

FACULDADE DO LITORAL SUL PAULISTA - FALS

MILCA LIBRELON SANTOS RIBEIRO

**PESQUISA OPERACIONAL
PROBLEMAS DE TRANSPORTE**

PRAIA GRANDE

2010

MILCA LIBRELON SANTOS RIBEIRO

PESQUISA OPERACIONAL
PROBLEMAS DE TRANSPORTE

Relatório Final do Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção do Título de Bacharel em Administração, à Faculdade do Litoral Sul Paulista – FALS, sob a orientação da Profª Me. Ulisses Tetti.

PRAIA GRANDE

2010

MILCA LIBRELON SANTOS RIBEIRO

PESQUISA OPERACIONAL
PROBLEMAS DE TRANSPORTE

Relatório Final do Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção do Título de Bacharel em Administração, à Faculdade do Litoral Sul Paulista – FALS, sob a orientação da Profª Me. Ulisses Tetti.

Praia Grande, ____ de _____ de 2010.

Parecer da Banca Examinadora: TCC Aprovado ()
Reprovado()

Prof. Me. Ulisses Tetti (Professor Orientador e responsável pela disciplina)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu amado esposo que em durante todo o período me apoiou com paciência e carinho, sempre me encorajando a continuar, muitas vezes abrindo mão dos seus sonhos para que eu pudesse alcançar o meu.

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus por ter me proporcionado essa oportunidade de realizar mais um dos meus sonhos e ter me dado forças para prosseguir até o fim debaixo de sua graça.

Agradeço aos meus pais que sempre me apoiaram e nunca mediram esforços para que eu conseguisse a cada etapa da vida continuar com meus estudos.

Agradeço aos meus irmãos que sempre me apoiaram e me ajudaram muito, direto e indiretamente.

Agradeço aos meus colegas de grupo (Renata e Tiago) que durante os quatro anos estivemos juntos alcançando nossos objetivos.

Agradeço aos amigos que conquistei durante essa jornada (Vanessa, Simoni, Taís, Solange e Paulo), por tudo que representam pra mim.

RESUMO

As empresas têm enfrentado problemas cada vez maiores e mais complexos, buscando sempre as melhores soluções no sentido de eficácia e economia tornando mais acirrada a concorrência no mercado onde os clientes têm se tornado cada vez mais exigentes. Para alcançar essas melhores soluções as empresas estão procurando as equipes de Pesquisa Operacional que com seus métodos e com o auxílio da tecnologia computacional encontram as melhores soluções que servirão como apoio nas tomadas de decisão. Problemas freqüentes dentro das organizações são encontrados quando se trata de uma melhor forma de distribuição dos produtos. O Problema de transporte é comum, porém complexo e deve ser estudado com atenção. Foi utilizado nesse trabalho o software Excel para responder a questão: Como transportar de várias fontes para vários destinos minimizando o custo de transporte.

Palavras-chaves: Pesquisa Operacional, Problemas de transporte.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	PESQUISA OPERACIONAL	9
2.1	MODELAGEM NA PESQUISA OPERACIONAL	12
2.2	ASPECTOS HISTÓRICOS DA MODELAGEM	12
2.3	FASES DE UM ESTUDO DE PESQUISA OPERACIONAL	13
3	PROGRAMAÇÃO LINEAR	16
4	MÉTODO SIMPLEX	18
5	PROBLEMAS DE TRANSPORTE	19
5.1	EXEMPLO	20
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	26
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	277
	APÊNDICE A	288
	APÊNDICE B	299
	APÊNDICE C	3030

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho propende a demonstrar mais uma vez a eficiência da pesquisa operacional nas resoluções de problemas complexos que afetam diretamente uma organização, mostrando que é possível minimizar custos nas operações, e também introduzir dados objetivos e racionais para a tomada de decisões.

A pesquisa operacional possui uma visão abrangente e será utilizada para estudar formas para resoluções do Problema de Transporte que possuem custos elevados dentro das indústrias, e assim expor a possibilidade de minimizar tais custos nessas operações.

Nesse trabalho serão apresentadas formas de redução de custo referente a rotas de transporte para despacho de mercadorias, visto que será estudada uma empresa com fábricas localizadas em locais diferentes e com a necessidade de atender clientes em várias outras localidades.

Atendendo o objetivo proposto neste trabalho será utilizada como recursos metodológicos, a pesquisa bibliográfica referente ao assunto do tema para fundamentação teórica.

No capítulo 2 serão abordados conceitos básicos sobre o tema geral apresentado como pesquisa operacional, e considerações sobre programação linear e método simplex.

No capítulo 3 será explanado sobre a Programação Linear como uma ferramenta padrão.

No capítulo 4 será estudado o Método Simplex utilizado para resoluções de problemas menores e menos complexos.

No capítulo 5 será exposta a pesquisa referente ao subtema “Problemas de Transporte”, e demonstração de problemas semelhantes, que tiveram soluções por meio da pesquisa operacional.

E, por fim, nas considerações finais apresentarei meu ponto de vista quanto ao desenvolvimento do trabalho, e as soluções encontradas para resolução do problema exposto visando propagar soluções para organizações que passam pela mesma dificuldade da organização que foi estudada e que permitiu que a pesquisa fosse realizada a fim de conseguir com o estudo a redução de custos.

2 PESQUISA OPERACIONAL

Desde a Revolução Industrial, as pequenas oficinas de artesãos evoluíram e se tornaram grandes organizações alcançando muitas vezes um crescimento de ordem mundial. Um dos fatores que causaram uma transformação extraordinária foi o aumento na divisão de trabalho e a distribuição de responsabilidades com cargos gerenciais dentro das organizações, o que trouxe resultados positivos. Juntamente com os pontos positivos vieram problemas com a crescente especialização, o que causa problemas até hoje dentro das organizações. Um desses problemas é a convergência que algumas unidades da organização tendem a ficar isoladas do restante da organização buscando seus próprios interesses, criando os próprios objetivos esquecendo que suas atividades e objetivos fazem parte da organização como um todo. O que uma unidade considera melhor para si, pode ser lesivo pra outra, e causar problemas para a direção e tornar os objetivos conflitantes dentro da organização. Aumentando a complexidade e especialização na organização torna-se restrito os recursos disponíveis para as variadas atividades de maneira mais eficiente na organização como um todo. A necessidade de encontrar soluções para esses problemas proporcionou condições para o surgimento da Pesquisa Operacional.

A Pesquisa Operacional originou-se a muitas décadas atrás quando realizaram tentativas iniciais colocando abordagem científica nas gestão das organizações, porém a nomenclatura Pesquisa Operacional apareceu nos primórdios da Segunda Guerra Mundial com as atividades militares. Com o empreendimento da guerra, era necessário utilizar de maneira eficiente os recursos restritos para as mais variadas operações militares e atividades internas de cada operação. Portanto os comandos militares norte-americano e britânico convocaram uma equipe de pesquisadores (equipe essa formada por matemáticos, físicos, engenheiros e cientistas sociais) para estudar problemas de grande dimensão nas áreas de estratégia, tática e logística associada à defesa do país. A finalidade dos pesquisadores era decidir qual a forma mais eficaz da utilização dos recursos militares que eram limitados. Essas foram as primeiras equipes de Pesquisa Operacional. Essas equipes foram vitoriosas na Batalha Aérea em céus da Grã-Bretanha com o desenvolvimento de procedimentos eficientes com o uso da nova

ferramenta radar. Os cientistas foram fundamentais na vitória da Batalha do Atlântico Norte por meio de pesquisas sobre como melhor administrar as operações de comboio e anti-submarinos, auxiliaram ainda na Campanha Britânica no Pacífico. Com o fim da guerra, o sucesso da Pesquisa Operacional causou interesse em sua aplicação fora do ambiente militar (LIEBERMAN, 2006).

Com o desenvolvimento Industrial Pós-Guerra, os problemas causados pelas especializações e complexidade voltaram a primeiro plano dentro das organizações. No início dos anos de 1950, a Pesquisa Operacional foi introduzida em diversas organizações e em setores diferenciados como: comercial, industrial e governamental o que disseminou rapidamente a Pesquisa Operacional.

Dois fatores foram fundamentais para o rápido crescimento da Pesquisa Operacional durante esse período. O primeiro foi o desenvolvimento em termos de melhorias das técnicas de Pesquisa Operacional, cientistas que haviam participado das equipes na guerra e outros que ouviram falar se motivaram para desenvolver pesquisas nesse campo o que resultou em avanços importantes. Um exemplo fundamental é o método simplex utilizado na resolução de problemas com programação linear, criado por George Dantzig no ano de 1947. Antes do final dos anos de 1950, ferramentas padrão da Pesquisa Operacional como programação linear, teoria das filas, programação dinâmica e teoria dos inventários alcançaram um estado bem desenvolvido. O segundo fator para o desenvolvimento da Pesquisa Operacional foi o desenvolvimento extraordinário na revolução computacional, visto que a solução eficiente dos problemas complexos considerados pela Pesquisa Operacional necessita de grande volume de processamento de cálculos, resolverem esses cálculos à mão seria uma hipótese fora de ponderação. O desenvolvimento de computadores eletrônicos digitais capazes de resolverem esses cálculos até milhões de vezes mais rápido que o ser humano impulsionou a Pesquisa Operacional. Nos anos de 1980 a Pesquisa Operacional ficou ao alcance de mais pessoas com o desenvolvimento de computadores pessoais munidos de pacotes de softwares que permite o emprego da Pesquisa Operacional.

Segundo Prado (2004), a Pesquisa Operacional é uma ciência que objetiva fornecer ferramentas quantitativas ao processo de tomada de decisões.

Atualmente a Pesquisa Operacional é aplicada nas mais diversas áreas como construção, telecomunicações, planejamento financeiro, manufatura, assistência médica, militar, serviços públicos e transporte, entre outras áreas.

A Pesquisa Operacional como o próprio nome indica, abrange “pesquisa sobre operações”, portanto é utilizada para resolver problemas envolvendo como conduzir e coordenar as atividades dentro da organização. A nomenclatura *pesquisa* no termo significa que a Pesquisa Operacional relembra a maneira pela quais as pesquisas em campo são conduzidas. A expressão *ciências da administração* é muitas vezes utilizada como sinônimo de Pesquisa Operacional, uma vez que o método científico é utilizado para investigar problemas empresariais. O processo começa em observar e formular cuidadosamente o problema, incluindo a coleta de dados importantes. A próxima fase é a construção do modelo científico (matemático), no qual abstrai a essência a essência do problema real. Depois são efetuados experimentações para teste das hipóteses, fase essa conhecida como *validação do modelo*. A Pesquisa Operacional envolve a pesquisa científica criativas das propriedades principais das operações. A Pesquisa Operacional possui uma visão abrangente e também aborda a gestão prática da organização, sendo assim para ser bem-sucedida deverá quando necessário fornecer conclusões inteligíveis e positivas para os tomadores de decisões (PRADO, 2004).

Ela possui uma característica adicional, comumente busca encontrar a melhor solução (solução *ótima*). Para o problema considerado podem existir várias soluções consideradas como boas. O objetivo é encontrar o melhor caminho a seguir. Para tal, deve-se analisar com cuidado a busca pela “otimilidade”.

Não é esperado que um único indivíduo seja especialista em todos os vários aspectos da Pesquisa Operacional ou nos problemas considerados, para isso seria necessária uma equipe de indivíduos com habilidades diversas. Para realizar o estudo de um problema novo é necessário formar uma equipe com pessoa treinadas em matemática, estatística e teoria de probabilidade, economia, administração de empresas, engenharia e física, ciências comportamentais e as técnicas especiais em Pesquisa Operacional, além de habilidades para analisar as ramificações que envolvem a organização (PRADO, 2004).

Segundo Andrade (2002), uma das características importante da Pesquisa Operacional é a facilidade no processo de análise de decisão com a utilização de modelos, permitindo a experimentação, ou seja, a possibilidade de uma tomada de decisão mais bem avaliada e testada antes mesmo de ser implantada. A Pesquisa Operacional é utilizada como instrumento de gerência por proporcionar a economia de recurso e a experiência adquirida com a experimentação.

2.1 MODELAGEM NA PESQUISA OPERACIONAL

A modelagem ou construção do modelo é usada como representações de um sistema. Em diversas áreas humanas o termo “modelo” tem sido utilizado com este significado.

Modelos são *simbólicos* ou *abstratos* quando a semelhança com o sistema em estudo é apenas conceitual ou *simbólica*. Podem ser do tipo matemático, quando são analisados por um conjunto de equações matemáticas (tal como um modelo de Programação Linear) ou podem ser diagramáticos, em que as características do sistema em estudo são representadas por um diagrama (tal como os modelos de simulação). Prado,(2004)

2.2 ASPECTOS HISTÓRICOS DA MODELAGEM

Os estudiosos de ciências exatas tiveram um grande desafio quando durante a segunda guerra mundial foi levantado um grande problema nos EUA. A resolução do problema se dava em descobrir qual era a alimentação mais econômica, lembrando que o organismo humano necessita diariamente de uma quantidade mínima de nutrientes como: vitaminas, proteína e etc, obtidos em alimentos diferentes e com preços diferentes. Esse problema ficou conhecido como “Problema da Dieta”. O Jornal New York Times foi o responsável em publicar o desafio que ganhou repercussão nacional. Em 1945, George Stigler apresentou a melhor solução, na qual apresentou alimentos com 9 nutrientes diferentes em cada um, chegaram a conclusão que a dieta ideal implicaria em um custo de US\$ 59,88 anuais. A dieta seria composta de farinha de trigo, repolho e fígado de porco. A dieta apresentada por Stigler levou em consideração apenas aspectos econômicos e não levou em consideração aspectos de gosto e de diversidade. Certamente o valor econômico da dieta de Stigler estava abaixo de todas as outras, porém ninguém conseguiria manter essa alimentação por um período de tempo. O desafio foi alvo de muitas chacotas, mas em pouco tempo começaram a perceber que a técnica poderia ser utilizada em áreas semelhantes ou diferenciada como alimentação de animais ou cargas de um alto forno de uma siderurgia. Começaram então estudos com a utilização da técnica de Stigler, mas as tentativas se mostraram falhas, cansativas e tediosas até de nem sempre chegar a solução ótima.

A abordagem de planejamento só foi consolidada dois anos depois com George Dantzig, que desenvolveu o Método Simplex, método esse capaz de resolver qualquer problema de Programação Linear. Dantzig desenvolveu essa técnica enquanto participava de um projeto para a Força Aérea Americana, desenvolvendo técnicas de otimização para problemas militares. O método simplex necessita de muitos cálculos, nos primeiros anos ele se apoiou somente na resolução manual. Em 1951, surgiu o computador então a Programação Linear encontrou seu aliado e se expandiu rapidamente de maneira extraordinária. Nos anos sessenta a Programação Linear era admirada com fascínio, como por exemplo, outras técnicas durante os anos oitenta e noventa podem citar a Gestão da Qualidade Total.

É importante citar que em 1936 o assunto foi analisado por Wassily Leontieff que desenvolveu o modelo constituído por um conjunto de equações lineares, o que foi considerado o primeiro passo para as técnicas de Programação Linear. Em 1939, o matemático russo L.V. Kantorovick publicou um trabalho sobre planejamento da produção onde apresentava entre as diversas abordagens, a utilização de equações lineares, trabalhos esse que só foi conhecido no ocidente no ano de 1960. O Problema de transporte foi abordado em 1940, por Frank L. Hitchcock. (PRADO, 2004).

2.3 FASES DE UM ESTUDO DE PESQUISA OPERACIONAL

Para iniciar uma pesquisa operacional é necessário que primeiro se observe e formule o problema empresarial fazendo coleta dos dados relevantes. Daí segue-se realizando experimentações apropriadas para teste das hipóteses e se necessário modificá-la. Como citado anteriormente, a pesquisa deve oferecer ao final conclusão inteligível e positiva que servirá como auxílio para os tomadores de decisão. As fases principais da pesquisa operacional citadas por (Silva,1995) são:

- **Formulação do problema:** Normalmente os problemas são passados para as equipes de Pesquisa Operacional de forma vaga e imprecisa. É nessa fase que o administrador juntamente com o responsável pela Pesquisa operacional se reúne para discutir o problema de forma clara e lógica, definindo quais objetivos pretende alcançar e quais as alternativas de caminhos a seguir para

que se tenha sucesso, nessa fase ainda deve se levantar as limitações técnicas do sistema em relação a empresa e o ambiente externo buscando soluções para esses obstáculos, será necessário ainda definir uma medida de eficiência para o administrador possa ordenar as soluções encontradas afim de concluir o processo decisório;

- **Construção do modelo do sistema:** Em Pesquisa Operacional interessam os modelos matemáticos, ou seja, modelos formados por conjuntos de equações e inequações. Uma das equações servirá para medir a eficiência ao sistema, as outras equações normalmente se encarregam de descrever as limitações ou restrições técnicas do sistema. Existem dois tipos de equações que compõem as variáveis:
 - a) **Variáveis Controladas ou de decisão:** São as variáveis onde o administrador controla os valores. Um exemplo de variável controlada é a produção de um produto por um determinado período.
 - b) **Variáveis não controladas:** São as variáveis onde os valores são arbitrados pelo sistema e o administrador não possui controle. Exemplos de variáveis não controladas são os custos da produção, a demandas dos produtos e o preço de mercado.
- **Cálculo da solução através do modelo:** esse cálculo é efetuado por meio de técnicas matemáticas específicas. Na fase de construção do modelo deve-se levar em consideração a disponibilidade de uma técnica que possibilite o cálculo da solução;
- **Teste do modelo e da solução:** Dados empíricos são utilizados para realização do teste. Quando há dados históricos os mesmos são aplicados no modelo a fim de gerar um desempenho para ser comparado ao desempenho observado no sistema. Caso o desvio observado não seja aceitável, será efetuada a reformulação ou mesmo o abandono do modelo. Se não houver dados históricos, os dados empíricos serão anotados, estando o sistema funcionando sem interferências até que seja possível a realização do teste.

- **Estabelecimento de controle da solução:** Durante a construção e experimentação do modelo são identificados parâmetros essenciais para solução do problema. Caso haja mudanças nesses parâmetros deverá ser controlada para garantia da validade da solução adotada. O cálculo de uma nova solução ou a reformulação poderá ser necessário caso algum desses parâmetros sofra desvio além do permitido;
- **Implantação e acompanhamento:** A apresentação da solução ao administrador acontece nessa fase sem o uso de linguagens técnicas do modelo. Para que haja facilidade na compreensão e boa vontade na implantação que está sendo sugerida é importante o uso da linguagem do sistema em estudo. Deve-se acompanhar essa implantação para observação do comportamento do sistema com a solução adotada. Pode ser requerido algum ajuste durante essa fase; (SILVA, 1995).

Uma das características da Pesquisa Operacional é fato de estar sempre buscando as melhores soluções (soluções otimizadas) para o problema considerado, visto que na maioria das vezes existem várias soluções consideradas como melhor, o objetivo é encontrar o melhor caminho a ser seguido, para isso é necessário que a equipe de pesquisa seja formada por indivíduos com experiência e habilidades nas mais diversas áreas para a verificação das ramificações possíveis no problema.

O avanço da Pesquisa Operacional se deve ao desenvolvimento dos computadores digitais, devido à capacidade de armazenamento e recuperação de informações, e ainda à sua velocidade de processamento dos dados. Outro fato importante que está contribuindo com para o uso de modelos em análise de decisões é a disseminação de microcomputadores que se tornam unidades de processamentos descentralizados nas empresas. Os profissionais de Pesquisa Operacional têm desenvolvido modelos mais volúveis, mais rápidos e interativos permitindo maior participação do homem no desenvolvimento dos cálculos. (Andrade, 2002).

3 PROGRAMAÇÃO LINEAR

A programação linear é uma ferramenta padrão utilizado para obtenção de lucro máximo, ou custo mínimo, nas mais diversas áreas que possuem alguma restrição dentro de uma organização, ou seja, é uma técnica de planejamento usada para otimizar problemas com diversas opções de escolha, mas que possuem algum tipo de restrição ou regulamentação, para isso a programação linear utiliza modelo matemáticos para descrever o problema no qual buscará o resultado que melhor alcance as metas especificadas em todas as opções viáveis (LIEBERMAN, 2006).

A Programação Linear é uma técnica de planejamento considerada como das mais poderosas e capazes de produzir resultados expressivos em quase todo ramo da atividade humana. Seus benefícios são exatamente aqueles procurados por qualquer empresa: diminuição dos custos e aumento dos lucros. Em algumas empresas seu uso é freqüente e muitas vezes a encontramos embutida em rotinas diárias de planejamento por meio de aplicativos de informática. (Prado, 2004).

Andrade, 2002 explica que os estudos de programação linear possibilitam responder as seguintes questões:

- Dentro das restrições de produção, qual produto deve-se produzir para obtenção de maior lucro possível?
- De acordo as especificações, qual a composição da mistura que corresponde ao custo mínimo?
- Seguindo as condições de mercado (produtos, fornecedores e consumidores), como estabelecer os ciclos para distribuição de forma a minimizar os custos totais?
- Como repartir o contingente de mão-de-obra entre as diferentes especialidades e tarefas a fim de minimizar as despesas e maximizar a eficiência?

A Programação Linear além de responder as questões citadas, nos permite identificar as opções em estudos de qualidade total, identificar gargalos em linhas de produção, fornecer diretrizes para expansão, analisar o potencial de uso de uma pesquisa.

- Na Programação Linear, tanto a função-objetivo como as restrições são equações/inequações lineares ou de primeiro grau e o resultado para as variáveis do modelo são valores reais ou contínuos. A Programação Linear pode ser dividida nos seguintes tópicos:
- Programação Contínua: quando o resultado para as variáveis do modelo são valores reais ou contínuos.
- Programação Estruturada: O modelo unitário (uma fábrica, ou um produto ou uma unidade de tempo) se replica (multi-fábricas, multi –produtos ou multi-períodos).
- Programação Inteira (PI): As variáveis somente admitem soluções inteiras.
- Programação Inteira Mista (PIM): Podemos ter tanto variáveis de solução inteira como contínua (Prado, 2004).

A Programação Linear é utilizada nas empresas na resolução de problemas reais e para isso são utilizados vários softwares; atualmente existem centenas de pacotes para Programação Linear, que permitem formular pequenos modelos de Pesquisa Operacional em um formato de planilha. O mais popular no momento é o da Microsoft Excel o **Solver Excel** é utilizado para solucionar esse modelo.

O **Solver** é uma função do programa Microsoft Excel, que tem sido muito utilizado na resolução de pequenos e médios problemas de Programação Linear, com a vantagem que o programa Excel está instalado na maioria dos computadores. Esta função não é instalada automaticamente, sendo necessária a ativação quando na Instalação do Excel.

Segue planilha detalhando e relacionando os pacotes de softwares mais utilizados e conhecidos em todo mundo:

SOFTWARE	FORNECEDORES	CAPACIDADE		PROGRAMAÇÃO INTEIRA		FORMATO ENTRADA DE DADOS		
		RESTRIÇÕES (LINHAS)	VARIÁVEIS (COLUNAS)	BINÁRIA 0,1	GERAL	MPS	PLANILHA	LP
LINDO/LINGO	Lindo	32.000	100.000	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
MPSX	IBM	16 Milhões	2 bilhões	Sim	Sim	Sim		
Cplex	Cplex	50.000	100.000	Sim	Sim	Sim		Sim
OSL	IBM	16 Milhões	2 bilhões	Sim	Sim	Sim	Sim	
Solver-Excel	Mirosoft	100	200	Sim	Sim		Sim	
Solver Premium	Frontlinne	Sem Limites	1000	Sim	Sim		Sim	

Fonte: Prado, Darci Santos do, Programação Linear- 4ª Ed. Minas Gerais: Indgtecs,2004. (pág.48)

No entanto, esse trabalho incide em utilizar a programação linear, por meio do Método Simplex e do software SOLVER otimizar custos em relação a Problemas de Transporte de uma Indústria que possui unidades fabricantes em localidades diferentes e distribui seus produtos em outras localidades.

4 MÉTODO SIMPLEX

Procedimento algébrico desenvolvido em 1947 por George Dantzig utilizado para solucionar problemas de programação linear de forma bem mais rápida é capaz de solucionar mesmo problemas imensos que antes seria quase impossível de resolver ou demoraria muito tempo, ou seja, o simplex foi desenvolvido para resolver sistemas de programação linear ou de inequações lineares que não podem ser resolvidos com os métodos clássicos em cálculos ou álgebra linear.

O Método Simplex é a ferramenta que em geral se utiliza para a resolução de problemas de alocação de recursos e pertence a um capítulo da Pesquisa Operacional chamado de Programação Linear. Este nome deriva do fato de que as relações matemáticas dos modelos de alocação de recursos são todas as equações ou inequações lineares (Andrade, 2002).

O método simplex é executado em computadores com o uso de softwares sofisticados disponível no mercado.

Apesar de o método simplex ser algébrico, seus conceitos imediatos são geométricos, quando entendemos esse conceito conseguimos perceber como o método opera o tornado tão eficiente.

O algoritmo é um procedimento ou uma fórmula utilizado para resolver um problema generalizado. O algoritmo simplex consiste em resolver várias vezes um sistema de equações lineares, em uma região viável para obtenção de soluções básicas, uma melhor que a outra até encontrar a solução ótima. Uma nova solução básica é obtida a partir da anterior, isso é possível através da troca de uma variável básica por uma não básica.

A forma de utilização da programação linear passou de problemas estratégicos e com longo prazo para problemas operacionais e de curtíssimo prazo com a revolução dos computadores mesmo por que quando se trata de uma organização de nada adiantaria obter soluções depois que a produção já tivesse concluído.

5 PROBLEMAS DE TRANSPORTE

Problemas de transporte é um tipo de programação linear, que recebeu esse nome por suas aplicações serem utilizadas na maioria das vezes a fim de determinar a forma como transportar a mercadoria com custos reduzidos, ou seja, de maneira otimizada.

São comuns situações onde não é recomendável o transporte dos produtos direto da fonte até o destino, sendo necessário que o produto passe por outra fonte ou destino antes de conseguir chegar ao ponto final de demanda. Sendo assim é necessário efetuar um transbordo antes de chegar ao destino esperado, o mercado.

No problema de transporte com transbordo, cada fonte ou destino original pode se tornar um ponto intermediário de fornecimento ou demanda. Isso significa que, em qualquer estágio do transporte o fornecimento total (somatório das capacidades das fontes originais) pode ser concentrado em qualquer das localidades (fontes ou destinos). Assim, cada localidade poderá transforma-se em um ponto de suprimento para as outras localidades (Andrade, 2002).

Normalmente problemas de transporte possuem um número grande de restrições e variável, de forma que um computador com aplicativos simples do método simplex demoraria muito tempo no processamento. Por esse motivo há necessidade de conhecer bem o problema para saber qual aplicativo deverá ser utilizado na resolução.

É muito comum na gerência de transportes problemas relacionados a escolha da melhor rota para uma rede de transportes de modo a minimizar o custo total do transporte.

5.1 EXEMPLO ESTUDADO

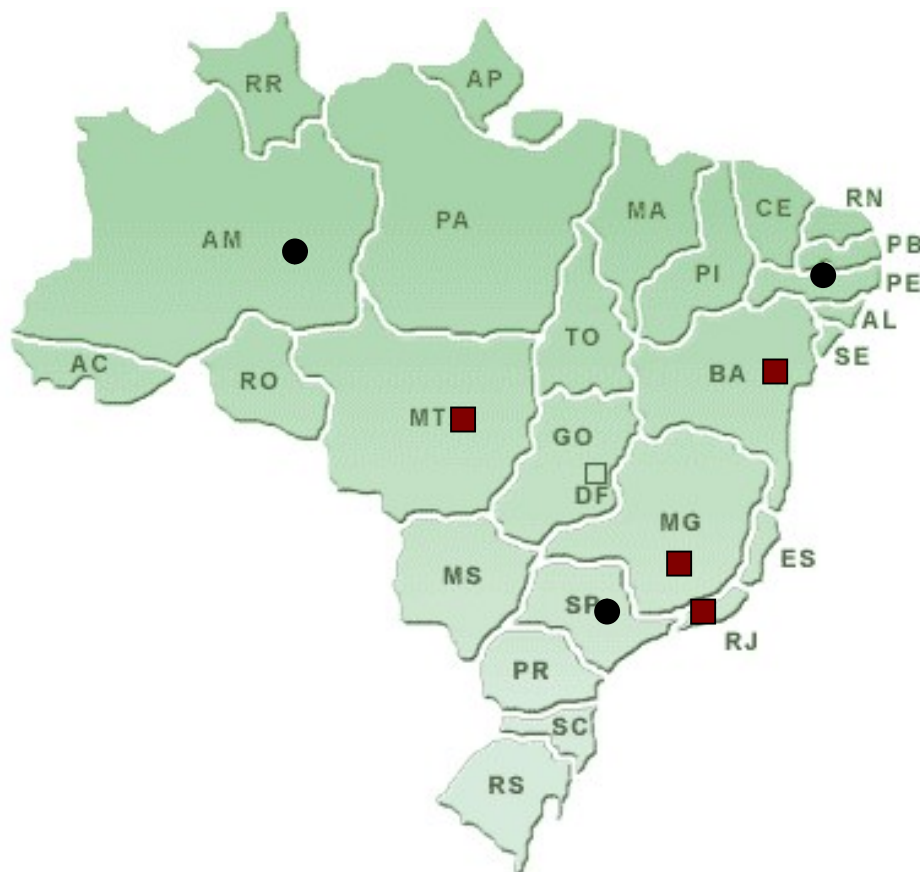
Uma empresa produtora de aço possui três fábricas que devem distribuir para quatro depósitos de onde serão distribuídos para consumidores finais. As fábricas juntas produzem o equivalente a 1000 toneladas por mês, sendo 25% na fábrica AM, 20% na fábrica PE e 55% na fábrica SP. Cada depósito precisa receber por mês a seguinte quantidade:

Depósito MT – 40%

Depósito MG – 20%

Depósito BA – 25%

Depósito RJ – 15%



Fonte mapa: www.bndes.gov.br

- Fábricas
- Depósitos

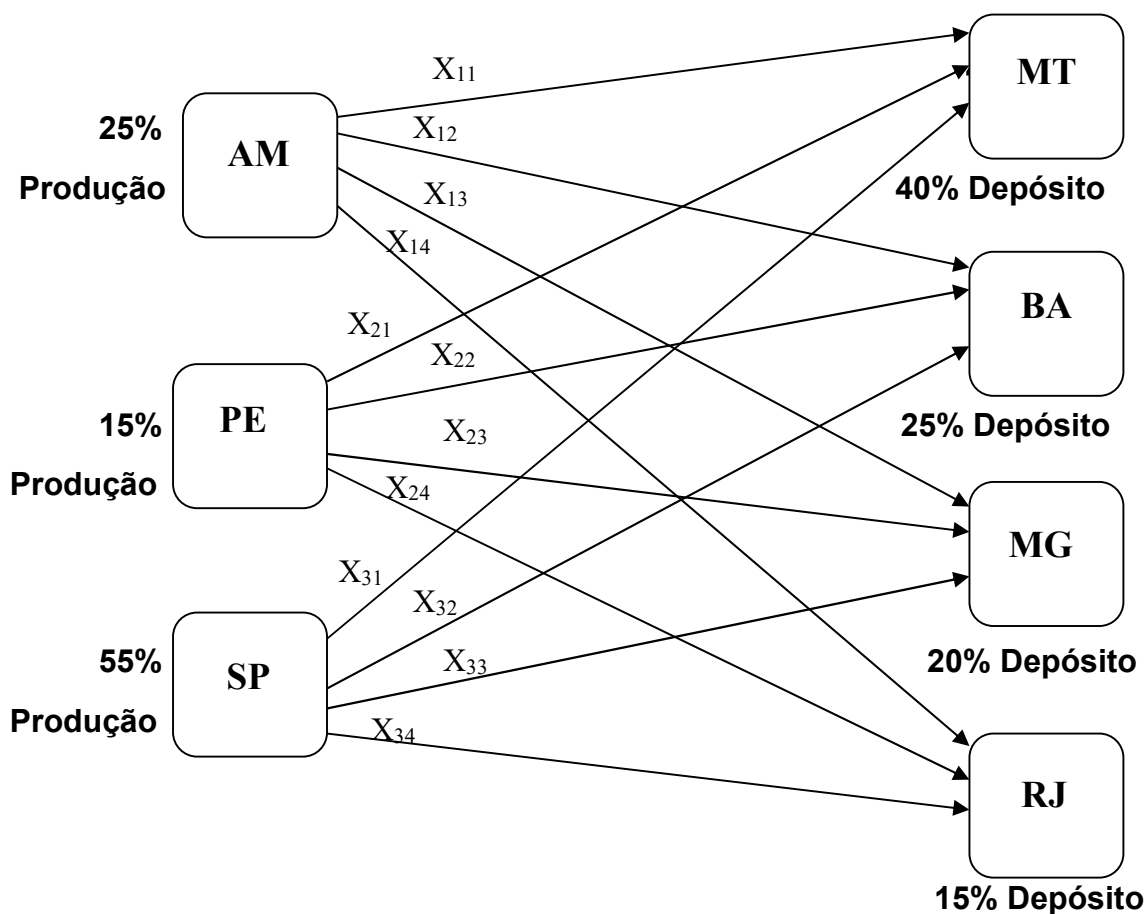
O custo do frete modifica de acordo com os as variáveis contidas em cada rota. As variáveis mais comuns são: quantidade de pedágios existente em cada rota; as condições das estradas percorridas visto que isso afeta diretamente na manutenção e conservação dos veículos; a periculosidade enfrentada pelo motorista do veículo seja por motivos de acidente ou por aumento na criminalidade; valor do seguro da carga que varia de acordo com o índice de perda da carga no trecho a ser percorrido seja essa perda causada por roubo ou por acidente de trânsito.

O que queremos responder: Qual a melhor forma de distribuição para minimizar o custo total do frete?

Tabela de parâmetros para o problema de transporte:

Origens	Destino			
	1	2	3	4
1	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}
2	X_{21}	X_{22}	X_{23}	X_{24}
3	X_{31}	X_{32}	X_{33}	X_{34}
Depósito (Capacidade)	40% Produção	20% Produção	25% Produção	15% Produção

Vejam a representação em forma de rede do problema de transporte:



A distância entre cada fábrica e os respectivos depósitos é dada abaixo:

Origens	Distância em Km			
	1	2	3	4
1	2.357	3.951	5.009	4.374
2	3.255	2.061	897	2.338
3	1.614	586	1.962	429

Tabela X: distância entre as origens e destinos.

O custo unitário de transporte é dado por:

Origens	Custo por km (R\$)			
	1	2	3	4
1	1,25	1,38	1,45	1,28
2	1,35	1,20	1,50	1,18
3	1,05	0,83	1,15	0,98

Tabela Y: valores unitários de transporte entre as origens e destinos.

O custo de cada trecho é dado abaixo:

Origens	Custo total por km (R\$)			
	1	2	3	4
1	2.956,25	5.452,38	7.263,05	5.598,72
2	4.394,25	2.473,20	1.345,50	2.758,84
3	1.694,70	486,38	2.256,30	420,42

Tabela Z: valores de transporte em cada trecho.

Equações das restrições:

$$25 = X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14}$$

$$20 = X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24}$$

$$55 = X_{31} + X_{32} + X_{33} + X_{34}$$

$$40 = X_{11} + X_{22} + X_{23}$$

$$20 = X_{12} + X_{22} + X_{32}$$

$$25 = X_{13} + X_{23} + X_{33}$$

$$15 = X_{14} + X_{24} + X_{34}$$

$$X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{21}, X_{22}, X_{23}, X_{24}, X_{31}, X_{32}, X_{33}, X_{34} > 0$$

Função Objetivo :

$$\begin{aligned}
 &= 2.956,25 X_{11} + 5.452,38 X_{12} + 7.263,05 X_{13} + 5.598,72 X_{14} + \\
 &+ 5.452,38 X_{21} + 2.473,20 X_{22} + 1.345,50 X_{23} + 2.758,84 X_{24} + \\
 &+ 1.694,70 X_{31} + 486,38 X_{32} + 2.256,30 X_{33} + 420,42 X_{34}
 \end{aligned}$$

Resultados Obtidos na simulação utilizando o Solver :

Rotas		Custo da unidade transportada	
x11	25	1→1	2956,25
x12	0	1→2	5452,38
x13	0	1→3	7263,05
x14	0	1→4	5598,72
x21	0	2→1	4394,25
x22	0	2→2	2473,2
x23	15	2→3	1345,5
x24	0	2→4	2758,84
x31	15	3→1	1694,7
x32	25	3→2	486,38
x33	5	3→3	2256,3
x34	15	3→4	420,42

Função Objetivo 149256,6

Restrições

Capacidade da fábrica AM	$x_{11}+x_{12}+x_{13}+x_{14} \leq 25$	
25	25	
Capacidade da fábrica PE	$x_{21}+x_{22}+x_{23}+x_{24} \leq 15$	
15	15	
Capacidade da fábrica SP	$x_{31}+x_{32}+x_{33}+x_{34} \leq 55$	
60	60	
Capacidade do depósito MT	$x_{11}+x_{21}+x_{31} \leq 40$	
40	40	
Capacidade do depósito BA	$x_{12}+x_{22}+x_{32} \leq 25$	
25	25	
Capacidade do depósito MG	$x_{13}+x_{23}+x_{33} \leq 20$	
20	20	
Capacidade do depósito RJ	$x_{14}+x_{24}+x_{34} \leq 15$	
15	15	
Quantidade não negativa em cada rota		
25	0	x_{11}
0	0	x_{12}
0	0	x_{13}
0	0	x_{14}
0	0	x_{21}
0	0	x_{22}
15	0	x_{23}
0	0	x_{24}
15	0	x_{31}
25	0	x_{32}
5	0	x_{33}
15	0	x_{34}

Como podemos visualizar acima, com a utilização do solver foi possível encontrar a solução ótima para o problema central proposto pelo exemplo da empresa que buscava minimizar o custo com frete.

Nos anexos A, B, C são apresentados relatórios de saída do Solver para o problema estudado.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como podemos visualizar nesse trabalho aqui apresentado, os problemas de transporte representam uma faixa de questionamento muito importante desde os tempos antigos até os dias atuais. A cada nova fase da industrialização novos problemas vão surgindo e a busca pela melhor e mais econômica forma de distribuição de bens, serviços e pessoas é uma parte importante do planejamento das organizações, independente do nível em que for necessária tal distribuição . A pesquisa operacional voltada ao problema de transporte pode ser utilizada nas mais diversas áreas.

A utilização da ferramenta Solver disponível no software Excel é de fácil utilização porém sua abrangência é larga o que o torna uma ferramenta poderosa e eficaz no tratamento desse tipo de problema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, Eduardo Leopoldino de. **Introdução à Pesquisa Operacional**. 3 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

CAIXETA, José Vicente Filho. **Pesquisa operacional: técnicas de otimização aplicadas a sistemas agroindustriais**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2004.

LIEBERMAN, Hillier. **Introdução a pesquisa operacional**. 8 ed. São Paulo: McGraw, 2006.

LISBOA, Érico. **Apostila pesquisa operacional**. Disponível em: www.ericolisboa.eng.br/cursos/apostilas/po/index.htm. Acessado em: 10/04/10.

SILVA, Ermes Medeiros da **et al**. **Pesquisa operacional: programação linear**. 3 ed. 11 reimpressão. São Paulo: Atlas, 2009.

PRADO, Darci Santos do. **Programação Linear – volume 1**. 4 ed. Minas Gerais: INDG, 2004.

SILVEIRA, Carlos Augusto **et al**. **Pesquisa Operacional no ensino da logística**. Disponível em: www.inpeau.ufsc.br/coloquio04/completos/Carlos%20Augusto%20Silveira%20Pesquisa%20operacional%20no%20ensino%20da%20.doc. Acessado em: 10/04/2010.

APÊNDICE A

Microsoft Excel 14.0 Relatório de Respostas

Planilha: [TCC - otimiza 2.xls]Plan1

Relatório Criado: 15/11/2010 11:08:23

Resultado: O Solver encontrou uma solução. Todas as Restrições e condições de adequação foram satisfeitas.

Mecanismo do Solver

Mecanismo: GRG Não Linear

Tempo da Solução: 0,078 Segundos.

Iterações: 0 Subproblemas: 0

Opções do Solver

Tempo Máx. 100 s, Iterações 100, Precisão 0,000001

Convergência 0,0001, Tamanho da População 100, Propagação Aleatória 0, Encaminhar Derivativos, Limites Necessários

Subproblemas Máx. Ilimitado, Soluç. Máx. Núm. Inteiro Ilimitado, Tolerância de Número Inteiro 5%, Resolver sem Restrições de

Célula do Objetivo (Mín.)

Célula	Nome	Valor Original	Valor Final
\$C\$16	Função Objetivo	149256,5517	149256,5517

Células Variáveis

Célula	Nome	Valor Original	Valor Final	Número Inteiro
\$B\$3 x11		25	25	Conting.
\$B\$4 x12		0	0	Conting.
\$B\$5 x13		0	0	Conting.
\$B\$6 x14		0	0	Conting.
\$B\$7 x21		0	0	Conting.
\$B\$8 x22		0	0	Conting.
\$B\$9 x23		15	15	Conting.
\$B\$10 x24		0	0	Conting.
\$B\$11 x31		15,000001	15,000001	Conting.
\$B\$12 x32		25	25	Conting.
\$B\$13 x33		5	5	Conting.
\$B\$14 x34		15	15	Conting.

Restrições

Célula	Nome	Valor da Célula	Fórmula	Status	Margem de Atraso
\$A\$45	Quantidade não negativa em cada rota	15	\$A\$45>=\$B\$45	Não-associação	15
\$A\$20	Capacidade da fábrica AM	25	\$A\$20=\$B\$20	Associação	0
\$A\$22	Capacidade da fábrica PE	15	\$A\$22=\$B\$22	Associação	0
\$A\$24	Capacidade da fábrica SP	60,000001	\$A\$24=\$B\$24	Associação	0
\$A\$26	Capacidade do depósito MT	40,000001	\$A\$26=\$B\$26	Associação	0
\$A\$28	Capacidade do depósito BA	25	\$A\$28=\$B\$28	Associação	0
\$A\$32	Capacidade do depósito RJ	15	\$A\$32=\$B\$32	Associação	0
\$A\$30	Capacidade do depósito MG	20	\$A\$30=\$B\$30	Associação	0
\$A\$34	Quantidade não negativa em cada rota	25	\$A\$34>=\$B\$34	Não-associação	25
\$A\$35	Quantidade não negativa em cada rota	0	\$A\$35>=\$B\$35	Associação	0
\$A\$36	Quantidade não negativa em cada rota	0	\$A\$36>=\$B\$36	Associação	0
\$A\$37	Quantidade não negativa em cada rota	0	\$A\$37>=\$B\$37	Associação	0
\$A\$38	Quantidade não negativa em cada rota	0	\$A\$38>=\$B\$38	Associação	0
\$A\$39	Quantidade não negativa em cada rota	0	\$A\$39>=\$B\$39	Associação	0
\$A\$40	Quantidade não negativa em cada rota	15	\$A\$40>=\$B\$40	Não-associação	15
\$A\$41	Quantidade não negativa em cada rota	0	\$A\$41>=\$B\$41	Associação	0
\$A\$42	Quantidade não negativa em cada rota	15,000001	\$A\$42>=\$B\$42	Não-associação	15,000001
\$A\$43	Quantidade não negativa em cada rota	25	\$A\$43>=\$B\$43	Não-associação	25
\$A\$44	Quantidade não negativa em cada rota	5	\$A\$44>=\$B\$44	Não-associação	5

APÊNDICE B

Microsoft Excel 14.0 Relatório de Sensibilidade

Planilha: [TCC - otimiza 2 .xls]Plan1

Relatório Criado: 15/11/2010 11:09:05

Células Variáveis

Célula	Nome	Final Valor	Reduzido Gradiente
\$B\$3 x11		25	0
\$B\$4 x12		0	0
\$B\$5 x13		0	0
\$B\$6 x14		0	0
\$B\$7 x21		0	0
\$B\$8 x22		0	0
\$B\$9 x23		15	0
\$B\$10 x24		0	0
\$B\$11 x31		15,000001	0
\$B\$12 x32		25	0
\$B\$13 x33		5	0
\$B\$14 x34		15	0

Restrições

Célula	Nome	Final Valor	Lagrange Multiplicador
\$A\$45	Quantidade não negativa em cada rota	15	0
\$A\$20	Capacidade da fábrica AM	25	0
\$A\$22	Capacidade da fábrica PE	15	-2172,350098
\$A\$24	Capacidade da fábrica SP	60,000001	-1261,550049
\$A\$26	Capacidade do depósito MT	40,000001	2956,25
\$A\$44	Quantidade não negativa em cada rota	5	0
\$A\$43	Quantidade não negativa em cada rota	25	0
\$A\$42	Quantidade não negativa em cada rota	15,000001	0
\$A\$41	Quantidade não negativa em cada rota	0	3249,220123
\$A\$40	Quantidade não negativa em cada rota	15	0
\$A\$39	Quantidade não negativa em cada rota	0	2897,619995
\$A\$38	Quantidade não negativa em cada rota	0	3610,350098
\$A\$37	Quantidade não negativa em cada rota	0	3916,750153
\$A\$36	Quantidade não negativa em cada rota	0	3745,199707
\$A\$35	Quantidade não negativa em cada rota	0	3704,449829
\$A\$34	Quantidade não negativa em cada rota	25	0
\$A\$30	Capacidade do depósito MG	20	3517,850098
\$A\$28	Capacidade do depósito BA	25	1747,930054
\$A\$32	Capacidade do depósito RJ	15	1681,970062

APÊNDICE C

Microsoft Excel 14.0 Relatório de Limites

Planilha: [TCC - otimiza 2 .xls]Plan1

Relatório Criado: 15/11/2010 11:09:46

Objetivo		
Célula	Nome	Valor
\$C\$16	Função OI	149256,5517

Variável			Inferior	Objetivo
Célula	Nome	Valor	Limite	Resultado
\$B\$3	x11	25	25	149256,55
\$B\$4	x12	0	0	149256,55
\$B\$5	x13	0	0	149256,55
\$B\$6	x14	0	0	149256,55
\$B\$7	x21	0	0	149256,55
\$B\$8	x22	0	0	149256,55
\$B\$9	x23	15	15	149256,55
\$B\$10	x24	0	0	149256,55
\$B\$11	x31	15,000001	15	149256,55
\$B\$12	x32	25	25	149256,55
\$B\$13	x33	5	5	149256,55
\$B\$14	x34	15	15	149256,55