

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE ADMINISTRAÇÃO

RUTH FERNANDES TAVARES

**A PROGRAMAÇÃO LINEAR PARA OTIMIZAÇÃO EM PROBLEMAS DE  
TRANSPORTE**

**João Pessoa  
2015**

RUTH FERNANDES TAVARES

**A PROGRAMAÇÃO LINEAR PARA OTIMIZAÇÃO EM PROBLEMAS DE  
TRANSPORTE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Administração da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Administração.

ORIENTADOR: PROF. DR. FRANCISCO ROBERTO FARIAS GUIMARÃES JÚNIOR

**João Pessoa  
2015**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

T231p Tavares, Ruth Fernandes.

A programação linear para otimização em problemas de transporte.  
/ Ruth Fernandes Tavares. – João Pessoa: UFPB, 2015.  
39f.:il

Júnior. Orientador (a): Prof<sup>o</sup>. Dr. Francisco Roberto Farias Guimarães  
Monografia (Graduação em Administração) – UFPB/CCSA.

1. Pesquisa operacional. 2. Programação linear.  
3. Problema de transporte. I. Título.

UFPB/CCSA/BS

CDU: 658:519.8(043.2)

Ao professor Francisco Roberto Farias Guimarães Junior, para se pronunciar sobre o Trabalho de Conclusão de Curso da aluna Ruth Fernandes Tavares.

João Pessoa, 06 de Fevereiro de 2015.

---

Paula Sanches  
Coordenadora do SESA/UEPB.

Parecer do Professor Orientador:

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

RUTH FERNANDES TAVARES

**A PROGRAMAÇÃO LINEAR PARA OTIMIZAÇÃO EM PROBLEMAS DE  
TRANSPORTE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Administração da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), como requisito para a obtenção do título de Bacharel.

**Habilitação: Pesquisa Operacional**

**Data de Aprovação:**

\_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

**Banca Examinadora:**

---

ORIENTADOR

---

AVALIADOR

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 7.1</b>	Dados da oferta, demanda e custos	28
<b>Tabela 7.2</b>	Variáveis de decisão	29
<b>Tabela 8.1</b>	Resultados para o problema de transporte	35

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 7.1</b>	Inserindo a Função Objetivo na planilha	30
<b>Figura 7.2</b>	Inserindo a Função Objetivo na planilha	30
<b>Figura 7.3</b>	Inserindo as restrições na planilha	31
<b>Figura 7.4</b>	Inserindo os dados nos Parâmetros do Solver	31
<b>Figura 7.5</b>	Inserindo as Restrições na planilha	32
<b>Figura 7.6</b>	Inserindo os Parâmetros do Solver	32
<b>Figura 7.7</b>	Opções do Solver	33
<b>Figura 7.8</b>	Resolvendo no Solver	33
<b>Figura 7.9</b>	Solução do Solver	34
<b>Figura 7.10</b>	Planilha com resultados	34

Dedico este trabalho a Deus, autor e consumador da minha fé, a meu Pai Adão Ademar Tavares, *in memoriam* e ao meu Pai na fé Pr. Djair Rufino da Silva, *in memoriam*.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por todos os benefícios que me tem feito.

A minha mãe, Alice Felizardo Fernandes Tavares, por todo o apoio que me foi dado nessa jornada, tanto financeiro quanto emocional.

A meu Professor orientador, Francisco Roberto Farias Guimarães Junior, por todo auxílio e conhecimento acadêmico que a mim foram passados com paciência e atenção.

A meu Supervisor de Estágio no SENAI, Ramon Sousa Silva, por todo incentivo ao meu crescimento profissional.

E a todos os meus parentes, amigos e namorado Altair Joaquim Sousa, que de forma direta ou indireta contribuíram para o êxito deste trabalho.

## RESUMO

O presente estudo aborda o modelo de Programação Linear (PL) como ferramenta para otimização dos recursos da Organização no problema logístico de transporte de materiais. Objetivando especificadamente analisar este modelo de otimização através de levantamentos bibliográficos; decompor as atividades logísticas, principalmente de transporte de mercadorias; aplicar e resolver o modelo em um problema teórico de transporte. A PL é um modelo de otimização de resultados, elaborado por meio de símbolos e números, sendo dessa maneira, um dos métodos mais indicados na resolução de problemas que podem ser montados matematicamente, a sua formulação consiste em primeiramente descobrir as variáveis de decisão, a função objetivo e as restrições do sistema, com a finalidade de maximizar ou minimizar uma quantidade que depende de recursos escassos. Esse modelo insere-se na área da Pesquisa Operacional (PO). Essa surgiu na Inglaterra por volta da Segunda Guerra Mundial, consiste na utilização de um método científico para apoiar a decisão dos gestores. Tendo vista esse aspecto e a crescente importância das atividades logísticas de transporte, a PL é uma das ferramentas de apoio a tomada de decisão referente ao problema de transportes de materiais. A questão abordada salientou este problema de transporte, onde a modelagem e solução nesse problema são determinadas pelo carregamento do sistema de transporte de maneira que minimize o custo total. Este estudo revela-se de caráter apenas científico para a expansão de conhecimentos teóricos, porquanto se utilizou de uma questão teórica de problema de transporte, onde se tinham disponibilidades da empresa e necessidades dos clientes a serem atendidas. Para resolver o problema foi utilizada uma ferramenta disponível no *Excel* 2010, do pacote da *Microsoft Office*, chamada Solver, pois a resolução do mesmo se torna longo quando feito manualmente. Os resultados encontrados revelam que o modelo de PL se constitui em uma opção de ferramenta para um bom planejamento dos transportes. Pode-se perceber que o campo da Pesquisa Operacional e mais individualmente o seu modelo de Programação Linear foi competente na busca por uma resposta que otimizasse a utilização dos recursos da organização, satisfazendo ao mesmo tempo as necessidades do cliente e as disponibilidades da empresa, tornando as suas atividades de transporte de mercadorias mais eficiente.

**Palavras-chave:** Pesquisa Operacional - Programação Linear - problemas de transporte

## ABSTRACT

This study addresses the linear programming model (PL) as a tool to optimize the Organization's resources in the logistical problem of materials transport. Aiming specifically analyze this optimization model through literature surveys; decompose logistics activities, particularly transport of goods; apply and solve the model in a theoretical problem of transport. The PL is a result of optimization model, developed by means of symbols and numbers, and in this way, one of the methods best suited to solve problems that can be assembled mathematically, its formulation is to first find out the decision variables, the objective function and constraints of the system, in order to maximize or minimize an amount which depends on scarce resources. This model is part of the area of Operational Research (OR). This appeared in England during the Second World War, is to use a scientific method to support decision makers. Having seen this aspect and the growing importance of logistics activities of transportation, PL is a tool to support decision making related to the material transport problem. The question addressed highlighted this problem of transport, where modeling and solution to this problem are determined by loading so transport system that minimizes the total cost. This study proves to be only scientific character for the expansion of theoretical knowledge, because we used a theoretical issue of transportation problem, where the company had cash and customer needs to be met. To solve the problem we used a tool available in Excel 2010, Microsoft Office package, called Solver because the resolution thereof becomes long when done manually. The results showed that the PL model constitutes a tool of choice for good planning of transport. One can see that the field of Operations Research and more individually its linear programming model was competent in the search for an answer that optimize the use of organizational resources, while satisfying customer needs and resources of the company, making its more efficient freight transport activities.

**Keywords:** Operations Research - Linear Programming - transportation problems

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>PROBLEMA DE PESQUISA</b>	<b>14</b>
<b>3</b>	<b>DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS</b>	<b>15</b>
3.1	OBJETIVO GERAL	15
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
<b>4</b>	<b>JUSTIFICATIVA</b>	<b>16</b>
<b>5</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>18</b>
<b>6</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>19</b>
6.1	DISTRIBUIÇÃO FÍSICA DE MATERIAIS	19
<b>6.1.1</b>	<b>Gerenciamento de transportes</b>	<b>19</b>
<b>6.1.2</b>	<b>Problemas de transporte</b>	<b>20</b>
6.2	MODELOS EM PESQUISA OPERACIONAL	21
<b>6.2.1</b>	<b>Modelagem de problemas</b>	<b>22</b>
6.3	PROGRAMAÇÃO LINEAR	23
<b>6.3.1</b>	<b>Formulação matemática</b>	<b>24</b>
6.3.1.1	<i>Variáveis de decisão</i>	24
6.3.1.2	<i>Função objetivo</i>	25
6.3.1.3	<i>Restrições</i>	25
<b>6.3.2</b>	<b>Ferramenta do Excel: Solver</b>	<b>26</b>
<b>7</b>	<b>CONSTRUÇÃO DO MODELO NO PROBLEMA DE TRANSPORTE</b>	<b>28</b>
7.1	CÁLCULO DO PROBLEMA NO SOLVER	29
<b>8</b>	<b>ANÁLISE DOS RESULTADOS</b>	<b>35</b>
<b>9</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>37</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>38</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Desde os tempos passados ocorrem mudanças na sociedade que conseqüentemente exigem das organizações uma resposta rápida e eficiente, elas são desafiadas a superar obstáculos provenientes de tais mudanças. Precisamente neste século as organizações vêm procurando adequar-se a globalização. Scalabrin et al. (2006) salienta que as empresas e a sociedade mudaram e continuam em processo de mudança, exigindo que as organizações adaptem-se rapidamente. Neste processo de adaptação o conhecimento de todos os fatores envolvidos no processo de decisão, assim como os recursos e as atividades que limitam as operações, é essencial para uma maximização de ganhos com os recursos existentes.

Como os serviços logísticos, de acordo com Figueiredo et. al (2009) são intensivos na utilização de recursos em uma organização, pois são planejados para dar cumprimento a trajetória dos produtos de uma maneira competente, as decisões referentes aos recursos e às habilidades técnicas desses serviços são de importância elevada. A logística é crucial para a dispersão de produtos aos consumidores, segundo Bowersox et al. (2007) é por intermédio do processo de distribuição, logística, que materiais correm para a aptidão produtiva de um país e produtos acabados são disseminados para os clientes.

“A logística constitui o serviço onde os recursos são orientados para a consecução de determinada organização de fluxos de produtos entre clientes e fornecedores [...]” (FIGUEIREDO et. al, 2009, p.35). Isso demonstra a importância da questão logística de transporte de materiais acabados, tema deste estudo. O autor relata ainda que a logística envolve uma gama de tarefas que deve ser realizada de forma sincronizada para transportar e posicionar o estoque ao longo de uma cadeia de suprimentos, projetar e administrar sistemas para controlar a localização geográfica dos materiais e o transporte de produtos acabados ou inacabados. Entretanto são necessárias ferramentas que apoiem essas atividades em busca dos objetivos organizacionais.

Entre essas se podem mencionar a Pesquisa Operacional, abreviado por PO, surgiu durante a Segunda Guerra Mundial entre (1939-1945). De acordo com Fávero e Belfiore (2012), nasceu na Inglaterra quando alguns cientistas foram convocados para resolver problemas e decidir sobre a utilização dos recursos limitados, com o objetivo de solucionar questões de origem logística, tática e estratégica dos militares. Esses estudos marcaram a primeira aplicação da então chamada *Operational Research* ou Pesquisa Operacional. Pizzolato e Gandolpho (2012) mencionam que a origem da PO deve-se a todo esforço envolvido nos quase seis anos de guerra, para Andrade (2000) o sucesso desses estudos levou

o mundo acadêmico e empresarial a utilizar as técnicas elaboradas em problemas de administração.

Para Fávero e Belfiore (2012) em linhas gerais PO consiste na utilização de um modelo matemático para tomada de decisão, ou seja, consiste no uso de métodos científicos. Andrade (2000) fala sobre o enfoque gerencial da PO como nova área de análise da decisão, destacando que a utilização dos seus modelos facilita o processo decisório.

“A Pesquisa Operacional é uma metodologia administrativa que envolve, em sua concepção, ciências essenciais para o processo de preparação, análise e tomada de decisão, são elas: economia, estatística, matemática e informática.” (ANDRADE, 2000, p.2). Para Fávero e Belfiore (2012) ela utiliza modelos matemáticos, algoritmos computacionais e estatísticos para o apoio a tomada de decisões, as autoras salientam que PO consiste no uso de métodos que embasam a tomada de decisão.

Como resultado da aplicabilidade, a Pesquisa Operacional foi disseminada em muitos lugares. De acordo com Andrade (2000), o avanço tornou-se possível graças ao aumento da velocidade de processamento e memória dos computadores o que permitiu a solução de questões complexas. Para Moreira (2008) a utilização desta tende a crescer graças aos microcomputadores, por meio deles muitos problemas práticos poderão ser enfrentados com maior agilidade.

De acordo com Fávero e Belfiore (2012) uma das ferramentas mais importantes e utilizadas da Pesquisa Operacional, que vem contribuindo com o desenvolvimento das empresas, sendo aplicada em muitos segmentos, dentro de diversas áreas como: marketing, finanças, operações, logística, RH, entre outros, com o objetivo de determinar a melhor utilização dos recursos disponíveis, é a chamada Programação Linear (PL). Para Lachtermarcher (2009) a PL trata-se de uma programação matemática, com a finalidade de maximizar ou minimizar uma quantidade que depende de um ou mais recursos escassos. Fávero e Belfiore (2012) ressalta que a aplicação dessa técnica no ambiente das organizações produz uma economia de milhões de dólares em incontáveis indústrias pelo mundo.

Este estudo procura tratar da questão do problema logístico de transporte de materiais, através de uma ferramenta que auxilie e mostre a melhor utilização dos recursos disponíveis nas organizações. Mediante levantamento bibliográfico sobre o modelo de otimização e análise das atividades de distribuição física de materiais, o problema será esquematizado e solucionado utilizando-se o método da Programação Linear através do Solver, ferramenta encontrada no Excel.

## **2 PROBLEMA DE PESQUISA**

Para Moreira (2008) devido à relativa abundância de problemas com variáveis relevantes que podem ser expressas por equações e inequações, em muitos segmentos profissionais e de pesquisa, a programação linear tem se tornado o mais notório modelo da pesquisa operacional. Para a temática em estudo, Moreira (2008) salienta que torna-se imprescindível o seu uso por se tratar de um modelo utilizado no auxílio a tomada de decisão, onde uma das aplicações da programação linear está relacionada ao Problema logístico de transporte de mercadorias. Para Lachtermarcher (2009) essa questão de transporte logístico se trata de um exemplo de programação linear (PL).

De acordo com (MARCONI; LAKATOS, 2011, p. 12) “[...] o problema é uma dificuldade, teórica ou prática, no conhecimento de alguma coisa de real importância, para a qual se deve encontrar uma solução.” O intuito deste trabalho é mostrar como o modelo matemático de Programação Linear pode ser utilizado na decisão da melhor utilização dos recursos disponíveis em uma organização, tornando esta, mais eficiente diante dos insumos disponíveis, otimizando-os. O problema de pesquisa indaga: de que forma o modelo de Programação Linear pode ser utilizado como ferramenta para otimização dos recursos da Organização, no problema de transporte de materiais?

### **3 DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS**

Acevedo e Nohara (2007) mencionam que em monografias, é rotineiro apresentar o objetivo geral e os específicos, onde o objetivo de um estudo científico é a declaração do que se quer buscar com o trabalho, eles podem dividir-se em objetivo geral e específicos, os últimos são instituídos como secundários.

#### **3.1 OBJETIVO GERAL**

Expôr de que forma o modelo de Programação Linear pode ser utilizado como ferramenta para otimização dos recursos da Organização, no problema logístico de transporte de materiais.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analisar o método da Programação Linear como ferramenta para a otimização através de levantamento bibliográfico.
- Analisar as atividades logísticas de transporte de materiais.
- Aplicar o modelo no problema logístico de transporte.
- Resolver o problema através do Solver.

#### 4 JUSTIFICATIVA

Tendo em vista a crescente importância da logística, que para Bowersox et al. (2007) envolve o gerenciamento de solicitações, de estoque, de armazenagem, do manejo de materiais, de embalagens e transporte, dentro do campo operacional das empresas, este trabalho aborda especificamente a utilização do Método de Programação Linear, para otimizar a utilização dos recursos disponíveis na atividade logística de transporte de materiais acabados.

De acordo com (MOREIRA, 2008, p.23) “[...] pela própria natureza, o campo da administração da produção e operações tem se revelado muito fértil para a aplicação de procedimentos formais de análise de problemas de decisão [...]”. O autor ressalta que a análise formalizada de problemas decisórios geralmente é induzida aos modelos matemáticos. O procedimento é procurar ajustar o problema em um modelo disponível e de conveniência confirmada. Esses modelos são reproduções simbólicas da problemática em questão.

Diante disso, supõe-se, a necessidade da utilização de ferramentas e métodos que auxiliem no planejamento e na programação das atividades, a fim de atingir a satisfação do cliente e o menor custo do serviço, através da otimização e maximização dos recursos. O modelo matemático de Programação Linear foi escolhido devido a sua simplicidade, disponibilidade e aceitabilidade na solução de problemas em Pesquisa Operacional que, de acordo com Silva et al. (2010) pode ser aplicada em sistemas estruturados, como os de finanças, produção, controle de estoques e etc., podendo ser também usado nos problemas logísticos relacionados ao transporte de mercadorias. Este modelo para o autor acima citado, é uma técnica bem empregada na abordagem de problemas em PO. De acordo com (PIZZOLATO; GANDOLPHO, 2012, p. 3) “[...] o número de aplicações da Pesquisa Operacional é virtualmente infinito [...]”.

O tema torna-se compreensivo quando Dias (2009) fala que, existem razões pelo crescente interesse pela área logística no Brasil, entre as quais, o acelerado crescimento dos custos, principalmente os alusivos aos serviços de armazenagem e transporte; mudança de meios de distribuição e mercados; o incremento de técnicas matemáticas e dos meios de informática, necessários para análise de uma questão logística; maior complexidade da Administração de materiais; disponibilidade de diversos serviços logísticos e a tendência que há em repassar as responsabilidades da gestão dos estoques para os produtores.

Segundo Melo e Filho (2001), pelo fato de que muitas empresas vêm buscando maior eficiência e pontualidade nas atividades de entrega ou coleta de materiais, elas vêm apostando na maior confiabilidade, velocidade e flexibilidade em suas operações. Raupp e Gibbon

(2001) incrementam essa informação mencionando que, as empresas que procuram eficiência na distribuição de seus produtos, têm evidenciado preocupações com alguns aspectos determinantes, como o custo do produto e controle de desperdícios, questões importantes para a sobrevivência das empresas.

No âmbito dos negócios surge uma preocupação com a gestão das atividades que envolvem o processo logístico. Relacionado a isso (BOWERSOX et. al, 2007, p. 25) diz que “[...] a logística deve ser administrada como um esforço integrado para atingir a satisfação do consumidor pelo menor custo total.” Portanto, esta pesquisa poderá apresentar contribuições práticas que auxiliem as empresas em sua busca pela melhoria contínua, otimizando a utilização dos insumos disponíveis que integram as atividades de entrega de produtos.

No âmbito acadêmico a pesquisa proporcionará o aprofundamento nos estudos relacionados à Pesquisa Operacional e seu modelo de Programação Linear, pois mostra-se importante e viável a sua aplicabilidade nas atividades empresariais que trabalhem com insumos cada vez mais escassos e de difícil gerenciamento. É aceitável também na construção de um crescente interesse e expectativa na disciplina de Pesquisa Operacional da grade curricular do curso de Administração, visto que se faz importante o aprendizado dos mais diversos métodos e ferramentas, explicitados nessa disciplina, para o mundo do trabalho.

## 5 METODOLOGIA

O presente estudo configura-se no tipo de pesquisa fundamental, pois, se refere àquela que segundo Ander-Egg (1978) apud Marconi e Lakatos (2011) é de caráter apenas científico, para a ampliação de conhecimentos teóricos, pois a finalidade desta pesquisa se caracteriza por um estudo que permitirá melhorar o conhecimento. De acordo com Selltiz et al. (1965) apud Marconi e Lakatos (2011) a finalidade da pesquisa é, que mediante a utilização de métodos científicos encontrem-se respostas para os problemas. Diante disto e de acordo com Marchesini e Alcântara (2014) a natureza deste trabalho é teórica-conceitual, pois apresenta um conjunto teórico de atividades em pesquisa operacional que podem ser plenamente executadas.

O embasamento teórico desta pesquisa envolverá artigos acadêmicos, artigos de revistas especializadas na área de pesquisa operacional e fontes bibliográficas confiáveis, o objetivo é construir uma fundamentação conceitual fidedigna sobre o tema descrito.

Para apresentar a prática do método de programação linear para otimização dos recursos em operações logísticas de transporte, será utilizado um problema hipotético de transporte logístico. A questão empregada corresponderá ao exercício nove do capítulo seis do livro de Silva et al. (2010), o qual refere-se a um produto que deve ser distribuído para quatro destinos a partir de três origens com lucros unitários de distribuição, disponibilidades e exigências do produto, com dados colocados em tabela. Essa questão se constitui na montagem de um plano de distribuição logística para otimizar o retorno do investimento feito em operações de transporte de mercadorias.

Como este estudo envolve a resolução de um problema de otimização em programação linear, modelo propriamente matemático, a utilização de uma ferramenta confiável e precisa, contribuirá com a exatidão da solução encontrada. Existem diversos métodos para resolver um problema de PL. Fávero e Belfiore (2012) fala que o entendimento teórico dos métodos é sumamente importante, porém, para minimizar o tempo gasto na solução de um modelo, os problemas podem ser solucionados por computador.

Diante disto, após a organização dos dados do problema em tabela, a resolução do mesmo será realizada através do aplicativo Solver da planilha *Excel* 2010 do pacote da *Microsoft office*, pois este oferece uma configuração específica a problemas em programação linear, que permite acesso aos resultados de forma rápida e confiável.

Completando o estudo será realizada uma análise dos resultados encontrados, segundo Marconi e Lakatos (2012) a análise constitui-se em decompor o todo em partes, a fim de realizar uma observação mais completa.

## **6 REFERENCIAL TEÓRICO**

No conjunto de atividades executadas pela logística, segundo Figueiredo et. al (2009) está o transporte de distribuição, entre outras como, gestão de estoque, armazenagem e desenvolvimento de projetos. Segundo Ballou (1993) a distribuição física é o segmento da logística empresarial que trabalha com a movimentação, estocagem e processamento de pedidos das mercadorias finais da empresa, compreende como a atividade mais importante em termos de custo para muitas organizações.

### **6.1 DISTRIBUIÇÃO FÍSICA DE MATERIAIS**

A correta entrega reduz o estoque de mercadorias, assim como o seu armazenamento e manuseio durante o processo. De acordo com Ballou (1993) o tipo de distribuição depende grandemente da natureza do produto, do padrão de demanda, dos custos relacionados às opções de distribuição e das exigências do serviço de entrega. Para (BOWERSOX et al. 2007, p.222) “[...] o modo como as entregas são planejadas tem de levar em consideração as exigências especiais do cliente em termos de prazo, local e serviços especiais de descarga.”

O planejamento logístico e da cadeia de suprimentos é essencial para a utilização eficaz dos recursos. A falta de ferramentas precisas e abrangentes do planejamento logístico e da cadeia de suprimentos historicamente resulta em má utilização da capacidade de manufatura, armazenamento e transporte. (BOWERSOX et al. 2007, p.293)

Desse modo, pode-se presumir que o transporte tem fundamental importância para os arranjos logísticos das empresas, de acordo com Figueiredo et. al (2009) as organizações que não possuem bons sistemas de transporte ficam impossibilitadas de competir com o mercado, além de incidirem custos altos.

#### **6.1.1 Gerenciamento de transportes**

Na área da administração de transportes, BOWERSOX et. al (2007) diz que a responsabilidade primordial é supervisionar as operações de transporte. Em grandes empresas o gerenciamento de transporte envolve uma ampla e diversificada responsabilidade administrativa, geralmente as atribuições da gerência de transporte são planejamentos de cargas, programações de equipamentos, roteirização e administração da movimentação.

O transporte é o elemento fundamental da logística, de acordo com Figueiredo et. al (2009), sua importância pode ser medida por três indicadores financeiros: custo, lucro e faturamento. O sistema de transporte representa um ponto importante na qualidade do serviço

logístico, porquanto interfere o tempo de entrega do produto, assim como a segurança e confiabilidade.

Administrar transportes é tomar decisões estratégicas e operacionais que atinjam eficientemente o objetivo do setor e conseqüentemente da empresa. Figueiredo et. al (2009) fala que as decisões estratégicas se referem a aspectos estruturais que se caracterizam pelos impactos de longo prazo, como escolha de modais e política de consolidação de cargas; as decisões de ordem operacional, fazem referência as atividades do cotidiano dos responsáveis pelo setor, sendo assim de curto prazo, entre as decisões operacionais estão o planejamento de embarques, roteirização, programação de veículos, entre outras.

### **6.1.2 Problemas de transporte**

Esse problema é muito comum para a administração de transportes das empresas, em que a solução do problema consiste em determinar o carregamento da rede de transporte de forma que minimize o custo total do transporte. De acordo com Andrade (2000) o sistema de transporte tem um papel fundamental e indispensável, devendo dessa maneira ser bem planejado.

O problema de transporte envolve o planejamento na distribuição de bens e serviços a partir de diversas fontes para diversos destinos [...] trata-se de descobrir a quantidade com que cada fonte suprirá cada destino; cada fonte possui uma capacidade limitada, bem como cada destino possui uma demanda conhecida. (MOREIRA, 2008, p. 36)

Para (FÁVERO; BELFIORE, 2012, p. 231) a solução desse tipo de problema, tem como meta “determinar as quantidades de produtos a serem transportadas a partir de um conjunto de fornecedores para um conjunto de consumidores, de forma que o custo total de transporte seja minimizado”. Onde o ponto central para a redução de custos de transporte, segundo Figueiredo et. al (2009) deve ser aumentar o nível de utilização da frota, para isto acontecer é necessário melhorar, entre outras coisas, o plano de transportes, sabendo de antemão o total de carga a ser embarcada para cada localidade.

O problema é modelado segundo Fávero e Belfiore (2012) a partir dos elos da cadeia de suprimentos, isto significa que, não levam em consideração as facilidades intermediárias. Para Andrade (2000) a composição geral de um modelo pode ser feita de maneira simples. (MOREIRA, 2008, p. 37) discorre que “[...] o problema de transporte pode ser formulado e resolvido seguindo os padrões gerais da programação linear”. Figueiredo et. al (2009) salienta que este problema é um dos casos particulares de PL, que apresenta importância, e que por

isso é estudado separadamente, porém ele se aplica a qualquer modelo semelhante, constituindo-se dessa forma, muito versátil.

## 6.2 MODELOS EM PESQUISA OPERACIONAL

Devido à grande complexidade dos sistemas se faz necessária a sua simplificação a partir de um modelo, de forma que as variáveis envolvidas que se pretendem controlar, sejam consideradas em sua construção. Para Lisboa (2009) apud Fávero e Belfiore (2012) um modelo é a reprodução simples de um sistema real, ou seja, ele facilita a visualização da estrutura do sistema real em estudo, onde, o comportamento de um sistema real é influenciado por variáveis envolvidas no processo de decisão. Segundo (PIZZOLATO; GANDOLPHO, 2012, p. 3) “[...] o uso de modelos faz parte da própria essência da PO [...]”.

“Ao se construir um modelo, passa-se do mundo real para o virtual, mediante simplificações que viabilizam essa elaboração conceitual e sua avaliação subsequente [...]” (PIZZOLATO; GANDOLPHO, 2012, p. 3). Porém existem modelos que podem ser associados a três contextos diferentes:

a) icônicos: são réplicas físicas de um objeto real [...]; b) analógicos: também são modelos físicos, como os icônicos, mas não guardam a forma do objeto que está sendo representado [...]; c) matemáticos: são aqueles em que a situação-problema ou as propriedades de um objeto são representadas por um sistema de símbolos e relações matemáticas, como equações e inequações, passíveis de manipulação na busca de uma solução [...]” (MOREIRA, 2008, p. 25)

De acordo com Pízzolato e Gandolpho (2012) muitos administradores têm uma rejeição ao uso dos modelos. Segundo o autor, eles entendem que fazer modelos significa estabelecer algum estudo com praticidades restritas que atrasam a ação estipulada em seus objetivos. Andrade (2000) fala que “[...] o processo de decisão de um executivo é caracterizado por alto conteúdo de racionalidade e desenvolvido em ambientes especialmente construídos para propiciar as condições adequadas para decisões de qualidade [...]”. Dessa forma os modelos assumem uma importância que dependendo da decisão envolvida permite-se obter algumas facilidades.

De acordo com Fávero e Belfiore (2012) a P.O propicia ao tomador de decisão maior respaldo e conhecimento do problema em estudo. Porém, existem fatores internos e externos que interferem no processo de decisão. Segundo Lachtermarcher (2009) entre os fatores estão: o tempo, a importância da decisão, o ambiente, a certeza ou incerteza e risco, os agentes decisores e os conflitos de interesses. Gomes (2006) corrobora relatando que uma decisão pode ser tomada ainda em situações de ignorância e de competição. Andrade (2000)

fala que barreiras aparecem para atrapalhar o processo de uma decisão racional, algumas são pessoais como a força do hábito, valores pessoais e colapso de memória, outras do ambiente externo, como as flutuações da política econômica do governo, e outras são inerentes ao problema, como escolha do problema certo para resolver e conhecimento insuficiente.

Dessa forma a informação oferecida deve ter qualidade, a finalidade é minimizar as incertezas e os riscos inerentes ao processo, com o desejo de escolher a decisão mais eficaz. Segundo Fávero e Belfiore (2012) a tomada eficaz de decisão é exatamente o objetivo da PO, ela insere-se como campo do conhecimento com a finalidade de fornecer ao decisor a melhor informação e embasamento da questão em apreciação, seja em marketing, finanças, economia ou logística.

A Pesquisa Operacional oferece resultados importantes para a geração de informações representativas voltadas para a decisão, tão necessárias para vencer a competição no mercado. Fávero e Belfiore (2012) ainda destacam que empirismo e consenso entre os tomadores podem gerar conclusões corretas, porém uma informação embasada por uma ferramenta adequada é mais forte e, portanto, oferece mais suporte ao procedimento por ser tratar de dados confiáveis.

### **6.2.1 Modelagem de problemas**

Segundo Lachtermarcher (2009) existem vantagens quando se utiliza modelos para embasar a decisão, os quais podem ser utilizados como ferramentas consistentes. A PO auxilia nesse processo de tomada de decisão com o uso de modelos que possam fazer a representação do sistema real. As técnicas de modelagem segundo Andrade (2000) oferecem ao gestor a chance de usar o modelo em um experimento, pois é impraticável realizar experimentações em um sistema real.

De acordo com Andrade (2000) e Silva et al. (2010) um trabalho de PO deve desenvolver-se de acordo com seis fases, elas indicam as principais etapas que devem ser realizadas, onde os procedimentos imprescindíveis para estas estão sujeitas ao tipo de problema e ambiente em estudo, **(1ª) Formulação do problema:** Andrade (2000) explica que a definição do problema baseia-se em alguns fatores como, descrição clara dos objetivos, identificação das possibilidades de decisão e reconhecimento das restrições do sistema; **(2ª) construção do modelo:** Silva et al. (2010) descreve que os modelos que importam para a PO são os matemáticos, ou seja, formados por equações e inequações, para ele um bom modelo é aquele que é de simples experimentação; **(3ª) cálculo da solução do modelo:** de acordo com Fávero e Belfiore (2012) consiste em resolver o problema através de técnicas de PO; **(4ª)**

**Teste do modelo:** esse teste é feito com dados empíricos do sistema, segundo Silva et al. (2010). **(5ª) estabelecimento de controles da solução:** “a construção e experimentação com o modelo identificam parâmetros fundamentais para solução do problema.” (SILVA et al. 2010, p.3); **(6ª) implantação e acompanhamento:** de acordo com Andrade (2000) a implantação é uma das fases mais difíceis do estudo, segundo Silva et al. (2010) ela deve ser seguida para observar o desempenho do sistema com a solução utilizada.

### 6.3 PROGRAMAÇÃO LINEAR

O método da PL segundo Andrade (2000) chama-se dessa maneira, pois se constitui por uma equação linear, dessa forma, é mais indicado para a resolução de questões que podem ser concebidas por exemplos matemáticos. Moreira (2008) corrobora mencionando que a Programação Linear é um modelo matemático criado para resolver tipos de problemas que possam ser demonstradas por equações e inequações lineares.

A programação linear é, no campo mais vasto, denominado programação matemática, uma das variantes de aplicação generalizada em apoio à decisão. O termo “programação” deve-se entender como “planejamento” e a qualificação “linear” deixa antever como as relações matemáticas utilizadas são funções lineares. (SCALABRIN et al. 2006, p.56)

“A programação Linear é um modelo simbólico, composto por números e símbolos matemáticos que fazem o papel de variáveis de decisão [...]”. (PIZZOLATO; GANDOLPHO, 2012, p. 3). Dessa maneira (FÁVERO; BELFIORE, 2012, p.17) mencionam que na PL “[...] a função objetivo e todas as restrições são representadas por funções lineares. Adicionalmente, as variáveis de decisão devem ser todas contínuas, ou seja, devem assumir quaisquer valores em um intervalo de números reais.”

A Programação Linear propriamente é “um modelo matemático que é composto de uma função objetiva linear, e de restrições técnicas representadas por um grupo de inequações também lineares” (SILVA et al. 2010, p.4). Como modelo matemático ele tem finalidades, de acordo com (PIZZOLATO; GANDOLPHO, 2012, p.8) “O objetivo geral de um problema de programação matemática é a busca por um ótimo, que pode ser um máximo ou um mínimo de uma função [...].”

Segundo Fávero e Belfiore (2012) a PL é um modelo determinístico, onde todas as variáveis envolvidas em sua concepção são conhecidas e constantes e esses modelos são resolvidos por métodos analíticos que geram a solução otimizada. “[...] uma função é dita

linear quando envolve apenas constantes e termos com variáveis de primeira ordem. Caso contrário, a função é dita não linear.” (id., 2012, p.8).

Diante disto é importante salientar as variações da Programação Linear. Pizzolato e Gandolpho (2012) apontam três variantes: a linear inteira, quando as variáveis  $x_i$  são números inteiros, por exemplo: números de caixas, de homens, de carros e etc.; mista, quando em um mesmo problema, algumas variáveis são inteiras e outras contínuas; e não linear, quando as interações entre as variáveis não são lineares, estas precisam ser resolvidas por algoritmos apropriados por serem mais complexas.

Moreira (2008) aponta as características de um modelo em PL: (1º) a ideia é maximizar ou minimizar o resultado do ajuste de variáveis. Esse ajuste é inserido na forma de uma expressão matemática, chamada de Função Objetivo (FO); (2º) há certa necessidade de recursos, próprios da estruturação problemática; (3º) esses recursos são restringidos, ou seja, suas quantidades sofrem restrições em relação a: determinados valores, normas legais, políticas internas e até do consumidor.

### **6.3.1 Formulação matemática**

Para formular matematicamente o modelo é preciso um direcionamento eficaz com esse fim. Segundo Silva et al. (2010) a construção do modelo é a parte mais difícil do estudo, assim ele sugere um roteiro que segue o seguinte: a) decidir as variáveis de decisão: consiste em expor e representar as prováveis decisões por meio de variáveis chamadas de variáveis de decisão ou variáveis controladas; b) estabelecer o objetivo: nesta etapa deve-se identificar o objetivo da decisão, a função objetivo ou função de eficiência mede o desenvolver do sistema, é a expressão que calcula o valor do objetivo, seja ele lucro, receita, perda e etc., em função das variáveis; e c) estipular as restrições: cada uma deve ser explicitada como uma relação linear, dispostas com as variáveis de decisão, estas restrições garantem que as soluções estão em ajuste com as barreiras técnicas atribuídas.

#### *6.3.1.1 Variáveis de decisão*

As variáveis de decisão na forma padrão, segundo Pizzolato e Gandolpho (2012) consistem na escolha de variáveis,  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , sendo esses valores não negativos ( $\geq 0$ ), isso por exigência de metodologia, o que não constitui nenhuma limitação, é um pressuposto básico da PL. “Os problemas de Programação Linear buscam determinar valores ótimos para as variáveis de decisão  $x_1, x_2, \dots, x_n$  que devem ser contínuas, a fim de maximizar ou minimizar a função linear [...]”.(FÁVERO; BELFIORE, 2012, p.18). Essas variáveis serão

sujeitas também a um conjunto de  $m$  restrições lineares de igualdade e/ou de desigualdade, citadas adiante.

### 6.3.1.2 Função objetivo

Se trata de uma expressão linear, onde a formulação matemática genérica do problema da PL, para a função objetivo, de acordo com Moreira (2008) é: maximizar ou minimizar a função  $Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$ , onde  $c_1, c_2, \dots, c_n$  são as contribuições à FO das variáveis  $x_1, x_2, \dots, x_n$  respectivamente.

### 6.3.1.3 Restrições

Para Pizzolato e Gandolpho (2012) as restrições podem ser analogias de desigualdade, descritas pelos sinais: ( $\geq$ ) ou ( $\leq$ ); ou de igualdade (=), constituindo equações lineares, onde um mesmo modelo pode vir a ter os três tipos.

De acordo com Fávero e Belfiore (2012) para resolver uma questão de programação linear a formulação do modelo deve obedecer a forma padrão: onde os termos independentes das restrições devem apresentar não negatividade e todas as restrições devem apresentar-se por equações lineares na forma de igualdade, para fins de simplificação, essas conversões não causam qualquer perda de generalidade. Silva et al. (2010) corrobora afirmando que as limitações técnicas impostas pelo sistema, são garantidas através das restrições técnicas e de não negatividade. Elas podem ser escritas:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n = b_1 \quad (1)$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n = b_2 \quad (2)$$

$$\begin{array}{cccc} \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n = b_m & (3) & & \end{array}$$

$$x_j \geq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, n)$$

(Fonte: Adaptado de Pizzolato e Gandolpho, 2012)

Onde, as quantidades  $b_1, b_2, \dots, b_m$  são assumidas como quantidades referentes a recursos escassos. Conforme Silva et al. (2010), as restrições podem ser técnicas e de não negatividade. Dessa forma o modelo de PL procura dentro de uma expressão, buscar otimizar o valor de  $Z$ , com variáveis de decisão maiores do que zero, respeitando as restrições impostas.

### 6.3.2 Ferramenta do *Excel*: Solver

Atualmente existem no mercado alguns *softwares* que resolvem problemas de programação linear, entre eles estão o *General Algebraic Modeling System* (GAMS), *A Mathematical Programming Language* (AMPL) e o *Advanced Interactive Multidimensional Modeling System* (AIMMS) que são linguagens de programação de alta complexidade, e os *softwares* de planilhas eletrônicas entre eles o Solver do *Excel*. De acordo com Fávero e Belfiore (2012) a ferramenta Solver da planilha *Excel* é capaz de resolver problemas com até 200 variáveis e 100 restrições. Isto pode demonstrar sua significância e profundidade, como ferramenta para análise.

Essas técnicas de otimização tornam-se essenciais na determinação do planejamento ótimo [...]. Assim, com a globalização, a concorrência é incentivada e fazem com que os tomadores de decisão busquem diferentes soluções a fim de minimizar os possíveis custos, que na maioria das vezes são altos e dependendo da problemática torna-se de complexa aplicação, recorrendo ao uso de alguns *softwares*, que geralmente são caros e de difícil operação. (MARTINS et al. 2014, p.270)

De acordo com Martins et. al (2014) o Solver é um acréscimo que pertence ao conjunto de programas do *Excel*, que por vezes, é chamado de ferramentas de análise, ele combina os valores das variáveis de forma particular até produzir o resultado esperado. No Solver pode-se localizar o valor ótimo de uma determinada função objetivo localizada numa célula de destino na planilha eletrônica.

Segundo Silva et al. (2010) passos devem ser seguidos antes de resolver um problema no suplemento solver do Excel 2007. “O modelo é construído com variáveis [...] e constantes com as quais são montadas as restrições e a equação do objetivo. Essas variáveis e constantes [...] devem estar disponíveis em células da Planilha visando a transferência para a caixa do Solver” (id., 2010, p.179).

Desta forma a primeira etapa é aplicar a função objetivo, as restrições e as variáveis de decisão na planilha do *Excel*. A segunda etapa é habilitar o uso da ferramenta no *Excel*, esta pode ser feita seguindo o caminho: Dados – Símbolo do *Office* – Opções do *Excel* – Suplementos – Solver – Ir, na nova janela “Suplementos” destaca-se o Solver e clica-se em “OK”. Dessa forma o ícone ficará disponível na Barra de Opções.

Para Silva et al. (2010) a terceira etapa constitui-se em carregar os dados e as equações na caixa do Solver. Após o carregamento de todos os dados, acionando Opções aparecerá a caixa Opções do Solver, nesta, a de destacar-se as opções: presumir modelo linear e presumir não negativos, pois isto combina os cálculos ao nosso modelo, após clicar em “OK” retornar-

se a janela principal do Solver, nela deve-se clicar em Resolver, para que o complemento faça as combinações e encontre a melhor resposta.

Contudo, Fávero e Belfiore (2012) mencionam que o entendimento teórico dos métodos é muito importante, entretanto, para minimizar o tempo gasto na solução de um modelo, os problemas podem ser solucionados por computador. A solução é encontrada com facilidade, pois o Solver, aplicativo encontrado no *Excel*, proporciona uma configuração particular a questões de Programação Linear, que permite acesso aos resultados de forma rápida e confiável.

## 7 CONSTRUÇÃO DO MODELO NO PROBLEMA DE TRANSPORTE

Com o objetivo de apresentar a técnica de programação linear como método de otimização para melhor utilização dos recursos disponíveis, os dados para a pesquisa foram retirados de um exemplo prático envolvendo problemas de transporte. A situação neste tipo de problema como anteriormente visto, é transportar produtos das várias origens para os destinos onde são necessários.

De acordo com Andrade (2000) este é problema muito comum, onde a finalidade da modelagem e solução do problema é determinar o carregamento da rede de transporte de forma que minimize o custo total do transporte. Antes de submeter os dados, Silva et al. (2010) diz que primeiramente é preciso decidir as variáveis de decisão; a função objetivo em seguida e finalmente estipular as restrições.

Andrade (2000) afirma que a definição do problema baseia-se em alguns fatores como, descrição clara dos objetivos, identificação das possibilidades de decisão e reconhecimento das restrições do sistema. A questão teórica a ser resolvida fundamenta-se como problema de transporte, onde deve ser decidido o plano de distribuição que traga o melhor retorno diante das seguintes informações: Um produto deve ser distribuído para quatro destinos a partir de três origens com lucros unitários de distribuição, disponibilidades e exigências do produto, apresentadas na tabela 7.1.

**Tabela 7.1** – Dados da oferta e demanda

Destinos Origens	D1	D2	D3	D4	Disponibilidades
O1	160	210	200	130	360
O2	80	390	240	310	440
O3	400	250	90	190	200
Necessidades	240	200	340	180	

(Fonte: Silva et al. 2010, p. 113)

Em que a  $O_i$  = Origem, oferta dos fornecedores  $i$  ( $i = 1, 2, 3$ ) e  $D_j$  = demanda dos clientes  $j$  ( $j = 1, 2, 3, 4$ ). As variáveis de decisão são  $X_{ij}$ , pois as quantidades que serão transportadas de cada fornecedor  $i$  para o cliente  $j$ . Neste caso as variáveis assumiram a nomenclatura indicada pelo autor constituindo então as variáveis:  $X_{11}$ ,  $X_{12}$ ,  $X_{13}$ ,  $X_{14}$ ,  $X_{21}$ ,  $X_{22}$ ,  $X_{23}$ ,  $X_{24}$ ,  $X_{31}$ ,  $X_{32}$ ,  $X_{33}$ , e  $X_{34}$ , exemplificado na tabela 7.2:

**Tabela 7.2 – Variáveis de decisão**

Destino Origem	D1	D2	D3	D4	Disponibilidade
O1	X11	X12	X13	X14	360
O2	X21	X22	X23	X24	440
O3	X31	X32	X33	X34	200
Necessidade	240	200	340	180	

(Fonte: Adaptado de Silva et al. 2010)

De acordo com a explicação de Moreira (2008), a montagem da Função Objetivo para o problema de otimização terá o objetivo de minimizar o custo total das transferências. Deve-se então decidir quanto transportar de cada origem para cada destino, de forma que o custo seja otimizado como o menor possível, através da resolução da seguinte Função Objetivo: **Min.  $Z = 160X_{11} + 210X_{12} + 200X_{13} + 130X_{14} + 80X_{21} + 390X_{22} + 240X_{23} + 310X_{24} + 400X_{31} + 250X_{32} + 90X_{33} + 190X_{34}$** . Onde  $c_1, c_2, \dots, c_n$  são as contribuições à FO das variáveis  $x_1, x_2, \dots, x_n$  respectivamente, essa expressão calcula o valor do objetivo, que neste caso é a redução dos custos.

As restrições técnicas serão montadas com as variáveis de decisão, neste problema configuram-se nas disponibilidades da empresa e necessidades dos clientes. Subentende-se a existência de restrições para a não negatividade em todas as variáveis,  $X_{ij} \geq 0$ . Essas restrições irão garantir que as soluções estejam de acordo com as limitações do sistema:

- Restrição 1 -  $X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} \leq 360$  (disponibilidade O1)
- Restrição 2 -  $X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24} \leq 440$  (disponibilidade O2)
- Restrição 3 -  $X_{31} + X_{32} + X_{33} + X_{34} \leq 200$  (disponibilidade O3)
- Restrição 4 -  $X_{11} + X_{21} + X_{31} = 240$  (necessidade D1)
- Restrição 5 -  $X_{12} + X_{22} + X_{32} = 200$  (necessidade D2)
- Restrição 6 -  $X_{13} + X_{23} + X_{33} = 340$  (necessidade D3)
- Restrição 7 -  $X_{14} + X_{24} + X_{34} = 180$  (necessidade D4)

## 7.1 CÁLCULO DO PROBLEMA NO SOLVER

Uma vez construído o modelo, a fase subsequente consiste em resolvê-lo através de técnicas de PO de acordo com Fávero e Belfiore (2012). A técnica aqui utilizada será o da programação linear. Como sabemos de acordo com Medeiros (2010) o modelo de

programação linear pode ser utilizado em problemas de transporte, entretanto torna-se dispendioso solucioná-lo utilizando-se de meios de resolução da matemática básica. Desta forma a metodologia para solucionar o problema será a utilização da ferramenta Solver da planilha *Excel* do *office* 2010.

Diante das variáveis, restrições montadas e Função Objetivo, os dados podem ser repassados para a planilha do Excel. De acordo com a figura 7.1 e 7.2, a Função Objetivo será inserida na célula B1 multiplicando-se a célula da variável com o respectivo valor do cruzamento entre Origem e Destino.

**Figura 7.1 – Inserindo a Função Objetivo na planilha**

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Função Objetivo	=160*B5+210*C5+200*D5+130*E5+80*F5+390*G5+240*H5+310*I5+400*J5+250*K5+90*L5+190*M5												
2														
3														
4	Variáveis de decisão	X11	X12	X13	X14	X21	X22	X23	X24	X31	X32	X33	X34	
5														
6														

(Fonte: elaboração da autora, 2015)

**Figura 7.2 – Inserindo a Função Objetivo na planilha**

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Função Objetivo	0												
2														
3														
4	Variáveis de decisão	X11	X12	X13	X14	X21	X22	X23	X24	X31	X32	X33	X34	
5														
6														
7														

(Fonte: elaboração da autora, 2015)

Faz-se necessário que as restrições sejam alocadas, seguindo a forma como mostra a figura 7.3, onde a célula A8 faz menção ao número de restrições existentes no problema, sendo essas colocadas uma abaixo da outra. Na célula B8 onde consta a palavra “Limite” devem ser colocados os valores que restringem, de disponibilidade e de necessidade da distribuição dos materiais, ou seja, os valores limites. Na célula C8 constam as funções das restrições colocadas em questão no tópico anterior.

**Figura 7.3** – Inserindo as restrições na planilha

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
	Variáveis de decisão	X11	X12	X13	X14	X21	X22	X23	X24	X31	X32	X33	X34	
8	Restrições	Limite	Calculada											
9	1	360	=B5+C5+D5+E5											
10	2	440	0											
11	3	200	0											
12	4	240	0											
13	5	200	0											
14	6	340	0											

(Fonte: elaboração da autora, 2015)

De acordo com a figura 7.4, o passo a seguir consiste em carregar os dados e as equações na caixa dos Parâmetros do Solver, onde a célula de destino é a B1. O campo Células variáveis, requer o intervalo das células de variáveis de decisão. No campo Submeter às restrições, serão adicionadas as células que contém os valores dos limites e calculada, linha a linha, como mostra a figura 7.5.

**Figura 7.4** – Inserindo os dados nos Parâmetros do Solver

Parâmetros do Solver

Definir célula de destino:

Igual a:  Máx  Mín  Valor de:

Células variáveis:

Submeter às restrições:

Estimar

Adicionar

Alterar

Excluir

Resolver

Fechar

Opções

Redefinir tudo

Ajuda

(Fonte: elaboração da autora, 2015)

**Figura 7.5 – Inserindo as Restrições na planilha**

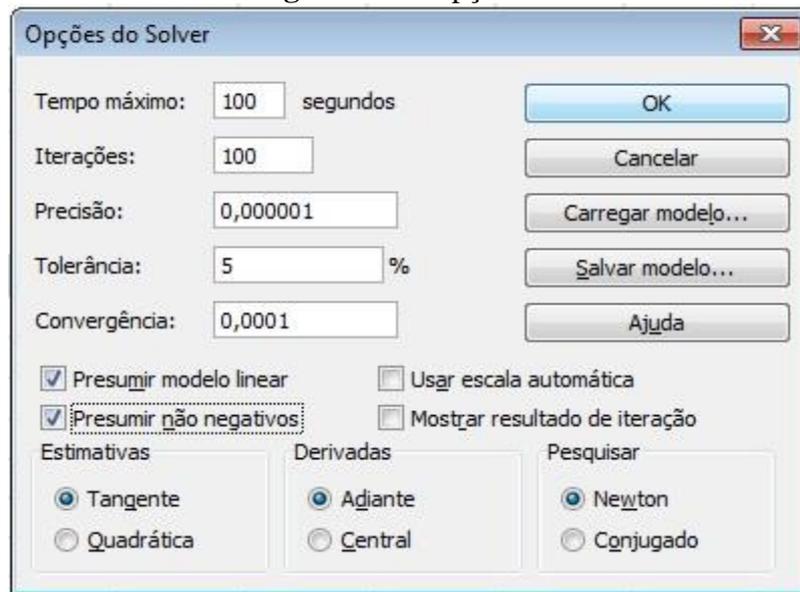
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
	Variáveis de decisão	X11	X12	X13	X14	X21	X22	X23	X24	X31	X32	X33	X34	
4														
5		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6														
7														
8	Restrições	Limite	Calculada											
9	1	360	0											
10	2	440	0											
11	3	200	0											
12	4	240	0											
13	5	200	0											
14	6	340	0											
15	7	180	0											

(Fonte: elaboração da autora, 2015)

Segundo Silva et al. (2010) após a inserção de todos os dados na caixa do Solver, deve-se acionar o comando “Opções”, mostrado na figura 7.6, logo após aparecerá a caixa de “Opções do Solver”, figura 7.7, onde se destacam as opções: presumir modelo linear, pois se trata de um modelo linear, e presumir não negativos, ao selecionar a palavra “OK”, estas opções combinam os cálculos ao modelo de Programação Linear.

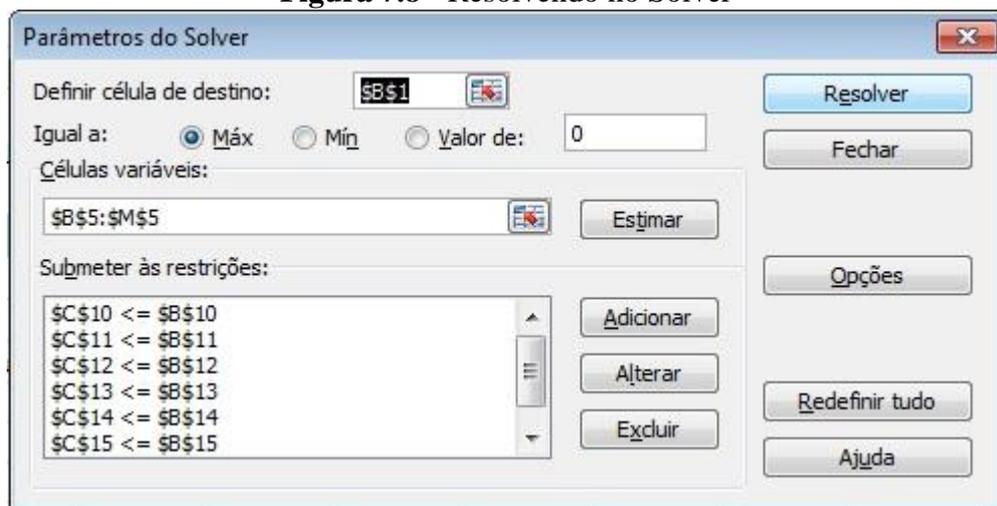
**Figura 7.6 – Inserindo os Parâmetros do Solver**

(Fonte: elaboração da autora, 2015)

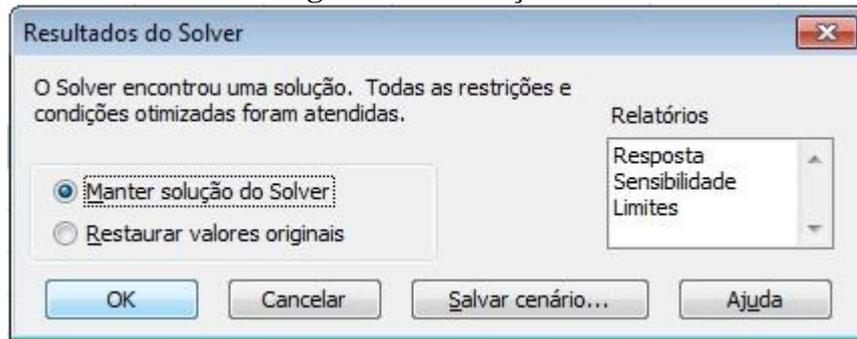
**Figura 7.7 – Opções do Solver**

(Fonte: elaboração da autora, 2015)

O programa retornará à janela inicial, figura 7.8, onde ao acionar “Resolver”, o aplicativo combina os valores das variáveis de forma particular até produzir o resultado esperado, onde, a melhor combinação de dados é dada como solução para o problema pesquisado, pois todas as restrições e condições de otimização foram atendidas, figura 7.9.

**Figura 7.8 - Resolvendo no Solver**

(Fonte: elaboração da autora, 2015)

**Figura 7.9 – Solução do Solver**

Fonte: elaboração da autora, 2015

A figura 7.10, retoma a planilha do *Excel*, com o resultado das Funções que anteriormente foram colocadas, os novos valores das células são as respostas encontradas pelo Solver para o tipo de problema proposto, conforme as figuras 7.1 e 7.3, anteriormente vistas.

**Figura 7.10 – Planilha com resultados**

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Função Objetivo	290600											
2													
3													
4	Variáveis de decisão	X11	X12	X13	X14	X21	X22	X23	X24	X31	X32	X33	X34
5		40	0	280	0	0	200	60	180	200	0	0	0
6													
7													
8	Restrições	Limite	Calculada										
9	1	360	320										
10	2	440	440										
11	3	200	200										
12	4	240	240										
13	5	200	200										
14	6	340	340										
15	7	180	180										

(Fonte: elaboração da autora, 2015)

## 8 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados encontraram após registro no Solver, o valor de R\$ 290.600,00 para a função objetivo pré-estabelecida. Esses modelos resolvidos por métodos analíticos de otimização geram a solução ótima, como visto neste problema a solução foi a minimização do custo. Para as variáveis de decisão revelaram-se as seguintes quantidades  $X_{11} = 40$ ,  $X_{12} = \text{zero}$ ,  $X_{13} = 280$ ,  $X_{14} = \text{zero}$ ,  $X_{21} = \text{zero}$ ,  $X_{22} = 200$ ,  $X_{23} = 60$ ,  $X_{24} = 180$ ,  $X_{31} = 200$ ,  $X_{32} = \text{zero}$ ,  $X_3 = \text{zero}$ , e  $X_{34} = \text{zero}$ .

**Tabela 8.1** – Resultados para o problema de transporte

Destinos Origens	D1	D2	D3	D4	Disponibilidades
O1	40	0	280	0	320
O2	0	200	60	180	440
O3	200	0	0	0	200
Necessidades	240	200	340	180	

(Fonte: Adaptado de Silva et al. 2010)

Na tabela 8.1 percebe-se primeiramente, pelos resultados encontrados, que todas as restrições das necessidades dos destinos envolvidos foram atendidas totalmente. As restrições de disponibilidade da origem também foram totalmente satisfeitas. Alguns dos valores encontrados para as restrições obedeceram exatamente ao limite estabelecido, pois o Solver realiza combinações com o objetivo de atender todas as restrições impostas na modelagem do problema, para que dessa forma os resultados sejam otimizados.

Porém, deve-se atentar para a restrição número um, esta ficou com 40 unidades a menos que sua disponibilidade total se observar a tabela 7.2 - Dados da oferta e demanda, isto revela a existência de uma folga no mesmo valor para esta restrição de disponibilidade, enquanto que para as restrições dois e três não existem folgas, pois os valores totais das disponibilidades foram utilizadas.

Deve-se notar ainda na tabela 8.1 a determinação do custo unitário que cada uma das três origens entregará aos quatro destinos, de forma organizada e otimizada, levando em consideração as exigências especiais do cliente em termos de prazo, local e quantidades exigidas, gerando assim um benefício, pois, a correta entrega de mercadorias reduz o estoque,

assim como o seu armazenamento e manuseio durante o processo, além de minimizar o custo do serviço.

Os resultados encontrados mostram um plano para entrega de materiais otimizado, cabendo ao gestor decidir sobre a sua execução ou não. A solução encontrada revelou que os recursos que são utilizados em um processo de transporte logístico de materiais podem ser bem aproveitados, ou seja, suas utilizações podem ser mais eficientes, gerando uma diminuição nos custos.

O uso da programação linear aplicada ao problema de transporte através do Solver permitiu encontrar a solução para o problema de forma rápida, simples e eficaz, revelando que a utilização de um método de otimização de resultados, pode ser utilizado como ferramenta para otimização dos recursos da Organização, em problemas relacionados ao transporte de materiais.

## 9 CONCLUSÃO

Concluo este estudo relatando que o campo da Pesquisa Operacional e mais particularmente o seu método de Programação Linear colaboram na solução dos problemas em diversas áreas operacionais. Neste trabalho pode-se observar que o método proposto foi eficiente na busca por uma solução que otimizasse a utilização dos recursos da empresa. Onde observou-se que as necessidades do cliente foram atendidas em consonância com as disponibilidades da empresa, tornando as suas atividades de transporte de mercadorias mais eficiente. O plano de distribuição depende muito da natureza do produto, do padrão de demanda, dos custos relacionados às opções de distribuição, exigências do serviço de entrega e dos aspectos legais.

Neste contexto faz-se necessário que a informação oferecida tenha qualidade, a finalidade é minimizar as incertezas e os riscos inerentes ao processo de distribuição, com o propósito de escolher a decisão mais eficiente. A tomada eficaz da decisão é exatamente o objetivo da PO, ela insere-se como campo do conhecimento para fornecer ao decisor a melhor informação e embasamento da questão em análise, seja em marketing, finanças, economia ou logística.

Portanto, uma ferramenta que englobe os aspectos relacionados ao transporte de mercadorias e que transmita uma segurança e dados confiáveis aos gestores do sistema de transporte logístico, é fundamental para a concretização dos objetivos de uma empresa, principalmente se entre eles estiver o da Sustentabilidade Financeira. Sugiro para pesquisas futuras correlacionar a Programação Linear como ferramenta eficaz na busca de uma otimização da Sustentabilidade Financeira.

## REFERÊNCIAS

- MARCHESINI, M. M. P; ALCÂNTARA, R. L. C. Proposta de atividades logísticas na Gestão da Cadeia de Suprimentos (SCM). **Prod.** São Paulo, v.24 n.2. abr./jun. 2014. Epub 27-Ago-2013. Disponível em:<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-65132014000200002&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65132014000200002&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em: 10 jun. 2014.
- MARTINS, E. M. de O.; SILVA, F. F.; VIEIRA, A. S.; VENTURA, A. F. A.; JÚNIOR, R. V. Determinação do percurso mínimo para coleta seletiva de resíduos sólidos na cidade de Sousa no sertão do estado da Paraíba. **Pesquisa operacional para o desenvolvimento**, Rio de Janeiro, v.6, n.2, p. 268-278, maio-agosto, 2014. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2001\\_tr61\\_0245.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2001_tr61_0245.pdf)>. Acesso em: 15 jun. 2014.
- MELO, A. C. da S; FILHO, V. J. M. F. Sistemas de roteirização e programação de veículos. **Pesqui. Oper**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 2, jul. 2001 . Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0101-74382001000200007&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-74382001000200007&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em: 13 jun. 2014.
- SCALABRIN, I.; MORES, C. J.; BODANESE, R. E.; OLIVEIRA, J. A. Programação linear: estudo de caso com utilização do solver da Microsoft Excel. **Revista Universo Contábil**, v. 2, n. 2, p. 54-66, 2006. Disponível em: <<http://www.spell.org.br/documentos/ver/26286/programacao-linear--estudo-de-caso-com-utilizacao-do-solver-da-microsoft-excel/i/pt-br>>. Acesso em: 20 jul. 2014.
- ACEVEDO, C. R; NOHARA, J. J. **Monografia no curso de administração**: guia completo de conteúdo e forma: inclui normas atualizadas da ABNT, TCC, TGI, trabalhos de estágio, MBA, dissertações, teses. – 3. Ed. – São Paulo: Atlas, 2007.
- ANDRADE, E. L. de. **Introdução à pesquisa operacional**: métodos e modelos para a análise de decisão. – 2. ed. – reimpr. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 2000.
- BALLOU, R. H. **Logística empresarial**: transportes, administração de materiais e distribuição física; tradução Hugo T. Y. Yoshizaki. – São Paulo: Atlas, 1993.
- BOWERSOX, D. J; CLOSS, D. J; COOPER, B. M. **Gestão da cadeia de suprimentos e logística**; tradução de Cláudia Mello Belhassof. – 2. reimpr. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.
- DIAS, M. A. P. **Administração de materiais**: uma abordagem logística. – 4. ed. – 20. reimpr. – São Paulo: Atlas, 2009.
- FÁVERO, L. P; BELFIORE, P. **Pesquisa Operacional para cursos de administração, contabilidade e economia**. – Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

- FIGUEIREDO, K. F; FLEURY, P. F; WANKE, P. **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimento: planejamento do fluxo de produtos e dos recursos.** – 1. ed. – 5. reimpr. – São Paulo: Atlas, 2009. – (Coleção Coppead de Administração)
- GOMES, L. F. A. M. **Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério** / Luiz Flávio Autran Monteiro Gomes, Carlos Francisco Simões Gomes, Adiel Teixeira De Almeida. – 2. ed. – São Paulo: Atlas, 2006.
- LACHTERMARCHER, G. **Pesquisa Operacional na tomada de decisões.** – 4 ed. – São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.
- MARCONI, M. A. de; LAKATOS, E. M. **Técnicas de pesquisa: planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisa, elaboração, análise e interpretação de dados.** – 7. ed. – 5. reimpr. – São Paulo: Atlas, 2011.
- MARCONI, M. A. de; LAKATOS, E. M. **Metodologia do trabalho científico: procedimentos básicos, pesquisa bibliográfica, projeto e relatório, publicações e trabalhos científicos.** – 7. ed. – 7. reimpr. - São Paulo: Atlas, 2012.
- \_MOREIRA, D. A. **Administração da produção e operações.** – 2. ed. ver. e ampl. – São Paulo: Cengage Learning, 2008.
- RAUPP, F. M; GIBBON; Artur R. O. de. **Pesquisa operacional aplicada à administração: resolução de problemas através da programação dinâmica.** Enegep, 2001.
- PIZZOLATO, N. D; GANDOLPHO, A. A. **Técnicas de otimização** – reimpr. – Rio de Janeiro: LTC, 2012.
- SILVA, E. M. da; SILVA, E. M. da; GONÇALVES, V; MUROLO, A. C. **Pesquisa Operacional para os cursos de administração e engenharia: programação linear: simulação.** – 4. ed. – 2. reimpr. São Paulo: Atlas, 2010.