

LIGA DE ENSINO DO RIO GRANDE DO NORTE
FACULDADE NATALENSE PARA O DESENVOLVIMENTO
DO RIO GRANDE DO NORTE
CURSO DE ADMINISTRAÇÃO

ADRIANA CRISTINA SALVADOR

**SUGESTÃO DE MELHORIA DE UMA ROTA DE ENTREGA UTILIZANDO O
MÉTODO DO MENOR CAMINHO LINEAR.**

NATAL/RN
2010

ADRIANA CRISTINA SALVADOR

**SUGESTÃO DE MELHORIA DE UMA ROTA DE ENTREGA UTILIZANDO O
MÉTODO DO MENOR CAMINHO LINEAR.**

Monografia apresentada ao Curso de Bacharelado em Administração da Faculdade Natalense para o Desenvolvimento do Rio Grande do Norte – FARN, como requisito final para obtenção do grau de Bacharel em Administração.

Orientador: José Padilha Chrispim Neto, MsC.

NATAL/RN
2010

ADRIANA CRISTINA SALVADOR

**SUGESTÃO DE MELHORIA DE UMA ROTA DE ENTREGA UTILIZANDO O
MÉTODO DO MENOR CAMINHO LINEAR.**

Monografia apresentada ao Curso de Bacharelado em Administração da Faculdade Natalense para o Desenvolvimento do Rio Grande do Norte – FARN, aprovada em 30 de novembro de 2010 pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Profº. José Padilha Chrispim Neto, MsC.
Orientador

Profº. Flávio Emílio Monteiro Cavalcante, MsC
Membro Examinador

Profº. Marcílio Rodrigues de Oliveira, MsC
Membro Examinador

DEDICATÓRIA

Aos meus pais Terezinha e Francisco, que com muita confiança apoiaram minha escolha na busca por meus caminhos.

A minha irmã Cristina que sempre esteve presente nos momentos mais difíceis, convivendo com minhas preocupações durante esta longa jornada, sabendo compreendê-las e torcendo para que eu alcançasse meus objetivos.

Por fim, ao meu noivo que com muita paciência acompanhou-me e entendeu as etapas deste trabalho, nos dias no qual não saímos, ou não podia lhe dar muita atenção.

Este trabalho não existiria sem vocês.

AGRADECIMENTOS

A Deus nosso criador, por tudo que ele tem me proporcionado, o qual sempre tive muita fé e ele me retribui estando ao meu lado durante todos os momentos de fraquezas e inseguranças, iluminando meus pensamentos para que eu pudesse chegar com sucesso ao fim dessa longa jornada.

Ao meu Orientador Professor José Padilha Chrispim Neto, por ter acreditado em mim, pela sua paciência, dedicação e companheirismo demonstrado durante o acompanhamento deste trabalho.

Ao meu sobrinho Rafael Henrique, pelos longos abraços e beijos, por ter dito e expressado tantas vezes seu amor por mim, ele foi a minha maior motivação e inspiração nos momentos mais difíceis deste estudo.

A FARN, uma instituição séria, que tem como um de seus principais pilares a preocupação com o bem estar de seus alunos oferecendo-lhes um ensino de qualidade e um excelente corpo docente com os quais obtive conhecimentos que servirão para minha realização profissional.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

Muito Obrigada...

RESUMO

A globalização aliada à constante quebra de barreiras comerciais, a explosão tecnológica e surgimento de novos concorrentes redefiniram o mercado, tornando-o, cada vez mais competitivo e passando a exigir das empresas a busca incessante por novas formas de gerenciamento, para que as mesmas além de atenderem a seus clientes de forma mais satisfatória, possam obter vantagem competitiva sobre seus concorrentes. Nesse sentido, a logística vem sendo utilizada como diferencial, pois permite o controle de suas atividades de forma estratégica. Dentre essas atividades podemos citar a gestão de transporte como uma das mais importantes para o sistema logístico das organizações, por ser responsável pela movimentação de mercadorias e por exercer constantemente influência direta no custo dos produtos, na qualidade e quantidade dos serviços prestados. Dentro desse contexto, o presente estudo tem como objetivo sugerir melhorias em uma rota de entrega, utilizando ferramentas de otimização que possibilitem a empresa em estudo fazer uma análise de quais as melhores formas de executar determinadas tarefas que estão sujeitas a restrições impostas pela natureza de sua operação. O presente estudo é classificado como pesquisa aplicada, quantitativa, exploratória, desenvolvida por meio de um estudo bibliográfico, de caso e avaliação formativa, cuja coleta de dados foi realizada, por meio de documentação e observação sistemática. Sendo obtido como resultado deste estudo, o desenho de um grafo, que permitiu aplicação de dois modelos matemáticos que permitiram a solução do problema do menor caminho comprovando, assim, a eficiência dos métodos utilizados e como os mesmos podem auxiliar à tomada de decisão referente a problemas de roteirização. Após a solução do grafo, podemos concluir que os métodos utilizados podem tornar possível uma redução significativa tanto em termos de distâncias percorridas pelo veículo dentro da rota de entrega, quanto em termos de custos e desta forma contribuir para o aumento da produtividade das organizações.

Palavras-chave: Logística; Transporte; Roteirização; Problema do menor caminho.

ABSTRACT

Globalization combined with the constant breaking of trade barriers, the tech boom and the emergence of new competitors have redefined the market, making it increasingly competitive, and require businesses to incessant search for new forms of management, so that they as well as meet its customers more satisfactorily, can gain a competitive advantage over their competitors. Accordingly, the logistic has been used as a differential, because it allows the control of their activities strategically. Among these activities we can mention the management of transport as one of the most important for the logistics system of organizations, being responsible for handling goods and constantly exercising direct influence on product costs, quality and quantity of services. Within this context, this study aims to suggest improvements in a delivery route, using optimization tools that enable the company to do a study examining the best ways to perform certain tasks that are subject to restrictions imposed by the nature of his operation. This study is classified as applied research, quantitative, exploratory, developed through a literature and case, which data collection was conducted through documentation and systematic observation. Was obtained as a result of this study, the drawing of a graph, which allowed application of two mathematical models that allowed the solution of the shortest path proving thus the effectiveness of methods used and how they can assist in making decisions regarding the routing problem. After the solution of the graph, we can conclude that the methods used may make possible a significant reduction both in terms of distance traveled by the vehicle along the route of delivery, and in terms of costs and thereby contribute to increasing the productivity of organizations.

Keywords: Logistics, Transportation, Routing, Shortest Path Problem.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Modelo de inserção na unidade de fluxo	39
Figura 02 – Mapa da Região Leste de Natal com os pontos de entrega	47
Figura 03 – Representação em rede da rota de entrega	48
Figura 04 – Rotulação dos nós	50
Figura 05 – Digitação dos dados na área de trabalho do Excel	53
Figura 06 – Tela de Parâmetro do Solver	55
Figura 07 – Resultado do caminho mais Curto	56

LISTA DE SIGLAS

PRV – Problema de Roteirização de Veículos

PL – Programação Linear

PMC – Problema do Menor Caminho

ANTT – Agência Nacional de Transporte Terrestre

PCV – Problema do Caixeiro Viajante

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 CONTEXTO E COLOCAÇÃO DO PROBLEMA	12
1.2 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA	15
1.3 OBJETIVOS	15
1.4 JUSTIFICATIVA	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1 LOGÍSTICA	17
2.1.1 A importância da logística no transporte	17
2.2 TRANSPORTE	20
2.2.1 Modalidades de transporte	23
2.2.2 Transporte ferroviário	24
2.2.3 Transporte aquaviário	25
2.2.4 Transporte dutoviário	26
2.2.5 Transporte aéreo	27
2.2.6 Transporte rodoviário	28
2.3 ROTEIRIZAÇÃO	30
2.3.1 Problema de roteirização de veículos – PRV	32
2.3.2 O problema do menor caminho	35
2.3.3 Algoritmo de Dijkstra	35
2.3.4 Algoritmo de Floyd	36
2.3.5 Programação Linear	36
2.4 MODELAGEM DO PROBLEMA	37
3 METODOLOGIA	41
3.1 TIPOS DE PESQUISA	41
3.2 ÁREA DE ABRANGÊNCIA	43
3.3 INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS	44
3.4 INSTRUMENTOS DE ANÁLISE DE DADOS	45
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	46
4.1 DIAGNÓSTICO	46
4.1.2 Identificação do local e da rota de entrega	46
4.2 MÉTODOS DE RESOLUÇÃO	49

4.2.1 Algoritmo de Dijkstra	49
4.2.2 Programação Linear	51
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
REFERÊNCIAS	59

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da logística está diretamente ligado às atividades militares tendo em vista que, desde a antiguidade os líderes militares já utilizavam as estratégias logísticas para transportar, armazenar, distribuir equipamentos e suprimentos para as guerras que geralmente duravam um longo período de tempo e percorriam longas distâncias, sendo necessário que fossem feitos grandes e constantes deslocamentos de recursos para que os militares pudessem se manter durante o período de guerra. Com o passar do tempo, a logística foi evoluindo e atualmente é um dos fatores de maior responsabilidade pelo sucesso das organizações, quer seja na redução de custos, aumento da qualidade no cumprimento do prazo de entregas, e ao mesmo tempo busca proporcionar o encantamento e satisfação dos clientes que estão cada vez mais exigentes.

Com a globalização a logística passou a ser a área ligada a administração responsável por dispor de recursos, equipamentos e informações que são necessárias para execução de todas as atividades de uma empresa. Entre as atividades integrantes estão o transporte, manutenção do estoque, armazenagem, manuseio, embalagem, manutenção da informação e processamento de pedidos.

A atividade de transporte é de grande importância para os sistemas logísticos das organizações por ter papel fundamental na qualidade dos serviços. Logo, pode causar também impacto direto sobre o tempo de entrega, a confiabilidade e segurança dos produtos, além de contribuir para a saúde financeira dos operadores logísticos e desenvolvimento social e econômico do País. No entanto, para atingir esses objetivos faz-se necessário a aplicação de práticas administrativas que venham ao encontro das necessidades das empresas de modo que possam alcançar o desenvolvimento econômico desejado e que esteja de acordo com a sua realidade.

O Brasil além de possuir uma grande malha viária, desponta como uma das economias de maior dinamicidade no cenário mundial pós-crise, o que contribui para que o transporte rodoviário seja um dos principais sistemas utilizado no país, tendo em vista que o uso desse tipo de transporte é feito por meio de estradas, ruas, rodovias e outras vias pavimentadas ou não com intenção de movimentar pessoas, produção agrícola e industrial de um determinado ponto a outro. Sem um sistema de transporte eficiente e confiável as empresas ficam impossibilitadas de competir

adequadamente, por não serem capazes de oferecer a seus clientes níveis de serviços adequados, além de obterem custos elevados com combustíveis e manutenção dos veículos.

Neste contexto a gestão de transporte pode ser considerada como elemento chave, sinônimo de vantagem competitiva e redução de custos, pois através do gerenciamento dessa atividade podemos obter melhoria na qualidade e quantidade dos serviços prestados, além de desenvolver parcerias que possam agregar valor aos serviços, além de obterem o crescimento econômico desse setor.

1.1 CONTEXTO E COLOCAÇÃO DO PROBLEMA

No Rio Grande do Norte, todos os dias, as estradas estaduais e federais dão passagem ao desenvolvimento, pois através dessas rodovias entram no Estado toneladas e mais toneladas de produtos, o que favorece a ampliação progressiva do comércio de bens e serviços. Isso tem obrigado as empresas a ofertarem serviços de transporte especializados, permitindo que as empresas agilizem a entrega desses produtos ao cliente final. Com base nessas informações pode-se afirmar que para enfrentar essa realidade, é necessário um sistema de transporte rodoviário bem planejado, pois além de garantir a sobrevivência das organizações, torna-se também um elemento de fundamental importância para a economia estadual e nacional.

Considerando a empresa em estudo, de forma sucinta, torna-se evidente que além de enfrentar a concorrência existente entre as empresas do mesmo segmento, ela também tem atravessado problemas como, obter redução de seus custos administrativos, como combustível, manutenção, entre outros, encurtando as distâncias das entregas, para se tornar mais competitiva no mercado, e aperfeiçoar a qualidade e quantidade dos serviços prestados ao cliente final. Como forma de solucionar este problema as empresas de transporte rodoviário estão adotando o uso de ferramentas de otimização, para garantir roteiros mais eficientes e melhorar o atendimento aos usuários deste tipo de serviço obtendo sobre seus concorrentes vantagens competitiva. Dentro desse contexto, como sugerir melhorias em uma rota de entrega de uma transportadora?

1.2 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

A transportadora em estudo é uma empresa de origem Pernambucana e teve suas atividades iniciadas em 16 de abril de 1942. Sendo que esta empresa sempre esteve atenta às demandas do mercado tornando-se atualmente a maior empresa de transporte do Norte-Nordeste e a segunda maior do país. A vocação para liderança de mercado sempre acompanhou o grupo, que foi a primeira empresa do Norte-Nordeste a implantar um programa de qualidade total, obtendo o Certificado ISO 9001 desde 1997. O grupo oferece uma variedade de soluções integradas em transporte aéreo, rodoviário e logístico com alto padrão de qualidade atestado pela certificação ISO 9001.

Por estar sempre atenta às necessidades de seus clientes, a empresa investe constantemente em tecnologia e em estrutura operacional para oferecer serviços diferenciados como de entrega em 1ª hora, serviço rodoviário de carga expressa para pequenas encomendas de alto valor agregado que opera sempre com dois motoristas realizando viagens ininterruptas com horários pré-estabelecidos de saída e de chegada, o que facilita a administração de estoque e o capital de giro dos clientes; o serviço B2C que conecta a empresa ao consumidor final, ou seja, é especializado em entregas residenciais e conta com uma rede exclusiva para entrega domiciliar. Os prazos de entrega são definidos de acordo com o seu compromisso com o cliente e com a flexibilidade de transferências de cargas em conjunto com os serviços Rodo ou Aéreo. O serviço B2C também está habilitado para atender sua logística reversa, realizando a coleta de produtos junto ao consumidor final.

No modal aéreo há o Serviço Aéreo Expresso, sendo que o mesmo é o transporte ideal para cargas que necessitam chegar ao destino com rapidez e segurança; o Serviço Aéreo Tradicional que é o serviço com o melhor custo – benefício; o Serviço Internacional que utiliza a estrutura mundial da Fedex, maior empresa de carga expressa do mundo, embarcando encomendas para mais de 210 países nos cinco continentes. Além de oferecer Serviços de transportes que operacionaliza todos os pacotes com origem internacional para todo o Norte e Nordeste do Brasil.

Além dos serviços já mencionados existe o Serviço de Logística que oferece serviços desde o atendimento de pedidos, gerenciamento de transportes e

coordenação de entregas até o desenvolvimento de planos estratégicos para toda a cadeia de suprimentos, tornando-se assim, uma das soluções logísticas mais completas; e o Serviço Farma que proporciona o transporte de medicamentos e produtos médico-hospitalares de forma rápida e econômica para centenas de distribuidores farmacêuticos, hospitais, laboratórios, farmácias e clínicas em mais de 4 mil localidades do Norte ao Sul do país, atendendo a todas as necessidades desse setor através de entregas com prazos variados, visibilidade em tempo real e certificação para transporte e armazenagem junto a todos os órgãos reguladores nas esferas nacional, estadual e municipal.

Com mais de 65 anos de experiência a empresa em estudo reúne um número superior a 12 mil clientes ativos, que são atendidos pelos mais de 2,5 mil veículos próprios e terceirizados e mais de 6,4 mil profissionais dedicados em todo país. Presente em todos os estados do Brasil realiza mais de 10 milhões de entregas por ano, possui sua rede estratégica composta por mais de 160 pontos no Brasil, com 39 filiais. Sua capacidade de distribuição alcança mais de quatro mil localidades atendidas, em todos os estados brasileiros, além do transporte de cargas para mais de 210 países no mundo através do acordo operacional com a Fedex.

A presente pesquisa foi desenvolvida na unidade 08 localizada em Natal, que funciona durante três turnos os quais o primeiro tem início às 07h30min e finaliza às 17h30min, o segundo inicia às 12h00min e encerra às 21h00min e o terceiro trabalha das 19h00min às 03h00min. A unidade só realiza cadastro de clientes pessoa jurídica, emprega 115 colaboradores distribuídos nos setores administrativos, operacional, isto é, entre a linha de comando, motoristas, conferentes e operadores de carga, num total de 74 colaboradores, na operação de distribuição, contando com 21 funcionários, e na operação de descarrego, sendo 20 colaboradores distribuídos nos três turnos.

Sendo uma empresa de iniciativa privada sua estrutura organizacional é formada pelo GERUND que possui três departamentos subordinados, o DECOM (Departamento Comercial), que aloca os serviços de venda e atendimento ao cliente, o ADM (Administrativo) responsável pelos serviços de cobrança, pagamentos, compras, Recursos Humanos, saúde e segurança; e o DEOPE (Departamento Operacional) que tem como finalidade a gestão de serviços de transporte, coleta, distribuição, embarque e contratação.

1.3 OBJETIVOS

A seguir serão apresentados os objetivos geral e específicos mostrando a finalidade da “pesquisa”.

Objetivo geral

Sugerir melhorias em uma rota de entrega utilizando o método do menor caminho linear.

Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- a) Montar uma rede que represente o roteiro;
- b) Utilizar conceitos e técnicas de Pesquisa Operacional para resolução do problema do menor caminho;
- c) Encontrar o menor caminho possível utilizando o Algoritmo Dijkstra;
- d) Encontrar o menor caminho possível utilizando Programação Linear.

1.4 JUSTIFICATIVA

A globalização da economia mundial, foi um dos fatores que mais colaboraram para a quebra de barreiras comerciais, tornando o mercado cada vez mais competitivo e passando a exigir que as empresas se antecipem as tendências de mercado gerando respostas rápidas e eficazes aos clientes. É nesse contexto que o complexo e extenso ramo da logística é desafiado, pois além de ser uma estratégia utilizada para buscar melhoria nos serviços oferecidos permite o controle de suas atividades de forma estratégica. Entre essas atividades podemos citar a gestão de transporte como uma das mais importantes para o bom funcionamento do sistema logístico, por se tratar de uma atividade que é responsável pela movimentação de mercadorias, e por estar constantemente exercendo influência

direta no custo dos produtos, na margem de lucro da empresa e na qualidade e quantidade dos serviços prestados. Diante dessas circunstâncias, torna-se oportuno dizer que a melhoria nos serviços oferecidos ao cliente é um componente fundamental da logística, e que o sucesso de uma organização prestadora de serviços logísticos depende do bom controle sobre seus processos para que estes sejam realizados de maneira eficiente minimizando as deficiências e promovendo o crescimento equilibrado deste setor. Portanto, para que as empresas possam obter essa eficiência, passam a desenvolver novas alternativas que agreguem mais valor aos serviços oferecidos e, ao mesmo tempo reduzam custos, aumentem a lucratividade, além de proporcionar maior agilidade nos prazos de entrega ou coleta de mercadorias, garantindo assim, a continuidade de suas atividades no mercado altamente competitivo. Dentro desse contexto, vale destacar que a pesquisa operacional, vem se tornando uma das alternativas mais indicadas para resolução de problemas no setor de transporte, pois permite que seja feito o uso de modelos matemáticos para casos em que a otimização é necessária.

Portanto, o presente trabalho torna-se importante, pois tem como objetivo demonstrar como o uso de ferramentas de otimização aplicados a problemas de logística mais especificamente ao setor de transporte, possibilitam fazer uma análise sobre quais as melhores formas de executar uma determinada tarefa sujeita a restrições impostas pela natureza de sua operação e desta forma contribuir para que, seja feito melhorias nos recursos envolvidos em uma rota de entrega, a fim de, aumentar a produtividade, reduzir custos com transporte e melhorar padrões de qualidade e serviços prestados, podendo aumentar sua capacidade de cumprir prazos e, desta forma, melhorar a credibilidade da organização em estudo.

Outro motivo que justifica a elaboração deste trabalho é a oportunidade que o autor do mesmo, está tendo de colocar em prática todo o conhecimento teórico sobre essa temática, além de entender seu papel, como administrador, no contexto atual das organizações.

Pode-se perceber que o desenvolvimento deste trabalho torna-se viável devido ao baixo custo envolvido, além da disponibilidade de tempo por parte do autor deste estudo, e do interesse da empresa em questão fornecer informações necessárias para efetivação da proposta de estudo e principalmente pelo retorno que este irá proporcionar a ambas as partes envolvidas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Esta etapa do projeto propõe um estudo mais detalhado do tema proposto, tendo como finalidade fornecer o embasamento teórico necessário para a sustentação conceitual/operacional do assunto.

2.1 LOGÍSTICA

A logística é uma ferramenta de resultado que está presente na história do homem, ou seja, no período da Segunda Guerra Mundial os militares utilizaram a logística para aproveitar os recursos disponíveis de forma mais eficiente e desta maneira se expor o mínimo possível ao inimigo.

Novaes (2001) explica que o conceito logístico surgiu no período da Segunda Guerra Mundial, e foi considerado como fator-chave no apoio as decisões estratégicas militares, bem como no deslocamento de tropas e suprimento de materiais, adquirindo assim, posição de destaque nas operações.

Sendo assim, pode-se afirmar que a expressão logística está diretamente ligada a atividades de origem militar, e pode ser relacionada como resultante dos processos de aquisição e fornecimento de produtos e materiais necessários ao cumprimento de uma missão. Observa-se então que conceitos logísticos utilizados atualmente foram definidos na atividade militar, durante a Segunda Guerra Mundial, porém só tiveram influência nas atividades empresariais alguns anos depois, (Oliveira, Perez Junior e Silva, 2002).

Percebe-se, claramente, que ao longo dos anos a logística vem se tornado uma ferramenta de grande importância para as organizações principalmente devido à urgência de atender em tempo hábil os clientes, tornando-se uma estratégia primordial para que as empresas possam aumentar a eficiência no controle de estoque, armazenagem e principalmente da distribuição física de seus produtos e desta forma, poder torná-los amplamente disponíveis e acessíveis aos mercados alvos, que estão se tornando altamente competitivo.

Desta maneira, a logística poder ser entendida como a área da administração responsável por prover recursos, equipamentos e informações para

execução de todas as atividades envolvidas no ciclo produtivo da empresa. Com objetivo de atender todos os requisitos e necessidades dos consumidores.

De acordo com Ballou (1993, p.24),

A logística empresarial trata de todas atividades de movimentação e armazenagem, que facilitam o fluxo de produtos desde o ponto de aquisição da matéria-prima até o ponto de consumo final, assim como dos fluxos de informação que colocam os produtos em movimento, com o propósito de providenciar níveis de serviços adequados aos clientes a uma custo razoável.

Para Bowersox e Closs (2001), o objetivo da logística é tornar disponíveis produtos e serviços no local onde são necessários e no momento em que são desejados, portanto a logística busca proporcionar uma prestação de serviços de alta qualidade e ao mesmo tempo atender as exigências dos clientes. Entretanto, para conseguir atingir o nível de serviço desejado de forma eficaz e obter um diferencial competitivo, a logística precisa ter um relacionamento intenso com determinadas atividades que são consideradas fundamentais, pois elas envolvem desde a aquisição de materiais, movimentação, armazenagem e entrega dos produtos, e sempre estão integradas com as áreas administrativas, a exemplo de produção, marketing e finanças.

Dentro deste contexto, pode-se concluir de forma mais abrangente que a logística é a parte do gerenciamento da cadeia de abastecimento que planeja, controla e opera o fluxo e armazenagem de matéria-prima, produtos em processo, produtos acabados, informação e dinheiro, desde o ponto de origem até o ponto de destino, de forma econômica, visando atingir o objetivo principal da logística, que consiste em reduzir custos, maximizar lucros da organização e na melhoria da qualidade do atendimento, satisfazendo as necessidades e prioridades dos clientes.

A logística integrada apresenta a função transporte como um dos seus principais elementos. Pois as estratégias e decisões operacionais usadas no gerenciamento da atividade de transporte devem dar suporte às estratégias e objetivos da função logística e da empresa. As decisões sobre os recursos disponíveis são tomadas com a intenção de beneficiar a logística e a organização, e não apenas o setor de transporte.

2.1.1 A importância da logística no transporte

A logística tem como finalidade continua minimizar tempo, reduzir custos e satisfazer seus usuários, dentre as operações logísticas, o transporte é considerado como uma área-chave, pois além de ser o responsável pelo deslocamento ou movimentação física dos produtos, deve ser encarado também como um fator financeiro individual de custo na função logística.

Portanto, para a melhor compreensão fica evidente que a logística de transporte tem como objetivo adiminstrar de forma racional aquisição de entrega de materiais (produtos) de forma a minimizar o custo total, (Ballou, 1995).

Dentro das atividades logísticas, o transporte é considerado um dos elementos mais importantes para a maioria das organizações, pois absorve parte significativa dos custos logísticos. De acordo com Fleury (2003) o transporte representa, em média, 64% dos custos logísticos, 4,3% do faturamento, em alguns casos, mais que o dobro do lucro. Com base nestas informações, a empresa precisa estar atenta para a escolha do melhor modal, levando sempre em consideração as particularidades da carga a ser transportada, obtendo o máximo de confiabilidade e eficiência nesta etapa, para que não eleve seus custos e não prejudique o nível de serviço oferecido pela organização.

Neste contexto, o transporte passa a ter papel fundamental dentro da cadeia produtiva, tornando necessária a utilização do planejamento como ferramenta estratégica, sendo que o mesmo pode ser de curto ou longo prazo, porém, este planejamento deve permitir a empresa que faz uso do mesmo, a possibilidade de fazer um gerenciamento de forma mais eficiente e dinâmica de todo o sistema de transporte para que os produtos estejam disponibilizados ao consumidor final de forma mais rápida, segura e econômica, gerando assim maior competitividade para a empresa.

Diante disso, Nazário (2000) deixa claro que as principais funções do transporte na logística estão ligadas basicamente às dimensões de tempo e utilidade de lugar, isto é, esta atividade tem como função disponibilizar produtos onde existe demanda em potencial, dentro do prazo adequado às necessidades do comprador, atingindo assim, um dos principais objetivos da logística, que é o produto certo, na quantidade certa, na hora certa, no lugar certo ao menor custo possível, sem comprometer a qualidade do produto.

Sendo assim, a logística de transporte passou a ser uma das ferramentas mais eficientes e eficazes dentro das atividades logísticas, uma vez que possibilita a empresa manter maior confiabilidade no serviço oferecido. De acordo com Nazário (2000), dos serviços oferecidos ao cliente o transporte é um dos mais significativos, devido às principais exigências do mercado geralmente estar ligada à pontualidade do serviço, à capacidade de oferecer um serviço porta a porta, e por ter maior flexibilidade em relação ao manuseio de uma grande variedade de produtos, ao gerenciamento dos riscos associados a roubos, danos, avarias e custos dos serviços oferecidos.

A escolha do modal é outro fator relevante para manter o nível dos serviços logísticos oferecidos, pois os mesmos devem preencher tanto as expectativas da empresa como as dos clientes. Segundo Bowersox e Closs (2001), para a escolha do melhor modal devem ser levados em consideração alguns critérios, como: velocidade da entrega, disponibilidade, confiabilidade, capacidade e frequência.

Dentre essas escolhas existe um segundo fator que também possui grande relevância para a escolha deste modal, de acordo com Ballou (2002), o cliente seleciona o serviço levando em consideração a combinação de serviço que possibilitem o melhor equilíbrio entre a qualidade oferecida e o custo do serviço. A discussão que segue, nos próximos capítulos explicita as principais características do transporte pelo seu desempenho e identifica os seus benefícios.

2.2 TRANSPORTE

O acompanhamento das frotas de uma empresa de prestação de serviços em transporte ou de empresas que possuem sua própria frota é de grande importância, pois quando gerenciado de forma adequada, o transporte torna-se um importante fator estratégico logístico utilizado pelas empresas, na busca por resultados otimizados que visam, principalmente, a satisfação dos clientes, peça fundamental do processo, sendo que para satisfazer essas necessidades a empresa tem como finalidade fazer a entrega do produto onde ele esteja, no mais curto prazo, da melhor maneira e ao menor custo possível.

O transporte é um dos principais componentes do sistema logístico, e normalmente é o maior elemento individual de custo na função logística das empresas. Para a maioria das organizações, o transporte é essencial, uma vez que nenhuma empresa pode operar sem providenciar a movimentação de matéria-prima ou de seus produtos acabados (Ballou, 1993).

Por outro lado também podemos dizer que essa atividade não se limita apenas ao traslado de mercadorias, pois sua importância também pode ser medida por meio de sua ligação íntima com a economia.

Segundo Ballou (1993, p. 113):

Basta comparar as economias de uma nação desenvolvida e de outra em desenvolvimento para enxergar o papel do transporte na criação de alto nível de atividade na economia. Nações em desenvolvimento têm, normalmente, produção e consumo ocorrendo no mesmo lugar, com boa parte da força de trabalho engajada na produção agrícola e porcentagem menor da população vivendo em áreas urbanas. À medida que serviços de transportes mais baratos vão-se disponibilizando, a estrutura econômica começa a assemelhar-se à de uma economia desenvolvida.

Neste contexto, Martins e Caixeta-Filho (2001) dizem que os transportes têm o papel econômico de promover a integração entre as sociedades produtoras de bens em geral e a possibilidade de expandir os mercados.

De acordo com Bowersox, Closs e Cooper (2007, p. 294), “a economia e a precificação dos transportes dizem respeito aos fatores e características que direcionam os custos”. Sendo que estes custos com transportes são calculados a partir de sete fatores. Mesmo que estes não sejam componentes de tarifas diretos, podem influenciar as tarifas do frete. Estes fatores são: distância; volume; densidade; capacidade de acondicionamento; manuseio; responsabilidade; e aspecto de mercado. O impacto exato de cada fator varia de acordo com as características específicas de cada produto.

- Distância é o fator que exerce maior influência nos custos com transporte, pois a mesma tem impacto direto para as despesas variáveis como mão-de-obra, combustíveis e manutenção.
- Volume está relacionado com o volume da carga. Como muitas atividades logísticas, as economias de escalas de transportes existem para a maioria das movimentações de transporte.

- Densidade esta ligada a densidade do produto, sendo o mesmo a combinação do peso com o volume.
- Capacidade de acondicionamento refere-se a como as embalagens dos produtos podem se ajustar nos equipamentos dos transportes.
- Manuseio equipamentos especiais que facilitam o manuseio dos produtos, e muitas vezes são necessários para o carregamento e descarregamento de caminhões, vagões ferroviário e navios.
- Responsabilidades estão relacionadas com as características dos produtos, que podem resultar em danos ou reclamações potenciais. Os transportadores devem possuir seguros para proteção da carga.
- Aspecto do mercado, como o volume de transporte numa rota ou seu balanceamento, também influenciam os custos de transporte. Uma rota ou via de transporte refere-se a movimentação entre um ponto de origem e um ponto de destino. Uma vez que os veículos que fazem o transporte das mercadorias e os seus motoristas devem voltar ao ponto de origem, devem na medida do possível encontrar um carregamento de retorno, para que os custos com mão-de-obra, combustível e manutenção dos veículos possam ser embutidos na movimentação da carga de ida.

Sendo assim, pode-se dizer que o sistema de transporte cria um alto nível de atividade na economia e refere-se a um conjunto de trabalho, facilidades e recursos que movimentam a economia de um país, por isso é considerado uma das funções mais importantes dentre as atividades logísticas. Sua capacidade de movimentação envolve cargas e pessoas, além da distribuição de outros serviços intangíveis, como comunicação telefônica, energia elétrica e serviços médicos. Conhecer o tipo de carga, o trajeto e os custos operacionais envolvidos são essências para a escolha correta do modal.

Para Ballou (1993, p. 116):

Transporte refere-se aos vários métodos para movimentar produtos. Algumas das alternativas populares são os modos rodoviários, ferroviários e aeroviários. A administração da atividade de transporte geralmente envolve decidir-se quanto ao método de transporte, aos roteiros e à utilização da capacidade dos veículos.

O sistema de transporte oferece uma variedade de opções para as empresas que querem transportar seus produtos de um local para outro, mas para que isso ocorra a organização deve estar atenta a aspectos como custos, características dos serviços oferecidos, condições da malha viária, dentre outros. Assim, para que se possa, de fato, promover uma gestão de transporte eficiente, torna-se essencial entender cada modalidade de transporte de acordo com suas características.

2.2.1 Modalidades de transportes

A escolha correta dos modais de transporte facilita a entrada dos produtos em novos mercados, fazendo com que as empresas aumentem seu poder de penetração nesses mercados. Portanto, para que isso aconteça é necessário que seja feito um estudo sobre todas as rotas possíveis, para que a partir dos resultados obtidos seja feita a escolha do modal mais adequado para cada tipo de percurso. Além disso, devem ser levados em conta, alguns critérios tais como, natureza da carga, versatilidade, segurança e rapidez deste modal, e também deve-se conhecer como funciona a regulamentação desses modais, de acordo com o país que a empresa pretende entrar.

No Brasil os modais de transporte são regulamentados pela Constituição Federal de 1988, como pode-se ler no artigo 178:

A lei disporá sobre a ordenação dos transportes aéreos, aquático e terrestre, devendo, quanto à ordenação do transporte internacional, observar os acordos firmados pela União, atendido o princípio da reciprocidade.

Dias (1987) afirma que atualmente as empresas estão em busca de agilidade e eficácia em seus processos logísticos de distribuição, com objetivo de satisfazer a necessidade do mercado.

De acordo com o mesmo autor, a administração do transporte de distribuição das empresas, torna-se um fator vital para a evolução econômica da mesma.

Para Novaes (1994) há uma grande necessidade de otimizar os custos com o processo de transporte e para que isso ocorra, é necessário que seja feita uma análise dos modelos de transportes disponíveis para a realidade de cada organização.

Novaes (1994) enfatiza que atualmente cerca de 70% do transporte de cargas, em território nacional é feito por meio do transporte rodoviário, tendo em vista que, em análise mundial esta mesma realidade não pode ser considerada, pois, além do transporte rodoviário, as modalidades aéreas, ferroviárias e marítimas também são bastante utilizadas. A discussão a seguir oferece um breve panorama das características operacionais de cada modalidade de transporte.

2.2.2 Transporte ferroviário

O surgimento do transporte ferroviário esteve estritamente ligado a Revolução Industrial, ocorrida na Europa no princípio do século XIX, sendo considerado um dos principais inventos da época, substituindo o transporte aquaviário até então predominante, além de possibilitar que as fábricas pudessem suprir suas necessidades por formas mais eficientes para fazerem o transporte de suas matérias-primas e de seus produtos acabados.

Diante disso, é certo dizer que a ferrovia surgiu no início do século XIX, e desempenhou um papel fundamental para o desenvolvimento da economia de muitos países, pois preencheu a lacuna deixada pelo transporte aquaviário, até então predominante, mas que não conseguia abater alguns obstáculos, como montanhas, e grandes corredeiras. As ferrovias passaram a incentivar os negócios, na medida em que permitam o transporte de grandes volumes, a um baixo custo, Martins e Caixeta-Filho (2001).

Novaes (1994) enfatiza que no Brasil este tipo de modal é pouco utilizado, pois, suas linhas férreas encontram-se em condições inadequadas, além disso, estão mal distribuídas para atender a necessidade atual do país, mesmo com uma extensão de cerca de 30.000 quilômetros.

Da mesma forma Dias (1987) concorda e enfatiza que o transporte ferroviário nacional não atende as necessidades do país, considerando como motivos a falta de estrutura e de investimentos necessários para o desenvolvimento

deste modo de transporte, desta maneira fica bastante claro que há alguns anos não se é feito nenhum investimento em tecnologia para a melhoria deste setor, que em consequência deste investimento haveria um maior estímulo e aperfeiçoamento das condições de tráfego por estas vias, possibilitando um meio de transporte de passageiros e cargas mais barato.

O modal ferroviário é indicado principalmente para a movimentação de grandes toneladas de mercadorias, a distâncias relativamente longas. Como exemplo destes produtos está o minério (de ferro e manganês), carvão, cereais em grãos que são transportados a granel, até produtos refrigerados e automóveis, onde cada tipo de mercadoria fica acondicionado em vagões que exigem equipamentos especiais.

De acordo com Ballou (1993) existem duas formas de serviços ferroviários, são eles o transportador regular e o privado. O transportador regular vende seu serviço para qualquer usuário, e é regulamentado em termos econômicos e de segurança pelo governo. Enquanto que o transportador privado pertence a um usuário particular, que o utiliza em exclusividade.

Com relação aos custos este tipo de modal apresenta altos custos fixos em equipamentos, terminais e manutenção das vias férreas entre outros. Porém, seu custo variável é baixo. Apesar do custo com transporte ferroviário ser inferior ao custo com transporte rodoviário, este ainda não é amplamente utilizado no Brasil, isto se deve a problemas de infra-estrutura e a falta de investimentos nas ferrovias, que estão se deteriorando em alguns estados do país.

2.2.3 Transporte aquaviário

O modal aquaviário é o mais antigo, e pode ser utilizado para o transporte de grânéis líquidos, produtos químicos, areia, carvão, cereais e bens de alto valor, principalmente operadores internacionais. Os portos desempenham um papel fundamental, pois atuam como um elo de ligação entre os modais terrestres e marítimos, além de diminuir o impacto sofrido pelo fluxo de cargas no sistema viário local, através de armazenagem e da distribuição das mercadorias.

De acordo com Novaes (1994), o Brasil possui um relevante número de portos e uma extensa costa, fator que favorece este modo de transporte, porém, os

serviços portuários disponíveis são extremamente demorados em função da burocracia que dificulta a escolha deste modal.

Dias (1987) ressalta que atualmente os portos encontram-se com infraestrutura inferior ao que a demanda exige, a falta de equipamentos adequados para o manuseio, as operações são uniformes, e os terminais e navios existentes são insuficientes para o mercado.

Este modal apresenta como principais vantagens maior capacidade de transportar mercadorias volumosas, pesadas de qualquer tipo e ao fato dos custos com perdas e danos serem considerados baixos em relação aos outros modais. Suas principais desvantagens são a existência de problemas relacionados a lentidão, uma vez que o transporte aquaviário é, em média, mais lento que a ferrovia e a forte influência que o tempo exerce sobre esta atividade. Porém sua disponibilidade e confiabilidade podem ser afetadas pelas condições metrológicas.

Em relação aos custos, o transporte aquaviário apresenta um custo fixo médio (navios e equipamentos) e o custo variável baixo (capacidade para transportar grande quantidade de tonelagem). É o modal que apresenta o mais baixo custo.

Bowersox, Closs e Cooper (2007, p. 285), “O transporte hidroviário continuará sendo uma opção viável de transportes nos sistemas logísticos futuros”. Pois a lentidão deste tipo de modal oferece uma forma de armazenagem de produtos em trânsito que podem beneficiar a um projeto de sistema logístico integrado. Além disso, existe o Acordo de Livre Comércio da América do Norte (Nafta) que também oferece grandes possibilidades de expandir o uso deste modal para ligar novos produtores e mercados em cidades portuárias. Sendo assim pode-se concluir que o transporte marítimo de longo curso mantém-se como o principal sistema na logística global.

2.2.4 Transporte dutoviário

Este tipo de transporte tem sua estrutura constituída por tubos ou cilindros que são previamente preparados para o transporte de produtos nas formas de gás, líquidos ou mistura semifluida, porém sua utilização é ainda muito limitada, devido à lentidão deste tipo de modal. Segundo Ballou (1993), a movimentação via duto é

bastante lenta. Porém, essa característica pode ser compensada pelo fato de operar vinte e quatro horas, sem descanso. Com restrições de funcionamento apenas durante a mudança do produto transportado e manutenção. Não é muito prejudicado por fatores meteorológicos.

De acordo com Bowersox e Closs (2001), os dutos apresentam o maior custo fixo que resulta do direito de acesso, da construção e da necessidade de controle das estações, além da capacidade de bombeamento. Em contrapartida possui o menor custo operacional variável, pois não necessitam de mão-de-obra intensiva, após sua construção. Por outro lado no que diz respeito aos custos, podemos afirmar que este modal vem se revelando como uma das formas mais econômicas para o transporte de grandes volumes principalmente quando comparados com os modais rodoviário e ferroviário, ficando atrás apenas do modo de transporte aquaviário.

2.2.5 Transporte aéreo

Este tipo de modal é adequado para o transporte de mercadorias de alto valor agregado, produtos perecíveis ou que necessitem de certa urgência na entrega. No entanto, o volume de transporte aéreo disponível ainda é bastante pequeno em relação ao volume total de carga a ser transportada, ainda vale destacar que este modal está disponível para vários países.

De acordo com Bowersox e Closs (2001), é o mais novo tipo de transporte, porém o menos utilizado, devido ao seu alto custo. Entretanto, esse aspecto pode ser compensado pela grande rapidez da entrega, que possibilita a redução ou corte de custos com outros elementos logísticos, como armazenagem e estoque. Este modal consiste na disponibilidade e confiabilidade do serviço aéreo, sendo apropriado para o transporte de produtos de alto valor agregado, pouco peso ou volume e que apresentem urgência na entrega.

Dias (1987) aborda que o transporte aéreo apresenta como aspectos negativos o custo fixo mais elevado que os outros modais, além de inadequação para mercadorias com grande volume e disponibilidade de rotas. Seu custo variável, também é extremamente alto em decorrência de gasto com combustível, manutenção e mão-de-obra intensa, representada pelo pessoal de bordo e terra.

Por outro lado, o transporte aéreo pode ser usado como ferramenta competitiva, pois a entrega rápida pode ser usada como bom argumento de venda, além da redução de custos com embalagens, uma vez que os produtos não precisam ser tão manuseados. As vantagens que geram para economia do país são bastante abrangentes, pois esse tipo modal possibilita a movimentação de uma parte da economia turística e comercial, devido a sua capacidade de fazer viagens nacionais e internacionais.

2.2.6 Transporte rodoviário

Com a implantação da indústria automobilística no Brasil e a pavimentação das rodovias na década de 50, esse modal se expandiu de tal forma que hoje é o mais procurado. Difere do ferroviário, pois serve de rotas de curta distância para o transporte de produtos acabados ou semi-acabados, podendo atingir todos os pontos do território nacional ou internacional.

Do ponto de vista de Keedi e Mendonça (2000), o transporte rodoviário é aquele realizado em estradas de rodagem, com a utilização de veículos como caminhões e carretas. Podendo ser realizado de forma nacional ou internacional. A simplicidade de seu funcionamento é o seu ponto forte, pois apresenta uma alta acessibilidade e está sempre disponível para atendimentos urgentes.

Este tipo de transporte pode ser oferecido por empresas contratadas, regulares e frota própria, no caso da empresa produtora ter a sua.

Apesar do custo do frete ser muito elevado, este tipo de modal tem sido considerado o meio de transporte mais comum e eficiente no território nacional, devido a sua flexibilidade e agilidade no acesso as cargas. O modal rodoviário é bastante recomendado para o transporte de mercadorias de alto valor agregado, para cargas de pequeno porte e fracionadas. Além de permitir unificação de regiões, mesmo as mais afastadas, bem como o interior do país.

Dias (1987) afirma que o modal rodoviário, entre os demais disponíveis no mercado nacional, é o que tem prioridade de escolha diante da organização, esta superação é resultado da sua versatilidade e flexibilidade.

Novaes (1994) ressalta que este modo de transporte se destaca dos demais, pois consegue atingir todos os pontos do território nacional.

No Brasil o sistema de transporte rodoviário é regulamentado e fiscalizado pela ANTT, que tem como atribuições específicas a promoção de estudos e levantamentos relativos à frota de caminhões, empresas constituídas e operadores autônomos, de transportes rodoviários de cargas. Também é de responsabilidade da ANTT organizar e manter um registro nacional de todos os transportadores rodoviários de cargas.

Vale destacar que a utilização desse tipo de transporte, permite as empresas exportadoras e importadoras terem maior flexibilidade, podendo oferecer algumas vantagens, dentre as quais:

- vendas que possibilita a entrega na porta do comprador;
- menos manuseio da carga reduzindo assim, os riscos com avarias, além de oferecer maior segurança, já que o caminhão é lacrado no local do carregamento e aberto no local da entrega;
- rapidez na entrega da carga a curta distância;
- o transporte chega até a mercadoria, enquanto nos outros modais a mercadoria deve ir ao encontro da unidade de carga;
- a mercadoria pode ser entregue diretamente ao cliente sem que este tenha que ir buscá-la, devido a flexibilidade que este modal oferece que é a de fazer a entrega na porta do cliente;
- exigências de embalagens mais simples a um custo bem menor;
- facilidade de substituição do veículo em caso de acidentes.

Como desvantagens destacam-se:

- modal bastante poluidor do meio-ambiente;
- maior custo operacional e menor capacidade de carga;
- possibilidade de congestionamentos;
- a malha rodoviária deve estar sempre em manutenção ou em construção, gerando custo ao erário ou a contribuinte, visto que, existem estradas privatizadas que cobram pedágio.

O modal rodoviário, geralmente, completa os demais dentro da função logística do transporte, e por isso o planejamento das operações logísticas realizadas neste setor é de fundamental importância, pois serve como apoio para a realização das operações que ocorrem diariamente dentro da organização, mas devido a imprevistos como: problemas de ordem climática que provocam atrasos, por causa do fechamento de estradas, manutenção de veículos, cancelamento de

pedidos e custos crescente com a substituição de equipamentos, este planejamento dificilmente consegue ser seguido.

Desta forma o não planejamento, ou mesmo, o planejamento deficiente, dos processos de criação de roteiros para entrega ou coleta de produtos, impactam diretamente nos custos operacionais, pois distâncias percorridas maiores do que o necessário incide em maior consumo de tempo, combustível, além da depreciação dos equipamentos e mão-de-obra, o que acaba encarecendo os preços dos produtos ou serviços oferecidos ao consumidor final. Daí a importância de minimizar os custos deste modal de transporte.

2.3 ROTEIRIZAÇÃO

A atividade de distribuição de uma empresa compreende desde a movimentação e estocagem de seus bens, até a entrega ao cliente final, sendo que está última etapa, quando não bem planejada é a que absorve maior parte dos custos logísticos, dificultando assim, a busca por um diferencial competitivo e uma melhor prestação de serviços aos usuários. Desta forma, para que as empresas possam superar o grande desafio imposto pelo mercado, que é a busca constante por maior eficiência em seus processos, como a redução de custos com transporte e diminuição no tempo de serviço gasto pelas transportadoras, torna-se necessário o uso da roteirização, pois o mesmo permitir que as empresas possam obter ganhos significativos, tanto do ponto de vista financeiro, como a redução de custos operacionais, quanto em termos de qualidade de serviços prestados, levando sempre em consideração fatores como restrições logísticas e de tráfego, E desta forma atingir o diferencial competitivo imposto pelo mercado e tão almejado pelas organizações.

Para melhor compreensão dos efeitos da roteirização é necessário, entender o seu conceito. De acordo com Ballou (2001) a roteirização é uma atividade que tem como objetivo a busca pelos melhores trajetos que um veículo deve fazer através de uma malha, além de minimizar o tempo ou distância percorrida por este veículo obtendo, assim, uma melhor prestação de serviço.

Segundo Cunha (1997), o termo roteirização, embora não encontrado nos dicionários de língua portuguesa, é a forma que vem sendo utilizado como

equivalente ao inglês “*routing*” (ou “*routeing*”), para definir qual o processo que será utilizado para determinação de um ou mais roteiros ou seqüenciamento de paradas a serem cumpridas, tendo como objetivo visitar um conjunto de pontos distintos geograficamente e pré-determinados.

Tendo em vista que, as atividades comerciais das organizações estão relacionadas à distribuição de produtos, e devido a este fator acabam se deparando com problemas ligados à extensão do território e a grande quantidade de clientes, com as mais diferentes necessidades. Além disto, muitos dos produtos distribuídos possuem um baixo valor agregado, sendo muitas vezes comercializado em grande quantidade, isto acaba gerando a necessidade de ser feita a otimização quanto aos fatores como a extensão territorial e o modelo de comercialização destes produtos, de tal forma que os custos logísticos não onerem demasiadamente a comercialização.

Os custos logísticos estão envolvidos nas etapas de: armazenamento, e distribuição dos produtos.

De acordo com Novaes (1994), entre os elementos relacionados ao custo logístico, o maior e mais importante é o custo de distribuição, também é o que mais está sujeito a variações freqüentes. Estas variações significam conviver com mudanças das demandas dos clientes, que acontecem em intervalos muito pequenos, como também na forma que o atendimento é feito, para não onerar em demasia o custo desse atendimento.

Sendo assim o processo de roteirização, nada mais é, do que um processo de criação de roteiros, que é capaz de fornecer grandes benefícios as organizações, pois através dele é feito a otimização do uso das frotas, definindo quais serão as rotas, a serem percorridas pelos veículos que fazem a entrega ou a coleta de produtos, ao mesmo tempo em que procuram proporcionar uma prestação de serviço de alto nível ao menor custo possível.

A roteirização segundo Assad (1988) apud Cunha “consiste em uma das histórias de grande sucesso da Pesquisa Operacional nas últimas décadas, que pode ser medido pelo expressivo número de artigos que vêm sendo publicado ao longo dos anos na literatura especializada, incluindo os anais do congresso da ANPET (Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes)”.

Desta forma podemos dizer que a pesquisa operacional tem sido uma forma poderosa e eficaz para resolução de problemas reais no setor de transportes,

pois este método pode ser aplicado tanto em rotas urbanas como rodoviárias e o seu resultado consiste na alocação racional de serviços de transportes (coleta/entrega) a frota e a definição de itinerários (roteiros), com sequenciamento e ordem de atendimentos a serem realizados de forma mais eficaz. Além de permitir as empresas que fazem uso deste método, para resolução de PRV a possibilidade de permanência no mercado altamente competitivo.

2.3.1 Problemas de roteirização de veículos – PRV

O problema de roteirização de veículos é o problema mais comum dentre os componentes da cadeia de suprimento. Neste tipo de problema, o fornecedor deve definir a quantidade de produtos a serem entregues e a rota que o veículo deve seguir para realizar a entrega ou coleta de mercadorias, levando em consideração que os horários de saída e chegada são fixos. Também tem como objetivo geral a minimização do custo total, tendo em vista que rotas bem definidas contribuem para que as empresa possam obter vantagens econômicas, devido ao aumento da produtividade e com o controle mais eficiente da gestão de transporte.

Bertaglia (2003, p. 294) afirma que:

Os problemas de roteirização são bastante complexos, uma vez que apresentam uma quantidade grande de variáveis, com tempo de entrega, quantidade a ser entregue, número de clientes, diferentes produtos e embalagens, diferentes pesos, restrições de entrega, restrições físicas no roteiro para determinados veículos, necessidades de equipamentos especiais, diferentes formas de recebimento, com elevadores e plataformas.

De acordo com Novaes (2001), existem vários fatores que são considerados fundamentais para a definição de um problema real de roteirização de veículos como, por exemplo, decisão, objetivos e restrições. As decisões dizem respeito à alocação de veículos e mão-de-obra para atender a um dado grupo de clientes, por meio de uma programação e seqüenciamento das visitas pré-definidas. Os objetivos visam proporcionar uma prestação de serviço de alto nível aos clientes, mas ao mesmo tempo manter o menor custo possível. Por outro lado, deve obedecer a certas restrições como, por exemplo, os serviços de transporte de carga

devem completar as rotas com os recursos disponíveis, mas ao mesmo tempo devem cumprir os compromissos assumidos com os clientes. Deve respeitar o limite de tempo imposto pela jornada de trabalho dos motoristas e ajudantes. Finalmente, devem respeitar as restrições de trânsito, no que se referem às velocidades máxima, horário para carga/descarga dos produtos, tamanho máximo de veículos nas vias públicas, entre outros. Na prática, os problemas de roteamento ocorrem com bastante frequência na distribuição de produtos e serviços.

De acordo com Novaes (2001), uma vez definido o bolsão de entrega, a roteirização sem restrições procura resolver o problema que resta, que é a definição de rotas e programação de entrega, juntamente com a locação de veículos e mão-de-obra, para executar os serviços logísticos de transporte de carga a um dado número de clientes a partir de um ou mais destinos dentro deste bolsão de entregas, desconsiderando restrições de tempo ou de capacidade dos veículos.

A roteirização sem restrição é muitas vezes definido como problema do caixeiro viajante - PCV, devido ao fato do mesmo ter sido o primeiro problema de roteirização estudado, este problema consiste em encontrar roteiros ou seqüenciamentos de visitas a certo número de fábricas localizadas em cidades diferentes, minimizando a distância total percorrida e assegurando que cada cidade fosse visitada exatamente uma vez, Novaes (2001).

Desde então, novas restrições vem sendo incorporadas a este problema, melhorando a representação dos diferentes impasses que envolvem os roteiros de pessoas e veículos, entre as quais: restrições de atendimento (conhecidas na literatura como janelas de tempo ou janelas de horários); capacidades dos veículos; duração máxima dos roteiros dos veículos (tempo ou distância); e quais os tipos de veículos que podem atender as mais diferentes necessidades dos clientes.

De acordo com Novaes (2001), existem vários métodos heurísticos para resolução de um PCV. Estes procedimentos podem ser reunidos em duas categorias:

- métodos de construção do roteiro;
- métodos de melhoria de roteiro.

De acordo com Novaes (2001, p. 285), “Os métodos de construção partem de um ou dois pontos, e vão formando o roteiro através do acréscimo paulatino de pontos adicionais”. Ou seja, este método consiste em construir um roteiro pelo acréscimo de pontos mais próximos ou mais distantes entre si, a partir

de um dado ponto inicial. Este método tem como vantagem, rapidez e facilidade de execução, além de fornecer uma solução que pode ser adotado como configuração inicial para aplicação dos métodos de melhoria. Em contrapartida sua desvantagem é criar soluções não muito eficientes, uma vez que pode gerar rotas entre pares.

Novaes (2001, p. 288) ressalta que, “os métodos de melhoria partem da solução obtida com auxílio de um outro método qualquer, e procuram aperfeiçoar o resultado assim obtido utilizando, para isso, uma sistemática predefinida”. Sendo assim, este método consiste no uso de procedimentos sistemáticos para promover a melhoria de roteiros já existentes. Os métodos para melhoramentos de roteiros mais utilizados são o 2-opt e 3-opt.

Método 2-opt: este método é o mais simples e consiste em três etapas de evolução computacional. Sendo que o mesmo começa com um roteiro gerado pelo método de construção de roteiros, depois remove-se dois arcos do roteiro reconectando-se seus nós por outras ligações. Se esta nova ligação produzir um resultado melhor, isto é, uma rota menor do que a anterior substitui-se o roteiro inicial pelo novo roteiro criado. Caso contrário, continua-se com o roteiro anterior e repete-se o procedimento de reconecção para todos dois pares de arcos. Por ultimo este processo termina quando são testadas todas as combinações possíveis no processo de reconecção com os pares de arcos.

Método 3-opt: é conceitualmente igual ao 2-opt, com a diferença que neste método as alterações são realizadas tomando três pares de nós de cada vez. Outra diferença importante em relação à prática anterior, é que agora as possibilidades de alterações sofridas por este procedimento são maiores, sendo que agora podem ser removidos até sete arcos. Este método é mais complexo que o 2-opt, no entanto, oferece resultados mais precisos.

Novaes (2001) afirma que o PCV – Problema do Caixeiro Viajante apresenta problemas crescentes de resolução (tempo de processamento), devido ao aumento do número de clientes distribuídos nos bolsões de entregas. Ou seja, problemas de pequeno porte são facilmente resolvidos, enquanto problemas maiores, relacionados ao aumento do número de pontos visitados, requerem tempos de processamento apreciavelmente mais elevados, devido à complexidade da resolução deste problema.

2.3.2 O problema do menor caminho

Quando definimos qual rota devemos seguir para podermos distribuir os produtos que são necessários para os diferentes clientes, é recomendável que utilizemos o menor caminho possível entre cada ponto de entrega. Este por sua vez também é conhecido como Caminho Mínimo. Sendo que o mesmo é capaz de diminuir o tempo de entrega, reduzir as entregas não programadas, proporcionar um melhor e maior controle gerencial, além de melhorar a eficiência da mão-de-obra, enquanto atende os clientes satisfazendo seus desejos, reduzindo custos.

O problema do menor caminho representa um caso especial de problemas em redes, é um subproblema do caixeiro viajante, que trata de calcular o caminho mais curto entre dois ou mais vértices (nós) de um grafo. Neste caso, um grafo pode representar uma malha rodoviária, distâncias geográficas entre outras, Lachtermacher (2007).

O problema do menor caminho pode não somente representar caminhos de distâncias mínimas, como é mais comumente interpretado, mas também podem representar caminhos de tempos mínimos, custos mínimos, entre outras formas de medição de percursos. Isto pode ser comprovado cada vez que na implementação dos algoritmos de caminho mínimo é possível utilizar qualquer variável (assim como distância), uma vez que estes dados estejam disponíveis.

Existem diversos algoritmos utilizados para resolução do problema do caminho mínimo, sendo que os mesmos também são conhecidos como algoritmos de busca de caminhos, pois calculam os caminhos mínimos entre dois ou mais pontos distintos. Entre os algoritmos dessa classe estão o algoritmo de Dijkstra, o algoritmo de Floyd e a Programação Linear.

2.3.3 Algoritmo de Dijkstra

O algoritmo de Dijkstra é o mais famoso dos algoritmos, pois além de se destacar pela sua simplicidade é considerado um dos mais eficientes para resolução de problemas de menor caminho, permitindo a identificação de todos os caminhos mais curtos a partir de um único vértice de origem.

Segundo Taha (2008) este algoritmo tem como objetivo obter o caminho mais curto entre o nó de origem e qualquer outro nó da rede como, por exemplo, saber a distância mais curta entre a loja e todos os seus clientes. O mesmo consiste em fazer basicamente uma visita por todos os nós do grafo, iniciando no nó fixo dado e encontrado sucessivamente o nó mais próximo, e assim por diante, um por vez, até que todos os nós do grafo tenham sido visitados, ou seja, quando todos os nós tiverem sido visitados, os valores obtidos serão considerados como as distâncias mínimas que partem do nó de origem e vão até os demais nós da rede.

2.3.4 Algoritmo de Floyd

Este algoritmo tem como objetivo determinar os custos ou distâncias mínimas entre todos os pares de vértices em um grafo valorado (com peso) e orientado (com direção). De acordo com Taha (2008), “Algoritmo de Floyd é mais geral do que o de Dijkstra porque determina o caminho mínimo entre quaisquer dois nós da rede”. Este algoritmo consiste em calcular os caminhos mínimos de todas as origens para todos os destinos em um grafo valorado. O algoritmo admite grafos com laços e também são calculados os valores de caminhos começando e terminando no mesmo vértice (utilizando ou não os laços). Este algoritmo é muito utilizado em problemas de roteirização.

2.3.5 Programação Linear

A Programação Linear também pode ser aplicada para resolução de problemas logísticos como a determinação do menor percurso dentro de uma rota de entrega ou coleta de produtos. Este método se incube de achar a solução ótima de um problema, uma vez definido o modelo matemático, o próximo passo é fazer a determinação dos valores para as variáveis de decisão aperfeiçoando os objetivos a serem alcançados, sem violar um conjunto de limitações ou restrições, estes conjuntos envolvem sempre relações lineares entre as variáveis de decisão, funções-objetivo e as restrições. De acordo com Lachtermacher (2009) a Programação Linear é um modelo de programação matemática em que todas as

funções-objetivo e restrições são representadas por funções lineares. Ainda segundo o autor diremos que, só estaremos diante de um problema de programação linear quando os problemas práticos que se pretende resolver podem ser escritos de forma a obter a maximização ou minimização da função-objetivo e se todas as restrições forem do tipo menor ou igual, bem como se os termos considerados constantes e as variáveis de decisão assumirem valores não negativos. Será utilizado o modelo de um problema de roteirização de veículos, a fim de facilitar um melhor entendimento de como a programação linear pode ser um método extremamente eficaz para resolução de problemas de otimização.

2.4 MODELAGEM DO PROBLEMA

A otimização de uma rota é um problema de roteirização de veículos, sendo que, o mesmo torna-se um problema bastante complexo, com inúmeras e possíveis combinações que resultariam em várias soluções. Alguns fatores como carga, horário que o veículo irá transitar, tempo gasto com entrega, capacidade do veículo, condições climáticas, conservação do veículo dentre outros fatores tornam o trabalho de definição e otimização de rotas uma tarefa bastante complicada.

Este trabalho procurou levar em consideração, apenas o fator distância total percorrida pelo veículo, para fazer a aplicação de métodos de otimização com o intuito de conseguir um roteiro ótimo. Diante disso, podemos dizer que o roteiro em estudo consiste em um seqüenciamento de visitas a um conjunto de pontos dispersos geograficamente, que vão da transportadora (origem) a cada ponto de entrega (destino). Portanto, este trabalho tem como finalidade encontrar o menor caminho possível entre os pontos da rota.

O problema adotado considera dentre os modelos matemáticos a programação linear também pode ser utilizada para resolução deste tipo de problema. Com base nisso, será utilizado como forma de representação da rota um grafo e o modelo adotado para a realização do cálculo do menor caminho será a programação linear.

De acordo com Taha (2008) esta seção dá um modelo da formulação utilizada em programação linear para o problema do caminho mínimo. Este modelo é

comum no sentido que pode ser utilizado para encontrar o caminho mínimo entre quaisquer dois nós da rede. Neste sentido torna-se, igual ao algoritmo de Floyd.

Suponha que a rede de caminho mínimo inclua n nós e que desejamos descobrir o caminho mais curto entre quaisquer dois nós s e t da rede. Sendo que o fluxo ingressa na rede no nó s e sai no nó t .

Taha (2008) define este tipo de problema da seguinte forma:

x_{ij} = quantidade de fluxo no arco (i,j)

$= \begin{cases} 1, & \text{se arco } (i,j) \text{ estiver mais curto} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$

c_{ij} = comprimento do arco (i,j)

Sendo assim, a função objetivo da programação linear torna-se:

$$\text{Minimizar } z = \sum_{\substack{\text{todos} \\ \text{os} \\ \text{arcos} \\ \text{definidos } (i,j)}} c_{ij}x_{ij} \quad (1)$$

As restrições também são importantes para estabelecer os limites de atuação e são representadas pela equação de construção de fluxo em cada nó.

Fluxo total de entrada = Fluxo total de saída

$$\left(\begin{array}{c} \text{Entrada} \\ \text{externa para} \\ \text{o nó } j \end{array} \right) + \sum_{\substack{i \\ \text{todos os} \\ \text{arcos } (i,j) \\ \text{definidos}}} x_{ij} = \left(\begin{array}{c} \text{Saída} \\ \text{externa} \\ \text{do nó } j \end{array} \right) + \sum_{\substack{k \\ \text{todos os} \\ \text{arcos } (j,k) \\ \text{definidos}}} x_{jk} \quad (2)$$

Supondo que queiramos determinar o caminho mais curto do nó 1 ao nó 2, isto é, $s = 1$ e $t = 2$. A figura 1 ilustra como a unidade de fluxo entra no nó 1 e sai no nó 2.

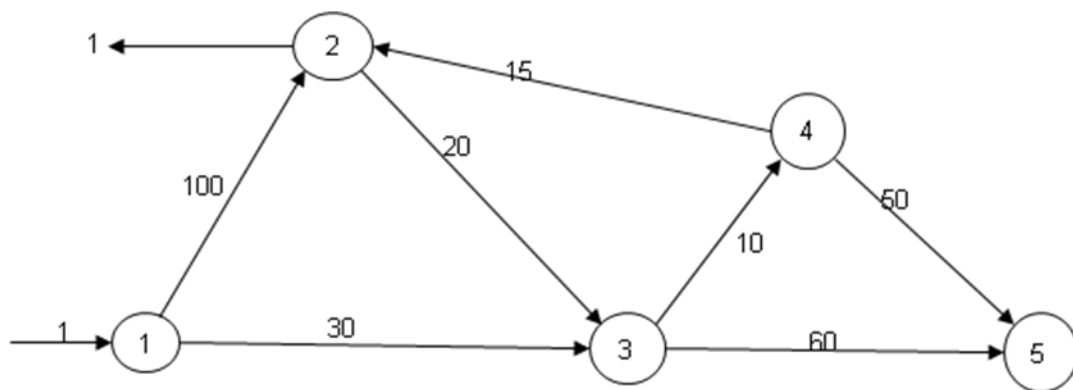


Figura 01: Modelo de Inserção de Unidade de Fluxo
Fonte: Taha (2008, p.116)

Podemos notar pela rede que a equação de conservação de fluxo tem como resultado:

$$\text{Nó 1: } 1 = X_{12} + X_{13}$$

$$\text{Nó 2: } X_{12} + X_{42} = X_{23} + 1$$

$$\text{Nó 3: } X_{13} + X_{23} = X_{34} + X_{35}$$

$$\text{Nó 4: } X_{34} = X_{42} + X_{45}$$

$$\text{Nó 5: } X_{35} - X_{45} = 0$$

A formulação em PL completa pode ser expressa conforme a tabela apresentada abaixo.

Tabela 1 - Formulação em PL

	X_{12}	X_{13}	X_{23}	X_{34}	X_{35}	X_{42}	X_{45}	
Minimizar = Z	100	30	20	10	60	15	50	
Nó 1	1	1						= 1
Nó 2	-1		1			-1		= -1
Nó 3		-1	-1	1	1			= 0
Nó 4				-1		1	1	= 0
Nó 5					-1		-1	= 0

Fonte: Taha (2008, p.116)

Dessa maneira, pode-se verificar que a coluna X_{ij} , tem exatamente uma entrada '1' na linha i e uma entrada '-1' na linha j, uma propriedade típica de uma programação linear. A solução ótima obtida da o caminho mais curto do 1 ao nó 2 se foram os pontos 1-3-4-2, e a distancia associadas é de Z= 55 milhas. O cálculo

deste modelo pode ser obtido através da ferramenta Solver do Excel, mas os procedimentos de como utilizar esta ferramenta serão descritos nos resultados do trabalho, onde precisarei aplicar o Solver para fazer o cálculo referente a um problema real de roteirização de veículos.

3. METODOLOGIA

Na seqüência é descrito quais os procedimentos utilizados para realização desta pesquisa.

3.1 TIPOS DE PESQUISA

O projeto de pesquisa elaborado pode ser enquadrado sob o ponto de vista de sua natureza como uma pesquisa de natureza aplicada, tendo em vista que este método é uma investigação original que leva em consideração o uso do conhecimento disponível, com vistas à solução de problemas específicos na empresa em estudo.

Segundo Marconi e Lakatos (1999) pesquisa aplicada, é caracterizada pelo seu interesse prático, pois tem como objetivo, a utilização ou aplicação imediata de seus resultados, na solução de problemas que acontecem na realidade.

Na Visão de Barros e Lehfeld (2000, p.78) a pesquisa aplicada “é aquela em que o pesquisador é movido pela necessidade de conhecer para a aplicação imediata dos resultados”. Este tipo de pesquisa tem uma contribuição prática, pois tem como objetivo, à solução mais ou menos imediata dos problemas que ocorrem na realidade.

Cabe ainda destacar que quanto à forma de abordagem o problema é uma pesquisa de caráter quantitativa, pois leva em consideração que tudo pode ser quantificável, ou seja, traduzir em dados estáticos opiniões e informações para poder promover sua classificação e análise.

Segundo Oliveira (2002) a pesquisa quantitativa como o próprio nome diz, procura quantificar opiniões, dados e formas de coletar informações, utilizando-se do emprego de procedimentos estatísticos, que vão desde os mais simples até o uso dos mais complexos.

De acordo com Mazzoti (1999) a pesquisa quantitativa se traduz em números, opiniões e informações, para poder classificá-las e organiza-las. Esse tipo de pesquisa é geralmente usada para responder questões relativas à quantidade, conhecer a eficiência de um serviço e avaliar resultados que podem ser contados e expressos em números.

Ainda poder ser classificada do ponto de vista dos seus objetivos como pesquisa exploratória, tendo em vista que, este tipo de estudo permite ao pesquisador fazer uma análise de situações inéditas, ou ainda pouco conhecidas, visando estabelecer entendimento dos mesmos, para daí formular melhor o problema ou estabelecer outras futuras hipóteses de pesquisa.

Para Jung (2004) a pesquisa exploratória tem como finalidade a descoberta de novas teorias e práticas para substituírem as já existentes, normalmente, este tipo de pesquisa não exige grandes teorizações e, sim, a experimentação para poder fazer a coleta de dados que servirão como base para formulação de modelos inovadores ou explicativos.

Andrade (1998) explica que pesquisa exploratória é um dos primeiros passos para a elaboração do trabalho científico, tem como intenção proporcionar o maior número de informações sobre um determinado assunto, para facilitar a escolha de um tema de trabalho preliminar ou preparatório para outro tipo de pesquisa.

Do ponto de vista dos procedimentos técnicos trata-se de um estudo de bibliográfico e avaliação formativa que teve como base um estudo de caso.

Para podermos realizar a otimização da rota em estudo tivemos que fazer uma pesquisa bibliográfica na literatura dos livros existentes sobre o tema abordado, tendo em vista que sem a fundamentação teórica não poderíamos fazer a utilização dos métodos para resolução do problema da pesquisa.

Segundo Marconi e Lakatos (1999) pesquisa bibliográfica consiste na abrangência de toda bibliografia que já foi publicada em relação ao tema em estudo e tem como finalidade colocar o pesquisador em contato direto com tudo que foi escrito, dito ou filmado sobre determinado assunto.

Conforme Barros e Lehfeld (2000) a pesquisa bibliográfica é realizada no intuito de tentar resolver problemas ou adquirir conhecimento sobre um determinado tema, mas para que isso aconteça é necessário que o pesquisador faça um levantamento sobre o tema e quais os tipos de abordagens já trabalhados pro outros estudiosos, a partir de uso predominante de informações advindo de material gráfico, sonoro ou informatizado já publicado.

Quanto ao estudo de caso, este método foi escolhido, pois se mostrou mais adequado aos objetivos da pesquisa, tendo em vista que o mesmo pretende analisar e demonstrar qual a importância da otimização de uma rota de entrega.

O estudo de caso permite uma análise profunda e detalhada do foco da pesquisa, proporcionando a identificação de aspectos inicialmente não identificados ou não previstos.

Cervo e Bervian (1996) afirmam que estudo de caso consiste em uma análise intensiva sobre um determinado indivíduo, família, grupo ou comunidade para examinar aspectos variados de sua vida.

De acordo com Vergara (1998, p. 47) o estudo de caso destaca-se por ser:

É um circunscrito a uma ou poucas unidades, entendidas essas como uma pessoa, uma família, um produto, uma empresa, um órgão público, uma comunidade ou mesmo um país. Tem caráter de profundidade e detalhamento. Pode ou não ser realizado no campo.

Porém, após um estudo detalhado da empresa foi utilizada a avaliação formativa com o propósito de diagnosticar os problemas existentes em uma rota de entrega e como forma de sugerir melhorias para os mesmos.

Para Roesch (1999, p. 74) a avaliação formativa destaca-se por ser:

Neste tipo de projeto, o propósito é melhorar ou aperfeiçoar sistemas ou processos. A avaliação formativa normalmente implica um diagnóstico do sistema atual e sugestões para sua reformulação; por isso requer certa familiaridade com o sistema e, idealmente, a possibilidade de implementar as mudanças sugeridas e observar seus efeitos. É um dos tipos mais escolhidos pelos alunos que trabalham e identificam problemas ou oportunidades de melhoria em sua organização.

3.2 ÁREA DE ABRANGÊNCIA

Levando em consideração que a presente pesquisa encontra-se centrada na área de Logística, direcionada a gestão de transporte, tendo como intenção demonstrar a importância da otimização de uma rota de entregas e sugerir melhorias que possibilitem a empresa em análise minimizar os custos ocorridos na mesma.

Para melhor entendimento podemos dizer que, esta pesquisa tem como área de abrangência uma transportadora localizada em Parnamirim/RN, tendo no seu quadro de funcionários um total de 115 (cento e quinze) colaboradores e que sua área de atuação gira em torno da realização de serviços de entrega e coleta de produtos.

3.3 INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS

Os dados necessários para resolução do problema da pesquisa, foram coletados da seguinte forma: mediante observação sistemática, análise documental e Google Maps.

No que diz respeito a observação sistemática, Gil (1999, p. 47), enfatiza que observação sistemática “consiste na participação real do pesquisador na vida da comunidade, do grupo ou de uma situação determinada”.

Para Barros e Lehfeld (2000), observação sistemática caracteriza-se por se realizar em condições controladas e planejadas para se responder a propósitos, que foram anteriormente definidos.

A análise documental também foi adotada, já que se percebeu a análise de anotações fornecidos pelo gestor da empresa explorada, a exemplo dessas anotações estão documentos que identificam os pontos onde são feitas as entregas dos produtos.

No entendimento de Marconi e Lakatos (1999), a pesquisa documental é caracterizada por sua fonte de dados está restrita a documentos, escrito ou não, constituindo o que se denomina fonte primária, sendo que os mesmos são coletados no momento em que o fato ou fenômeno acontece, ou depois.

Do ponto de vista de Vergara (1998, p. 46) a investigação documental é desenvolvida com base em documentos conservados em poder de órgãos públicos, privados de qualquer natureza ou em mãos de pessoas.

No que diz respeito aos dados obtidos como a medição das distâncias entre os pontos de entrega, foi utilizado o auxílio do Google Maps para obtenção da medição correta.

3.4 INSTRUMENTOS DE ANÁLISE DE DADOS

Após a coleta dos dados brutos, foi necessário um tratamento dessas informações com o propósito de possibilitar a entrada dos mesmos no modelo proposto para resolução do problema da pesquisa, e a partir daí sugerir melhorias à empresa em estudo. Assim, foram utilizados conceitos da Logística, que estão de acordo com as políticas e diretrizes desta área, mas sobretudo também foram considerados conceitos de ferramenta de otimização, como Algoritmo de Dijkstra e a Programação Linear, que serviu de base para utilização da ferramenta Solver disponível no Excel, que possibilitou fazer cálculo do menor caminho com objetivo de obter distâncias mínimas entre os pontos. As simulações obtidas serão descritas nos resultados e discussões do trabalho mostrado a seguir.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados e discussões do trabalho serão apresentados nas seguintes etapas: diagnóstico, onde é exposto todo o processo de entrega feita pelo veículo, fazendo uma análise do mapa, dos dados obtidos na rota e em seguida apresentando a figura do grafo obtido para solução do problema, e métodos de resolução, exibindo as ferramentas de otimização utilizadas, com a finalidade de alcançar os objetivos previamente estabelecidos.

4.1 DIAGNÓSTICO

O foco deste trabalho consiste na avaliação da atividade de transporte, em termos de melhorar uma rota de entrega através da resolução de um problema de roteirização. Bem como apresentação do local, da rota de entrega e do grafo obtido, os quais constituem fundamental importância para a solução do problema da pesquisa.

4.1.2 Identificação do local e da rota de entrega

O presente estudo foi realizado em uma transportadora, situada em Parnamirim/RN, que realiza entregas de produtos de uma grande empresa de cosméticos para ruas e avenidas situadas nos bairros da Região Administrativa Leste em Natal/RN. Para atender estes clientes, a transportadora utiliza apenas um veículo que tem capacidade para transportar 70 caixas. Para definir o roteiro de quais clientes serão atendidos a cada dia, a transportadora possui um banco de dados com o cadastro de todos os clientes, de onde faz o levantamento de acordo com as demandas e prioridades dos mesmos e então despacha o veículo para realização das entregas. Entretanto, uma vez que o veículo é despachado para os clientes pré-determinados, fica a critério do motorista o roteiro a ser seguido. O que se observa, portanto, são percursos mais longos e passagens desnecessárias pela mesma rua ou avenida.

Para o desenvolvimento deste trabalho foi adotado um modelo de problema de roteirização de veículo que procurou levar em consideração, apenas o fator distância total percorrida pelo veículo, para fazer a otimização de uma rota de entrega obtendo, assim, o menor caminho entre os pontos. Sendo assim, pode-se dizer que a rota consiste em um seqüenciamento de visitas a um conjunto de pontos dispersos geograficamente, sendo a mesma composta por vários pontos, onde deve ser realizada a entrega em um determinado período de tempo, geralmente quinze dias ou um mês. Portanto, nesta etapa percebe-se que cada um dos clientes visitados é representado por um número que será chamado de nó, e que o problema adotado tem como finalidade encontrar o caminho mais curto entre os vários possíveis pontos identificados como nós. É importante ressaltar que o roteiro em estudo corresponde a uma área existente com oito pontos de entrega, onde a rota inicia no ponto 01 (um) e finaliza no ponto 08 (oito), conforme demonstrado no mapa. A Figura 02 mostra o mapa com a localização dos pontos no qual o veículo passa fazendo a entrega dos produtos.



Figura 02: Mapa da Região Leste de Natal com os Pontos de Entrega
Fonte: Pesquisa

Para resolução do problema da pesquisa, foi feito o estudo da rota utilizada, medindo as distâncias entre os pontos, após estes procedimentos foi obtido o desenho de um grafo, ferramenta essencial para a resolução deste tipo de problema. Grafo numa definição bem simples é um conjunto de Vértices e Arestas, ou seja, os Vértices (ou nós) são os círculos em cujo interior é inserido um número que os identifica, sendo os mesmos ligados por linhas que são chamadas de Arestas (ou arcos) sobre os arcos são colocados os valores que representam suas distâncias, neste caso também representam as direções que são utilizadas no roteiro de entregas, conforme demonstrado na figura 03. A figura 03 ilustra como a unidade de fluxo entra no nó 1 (um) e sai no nó 8 (oito)

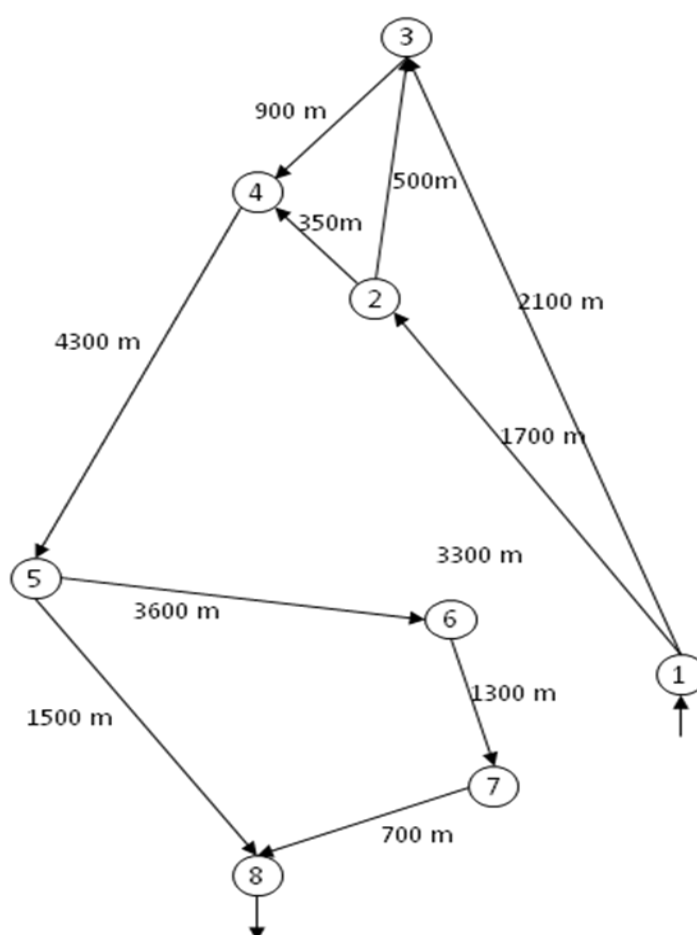


Figura 03: Representação em rede da rota de entrega
Fonte: Autor do estudo

Para solucionar o problema do menor caminho exposto no grafo serão utilizados dois métodos de otimização conforme demonstrado na resolução do problema.

4.2 MÉTODOS DE RESOLUÇÃO

Os problemas de roteirização de veículos se caracterizam pela grande complexidade de resolução. Dentro deste contexto a programação linear e o algoritmo de Dijkstra surgem como uma maneira viável de resolver tais problemas, garantindo soluções próximas de ótimas. Assim sendo, esta etapa tem como finalidade apresentar os métodos de otimização que foram utilizados para resolução do problema do menor caminho.

4.2.1 Algoritmo Dijkstra

Conforme mencionado anteriormente, este algoritmo consiste em obter o menor caminho possível entre o nó de origem e qualquer outro nó de uma rede. Pode-se ver que para determinar a distância mais curta dentro do roteiro de entrega, este algoritmo examina todos os nós sem incluir o nó origem e vai rotulando os nós em ordem de distância ao nó origem, ou seja, soma-se estes nós considerando que o nó só estará fechado quando tiver obtido o menor caminho entre o nó de origem e qualquer outro nó.

Para o problema da pesquisa foram adotadas as seguintes variáveis que representam a distância percorrida pelo veículo, que vai do nó i ao nó j, conforme demonstrado no quadro.

X		Distância
De i	Para j	m
1	2	1700
1	3	2100
2	3	500
2	4	350
3	4	900
4	5	4300
5	6	3600
5	8	1500
6	7	1300
7	8	700

Quadro 01: Representação das distâncias entre os nós.

Fonte: Autor do estudo

Para determinar o caminho mais curto, começamos pelo nó 1 e ao chegar ao nó de destino rotula-se este nó onde é colocado um par de números sendo que o primeiro número representa o nó de origem e o segundo corresponde à distância total percorrida. A este nó 1 é atribuído o valor zero $[0,0]$ isto ocorre porque antes deste nó não existe nenhum outro nó. A partir deste segue-se para os nós 2 (dois) e 3 (três). Portanto, as rotulações destes nós ficam da seguinte forma $[1,1700]$ e $[1,2100]$. Note que pode ser feito o mesmo procedimento do nó 1(um) ao 3 (três) passando pelo nó dois, porém, a distância seria maior que indo direto para o 3 (três). Este mesmo procedimento foi realizado nos outros nós, a exemplo, pode-se chegar ao nó 4 (quatro) vindo do nó 3 (três) ou do nó 2 (dois). Sendo que neste caso a menor distância seria através do nó 2 (dois). A figura 04 demonstra como fica o grafo após a rotulação dos nós visitado pelo algoritmo.

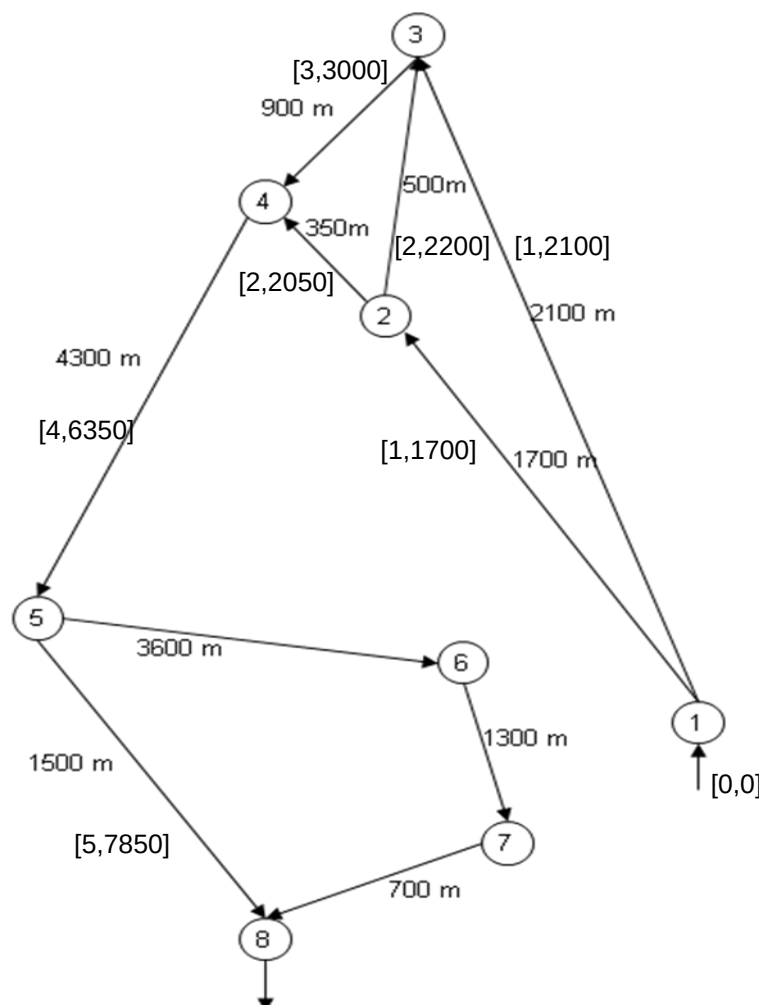


Figura 04: Representação da rotulação dos nós
Fonte: Autor do estudo

Conforme demonstrado na figura – o menor caminho encontrado pelo algoritmo Dijkstra para percorrer do nó 1(um) ao nó 8 (oito) é [1,2,4,5,8], totalizando uma distância de 7.850m.

A aplicação deste algoritmo em outros percursos demonstra que as distâncias entre os pontos seriam maiores.

Tabela 2: Representação das distâncias obtidas após a rotulação dos pontos

Caminhos	Distâncias Percorridas
1-3-4-5-6-7-8	12.900
1-3-4-5-8	8.800
1-2-4-5-6-7-8	11.950

Outro método que pode ser utilizado para resolução deste tipo de problema é a Programação Linear. A discussão a seguir demonstra como a Programação Linear pode ser aplicada em problemas de menor caminho.

4.2.2 Programação Linear

A programação linear é uma das técnicas utilizadas na resolução de problemas de roteirização de veículos, com o intuito de ajudar na tomada de decisão quanto a rotas mais bem definidas, que auxiliem na diminuição de custos administrativos.

Esta técnica consiste na criação de um modelo composto pela função objetivo, às restrições e a condição de não negatividade, onde para poder resolver o problema levou-se em consideração que a modelagem do problema terá variáveis binárias do tipo X_{ij} , que representarão as distâncias do nó i ao nó j . Sendo o valor da variável igual a 01(um), quando significar que o trecho deve ser percorrido pelo veículo. De forma inversa, se o valor da variável for igual a 0 (zero), o percurso que liga do nó i ao nó j não deverá ser utilizado. As variáveis de decisão utilizadas para encontrar a função objetivo neste problema foram as seguintes:

X_{12} – Av. Hermes da Fonseca (1) – Rua Pedro Afonso (2)

X_{13} – Avenida Hermes da Fonseca (1) – Rua Edvar Reis (3)

X_{23} – Rua Pedro Afonso (2) – Rua Edvar Reis (3)

X_{24} – Rua Pedro Afonso (2) – Rua do Areial (4)

X_{34} – Rua Edvar Reis (3) – Rua do Areial (4)

X_{45} – Rua do Areial (4) – Av. Almirante Alexandrino de Alencar (5)

X_{56} – Av. Almirante Alexandrino de Alencar (5) – Rua Alberto Maranhão (6)

X_{58} – Av. Almirante Alexandrino de Alencar (5) – Av. Prudente de Moraes (8)

X_{67} – Rua Alberto Maranhão (6) R. Dr. Múcio Galvão (7)

X_{78} – R. Dr. Múcio Galvão (7) – Av. Prudente de Moraes (8)

Por se tratar de um problema do menor caminho a função objetivo visa minimizar a distância percorrida pelo veículo entre os pontos de entrega. Logo essas variáveis assumem o valor de zero ou um. Fazendo a multiplicação destas variáveis pela distância das respectivas ruas e/ou avenidas foram obtidas o valor de zero, nos percursos que não forem utilizados, e valores iguais às distâncias percorridas entre estas ruas e/ou avenidas se forem utilizadas. Ficando, portanto, o somatório desses produtos igual a distância percorrida, desta forma a função objetivo, pode ser matematicamente representada conforme demonstrado no modelo abaixo:

(3)

$$\text{Min CMC} = 1700X_{12} + 2100X_{13} + 500X_{23} + 350X_{24} + 900X_{34} + 4300X_{45} + 3700X_{56} + 1500X_{58} + 1300X_{67} + 700X_{78}$$

Os nós estarão sujeito a restrições, notem que para o primeiro nó o somatório de saída recebe o sinal de negativo ficando igual a (-1), enquanto que para o ultimo nó o somatório de chegada recebe o sinal de positivo (1). Todos os outros nós recebem o somatório de chegada e saída iguais a zero, ficando as restrições de fluxo representadas matematicamente da seguinte forma:

Nó 1	$-X_{12} - X_{13} = -1$
Nó 2	$X_{12} - X_{23} - X_{24} = 0$
Nó 3	$X_{13} + X_{23} - X_{34} = 0$
Nó 4	$X_{24} + X_{34} - X_{45} = 0$
Nó 5	$X_{45} - X_{56} - X_{58} = 0$
Nó 6	$X_{56} - X_{67} = 0$
Nó 7	$X_{67} - X_{78} = 0$
Nó 8	$X_{58} + X_{78} = 1$

Para que seja possível a resolução deste problema por este método temos que incluir a restrição de não-negatividade para que todas as distâncias utilizadas sejam maiores ou iguais a zero, ou seja:

$$X_{ij} \geq 0, \text{ para } i = 1 \text{ a } 7 \text{ e } j = 2 \text{ a } 8$$

Após a obtenção destes dados, foi utilizado o auxílio da planilha eletrônica (Solver do Excel). Este programa encontra a solução de problemas no campo de distribuição, que faz parte da logística, resolvendo problemas de roteirização, carregamento e agendamento. Neste caso o Solver foi utilizado para resolver um problema bastante comum dentro da roteirização de veículos, que é o problema do menor caminho. A seguir serão apresentados os passos que foram seguidos para se obter a otimização do problema através da programação linear. Notem que no primeiro estágio de uso do solver é criada uma planilha com os dados referentes as variáveis, restrições e funções-objetivo, separando uma célula para armazenar o resultado da otimização, conforme demonstrado na figura 05.

Solução=F..(1)_monografia [Modo de Compatibilidade] - Microsoft Excel

InicioInserirLayout da PáginaFórmulasDadosRevisãoExibição

Da Web

De Texto

De Outras Fontes

Obter Dados Externos

Conexões Existentes

Atualizar tudo

Conexões

Conexões

Propriedades

Editar Links

Classificar

Filtro

Avançado

Limpar

Reaplicar

Classificar e Filtrar

Texto para colunas

Remover Duplicatas de Dados

Validação

Consolidar

Teste de Hipóteses

Mostrar Detalhes

Ocultar Detalhes

Mostrar Detalhes

Ocultar Detalhes

Aggrupar

Desagrupar

Subtotal

Solver

Análise

J26fx

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1	CAMINHO MAIS CURTO																				
2																					
3																					
4	Variáveis	X12	X13	X23	X24	X34	X45	X56	X58	X67	X78										
5	Coef. Var.	1700	2100	500	350	900	4300	3700	1500	1300	700										
6																					
7	Valor da Var.																				
8	Valor do CMC	0																			
9																					
10		Restrições																			
11	Nº	X12	X13	X23	X24	X34	X45	X56	X58	X67	X78	LEE	LDE								
12	1	-1	-1										-1								
13	2	1		-1	-1								0								
14	3		1	1		-1							0								
15	4				1	1	-1						0								
16	5						1	-1	-1				0								
17	6							1		-1			0								
18	7									1	-1		0								
19	8								1		1		1								
20																					
21																					
22																					
23																					
24																					
25																					
26																					
27																					
28																					
29																					
30																					
31																					

H

Plan1

Plan2

Plan3

Plan4

Windows 10

100%

18

Figura 05: Digitação dos dados na área de trabalho do Excel.

Depois de criada a planilha na área de trabalho do Excel, foi inserido na célula B8 as fórmulas para determinar o caminho mais curto, ficando da seguinte maneira:

Em	Digite
B8	$= (B5*B7)+(C5*C7)+(D5*D7)+(E5*E7)+(F5*F7)+(G5*G7)+(H5*H7)+(I5*I7)+(J5*J7)+(K5*K7)$

Nas restrições as fórmulas foram colocadas nas células, conforme demonstrado no quando abaixo:

Em	Digite
12	$= (B5*b12)+(C7*C12)$
13	$= (B7*B13)+(D7*D13)+(E7*E13)$
14	$= (C7*C14)+(E7*E14)+(F7*F14)$
15	$= ((D7*D15)+(G7*G15)+(H7*H15)$
16	$= (G7*G16)+(I7*I16)+(7*J16)+(K7*K16)$
17	$= (F7*F17)+(K7*K17)(L7*L17)$
18	$= (H7*H18)+(I7*I18)+(M7*M18)$
19	$= (J7*J19)+(L7*L19)+(N7*N19)$

Após todas as fórmulas terem sido inseridas na planilha o solver foi utilizado, para poder resolver o problema do menor caminho. Para resolver o problema clique sobre dados – ferramentas – Solver, que abrirá uma janela com os Parâmetros do Solver, onde foi ativada a célula B8, sendo a mesma definida como célula de destino, ou seja local onde foi digitada a fórmula da função-objetivo. A seguir selecione o objetivo que de acordo com os objetivos desta pesquisa, e o de minimizar a função objetivo, tendo em vista que objetivo é encontrar o menor caminho em uma rota de entrega. Em seguida para delimitar as restrições clique em submeter as restrições, e em seguida no botão adicionar, que abrirá uma caixa de diálogo, onde será selecionada as células responsáveis pelas operações de não negatividade, ou seja, todo intervalo definido como célula de variáveis deve ser maior ou igual a zero. Na mesma janela de Parâmetro de Solver clicar em opções e

escolher presumir modelo linear, esta opção considera que todas as relações existentes no modelo são lineares e resolver o problema através de otimização linear. Aperte OK e a caixa de dialogo irá fechar retornando automaticamente a janela de parâmetro do Solver. A figura 06 demonstra a janela de Parâmetro do Solver.

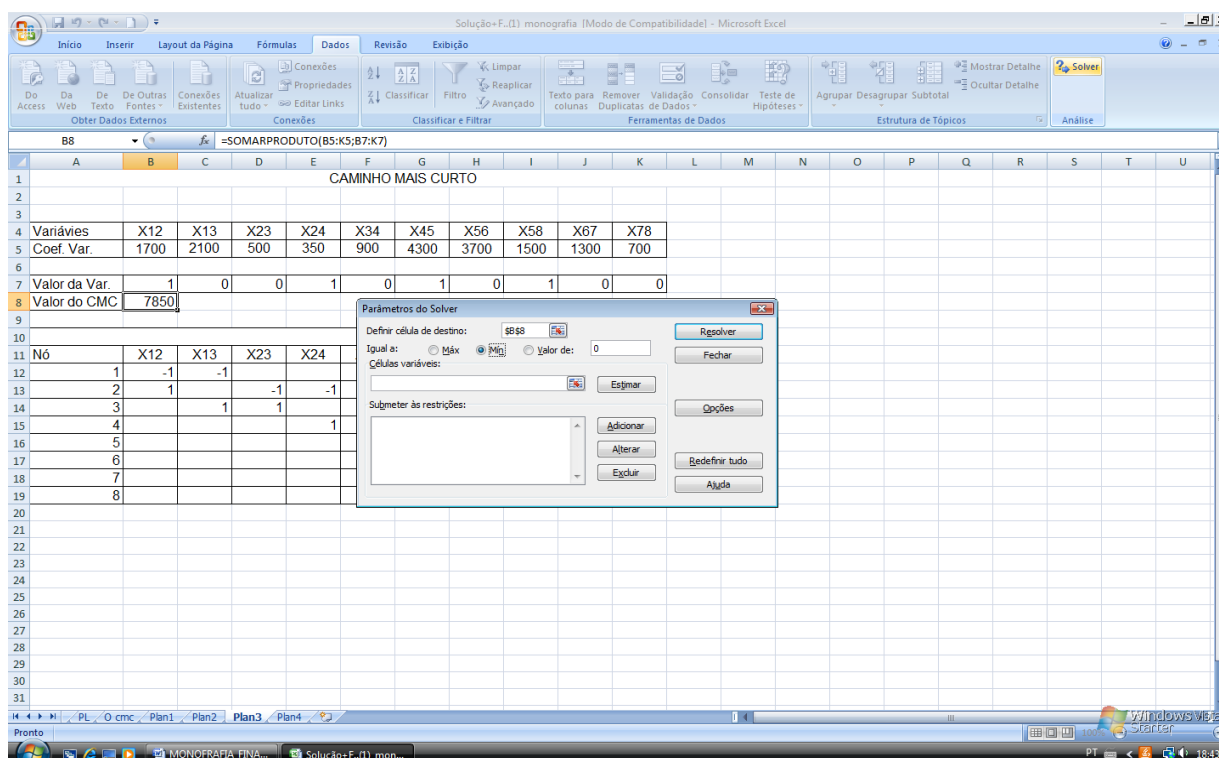


Figura 06: Tela de Parâmetro do Solver.

Para executar a otimização, após retornar a janela de parâmetro aperte o botão resolver. Aparecerá uma janela resultado do solver com o aviso de que o Solver encontrou a solução do problema, clique em OK. Isto significa que todas as restrições e condições otimizadas foram atendidas. A planilha apresentará na janela que foi indicada como destino, neste caso a célula B8, os valores indicados pelo Solver como menor caminho a ser utilizado dentro da rota de entrega, conforme demonstrado na figura 07.

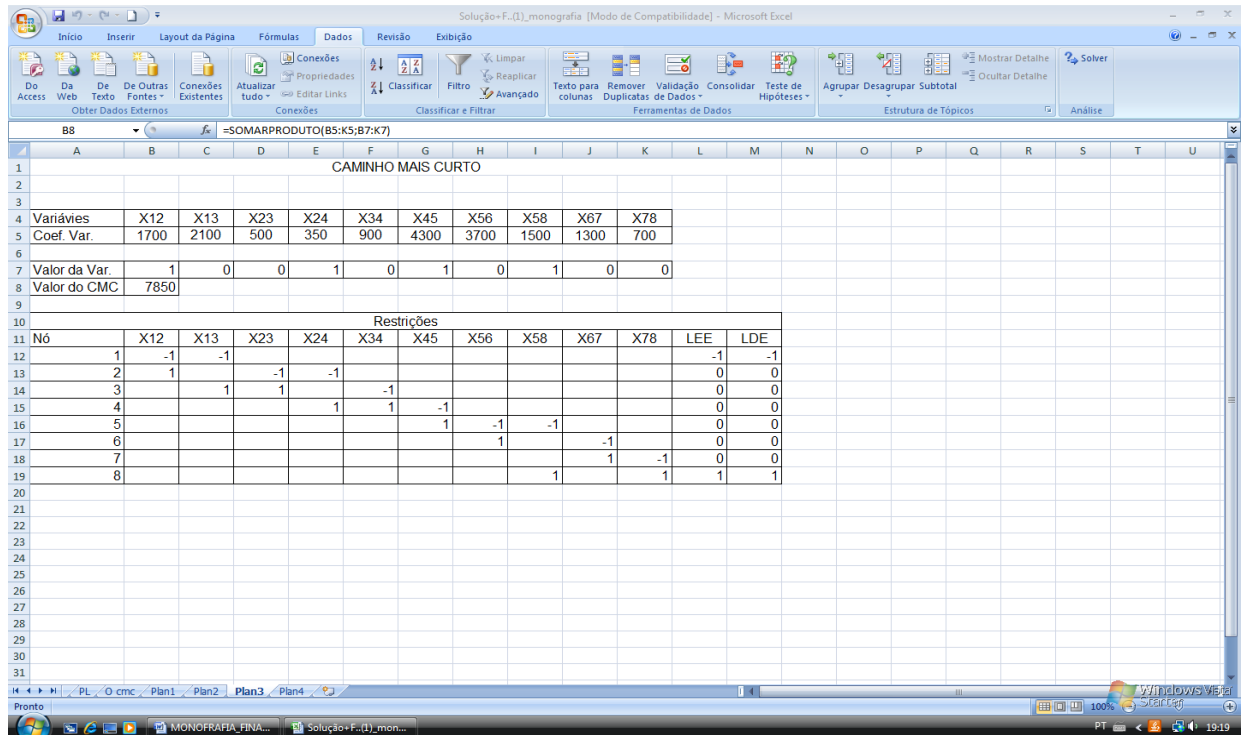


Figura 07: Resultado do Caminho mais curto.

Notem que a figura 07 mostra a solução ótima do problema. Segundo ela o caminho que resulta na menor distância entre os pontos que vão do nó 1 ao nó 8 são os caminhos que passam pelos pontos [1,2,4,5,8], percorrendo uma distância que correspondem a um total de 7.850m.

5 CONCLUSÃO

O atual cenário econômico exige que as organizações reformulem suas estratégias em busca da excelência e da qualidade dos serviços voltada ao cliente, obtendo assim, vantagens competitivas em relação aos seus concorrentes. Entretanto, não basta apenas para as empresas a reagirem às mudanças tecnológicas, demandas de clientes ou tendências do mercado. É preciso que as empresas voltem sua atenção para aspectos internos, identificando quais os seus pontos fortes e fracos, avaliando principalmente as atividades que compõem suas operações logísticas, ou seja, a capacidade dos produtos chegarem ao cliente final na quantidade certa, no tempo esperado, sem avaria e a um preço justo.

Neste contexto, verifica-se que o gerenciamento logístico aliado a técnicas de otimização surgem como instrumento de auxílio para que atividades como a gestão de transporte possam ser usadas como diferencial competitivo, promovendo a satisfação dos clientes e reduzindo os custos administrativos e operacionais.

Pôde-se verificar durante o desenvolvimento desta pesquisa, que a maior parte das atividades da empresa em estudo, gira em torno de serviços logísticos como entrega ou coleta de produtos. Ao analisarmos o processo de entrega foi detectado que a empresa tinha o cadastro de todos os seus clientes em um banco de dados, mas que o processo de entrega após os veículos serem despachados para realização das entregas dos produtos, ficava a critério do motorista o roteiro a ser seguido, ocorrendo assim, percursos mais longos e passagens desnecessárias pelos mesmos percursos.

Diante disto, tornou-se oportuno apresentar duas técnicas de otimização que auxiliem a tomada de decisão sobre questões logísticas como a criação de roteiros mais eficientes, que possibilitem a transportadora fazer um seqüenciamento de visitas aos respectivos clientes, levando em consideração qual a menor distância entre os pontos de entrega.

As técnicas de otimização utilizadas para resolução deste problema foram Algoritmo de Dijkstra e Programação Linear.

A resolução do problema do menor caminho através do Algoritmo Dijkstra é bastante simples, porém mais trabalhosa tendo em vista que a mesma consiste

em rotular os nós, ou seja, fazer a soma de todos os pares de nós e a partir daí determinar qual a menor distancia entre os pontos. Já a resolução através da aplicação da Programação Linear é foi mais complexa, devido a ter que descobrir quais as funções-objetivo, as restrições e variáveis que envolvem o problema, porém para obter o cálculo da menor caminho entre os pontos, foi mais simples devido utilização do Solver do Excel.

Vale ressaltar que aplicação dessas técnicas se mostrou bastante eficiente, pois as duas técnicas apresentadas obtiveram os mesmos resultados em relação à determinação do menor caminho, comprovando assim, que os modelos desenvolvidos podem ser vistos como uma ferramenta possível de ser aplicada na empresa, com simplicidade e funcionalidade, uma vez que há viabilidade financeira.

Portanto, acredita-se que o objetivo principal desta pesquisa foi respondido, tendo em vista que a apresentação da proposta de otimização de uma rota de entrega da transportadora em estudo, foi obtida podendo oferecer contribuição as demais empresas do ramo.

Para melhorar ainda mais o atendimento da transportadora em estudo, em relação a satisfação de seus clientes no que diz respeito a entrega dos produtos, seria interessante que a transportadora utilizasse técnicas de otimização. Este procedimento faz com que seja possível criar roteiros mais eficientes, tornando possível uma redução significativa tanto em termos de distâncias percorridas pelo veículo dentro da rota de entrega, quanto em termos de custos e desta forma contribuir para o aumento da produtividade da empresa em estudo.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, Maria Margarida de. **Introdução a Metodologia do Trabalho Científico**. 3ª ed. São Paulo: Atlas, 1998.

BRASIL. Constituição (1998). **Constituição da República Federativa do Brasil**. São Paulo: Saraiva, 1999.

ANTT. Associação Nacional de Transportes e Tráfego. Registro Nacional de Transportadores Rodoviários de Cargas – RNTRC. Disponível em: <<http://www.antt.gov.br/carga/rodoviario/rodoviario.asp>> Acesso em: 21 de abril de 2010.

BALLOU, Ronald H. **Logística Empresarial**: transportes, administração de materiais e distribuição física. São Paulo: Atlas, 1993.

_____. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos**: planejamento, organização e logística empresarial. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

_____. **Logística Empresarial**: transportes, administração de materiais, distribuição física. São Paulo: Atlas, 2007.

BARROS, Aidil Jesus da Silveira; LEHFELD, Neide Aparecida de Souza. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 2. ed. Ampliada. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2000.

BERTÁGLIA, Paulo Roberto. **Logística e gerenciamento da cadeia de abastecimento**. São Paulo: Saraiva, 2003.

BOWERSOX, Donald J.; CROSS, David J. **Logística Empresarial**: o processo de integração da cadeia de suprimento. São Paulo: Atlas, 2001.

BOWERSOX, Donald J.; CLOSS, David J.; COOPER, M. Bixby. **Gestão logística de cadeias de suprimentos**. Porto Alegre: Bookman, 2006.

CERVO, Amado Luiz; BERVIAN, Pedro Alcino. **Metodologia Científica** – 4ª ed. São Paulo: MAKRON Books, 1996.

CUNHA, C B. **Artigo Aspectos Práticos da Aplicação de Modelos de Roteirização de Veículos a Problemas Reais**. Disponível em: <http://WWW.prt.poli.usp.br/ptr/siteant/docentes/cbcunha/files/roteirização_aspectos_praticos_CBC.pdf> Acesso: 6 de maio de 2010.

DIAS, Marco Aurélio P. **Transporte e distribuição Física**. São Paulo: Atlas, 1987.
FLEURY, Paulo Fernando. Gestão Estratégica do Transporte. In: FIGUEIREDO, Kleber Fossati; FLEURY, Paulo Fernando; WANKE, Peter. **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos**: planejamento do fluxo de produtos e recursos. São Paulo: Atlas, 2003.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

JUNG, Carlos Fernando. **Metodologia Para Pesquisa & Desenvolvimento**. Rio de Janeiro: Axcel Books do Brasil Editora, 2004.

KEEDI, S.; MENDONÇA, P. C. de. **Transportes e seguros no comércio exterior**. 2ª ed. São Paulo: aduaneiras, 2000.

LACHTERMACHER, Gerson. **Pesquisa operacional na tomada de decisões: modelagem em Excel**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Maria de Andrade. **Técnicas de pesquisa**. 5. ed. revista ampliada São Paulo: Atlas, 2002.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Técnicas de Pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

MARTINS, Ricardo S; CAIXETA-FILHO, José V. (org). **Gestão de Logística do Transporte de Carga**. São Paulo: Atlas, 2001.

MATTAR, Nagib Frauzer. **Pesquisa de Marketing Metodologia e Planejamento**. São Paulo: Atlas, 1999.

MAZZOTI, Alda. J. Alves; GEWANDSZNAJDER, Fernando. **O Método nas Ciências Naturais e Sociais: Pesquisa Quantitativa e Qualitativa**. 2. ed. São Paulo: Pioneira, 1999.

NOVAES, Antônio Galvão; Alvarenga, Antonio Carlos. **Logística aplicada: distribuição física**. 2. ed. São Paulo: Pioneira, 1994.

NOVAES, Antônio Galvão. **Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição: estratégia, operação e avaliação**. Rio de Janeiro: Campos, 2001.

NAZÁRIO, Paulo. **Papel do transporte na estratégia logística**. in: FLEURY, Paulo Fernando; WANKE, Peter; FIGUEIREDO, Kleber Fossati (org). São Paulo: Atlas, 2000.

OLIVEIRA, L. M.; PEREZ JR., J. H.; SILVA, C. A. S. **Controladoria estratégica**. São Paulo: Atlas, 2002.

OLIVEIRA, Silvio Luiz de. **Tratado de Metodologia Científica**. São Paulo: Pioneira, 2002.

ROESCH, Sylvia Maria Azevedo. **Projetos de Estágio e de Pesquisa em Administração**: Guia para estágios, trabalhos de conclusão, dissertações e estudo de caso. 2. ed. – São Paulo: Atlas, 1999.

TAHA, Handy A. **Pesquisa operacional: uma visão geral**. 8. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

VERGARA, Sylvia Constant. **Projetos e Relatórios de Pesquisa em Administração**. 2ª ed. São Paulo: Atlas, 1998.