.

$$\text{QCC} = \frac{\text{Cobertura} * \text{Clientes em análise}}{100} \quad (2)$$

Em seqüência é definido o número de zonas escolhido “Nz”. Como cada veículo é alocado em cada uma dessas zonas, pode se dizer que o “Nz” também refere-se a quantidade de veículos do tipo 01 necessária para a distribuição dos produtos, ou seja, o “Nz” é a dimensão da frota do veículo 01 e conseqüentemente o seu resultado. Mas isso não implica que os cálculos acabam aqui, são realizados testes mais a frente, onde existe restrições de capacidade e tempo, caso passe na primeira tentativa em ambas as restrições o “Nz” é a quantidade numérica ótima do veículo 01, caso não

passar em apenas uma das restrições, deverá crescer em uma unidade o “Nz” e refazer todos os cálculos até obedecer as duas restrições, esse *loop* é observado no fluxograma já apresentado na Figura 8. Portanto o número de zonas escolhido é dado pela Equação 3, onde “q” é quantidade média de produto entregue num cliente em quilos; “W1” é a capacidade, também em quilos, do veículo 01 vistos na Tabela 3.

$$Nz = \frac{QCC * q}{W1} \quad (3)$$

O cálculo da Equação 1, Equação 2 e Equação 3 configura-se a primeira etapa do método, também conhecida como “Rotina de cálculo”, onde é realizada a primeira tentativa com o veículo do tipo 01 e o número de zona escolhido “Nz” (Tabela 4). A medida que as restrições não são atendidas é realizada outra tentativa de número 02 com o “Nz” acrescido em uma unidade (Nz + 1). Caso ainda não atenda uma das restrições, realiza-se a tentativa 03 com Nz + 2, e assim sucessivamente.

Tabela 4 - Rotina de cálculo

Veículo escolhido	Número da tentativa	Número escolhido de zonas
01	01	Nz
01	02	Nz + 1
01	03	Nz + 2
⋮	⋮	⋮
01	n	Nz + n

Fonte: Próprio autor

Nessa segunda etapa é feito o cálculo das áreas. Primeiro se calcula a área da região a ser servida “Ar” em km², dada pela Equação 4. Para facilitar a conta da área da região servida, é adequado aproximá-la para o formato de um anel (Figura 9), cuja fórmula já se conhece, com dois raios “R1” e “R2” em km e um ângulo representado pela letra grega “θ” com unidade em graus. Se a empresa já conheça o valor numérico dessa região não necessita realizá-lo, partindo diretamente para a obtenção da área da zona “Az” também em km² (Equação 5).

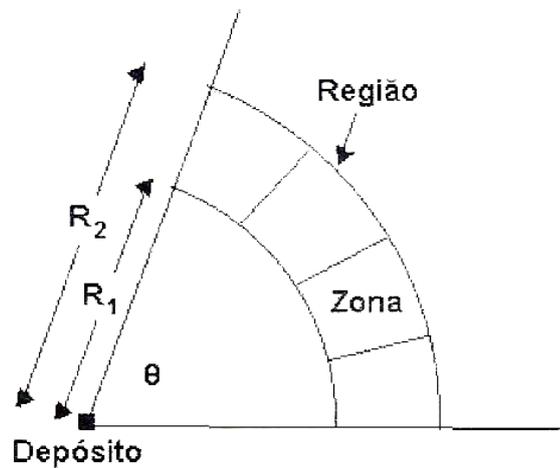


Figura 9 - Aproximação da região servida para um anel
Fonte: Novaes (2014)

$$A_r = \pi (R_2^2 - R_1^2) * \frac{\theta}{360} \quad (4)$$

$$A_z = \frac{A_r}{N_z} \quad (5)$$

Na terceira etapa obtém-se o número de clientes em cada zona, representada pela Equação 6. Como se sabe, a cada uma dessas zonas é alocado um veículo, por isso se torna mais conveniente realizar essa razão obtendo “N” cuja unidade é clientes visitados por zona, vale ressaltar que os cálculos daqui por diante utilizarão esse “N” como entrada.

$$N = \frac{QCC}{N_z} \quad (6)$$

Na quarta etapa são realizadas aproximações para o cálculo da distância total percorrida, sabe-se que a quilometragem cursada pelo veículo num roteiro é igual à soma de três componentes:

- Distância no depósito ou CD ao bolsão de entrega;
- Quilometragem percorrida dentro do bolsão;
- Distância do bolsão até o depósito.

Primeiramente é demonstrada a aproximação para a distância do CD ao bolsão de entrega, e vice-versa. Considera-se o mapa como um plano cartesiano, onde estão presente as coordenadas de dois pontos A e B (Figura 10). Assim é fácil calcular a distância d_{AB} em linha reta entre ambos, para distâncias relativamente curtas, basta

aplicar o Teorema de Pitágoras (Equação 7), onde, x_A , y_A e x_B , y_B são respectivamente as coordenadas dos pontos A e B. Para generalizar, d_{AB} será chamado de d_E , distancia euclidiana (Equação 8).



Figura 10 - Distância real e euclidiana entre dois pontos
Fonte: Próprio autor

$$d_{AB} = \sqrt{(x_A - x_B)^2 + (y_A - y_B)^2} \quad (7)$$

$$d_E = d_{AB} \quad (8)$$

Para ligações intermunicipais mais longas, a distância em linha reta medida num mapa precisa ser corrigida para levar em conta o efeito de curvatura da terra. Em geral, os SIG – Sistema de Informações Geográficas já fazem tal correção automaticamente.

Na grande maioria das vezes o veículo não percorre uma linha reta, mas viaja por vias urbanas ou rodovias quase sempre curvilíneas, no que tange a distância real ser maior do que a distância em linha reta. Além dos efeitos ocasionados pela trama viária, ocorrem implicações decorrentes de ruas de mão única, restrições de

cruzamento das vias principais e restrições de conversão à esquerda fazendo com que o percurso do veículo aumente. Neste caso, uma aproximação muito comum na estimativa da distância real é adquirida multiplicando um fator de correção k pela distância em linha reta ou distancia euclidiana (Equação 9).

$$d_{real} \cong k * dE \quad (9)$$

O valor de k é determinado obtendo uma amostra contendo uma série razoável de pares de pontos, para cada par, é calculado a distância em linha reta, bem como a distância real, através de uma análise estatística de regressão de calcula-se o valor de k . vale ressaltar que é comum nos artigos técnicos adotar k na faixa 1,35-1,40 para aplicações em regiões urbanas, porém o ideal é encontrar o valor do coeficiente para cada aplicação.

Como a distância real do depósito ou CD ao bolsão ou zona de entrega é igual à distância real da zona de entrega até o depósito, adiciona-se a constante multiplicativa 2 na Equação 9 e o “ d_{real} ” passa a ser chamado de “ $D1$ ” dando origem à Equação 10.

$$D1 = 2 * k * dE \quad (10)$$

Agora é realizada a aproximação para a distância percorrida dentro da zona ou bolsão de entrega. Estimativas como bolsão sem forma muito irregular e roteiro já estabelecido de forma ótima são essenciais para o cálculo com razoável precisão da extensão média do roteiro. Com essas aproximações pré-definidas a distância percorrida dentro do bolsão “ $D2$ ” se dá através da Equação 11, onde “ k ” é o coeficiente de correção já discutido; “ A ”, a área da zona em km^2 ; “ N ”, número de clientes visitados e 0,765, uma constante. Essa fórmula foi encontrada por meio de simulação de uma série de roteiro variando o número de clientes visitados, a forma da área e considerando uma distribuição aleatória de pontos dentro da zona.

$$D2 = 0,765 * k * \sqrt{A * N} \quad (11)$$

O percurso total “ D ” é dado pela soma de “ $D1$ ” (distância do percorrida do CD ao bolsão e vice-versa) com “ $D2$ ” (distância percorrida dentro do bolsão) apresentada na Equação 12.

$$D = D1 + D2 \quad (12)$$

Na quinta etapa, calcula-se o tempo necessário para completar um roteiro, também conhecido como tempo de ciclo, ou seja, o tempo decorrido desde a saída do veículo do CD até seu retorno ao mesmo ponto, e é composto por três outros elementos:

- t1 – tempo de percurso do CD ao bolsão e do bolsão ao CD;
- t2 – tempo de percurso dentro do bolsão;
- t3 – tempo de parada total, para fazer as entregas aos clientes;

“t1” é o tempo gasto para percorrer a distância “D1”, portanto é incorporando a esse tempo tanto o percurso de ida quanto o de volta do CD ao bolsão. Então divide-se essa distância percorrida pela velocidade média “V1” em km/h, encontrando “t1” em horas (Equação 13). Como esse tempo varia em função das condições do tráfego, possuindo natureza aleatória. Seu desvio padrão “σt1” é geralmente calculado como uma porcentagem do valor médio de “t1” (Equação 14). Nesse exemplo é adotado 15%.

$$t1 = \frac{D1}{V1} \quad (13)$$

$$\sigma t1 = 0,15 * t1 \quad (14)$$

Analogamente o tempo “t2” é estimado dividindo “D2” pela velocidade média empregada dentro do bolsão “V2” (Equação 15). O mesmo é realizado para o desvio padrão “σt2” (Equação 16).

$$t2 = \frac{D2}{V2} \quad (15)$$

$$\sigma t2 = 0,15 * t2 \quad (16)$$

O tempo total de parada nos clientes “t3” é estimado multiplicando o tempo médio de parada em cada cliente “tp” em minutos pelo número de clientes visitados “N”, dividindo esse produto por 60 para converter “t3” em horas (Equação 17). Seu desvio padrão “σt3” é dado pela Equação 18, onde “σtp” é o desvio padrão do tempo médio de parada em cada cliente.

$$t_3 = \frac{N * t_p}{60} \quad (17)$$

$$\sigma_3 = \sigma_{tp} * \sqrt{N} \quad (18)$$

Como todos os tempos discutidos anteriormente podem oscilar em função de variáveis imprevisíveis como tráfego, meteorologia, motorista quantidade de mercadorias entregue a cada cliente, é necessário obter estatisticamente o tempo de ciclo máximo “TCmax”. Como o “TC” e seu desvio padrão “σTC” são formados por uma série de tempos estatisticamente independentes a distribuição resultante pode ser representada por um normal (Figura 11).

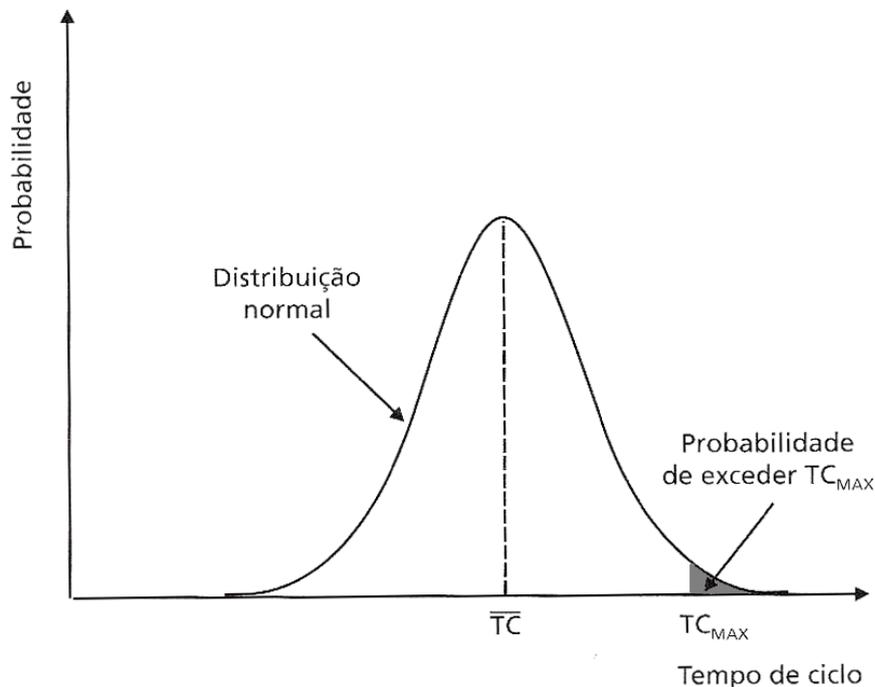


Figura 11 - Curva normal

Fonte: Adaptado de Barbetta, Reis & Bornia (2004; p. 214)

Dado um nível de confiança estatístico aceitável de 98% e distribuição monocaudal, pode-se calcular o valor máximo provável do tempo de ciclo. Sabe-se que a probabilidade de se observar um valor de “TC” menor ou igual a um certo “TCmax” é dado pela área embaixo da curva (Figura 11), onde a área à esquerda da média é igual à 0,5 e a área entre a média e o “TCmax” é tirada da tabela da distribuição normal (Tabela 5).

Tabela 5 - Área da distribuição normal

ξ	Área à direita da média	Área total sob a normal
2,02	0,4783	0,9783
2,03	0,4788	0,9788
2,04	0,4793	0,9793
2,05	0,4798	0,9798
2,06	0,4803	0,9803
2,07	0,4808	0,9808
2,08	0,4812	0,9812

Fonte: Adaptado de Barbetta, Reis & Bornia (2004; p. 377)

Da Tabela 5, percebe-se que para um nível de confiança de 98% deve-se adotar um coeficiente ξ igual à 2,06. O “TCmax” é calculado pela seguinte equação:

$$TC_{max} = TC + 2,06 * \sigma_{TC} \quad (19)$$

Onde o tempo médio de ciclo é a soma dos três tempos discutidos anteriormente (Equação 20) e o desvio padrão do tempo de ciclo é a soma dos desvios padrões também já mencionados (Equação 21).

$$TC = t_1 + t_2 + t_3 \quad (20)$$

$$\sigma_{TC} = \sqrt{\sigma_{t1}^2 + \sigma_{t2}^2 + \sigma_{t3}^2} \quad (21)$$

Na sexta etapa é estimado o carregamento máximo do veículo. Tudo que foi discutido para o tempo de ciclo vale também para o carregamento do caminhão. A lotação do caminhão é dada pela soma dos pedidos a ser entregue a cada cliente no roteiro. Assim, para 98% de certeza, o carregamento do veículo não pode ultrapassar um certo valor crítico “LDmax”, visto na Equação 22.

$$LD_{max} = LD * 2,06 * \sigma_{LD} \quad (22)$$

Onde “LD” é o carregamento médio dado pelo peso médio dos pedidos “q” em quilos multiplicado pela quantidade de clientes visitados no bolsão “N” (Equação 23), e o desvio padrão “ σ_{LD} ” é demonstrado pela Equação 24, onde “ σ_q ” é o desvio padrão de “q” em quilos.

$$LD = N * q \quad (23)$$

$$\sigma_{LD} = \sigma_q * \sqrt{N} \quad (24)$$

A escolha do veículo para compor a frota de distribuição só pode ser consolidada se forem obedecidas as restrições de tempo e capacidade, essa validação corresponde à sétima etapa dos cálculos.

O tempo de ciclo máximo precisa ser menor ou igual à jornada de trabalho da empresa “H” (Equação 25), frequentemente é considerado 8 horas, mas a depender da política da firma esse valor pode variar. Na prática, é melhor lançar mão de algumas horas-extras de uma forma controlada, há empresas que evitam essa prática alegando que os funcionários atrasam o serviço de maneira proposital só para ganhar a compensação. Verdade ou não, pior é a imposição de um limite relativamente baixo fazendo com que os veículos voltem mais cedo subutilizando não somente os caminhões, que compreende considerável investimento, mas também os motoristas e ajudantes levando a custos não competitivos por parte da empresa.

$$TC_{max} \leq H \quad (25)$$

Para o carregamento máximo, o “LDmax” precisa ser menor ou igual a capacidade “W1” do veículo em análise, mostrada na Equação 26.

$$LD_{max} \leq W1 \quad (26)$$

Vale lembrar que, ao dimensionar um sistema de distribuição sob a ótica do nível de serviço, a restrição de tempo normalmente é mais rígida do que a restrição de capacidade. No caso desta restrição, eventualmente pode ocorrer sobrecarga em algum caminhão, sendo facilmente redistribuído a mercadoria em excesso para outros caminhões ou até mesmo adicionando outro veículo no bolsão com demanda em demasia, isso é possível pois se tem conhecimento dessa situação antes do despacho do veículo. No caso daquela restrição o problema geralmente é constatado tardiamente, nessa situação o excedente acaba retornando ao CD no que tange a uma degradação na qualidade do serviço.

Se uma das duas restrições acima não forem obedecidas, a escolha do veículo combinado com a divisão das zonas não é factível. Assim sempre que as Equações 25 e 26 não forem respeitadas, será necessário reduzir a área do bolsão de entrega, ou aumentar a quantidade numérica das zonas e refazer todos os cálculos. Isso é

explicado através da equação 5, onde a área do bolsão “Ar” e número de zonas “Nz” são inversamente proporcionais. O ponto de partida agora passa a ser a Equação 3, onde aparece o “Nz” pela primeira vez, aditando-o sempre em uma unidade configurando uma rotina de cálculo (Tabela 4), esse *loop* ocorrerá até as restrições serem obedecidas.

Finalmente a oitava e última etapa, onde é realizado o cálculo do custo unitário do veículo 01 em R\$/Cliente. Vale ressaltar que esse procedimento só é válido se as restrições de tempo e capacidade forem satisfeitas. Portanto, o custo unitário é dado pela Equação 27. O custo variável do veículo 01 é multiplicado por “D”, onde o “cv1” oscila conforme a distância percorrida, esse produto é somado ao custo fixo do veículo 01 “cf1” e posteriormente dividido por “N”.

$$c = \frac{cf1 + D * cv1}{N} \quad (27)$$

Analogamente é feito o mesmo procedimento discutido anteriormente ao veículo 01, para os veículos 02, 03 e 04. Escolhendo-se aquele que apresentar melhor custo unitário. Percebe-se que os cálculos possuem baixa complexidade matemática, mas é muito trabalhoso se feito manualmente, demandando considerável tempo para sua resolução.

Todas as etapas juntamente com as fórmulas e as variáveis importantes para a aplicação do método do custo unitário de Novaes (2004) estão resumidas no Quadro 9.

Quadro 9 - Etapas do método

Etapa	Variáveis	Fórmulas
Rotina de cálculo	QCC = Quantidade de clientes que compram; Nz = Número de zonas; q = Quantidade média de produto entregue num cliente; W1 = Capacidade do veículo.	Clientes em análise = $\frac{\text{Total de clientes}}{\text{Qtd de grupos}}$ $QCC = \frac{\text{Cobertura} * \text{Clientes em análise}}{100}$ $Nz = \frac{QCC * q}{W}$
Cálculo das áreas	Ar = Área da região servida; R1 = Raio interno do anel; R2 = Raio externo do anel; θ = Ângulo; Az = Área da zona.	$Ar = \pi (R2^2 - R1^2) * \frac{\theta}{360}$ $Az = \frac{Ar}{Nz}$
Cálculo do número de clientes visitados numa zona	N = Número de clientes visitados por zona.	$N = \frac{QCC}{Nz}$
Cálculo da distância total percorrida	D1 = Distância percorrida do CD ao bolsão; k = Coeficiente de correção; dE = Distância euclidiana; D2 = Distância percorrida dentro do bolsão. D = Distância total percorrida.	$D1 = 2 * k * dE$ $D2 = 0,765 * k * \sqrt{A * N}$ $D = D1 + D2$
Cálculo do tempo de ciclo máximo	t1 = Tempo de percurso do CD ao bolsão; V1 = Velocidade média no trecho entre CD e zona; $\sigma t1$ = Desvio padrão de t1; t2 = Tempo de percurso dentro do bolsão; V2 = velocidade média dentro da zona; $\sigma t2$ = Desvio padrão de t2; t3 = Tempo total de parada; tp = Tempo médio de parada num cliente; $\sigma t3$ = Desvio padrão de t3; σtp = Desvio padrão do tempo de parada; TC = Tempo de ciclo; σTC = Desvio padrão do tempo de ciclo; TCmax = Tempo de ciclo máximo.	$t1 = \frac{D1}{V1}$ $\sigma t1 = 0,15 * t1$ $t2 = \frac{D2}{V2}$ $\sigma t2 = 0,15 * t2$ $t3 = \frac{N * tp}{60}$ $\sigma t3 = \frac{\sigma tp * \sqrt{N}}{60}$ $TC = t1 + t2 + t3$ $\sigma TC = \sqrt{\sigma t1^2 + \sigma t2^2 + \sigma t3^2}$ $TCmax = TC + 2,06 * \sigma TC$
Cálculo do carregamento máximo	LD = Carregamento médio; σLD = Desvio padrão de LD; LDmax = Carregamento máximo.	$LD = N * q$ $\sigma LD = \sigma q * \sqrt{N}$ $LDmax = LD * 2,06 * \sigma LD$
Verificação das restrições	H = Jornada de trabalho.	$TCmax \leq H$ $LDmax \leq W$
Cálculo do custo unitário	c = Custo unitário do veículo; cf = Custo fixo do veículo; cv = Custo variável do veículo.	$c = \frac{cf + D * cv}{N}$

Fonte: Próprio autor

4.2.A Ferramenta Computacional

A ferramenta computacional desenvolvida buscou tornar mais rápida a resolução do método do custo unitário de Novaes (2004) descrito anteriormente, bem como oferecer a uma empresa qualquer de distribuição em ambiente urbano, a solução do problema, uma análise de sensibilidade e outras informações relevantes que ajudarão o gestor a tomar boas decisões nesse âmbito, através de um ambiente de fácil manuseio.

Sua elaboração se deu pelo ambiente de desenvolvimento de aplicações orientado a objeto, chamado de *Delphi*, mais especificamente o *Delphi XE5* que é uma das mais novas versões na qual possui diversos novos recursos que permite criar poderosas aplicações baseadas no *MS Windows* com o mínimo de codificação.

A interface ferramenta computacional é apresentada na Figura 12, possui um *design* simples parecido com um programa do *Windows* qualquer, já que o *Delphi* utiliza os recursos do *Windows* para a elaboração dos seus aplicativos. Sua estrutura é dividida em: barra de títulos com o nome do programa, esta ferramenta foi denominada de “*Fleet Sizing*” do inglês dimensionamento de frota, essa barra ainda conta com três botões no canto superior direito típicos de um programa *Windows*: minimizar, restaurar e fechar; barra de menu, contendo duas opções: Dados e Resultados e Memória de Cálculo/Análise de Sensibilidade e finalmente o painel, onde situam-se os dados em geral de cada menu, com caixas de texto para entrar com os valores das variáveis ou retornar com os resultados e outras informações relevantes.

No primeiro tópico do menu (Dados e Resultados) no painel encontram-se três conjuntos de dados. Sendo eles os Dados Gerais do Dimensionamento, Dados dos Veículo e Resultados (Figura 12), no segundo tópico são encontrados a Memória de Cálculo e a Análise de Sensibilidade, que serão abordados mais adiante.

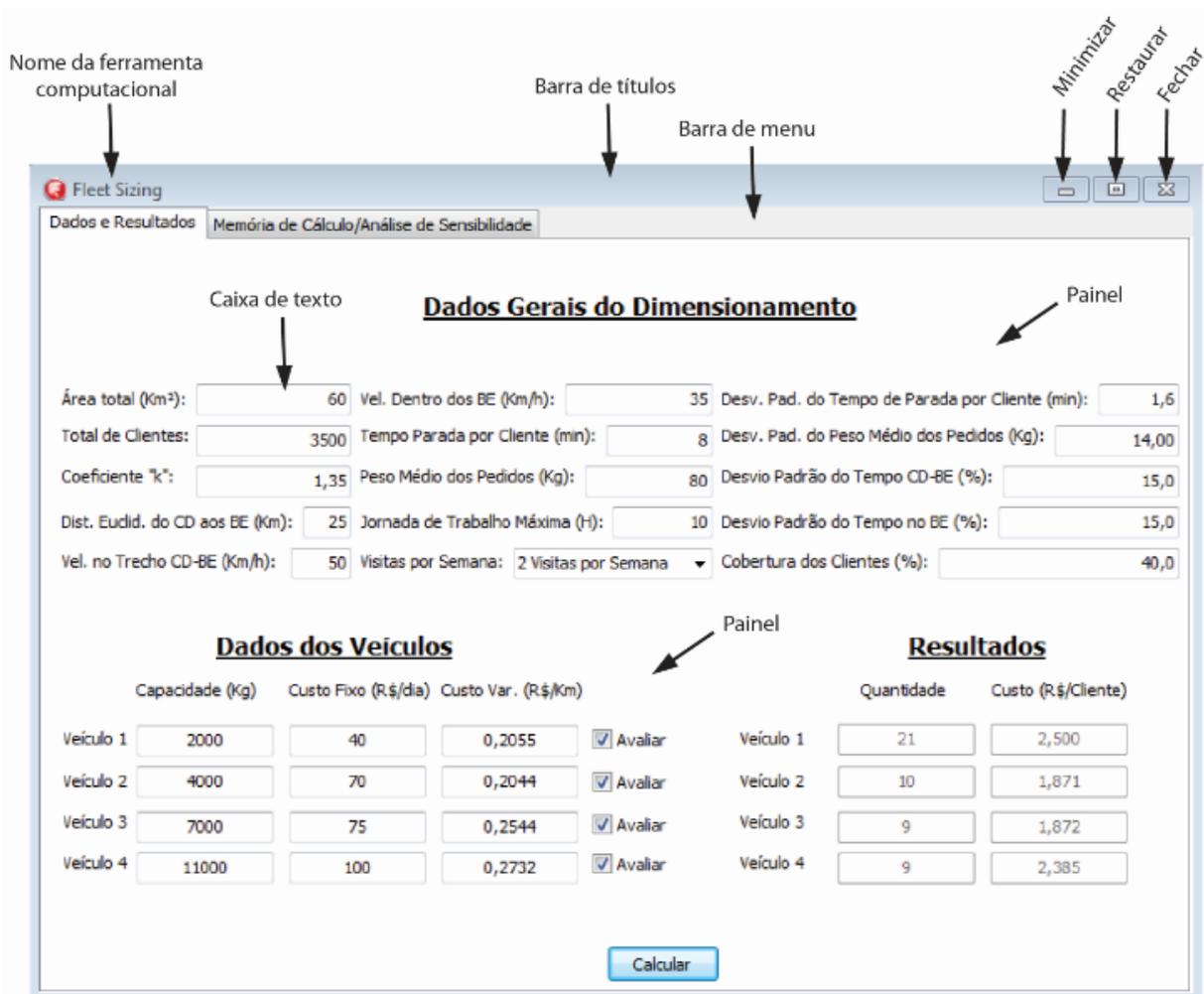


Figura 12 - Interface do "Fleet Sizing"
Fonte: Próprio autor

Para explicar as funcionalidades da ferramenta computacional foram empregados dois exemplos testes e uma situação hipotética para cada exemplo, visando atender dois objetivos: o primeiro é validar o "Fleet Sizing" comparando com os cálculos manuais apresentados ainda nessa seção, evidenciando a qualidade dos seus resultados, e o segundo é meramente ilustrativo, com o intuito de facilitar o entendimento do manuseio da ferramenta.

O contexto do primeiro exemplo teste é semelhante à situação na qual as empresas de distribuição em ambiente urbano se encontram e foi encontrado na literatura fruto do trabalho de Novaes (2004). Desenvolve-se da seguinte forma: uma região de aproximadamente 60 km² é servida por uma frota de veículos de entrega de mercadorias. A região é subdividida em zonas ou bolsões de entrega. A cada zona é alocado um veículo. A empresa funciona de segunda a sábado e todas os bolsões são visitados duas vezes por semana. A empresa tem 3.500 clientes distribuídos

uniformemente na área e funciona com o serviço de pré-venda onde vendedores passam comercializando em um dia e os caminhões entregam as mercadorias no outro. O depósito da empresa fica em uma região distante 25 km da área de distribuição de produtos. Outros dados gerais são apresentados a seguir:

- $K = 1,35$
- Cobertura = 40%
- $H = 10$ horas
- $V1 = 50$ km/h
- $V2 = 35$ km/h
- $q = 80$ kg
- $\sigma q = 14$ kg
- $t_p = 8$ minutos
- $\sigma t_p = 1,6$ minutos
- $\sigma t1 = 15\%$
- $\sigma t2 = 15\%$

Todos esses valores mencionados são encontrados em “Dados Gerais do Dimensionamento”, nele situa-se todos os parâmetros gerais do problema que servem de entrada para o cálculo da frota ideal, no total são 15 (Figura 13). Percebe-se que esse conjunto de dados não possui os raios “R1” e “R2” nem o ângulo “ θ ” da Equação 4 discutida anteriormente, pois a aproximação da área da região total para um anel só é realizada caso o gestor não tenha ideia da sua região servida, supõe-se então que já se tenha de antemão esse valor.

Dados Gerais do Dimensionamento

Área total (Km ²):	<input type="text" value="60"/>	Vel. Dentro dos BE (Km/h):	<input type="text" value="35"/>	Desv. Pad. do Tempo de Parada por Cliente (min):	<input type="text" value="1,6"/>
Total de Clientes:	<input type="text" value="3500"/>	Tempo Parada por Cliente (min):	<input type="text" value="8"/>	Desv. Pad. do Peso Médio dos Pedidos (Kg):	<input type="text" value="14,00"/>
Coefficiente "k":	<input type="text" value="1,35"/>	Peso Médio dos Pedidos (Kg):	<input type="text" value="80"/>	Desvio Padrão do Tempo CD-BE (%):	<input type="text" value="15,0"/>
Dist. Euclid. do CD aos BE (Km):	<input type="text" value="25"/>	Jornada de Trabalho Máxima (H):	<input type="text" value="10"/>	Desvio Padrão do Tempo no BE (%):	<input type="text" value="15,0"/>
Vel. no Trecho CD-BE (Km/h):	<input type="text" value="50"/>	Visitas por Semana:	<input type="text" value="2"/> <input type="text" value="Visitas por Semana"/>	Cobertura dos Clientes (%):	<input type="text" value="40,0"/>

Figura 13 - Dados Gerais do Dimensionamento do exemplo teste 1

Fonte: Próprio autor

Foi colocada uma caixa e opções no item “Visitas por Semana” para facilitar o preenchimento dessa variável (Figura 14). Caixa de opções é uma combinação de

uma caixa de texto com uma lista de itens, na qual um componente pode ser selecionado. Utiliza-se quando se deseja oferecer ao usuário uma série de opções predeterminadas e pouco espaço na janela do aplicativo para dispô-las, desta forma ao clicar na setinha a lista de opções é exibida. Neste caso a caixa de opções possui apenas quatro itens a serem escolhidos, como uma semana possui sete dias e as empresas adotam por não funcionar aos domingos, as opções são 1, 2, 3 ou 6 visitas por semana.

Dados Gerais do Dimensionamento

Área total (Km ²):	<input type="text" value="60"/>	Vel. Dentro dos BE (Km/h):	<input type="text" value="35"/>	Desv. Pad. do Tempo de Parada por Cliente (min):	<input type="text" value="1,6"/>
Ttal de Clientes:	<input type="text" value="3500"/>	Tempo Parada por Cliente (min):	<input type="text" value="8"/>	Desv. Pad. do Peso Médio dos Pedidos (Kg):	<input type="text" value="14,00"/>
Coefficiente "k":	<input type="text" value="1,35"/>	Peso Médio dos Pedidos (Kg):	<input type="text" value="80"/>	Desvio Padrão do Tempo CD-BE (%):	<input type="text" value="15,0"/>
Dist. Euclid. do CD aos BE (Km):	<input type="text" value="25"/>	Jornada de Trabalho Máxima (h):	<input type="text" value="10"/>	Desvio Padrão do Tempo no BE (%):	<input type="text" value="15,0"/>
Vel. no Trecho CD-BE (Km/h):	<input type="text" value="50"/>	Visitas por Semana:	<input type="text" value="5"/> <ul style="list-style-type: none"> 5 Visitas por Semana 6 Visitas por Semana 3 Visitas por Semana 2 Visitas por Semana 1 Visitas por Semana 	Cobertura dos Clientes (%):	<input type="text" value="40,0"/>

Figura 14 - Caixa de itens
Fonte: Próprio autor

Nos “Dados dos Veículo” são encontradas todas as variáveis referente aos veículos em análise, nessas caixas de texto são preenchidas como entrada: a capacidade, os custos fixos e os custos variáveis mencionados no Quadro 10. Foram adicionados botões de seleção denominado “Avaliar” para cada tipo de veículo, sua função é selecioná-los para o cálculo, caso não se deseje que determinado tipo entre na avaliação basta não marcá-lo, seus dados ficarão com uma coloração mais clara. A exemplo da Figura 15, onde os veículos do tipo 1 e 2 foram selecionados e os do tipo 3 e 4 não.

Quadro 10 - Informações dos veículos analisados do exemplo teste 1

Variáveis	Veículo 01	Veículo 02	Veículo 03	Veículo 04
Capacidade (kg)	2000	4000	7000	11000
Custo Fixo (R\$/dia)	40	70	75	100
Custo Variável (R\$/km)	0,2055	0,2044	0,2544	0,2732

Fonte: Próprio autor

Dados dos Veículos

	Capacidade (Kg)	Custo Fixo (R\$/dia)	Custo Var. (R\$/Km)	
Veículo 1	2000	40	0,2055	<input checked="" type="checkbox"/> Avaliar
Veículo 2	4000	70	0,2044	<input checked="" type="checkbox"/> Avaliar
Veículo 3	7000	75	0,2544	<input type="checkbox"/> Avaliar
Veículo 4	11000	100	0,2732	<input type="checkbox"/> Avaliar

Figura 15 - Dados dos Veículos do exemplo teste 1
Fonte: Próprio autor

Nos “Resultados” são mostrados os dados de saída, essas caixas de texto retornam a quantidade dos veículos em análise e os custos unitário por cliente. Vale ressaltar que, para esse exemplo, o melhor veículo para prestar o serviço de distribuição é o que possui menor custo, neste caso é o veículo 2 a um custo unitário de 1,871 R\$/Cliente e com sua frota dimensionada em 10 veículos (Figura 16).

Resultados

	Quantidade	Custo (R\$/Cliente)
Veículo 1	21	2,500
Veículo 2	10	1,871
Veículo 3	9	1,872
Veículo 4	9	2,385

Figura 16 - Resultados do exemplo teste 1
Fonte: Próprio autor

Para antecipar as dúvidas que possam existir ao que se refere à solução, foi colocado uma janela de texto, onde ao se clicar o botão calcular, aparece instantaneamente mencionando o melhor tipo de veículo (Figura 17).

Fleet Sizing

Dados e Resultados | Memória de Cálculo/Análise de Sensibilidade

Dados Gerais do Dimensionamento

Área total (Km²): Vel. Dentro dos BE (Km/h): Desv. Pad. do Tempo de Parada por Cliente (min):
 Total de Clientes: Tempo Parada por Cliente (min): Desv. Pad. do Peso Médio dos Pedidos (Kg):
 Coeficiente "k": D-BE (%):
 Dist. Eudid. do CD aos BE (Km): p BE (%):
 Vel. no Trecho CD-BE (Km/h):

Monografia

O veículo escolhido foi o de número: 2

OK

Dados dos Veículos

	Capacidade (Kg)	Custo Fixo (R\$/dia)	Custo Var. (R\$/Km)	
Veículo 1	<input type="text" value="2000"/>	<input type="text" value="40"/>	<input type="text" value="0,2055"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Avaliar
Veículo 2	<input type="text" value="4000"/>	<input type="text" value="70"/>	<input type="text" value="0,2044"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Avaliar
Veículo 3	<input type="text" value="7000"/>	<input type="text" value="75"/>	<input type="text" value="0,2544"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Avaliar
Veículo 4	<input type="text" value="11000"/>	<input type="text" value="100"/>	<input type="text" value="0,2732"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Avaliar

Resultados

	Quantidade	Custo (R\$/Cliente)
Veículo 1	<input type="text" value="21"/>	<input type="text" value="2,500"/>
Veículo 2	<input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="1,871"/>
Veículo 3	<input type="text" value="9"/>	<input type="text" value="1,872"/>
Veículo 4	<input type="text" value="9"/>	<input type="text" value="2,385"/>

Figura 17 - Mensagem de texto com o resultado
 Fonte: Próprio autor

No entanto ao se clicar no botão calcular, o “*Fleet Sizing*” também realiza todas as 8 etapas do método de uma maneira extremamente rápida, e informações importantes que aparecem no decorrer dos cálculos também são essenciais para o conhecimento do decisor, não se limitando em conhecer apenas os resultados. Por isso, o segundo tópico do menu foi desenvolvido para apresentar esses valores. Denominado de Memória de Cálculo/Análise de Sensibilidade contém um painel com todos os dados importantes do problema organizados em colunas para todos os veículos em análise (Figura 18). São importantes principalmente para se tomar decisões no âmbito operacional. Outro conjunto de dados apresentado é a Análise de Sensibilidade, importante para tomar decisões quanto a oscilações futuras. No decorrer dessa seção será explicado primeiro a Memória de Cálculo e posteriormente a Análise de Sensibilidade.

Memória de Cálculo					Análise de Sensibilidade		
	Veículo 1	Veículo 2	Veículo 3	Veículo 4		Mínimo	Máximo
Número de Clientes Total:	3500	3500	3500	3500	Total de Clientes:	3344	3564
Número de Clientes Análise:	467	467	467	467	Cobertura (%):	38,20	40,80
Distância CD-BE-CD:	67,50	67,5	67,5	67,5	Tempo Parada Médio:	7,60	9,80
Tempo Percurso CD-BE-CD:	1,35	1,35	1,35	1,35	Peso Médio:	73,10	81,50
DP Percurso CD-BE-CD:	0,20	0,20	0,20	0,20			
Distância no BE:	8,23	17,28	19,20	19,20			
Tempo Percurso no BE:	0,24	0,49	0,55	0,55			
DP Tempo Percurso BE:	0,04	0,07	0,08	0,08			
Tempo Parada BE:	2,96	6,22	6,91	6,91			
DP Parada no BE:	0,13	0,18	0,19	0,19			
Tempo de Ciclo Máximo:	5,04	8,65	9,41	9,41			
Carga Máxima:	1913,73	3930,35	4355,82	4355,82			

Figura 18 - Memória de Cálculo/Análise de Sensibilidade
Fonte: Próprio autor

A Memória de Cálculo corresponde aos valores relevantes que a ferramenta retorna à medida que desenvolve os cálculos, informações como: número de clientes em análise, carga máxima, tempo de ciclo máximo, todas as distâncias percorridas, os desvios padrões tanto dos tempos quanto da carga, bem como os tempos devidamente destrinchados para cada tipo de veículo. Esses dados são de suma importância para se ter conhecimento mesmo não sendo a solução do problema (Figura 18).

Em sequência, é demonstrado o passo a passo realizado pelo “*Fleet Sizing*”, ao desenrolar dos cálculos informações importantes vão surgindo, necessitando-se apresentá-las na ferramenta computacional. O Quadro 11 e o Quadro 12 demonstram a resolução do exemplo teste 1, considerando o veículo do tipo 1. Percebe-se que o problema pede inicialmente um $N_z = 19$ veículos (Quadro 11) o mesmo não é resolvido, pois não atende a restrição de capacidade (Quadro 12).

Quadro 11 - Resolução manual do exemplo teste 1 para o veículo 1 com Nz=19

Etapa	Fórmulas	Exemplo teste 1
Rotina de cálculo	$\text{Clientes em análise} = \frac{\text{Total de clientes}}{\text{Qtd de grupos}}$	$\text{Clientes em análise} = \frac{3.500}{3}$ <p>Clientes em análise = 1.667 clientes em análise</p>
	$\text{QCC} = \frac{\text{Cobertura} * \text{Clientes em análise}}{100}$	$\text{QCC} = \frac{40 * 1.667}{100}$ <p>QCC = 467 clientes que compraram</p>
	$\text{Nz} = \frac{\text{QCC} * q}{W}$	$\text{Nz} = \frac{467 * 80}{2.000}$ <p>Nz = 18,68 \cong 19 veículos</p>
Cálculo da área	$\text{Az} = \frac{\text{Ar}}{\text{Nz}}$	$\text{Az} = \frac{60}{19}$ <p>Az = 3,16 km²por zona</p>
Cálculo do número de clientes visitados numa zona	$\text{N} = \frac{\text{QCC}}{\text{Nz}}$	$\text{N} = \frac{467}{19}$ <p>N = 24,58 clientes por veículo</p>
Cálculo da distância total percorrida	$\text{D1} = 2 * k * dE$	$\text{D1} = 2 * 1,35 * 25$ <p>D1 = 67,5 km</p>
	$\text{D2} = 0,765 * k * \sqrt{A * N}$	$\text{D2} = 0,765 * 1,35 * \sqrt{3,16 * 24,58}$ <p>D2 = 9,10 km</p>
	$\text{D} = \text{D1} + \text{D2}$	$\text{D} = 67,5 + 9,10$ <p>D = 76,6 km</p>

Fonte: Próprio autor

Quadro 12 - Continuação da resolução manual do exemplo teste 1 para o veículo 1 com Nz=19

Etapa	Fórmulas	Exemplo teste 1
Cálculo do tempo de ciclo máximo	$t1 = \frac{D1}{V1}$ $\sigma t1 = 0,15 * t1$	$t1 = \frac{67,5}{50}$ $t1 = 1,35 \text{ horas}$ $\sigma t1 = 0,15 * 1,35$ $\sigma t1 = 0,20 \text{ horas}$
	$t2 = \frac{D2}{V2}$ $\sigma t2 = 0,15 * t2$	$t2 = \frac{9,10}{35}$ $t2 = 0,26 \text{ horas}$ $\sigma t2 = 0,15 * 0,26$ $\sigma t2 = 0,04 \text{ horas}$
	$t3 = \frac{N * tp}{60}$ $\sigma t3 = \frac{\sigma tp * \sqrt{N}}{60}$	$t3 = \frac{24,58 * 8}{60}$ $t3 = 3,28 \text{ horas}$ $\sigma t3 = \frac{1,6 * \sqrt{24,58}}{60}$ $\sigma t3 = 0,13 \text{ horas}$
	$TC = t1 + t2 + t3$ $\sigma TC = \sqrt{\sigma t1^2 + \sigma t2^2 + \sigma t3^2}$ $TC_{max} = TC + 2,06 * \sigma TC$	$TC = 1,35 + 0,26 + 3,28$ $TC = 4,89 \text{ horas}$ $\sigma TC = \sqrt{0,20^2 + 0,04^2 + 0,13^2}$ $\sigma TC = 0,24 \text{ horas}$ $TC_{max} = 4,89 + 2,06 * 0,24$ $TC_{max} = 5,4 \text{ horas}$
Cálculo do carregamento máximo	$LD = N * q$ $\sigma LD = \sigma q * \sqrt{N}$ $LD_{max} = LD * 2,06 * \sigma LD$	$LD = 24,58 * 80$ $LD = 1.966,4 \text{ kg}$ $\sigma LD = 14 * \sqrt{24,58}$ $\sigma LD = 69,41 \text{ kg}$ $LD_{max} = 1.966,4 + 2,06 * 69,41$ $LD_{max} = 2.109,38 \text{ kg}$
Verificação das restrições	$TC_{max} \leq H$ $LD_{max} \leq W$	$5,39 \leq 10$ Verdadeiro $2.109,38 \leq 2.000$ Falso
Cálculo do custo unitário	$c = \frac{cf + D * cv}{N}$	Por não passar na restrição de capacidade, essa etapa não precisa ser realizada.

Fonte: Próprio autor

Diante disso, o “Nz” é acrescido em mais uma unidade até passar nas duas restrições, o cálculo a partir de agora começa diretamente pelo “Nz” não necessitando calcular os “Clientes em análise” e o “QCC” pois esses valores permanecem constantes. Para abreviar essa demonstração, o “Nz” ideal é 21, passando na restrição de capacidade apenas na terceira tentativa, pois a segunda tentativa com o “Nz” igual a 20, também não obedece a restrição de carga máxima. Configura-se assim, uma rotina de cálculo para o veículo 1 com três tentativas, começando com o Nz=19 e terminando com o Nz=21. O Quadro 13 e o Quadro 14 desdobram a resolução para o número de zonas igual a 21, encontrado mais especificamente no Quadro 13, bem como a aprovação nas restrições e finalmente o custo unitário por cliente visualizados no Quadro 14.

Quadro 13 - Resolução manual do exemplo teste 1 para o veículo 1 com Nz=21

Etapa	Fórmulas	Exemplo teste 1
Rotina de cálculo	$Nz = \frac{QCC * q}{W}$	Nz = 21 veículos
Cálculo da área	$Az = \frac{Ar}{Nz}$	$Az = \frac{60}{21}$ Az = 2,86 km ² por zona
Cálculo do número de clientes visitados numa zona	$N = \frac{QCC}{Nz}$	$N = \frac{467}{21}$ N = 22,24 clientes por veículo
Cálculo da distância total percorrida	$D1 = 2 * k * dE$	$D1 = 2 * 1,35 * 25$ D1 = 67,5 km
	$D2 = 0,765 * k * \sqrt{A * N}$	$D2 = 0,765 * 1,35 * \sqrt{2,86 * 22,24}$ D2 = 8,23 km
	$D = D1 + D2$	$D = 67,5 + 8,23$ D = 75,73 km

Fonte: Próprio autor

Quadro 14 - Continuação da resolução manual do exemplo teste 1 para o veículo 1 com Nz=21

Etapa	Fórmulas	Exemplo teste 1
Cálculo do tempo de ciclo máximo	$t1 = \frac{D1}{V1}$ $\sigma t1 = 0,15 * t1$	$t1 = \frac{67,5}{50}$ $t1 = 1,35 \text{ horas}$ $\sigma t1 = 0,15 * 1,35$ $\sigma t1 = 0,20 \text{ horas}$
	$t2 = \frac{D2}{V2}$ $\sigma t2 = 0,15 * t2$	$t2 = \frac{8,23}{35}$ $t2 = 0,24 \text{ horas}$ $\sigma t2 = 0,15 * 0,24$ $\sigma t2 = 0,04 \text{ horas}$
	$t3 = \frac{N * tp}{60}$ $\sigma t3 = \frac{\sigma tp * \sqrt{N}}{60}$	$t3 = \frac{22,24 * 8}{60}$ $t3 = 2,96 \text{ horas}$ $\sigma t3 = \frac{1,6 * \sqrt{22,24}}{60}$ $\sigma t3 = 0,13 \text{ horas}$
	$TC = t1 + t2 + t3$ $\sigma TC = \sqrt{\sigma t1^2 + \sigma t2^2 + \sigma t3^2}$ $TC_{max} = TC + 2,06 * \sigma TC$	$TC = 1,35 + 0,24 + 2,96$ $TC = 4,55 \text{ horas}$ $\sigma TC = \sqrt{0,20^2 + 0,04^2 + 0,13^2}$ $\sigma TC = 0,24 \text{ horas}$ $TC_{max} = 4,55 + 2,06 * 0,24$ $TC_{max} = 5,39 \text{ horas}$
Cálculo do carregamento máximo	$LD = N * q$ $\sigma LD = \sigma q * \sqrt{N}$ $LD_{max} = LD * 2,06 * \sigma LD$	$LD = 22,23 * 80$ $LD = 1.778,2 \text{ kg}$ $\sigma LD = 14 * \sqrt{22,24}$ $\sigma LD = 66,02 \text{ kg}$ $LD_{max} = 1.779,4 + 2,06 * 66,02$ $LD_{max} = 1.913,73 \text{ kg}$
Verificação das restrições	$TC_{max} \leq H$ $LD_{max} \leq W$	$5,39 \leq 10 \text{ Verdadeiro}$ $1.915,20 \leq 2.000 \text{ Verdadeiro}$
Cálculo do custo unitário	$c = \frac{cf + D * cv}{N}$	$c = \frac{40 + 75,73 * 0,2055}{22,23}$ $c = 2,500 \text{ R\$/Cliente}$

Fonte: Próprio autor

Todas as informações importantes do veículo 1 apresentadas nos Quadros 13 e 14 estão devidamente evidenciadas na Memória de Cálculo da ferramenta computacional (Figura 19), e ao compara-las (resultados do Quadro 13 e 14 com os da Figura 19) percebe-se que todos os valores estão coerentes e perfeitamente iguais.

Uma vez que esses valores estão reunidos, pode-se extrair algumas informações interessantes ao se visualizar esse conjunto de dados da ferramenta (Figura 19), como: em relação ao Tempo de Ciclo Máximo e a Carga Máxima de todos os veículos, conclui-se que os do tipo 1 e 2 estão com folga de tempo enquanto os do tipo 3 e 4 estão com folga de capacidade; veículos de maior capacidade percorre uma distancia maior dentro do bolsão; em média os veículos 1, 2, 3 e 4 passam maior parte do tempo parado descarregando a mercadoria do que viajando pela cidade, com porcentagens aproximadas de 58%, 72%, 73% e 73% respectivamente, isso implica em decisões para a melhoria na operação de descarga como o melhor arranjo da carga no veículo, contribuido para a redução do seu tempo.

Memória de Cálculo

	Veículo 1	Veículo 2	Veículo 3	Veículo 4
Número de Clientes Total:	3500	3500	3500	3500
Número de Clientes Análise:	467	467	467	467
Distância CD-BE-CD:	67,50	67,5	67,5	67,5
Tempo Percurso CD-BE-CD:	1,35	1,35	1,35	1,35
DP Percurso CD-BE-CD:	0,20	0,20	0,20	0,20
Distância no BE:	8,23	17,28	19,20	19,20
Tempo Percurso no BE:	0,24	0,49	0,55	0,55
DP Tempo Percurso BE:	0,04	0,07	0,08	0,08
Tempo Parada BE:	2,96	6,22	6,91	6,91
DP Parada no BE:	0,13	0,18	0,19	0,19
Tempo de Ciclo Máximo:	5,04	8,65	9,41	9,41
Carga Máxima:	1913,73	3930,35	4355,82	4355,82

Figura 19 - Memória de Cálculo do exemplo teste 1
Fonte: Próprio autor

A Análise de Sensibilidade trata de uns dos principais dados do “*Fleet Sizing*” alguns autores afirmam que essas informações são mais interessantes que a própria solução do problema, pois é a partir dela que se toma decisões quanto a oscilações futuras do mercado. Seu objetivo é determinar qual o intervalo de variação dos parâmetros em análise sem que a solução seja mudada e com a conveniência de não voltar a resolver o problema. Quatro são os parâmetros analisados pela ferramenta computacional (Figura 20), foram escolhidos devido ao alto grau de oscilação, bem como a elevada sensibilidade que a solução possui em mudar com pequena variação dessas variáveis.

Análise de Sensibilidade

	Mínimo	Máximo
Total de Clientes:	3344	3564
Cobertura (%):	38,20	40,80
Tempo Parada Médio:	7,60	9,80
Peso Médio:	73,10	81,50

Figura 20 - Análise de Sensibilidade do exemplo teste 1
Fonte: Próprio autor

Os limites máximo e mínimo representam os extremos do intervalo na qual a solução é mantida, ou seja, permanece inalterável a medida que os parâmetros são mudados (Figura 20). Para este exemplo teste, a solução foi 10 veículos do tipo 2 (Figura 16) com 3.500 clientes distribuídos uniformemente na região servida. No entanto, o resultado é alterado para 9 veículos do tipo 3 quando o total de clientes aumentar para além 3.564 e para 8 veículos do tipo 3 quando o total de clientes diminuir para aquém 3.344 (Quadro 15). A mesma analogia é realizada aos demais parâmetros: Cobertura, Tempo de Parada Médio e Peso Médio.

Quadro 15 - Solução do problema em relação à variação dos valores dos parâmetros do exemplo teste 1

Parâmetro	Valor \leq Mínimo	Mínimo < Valor < Máximo	Valor \geq Máximo
Total de Clientes	8 veículos do tipo 3	10 veículos do tipo 2	9 veículos do tipo 3
Cobertura (%)	8 veículos do tipo 3	10 veículos do tipo 2	9 veículos do tipo 3
Tempo Para Médio	8 veículos do tipo 3	10 veículos do tipo 2	11 veículos do tipo 2
Peso Médio	10 veículos do tipo 2	10 veículos do tipo 2	9 veículos do tipo 3

Fonte: Próprio autor

Supõe-se agora que alguns parâmetros do exemplo teste 1 serão alterados hipoteticamente, ocasionando, assim a situação hipotética 1. De um modo contextualizado, essas alterações são:

- Devido a nova política de funcionamento da empresa, a quantidade de visitas agora passou de duas vezes por semana para 1 vez por semana;
- A empresa sentiu a necessidade de adquirir uma nova linha de produtos para distribuição, porém essa mercadoria é de difícil manuseio aumentando, conseqüentemente, o tempo de descarregamento, contribuindo para o aumento do tempo de parada por cliente de 8 para 13 minutos;
- O gestor da empresa achou que a sua cobertura estava pequena e destinou mais recursos ao marketing para aumentar o valor de 40% para 75%, fazendo com que mais cliente comprem seus produtos.

A resolução manual para essa nova situação está evidenciada no Quadro 16, onde são encontrados todos os dados gerais do dimensionamento e dos veículos, bem como a solução final.

Quadro 16 - Dados operacionais e resolução manual do exemplo hipotético 1

Dados gerais do dimensionamento					
Parâmetros	Valor	Parâmetros	Valor	Parâmetros	Valor
Ar (km ²)	60	V2 (km/h)	35	σtp (min)	1,6
Total de clientes	3.500	tp (min)	13	σq (kg)	14
kj	1,35	q (kg)	80	σt1 (%)	15
Distância CD-BE (km)	25	H (horas)	10	σt2 (%)	15
V1 (km/h)	50	Visitas por semana	1	Cobertura	75
Dados dos veículos					
	Veículo 01	Veículo 02	Veículo 03	Veículo 04	
Capacidade (kg)	2000	4000	7000	11000	
cf (R\$/dia)	40	70	75	100	
cv (R\$/km)	0,2055	0,2044	0,2544	0,2732	
Resultados					
	Veículo 01	Veículo 02	Veículo 03	Veículo 04	
Quantidade	19	13	13	13	
Custo unitário (R\$/cliente)	2,418	2,568	2,836	3,624	

Fonte: Próprio autor

Ao comparar os resultados presente no Quadro 16 com a Figura 21 referente a solução final calculada pela ferramenta computacional, percebe-se que os valores são idênticos, elucidando o veículo 1 com quantidade de 19 como o melhor veículo para realizar o serviço de distribuição.

Resultados

	Quantidade	Custo (R\$/Cliente)
Veículo 1	19	2,418
Veículo 2	13	2,568
Veículo 3	13	2,836
Veículo 4	13	3,624

Figura 21 - Resultados do "Fleet Sizing" para o exemplo hipotético 1
Fonte: Próprio autor

Outra situação encontrada na literatura é o exemplo teste 2 de Novaes (2014), este cenário em questão é totalmente diferente do primeiro exemplo teste em relação aos dados operacionais da empresa e analisa apenas três tipos de veículos, sendo eles: VW Kombi furgão, MB Furgão 712 e Ford 12.000 furgão (Quadro 17).

Quadro 17 - Dados operacionais e resolução manual do exemplo teste 2

Dados gerais do dimensionamento					
Parâmetros	Valor	Parâmetros	Valor	Parâmetros	Valor
Ar (km ²)	42,39	V2 (km/h)	25	σtp (min)	2,1
Total de clientes	424	tp (min)	7	σq (kg)	17
k	1,4	q (kg)	65	σt1 (%)	15
Distância CD-BE (km)	12	H (horas)	10	σt2 (%)	15
V1 (km/h)	30	Visitas por semana	6	Cobertura	100
Dados dos veículos					
	VW Kombi furgão	MB Furgão 712	Ford 12.000 furgão		
Capacidade (kg)	1.005	3.989	7.786		
cf (R\$/dia)	72,53	87,00	94,33		
cv (R\$/km)	0,1755	0,1888	0,2374		
Resultados					
	VW Kombi furgão	MB Furgão 712	Ford 12.000 furgão		
Quantidade	32	15	15		
Custo unitário (R\$/cliente)	6,513	3,942	4,423		

Fonte : Próprio autor

A resposta tanto para o cálculo manual (Quadro 17) quanto para a ferramenta computacional (Figura 22) é de 15 veículos do tipo 2 (MB Furgão 712) para a realização do serviço de distribuição, por possuir o menor custo unitário.

Resultados

	Quantidade	Custo (R\$/Cliente)
Veículo 1	32	6,513
Veículo 2	15	3,942
Veículo 3	15	4,423
Veículo 4		

Figura 22 - Resultados do “Fleet Sizing” para o exemplo teste 2
Fonte: Próprio autor

Altera-se agora alguns parâmetros do exemplo teste 2 ocasionando, assim a situação hipotética 2. De um modo contextualizado, essas alterações são:

- A empresa cresceu acarretando no aumento da área da região de 42,49 para 101 km²;
- O total de clientes dobrou passando para 848;
- Os novos clientes aumentaram o peso médio dos pedidos de 65 para 72 kg
- Aumentou também o k de 1,4 para 1,55 pois as novas áreas urbanas atingidas possuem uma malha viária complexa de difícil transição;
- A empresa precisou aumentar a capacidade de seu CD, como seu depósito é alugado e para não fazer reforma, mudou para um CD maior e mais próximo a uma distância de 5 km dos bolsões de entrega.

A resolução manual para essa nova situação está evidenciada no Quadro 18, onde são encontrados todos os parâmetros alterado para o exemplo hipotético 2.

Quadro 18 - Dados operacionais e resolução manual do exemplo hipotético 2

Dados gerais do dimensionamento					
Parâmetros	Valor	Parâmetros	Valor	Parâmetros	Valor
Ar (km ²)	101	V2 (km/h)	25	otp (min)	2,1
Total de clientes	848	tp (min)	7	σq (kg)	17
k	1,55	q (kg)	72	σt1 (%)	15
Distância CD-BE (km)	5	H (horas)	10	σt2 (%)	15
V1 (km/h)	30	Visitas por semana	6	Cobertura	100
Dados dos veículos					
	VW Kombi furgão	MB Furgão 712	Ford 12.000 furgão		
Capacidade (kg)	1.005	3.989	7.786		
cf (R\$/dia)	72,53	87,00	94,33		
cv (R\$/km)	0,1755	0,1888	0,2374		
Resultados					
	VW Kombi furgão	MB Furgão 712	Ford 12.000 furgão		
Quantidade	70	17	13		
Custo unitário (R\$/cliente)	6,284	1,880	1,600		

Fonte: Próprio autor

A solução passa, diante a todas mudanças hipotéticas de mercado, de 15 veículos do tipo 2 para 13 veículos do tipo 3. Vale ressaltar que a resposta final da resolução manual presente no Quadro 18 permanece idêntica aos resultados obtidos pelo “*Fleet Sizing*” apresentada na Figura 23.

	Resultados	
	Quantidade	Custo (R\$/Cliente)
Veículo 1	70	6,284
Veículo 2	17	1,880
Veículo 3	13	1,600
Veículo 4		

Figura 23 - Resultados do “*Fleet Sizing*” para o exemplo hipotético 2

Fonte: Próprio autor

5.CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este capítulo discorre sobre os resultados obtidos com o desenvolvimento do presente trabalho e nele serão apresentadas também recomendações para futuros estudos, os quais visam melhorar os resultados obtidos até então.

5.1.Conclusões

O presente trabalho buscou elaborar uma ferramenta computacional para a resolução do método de dimensionamento frota, a fim de proporcionar soluções rápidas e fiéis à realidade das empresas de distribuição em ambiente urbano, auxiliando a tomada de decisão dos gestores já que na literatura encontra-se vários estudos que propõem resolver essa problemática por diversos modelos, mas são escassos os trabalhos que sugerem a formulação de uma ferramenta computacional que crie uma interface com o gestor facilitando a sua tomada de decisão.

Para isso, primeiramente, foi feito um levantamento dos modelos e métodos existentes de dimensionamento de frota em ambiente urbano. Percebeu-se que até onde pode se pesquisar, existe uma preferência dos acadêmicos por determinados métodos, sendo alguns mais aproveitados do que outros, os mais comumente aplicados são: formulação algébrica, programação linear, programação dinâmica, teoria das filas, simulação e heurística.

Em sequência foi escolhido o modelo de Novaes (2004). Cujo método se baseia em formulações algébricas e obedece perfeitamente aos critérios impostos por essa pesquisa para a implementação computacional, sendo eles: o didatismo, diante a sua simplicidade e fácil entendimento, não possuindo alta complexidade matemática; cálculo trabalhoso, mesmo utilizando apenas formulações algébricas de fácil compreensão, sua resolução é árdua e demorada, demandando considerável tempo para encontrar a solução final; simples manuseio, sendo fácil implementá-lo computacionalmente, não exigindo programação complexa, resultando num rápido tempo de processamento, ao passo que o desenvolvimento da ferramenta aspirou a redução substancial do tempo de resolução do problema; e finalmente a robustez, ou seja, a capacidade que o mesmo tem de resolver os mais variáveis tipos de problemas possíveis.

Quanto às características do problema de dimensionamento, o modelo de Novaes (2004) possui as qualidades mais abrangentes possíveis, fazendo com que seus cálculos, apesar das simplificações, sejam mais fiéis à realidade das distribuidoras. Em relação ao dimensionamento, é considerado de composição e quantificação, pois não só mostra o melhor veículo para prestar o serviço, dentre outros analisados, como também quantifica-o, para essa característica específica, é a melhor opção. Quanto ao custo, abarca tanto os fixos quanto os variáveis, em detrimento de outros métodos que analisa apenas um desses custos. Quanto à demanda, o método a considera como estocástica, como a representação fiel de um sistema passa, inevitavelmente, pela aleatoriedade de seus eventos, a demanda estocástica se aproxima mais da realidade e em relação ao algoritmo, é considerado sem o envolvimento de roteirização de veículo, pois resolve o problema de dimensionamento de frota de uma forma pura, respeitando o enfoque desta pesquisa que é, obviamente, o dimensionamento de frota, uma das áreas de pesquisa da logística.

Porém, esse método possui algumas limitações que possivelmente poderia reduzir os custos de distribuição física se incorporada nos cálculos a exemplo da consideração da frota como homogênea, não mesclando vários tipos de veículos a sua composição para se obter um menor custo global, bem como a não consideração de frota mista analisando os custos da frota própria com os de terceiros, já que a terceirização vem ganhando espaço na logística apresentando alternativas convenientes para as empresas a um custo aceitável.

Finalmente, uma vez que a escolha do método do custo unitário buscou soluções mais fiéis a realidade das empresas de distribuição em ambiente urbano a elaboração da ferramenta computacional aspirou tornar mais rápido a sua resolução, bem como oferecer aos gestores, em sua interface, além da solução do problema, uma análise de sensibilidade e outras informações relevantes que ajudarão os gerentes a tomar boas decisões nesse âmbito, através de um ambiente de fácil manuseio.

5.2.Recomendações

Para trabalhos futuros, recomenda-se aplicar o “*Fleet Sizing*” em uma empresa de distribuição em ambiente urbano, visto que o presente trabalho buscou apenas a implementação computacional. Para isso, necessita-se do recolhimento dos dados operacionais, que deve ser realizada com precisão para garantir a sua acuraciadade e de aproximações quanto ao formato da área da região servida e das distâncias percorridas.

Recomenda-se também a incorporação à ferramenta, de programação mais complexa criando um sistema gerador de relatório, para isso é necessário desenvolver um banco de dados da empresa propiciando assim a oportunidade para que a organização desenvolva seu próprio relatório, gráfico, etc.

REFERÊNCIAS

ABEPRO - Associação Brasileira de Engenharia de Produção. **Áreas e Sub-áreas de Engenharia de Produção**, 2008. Disponível em: <<http://www.abepro.org.br/interna.asp?p=399&m=424&ss=1&c=362>>. Acesso em: 1 ago. 2014.

ANDRADE, M. M. **Introdução à Metodologia do Trabalho Científico**. 9ª ed. São Paulo: Atlas, 2009.

ARAÚJO, A. **Indicadores da função monomecanização aplicados em usina de açúcar e álcool em um ambiente gerenciado por processos: um estudo de caso**. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

ARAUJO, R. M. **Modelo de Simulação para Avaliação do Fluxo de Transporte Rodoviário de Sondas de Perfuração Terrestre de Poços de Petróleo**. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

BALLOU, R. H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/Logística Empresarial**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BALLOU, R. H. **Logística empresarial: transportes, administração de materiais e distribuição física**. São Paulo: Atlas, 2007.

BARBETTA, P. A.; REIS, M. M.; BORNIA, A. C. **Estatística para cursos de engenharia e informática**. São Paulo: Atlas, 2004.

BARCELOS, E. **Delphi: Linguagem de programação orientada a objeto**. 2012. Disponível em: <<http://www.simonsen.br/its/pdf/apostilas/base-tecnica/2/linguagem-de-programacao-1-capitulo-2-ano-informatica.pdf>>. Acesso em: 16 jan. 2014.

BARROS, R. C.; NOGUEIRA NETO, M. S. Dimensionamento de frota rodoviária de carga utilizando ferramenta de simulação, um estudo de caso. In: XV SIMPEP – SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DA UNESP. **Anais...**Bauru, SP, Brasil, 10 a 12 de novembro de 2008.

BARTH, M. B.; MICHEL, F. D. **Dimensionamento de uma frota de veículos com foco na redução de custos: estudo de caso**. Porto Alegre. 2012.

BOTTIN, G. C.; DEIMLING, M. F.; BARICHELLO, R.; ARBOITE, C. G. Análise da logística interna em uma agroindústria de grande porte. In: XX SIMPEP – SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DA UNESP. **Anais...**Bauru, SP, Brasil, 04 a 06 de novembro de 2013.

BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D.J. **Logística empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimentos**. São Paulo: Atlas, 2001.

BURIN, P. J. **Roteirização dinâmica de veículos em áreas urbanas congestionadas**. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2011.

CAIXETA-FILHO, J. V.; MARTINS, R. S. **Gestão e logística de transporte de cargas**. São Paulo: Atlas, 2001.

CAMARGO, F. W. **Análise do sistema logístico de distribuição de uma distribuidora de alimentos — o caso da Deycon Comércio e Representações Ltda**. 97 f. Trabalho de Conclusão de Estágio (Graduação em Administração) – Bacharel em Ciências da Administração, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

CERVO, A. L.; BEVIAN, P. A.; SILVA, R. da. **Metodologia científica**. 6 ed. São Paulo: Pearson, 2007.

CHING, H. Y. **Gestão de estoques na cadeia de logística integrada – supply chain**. 3 ed. São Paulo, Atlas, 2006.

CIRIBELI, J. P.; PIRES, V. A. V. A logística e sua viabilidade econômica na empresa Itatiaia Móveis S/A: uma análise comparativa entre o transporte via frota própria e terceirizadas. In: XX SIMPEP – SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DA UNESP. **Anais...**Bauru, SP, Brasil, 04 a 06 de novembro de 2013.

CORREIA, R. R.; FRARIAS, H. C. A.; LIMA, A. B. A.; MEDEIROS, S. N. Simulação do fluxo de ônibus no terminal de integração do varadouro: um estudo computacional. In: XXXII ENEGEP – ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. **Anais...** Bento Gonçalves, RS, Brasil, 15 a 18 de outubro de 2012.

CSCMP - Council of Supply Chain Management Professional. **CSCMP Supply Chain Management**, 2013. Disponível em: <<http://cscmp.org/about-us/supply-chain-management-definitions>>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2013.

DURÃO, M. **Custos logísticos voltam a crescer no País**. 2013. Disponível em <<http://economia.estadao.com.br/noticias/geral,custos-logisticos-voltam-a-crescer-no-pais-diz-pesquisa,166856e>>. Acesso em: 22 de junho de 2014.

ENOMOTO, L. M. **Análise da Distribuição Física e Roteirização em um Atacadista do Sul de Minas Gerais**. 142 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2005.

ENOMOTO, L. M.; LIMA, R. S. Análise da distribuição física e roteirização em um atacadista. **Produção**, v.17, n.1, p.94-108, jan/abr 2007.

FABRÍCIO, A. S. F.; SUBRAMANIAN, A. Um modelo de programação inteira para o problema de dimensionamento de frota própria em uma indústria de bebidas. In: XXVIII ENEGEP – ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. **Anais...**Rio de Janeiro, RJ. Brasil, 13 a 16 de outubro de 2008.

FERREIRA, A. B. H. **Dicionário Aurélio da língua portuguesa**. 5ed. Curitiba: Positivo, 2010. p. 2.072.

FLEURY, P. F. Logística Integrada. In: FLEURY, P. F.; WANKE, P.; FIGUEIREDO, K. F. (Org.). **Logística Empresarial: A perspectiva brasileira**. Coleção COPPEAD de Administração. Atlas: São Paulo, 2000. Cap. 2, p. 27-37.

GALVÃO, L. C. **Dimensionamento de sistemas de distribuição através do diagrama multiplicativo de Voronoi com pesos**. 175 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção e sistemas), Universidade Federal de Santa Catarina, Área de concentração: Transportes e Logística, Santa Catarina, 2003.

ILOS - Instituto de Logística e Supply Chain. **Panorama ILOS: custos logísticos no Brasil**, 2014. Disponível em: <http://www.ilos.com.br/ilos_2014/wp-content/uploads/CURSOS/DESENVOLVIMENTO/BOOK_DevelopmentDeAnalistas_2014-1.pdf> Acesso em: 8 de julho de 2014.

LIMA JUNIOR, P. C. R. **Logística de distribuição: Custo de transporte**. 30 de jul. de 2013. 18 f. Notas de Aula.

LUZ, N. F. **A logística de suprimentos e o pedido perfeito**. IBRALOG – Instituto Brasileiro de Logística, 2013. Disponível em: <http://www.ibralog.org.br/index.php?option=com_content&view=article&id=378%3Aa-logistica-desuprimentos-e-o-pedido-perfeito&catid=12%3Aartigos&Itemid=14&lang=br> Acesso em: 16 de janeiro de 2014.

MASIERO, L. S. **Proposta de dimensionamento de frota para uma transportadora**. 119 f. Monografia (Bacharel em Engenharia da Produção), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

MONTENEGRO, L. C. S.; BOURAHLI, A.; FERNANDES, I. A.; OLIVEIRA, B. A. Determinação do momento adequado para substituição de veículos em empresas com frota própria: estudo de caso no setor público. In: XXII SEMEAD – SEMINÁRIOS DE ADMINISTRAÇÃO. **Anais...**São Paulo, SP, Brasil, 27 a 28 de agosto de 2009.

MONTEVECHI, J.A.B.; COSTA, R.F.S.; LEAL, F. PINHO, A.F. **Economic Evaluation of Scenarios for Manufacturing Systems Using Discrete Event Simulation Based Experiments**. Brazilian Journal of Operations & Production Management. v. 7, p. 77-103. 2010.

MORELLI, D.; SIMON A. T. Terceirização de sistemas de distribuição física: um estudo de caso em um operador logístico. In: XXXII ENEGEP – ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. **Anais...**Bento Gonçalves, RS, Brasil, 15 a 18 de outubro de 2012.

NARUO, M. K. **O estudo do consórcio entre municípios de pequeno porte para disposição final de resíduos sólidos urbanos utilizando sistema de informações geográficas**. 286 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil com ênfase em

Transportes) - Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

NETTO, J. F. **Modelo de simulação para dimensionamento da frota de contêineres movimentada por navios em rota dedicada.** 146 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Área de Concentração: Engenharia de Sistemas Logístico, São Paulo, 2012.

NOVAES, A. G. **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição: estratégia, operação, e avaliação.** 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

PAULA JUNIOR, G. G.; PEREIRA, A. R. Dimensionamento de uma frota de caminhões para transporte de carvão vegetal por meio da programação linear. **IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (Atual Scientia Florestalis)**, n.21, p.85-95, dez 1980.

PEREIRA, T. F.; FRIEND, J. D.; MONTEVENCHI, J. A. B.; MIRANDA, R. C. Soft system methodology como auxílio à gestão do conhecimento em projetos de simulação a eventos discretos. In: XXXII ENEGEP – ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. **Anais...**Bento Gonçalves, RS, Brasil, 15 a 18 de outubro de 2012.

REDMER, A.; ZAK, J.; SAWICKI, P.; MACIEJEWSKI, M. **Heuristic approach to fleet composition problem.** XVI EWGT - Euro Working Group on Transportation, Paris, 2012.

ROCHA, P. P. F. **Modelo de Dimensionamento de Frota de Helicópteros para um Sistema de Distribuição Física de Pessoas Voltado às Atividades Offshore de Exploração e Produção de uma Bacia Petrolífera – Estudo de Caso.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

RODRIGUES, W. C. **Metodologia Científica.** 2007. Disponível em: <http://professor.ucg.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/3922/material/Willian%20Costa%20Rodrigues_metodologia_cientifica.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2014.

ROQUINI, P.; STETTINER C. F.; MAIELLARO, J. R.; SHIBUYA, M. Métodos computacionais de simulação: uma proposta para uma operação de cross – doking de 3º nível. In: XIX SIMPEP – SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DA UNESP. **Anais...**Bauru, SP, Brasil, 05 a 07 de novembro de 2012.

SCHEIN, D. **Uma metodologia de frota de rebocadores em terminais portuários:** uma aplicação ao porto do Rio Grande. 109 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Oceânica) – Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2010.

SCHEIN, D.; LIMA, M. L. P. Uma metodologia para o dimensionamento de frota de rebocadores em terminais portuários. **PODes – Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento**, v.2, n.2, 2010.

SEIXAS, F. **Uma metodologia de seleção e dimensionamento de frota de veículos rodoviários para o transporte principal de madeira.** 121 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 1992.

SEIXAS, F.; WIDMER, J. A. Seleção de dimensionamento da frota de veículos rodoviários para o transporte principal de madeira utilizando-se de programação linear não inteira. **IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (Atual Scientia Florestalis)**, n.3, p.107-118, jan/dez 1993.

SHERALI, H. D. & TUNCBILEK, C. H. Static and Dynamic Time-Space Strategic Models and Algorithms for Multileve Rail-car Fleet Management. **Management Science**, v.43, n.2, p.235-250, 1997.

SOUZA, C. C.; NETO, J. F.; RODRIGUES, W. O. P.; RAMOS, F. S. Utilização dos algoritmos genéticos como ferramenta de otimização em problemas de roteirização. **FACEF Pesquisa: Desenvolvimento e Gestão**, v.15, n.3, p.285-297, set/out/nov/dez 2012.

STRINGHER, F. G. **Designação de rotas para frota dedicada em uma rede de distribuição de linha branca.** 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Logísticos) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

TEIXEIRA, R. G. e CUNHA, C. B. Heurísticas para o Problema de Dimensionamento e Roteirização de uma Frota Heterogênea utilizando o Algoritmo Out-of-Kilter. **Transportes**, v.10, n.2, p.9-30, 2002.

VALENTE, A. M.; PASSAGLIA, E; NOVAES, A. G; VIEIRA, H. **Gerenciamento de transporte e frotas**. 2 ed. São Paulo: Cenage Learning, 2013.

VASCO, R. A. **Otimização na alocação dinâmica de veículos no transporte rodoviário de cargas completas entre terminais**. 119 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos, 2012.

VASCO, R. A.; MORABITO NETO, R.; **Modelos para o dimensionamento e alocação dinâmica de veículos no transporte rodoviário de cargas completas entre terminais**. In: XXXI ENEGEP – ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. **Anais...** Belo Horizonte, MG, Brasil, 04 a 07 de outubro de 2011.

VIALI, L. **Estatística computacional: tipos de modelos de simulação**, 2013. Disponível em: <http://www.mat.ufrgs.br/~viali/estatistica/mat2274/material/laminas/Comp_2.pdf> Acesso em 12 de fevereiro de 2014.

YAGUIU, K. **Modelo para o dimensionamento de uma frota de contêineres para uma empresa de navegação**. 167 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Naval e Oceânica. São Paulo. 2006.