



Transporte - Um problema clássico

**Greisi Mara Bianchini¹, Vanessa Rita dos Santos², Juliano Cavalcanti³,
Raquel Rhoden Bresolin⁴, Aline Ortiz Batista⁵**

¹Mestrado em Engenharia/ Universidade (gmbianchini@hotmail.com)

² Mestrado em Engenharia/ Universidade (vanessars7@yahoo.com.br)

³ Mestrado em Engenharia/ Universidade de Passo Fundo (juliano@upf.br)

⁴ Mestrado em Engenharia/ Universidade de Passo Fundo (raquel.bresolin@gmail.com)

⁵ Mestrado em Engenharia/ Universidade de Passo Fundo (alinebatista_sol@hotmail.com)

Resumo

O trabalho apresenta como principais pontos o peso dos transportes no cenário nacional e seus conflitos crescentes com o meio ambiente, no esgotamento de fontes de energia e poluição causada por seu desenvolvimento. Conclui como de vital importância a necessidade de medidas que possibilitem a redução desses impactos. O problema é otimizar as rotas de transporte e objetiva reduzir seus prejuízos, através de cálculos de programação matemática, em ambiente computacional, chegando a resultados expressivos. Contudo é conclusivo que pouquíssimas empresas utilizam-se dos métodos matemáticos a fim de aumentar os benefícios econômicos e ambientais por sua aplicação, contudo existindo uma necessidade muito grande de que se realizassem, a fim de proteger o patrimônio ambiental ou minorar sua degradação. A apresentação define os passos para utilização básica da programação linear, através do método simplex, e orienta na estruturação da formação inicial do problema.

Palavras-chave: Otimizar. Programação linear. Transporte.

Área Temática: Planejamento Regional.

1 Peso dos sistemas de transportes no cenário mundial

O sistema de transportes desempenha uma importante função na atividade econômica no mundo. A produção e o uso de infra-estrutura e de equipamentos de transporte constituem uma parcela considerável do PIB (de 4 a 8%) nos países integrantes da Organisation For Economic Co-Operation and Development e é responsável por 2 a 4% dos empregos (OECD 1988).

O transporte resolve uma série de problemas importantes de pessoas, empresas e governos, porém provoca uma série de externalidades (impactos) negativas, tais como: acidentes, insegurança, poluição do ar, poluição de rios e mares, ruídos, consumo de energia, consumo de solo e outros recursos naturais para execução de infra-estrutura, veículos e outros equipamentos e ainda introduz para as comunidades o chamado custo social que é estimado em muitos países em torno de 5% do PIB (OECD 1988).

O início das preocupações mais agudas sobre ambiente, transportes e desenvolvimento sustentável decorre da crise do petróleo, mais notadamente no final da década de 70 e início dos anos 80. Após 1979, os efeitos do consumo do estoque de energia provocaram uma sensível redução da atividade econômica. Esta instabilidade levou a humanidade a grandes debates e discussões sobre estes temas. Porém, as estratégias relativas à conservação de energia não estavam integradas com questões ambientais pois não consideravam a nocividade



1º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 29 a 31 de Outubro de 2008

da degradação ambiental e a escassez dos recursos naturais.

Em 1988 os eleitores da comunidade europeia consideravam os problemas ambientais como o segundo colocado no *ranking* das questões mais importantes, acima da inflação e limitação de armas, perdendo somente para o desemprego (Pearce *ET al.* 1989). No Brasil, em maio de 1992, o Ministério dos Transportes editou o documento: Diretrizes Ambientais Prioritárias para o Setor de Transportes, em decorrência de um estudo realizado por convênio entre o GEIPOT e DNER que reconhece a tendência mundial de compatibilizar a evolução do sistema de transportes com a necessidade de manutenção da base de recursos naturais para a continuidade de utilização pelas gerações futuras (Teixeira 1993).

Praticamente todos os sentidos e intenções do desenvolvimento sustentável aplicam-se também a transportes. Este pode ser referenciado como a *interseção* da economia com as questões do meio ambiente. Neste cruzamento há uma variada gama de interesses e assuntos contraditórios. Se, de um lado, transporte é uma atividade indispensável ao funcionamento de uma economia especializada promovendo maior integração entre indivíduos e nações com vistas ao bem-estar coletivo, por outro, o transporte consome os estoques de recursos naturais e as reservas de energia. Por estes motivos, os grandes benefícios oferecidos pelos transportes como o aumento da mobilidade e suas consequentes comodidades pessoais e coletivas constituem um conflito com o desenvolvimento de muitas economias e, principalmente, com a necessidade de uso adequado do ambiente.

A causa de efeitos nocivos como desconfortos pelo ruído, vibrações, deterioração da paisagem urbana e rural, efeitos sobre o clima, acidificação do solo e água, contaminação do solo, redução da produtividade agrícola, mau cheiro, decréscimo da visibilidade, danos às florestas, acidentes e congestionamentos, é secundária frente aos impactos provocados pelo setor à saúde. Os acidentes, nos últimos anos, também têm constituído motivos de maiores cuidados e providências. Os dados apresentados estão a demonstrar que a relação entre desenvolvimento sustentável e transportes é carregada de conflitos. A produção de transportes interfere nos meios para a implementação do desenvolvimento sustentável, basicamente na conservação do ambiente e na projeção de um futuro com qualidade de vida. O meio ambiente é afetado por um largo espectro de impactos com destaque à poluição ambiental e ao consumo desregrado dos recursos naturais. O setor de transportes contribui com quase 30% dos gases que levam ao efeito estufa.

2 Fontes de recursos e perspectivas futuras

Um dos focos centrais do desenvolvimento sustentável e economia ambiental é a necessidade de *apropriar o valor dos serviços fornecidos pelo ambiente natural* com vistas à obtenção de recursos para aplicação no financiamento de conservação e monitoramento ambiental, pesquisas, combate à poluição e tudo o que for necessário para o bem-estar social com qualidade de vida.

A grande questão relativa à *valoração* dos recursos naturais é que muitos desses recursos são oferecidos livre e gratuitamente. Eles possuem *preço-zero* porque não foram produzidos, sendo o seu valor real difícil de avaliar. Uma residência servida por ar puro ou uma bela paisagem terá certamente um valor de mercado onde uma parcela poderá ser destacada como decorrente do “bem natural”. Fazendas servidas por boas ocorrências de chuvas, fontes de água pura, a diversidade biológica existente em uma floresta tropical, etc. são situações típicas. Como estes, há outros poucos exemplos que poderiam indicar o valor de um recurso natural através de ações comuns de compra e venda. A teoria da oferta e procura diz que se um bem é oferecido a um *preço-zero* haverá uma maior quantidade demandada do que se o preço fosse positivo. Se, por exemplo, considerarmos a camada de ozônio como um bem natural de custo zero, é certo que não haverá nenhum incentivo para a sua proteção. A



1º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 29 a 31 de Outubro de 2008

primeira e grande missão do desenvolvimento sustentável é a criação de consciência coletiva de que o valor da saúde, da qualidade de vida e das condições globais do ambiente, deve-se considerar quando se faz um balanço de benefícios e custos. O fundamento mais importante desta questão é que, recursos naturais constituem uma *função econômica* e possuem valor positivo que pode ser determinado. Aproveitar e consumir esses recursos a *preço-zero* é colocar em risco de *extinção*. As nobres intenções dos governos e, particularmente, dos produtores de transportes e adeptos do desenvolvimento sustentável são a despoluição do ar, da água, a diminuição do ruído, proteção da flora e fauna, entre outras. A teoria do comportamento do consumidor e da demanda apregoa que *o consumidor procura alocar sua renda monetária limitada entre bens e serviços disponíveis de tal forma a maximizar sua satisfação* (Ferguson 1994).

Se for aplicado este princípio econômico às questões ambientais, então se poderá ter um discernimento a respeito da ordenação das necessidades de melhorar o meio ambiente diante de critérios e objetivos sociais de aumento da satisfação (ou do bem-estar) futuro de toda população. Esta adoção de objetivos sociais usados como medida de ganhos e perdas tem sido utilizada em muitos países.

3 Pesquisa operacional como instrumento para tomada de decisão

A pesquisa operacional segundo HARVEY (1985), é utilizada como uma ferramenta de auxílio na abordagem científica da tomada de decisões. Ou ainda como um conjunto de métodos e modelos matemáticos aplicados à resolução de problemas complexos nas atividades de uma organização. Historicamente a PO foi utilizada pela primeira vez com fins bélicos, surgiu em função dos controles de estoques de medicamentos e munições, ou combustíveis e insumos nas grandes guerras mundiais, onde era necessário controlar para manter os batalhões até o final dos períodos de reclusão em campo, ou melhor, até o momento em que pudessem se dedicar à produção novamente. Como o nome indica, PO é a pesquisa das operações, ou seja, é a investigação das operações ou atividades de uma organização. A natureza da organização pode ser financeira, industrial, militar, governamental, ou qualquer outra que encontre campo de aplicação e necessidade na atualidade. Hoje a pesquisa, tem condições de oferecer subsídio à tomada de decisões que visem minorar os impactos do transporte sobre o meio ambiente.

A Segunda Guerra Mundial foi especialmente marcante para as aplicações de pesquisa e aplicação operacional, as gerências militar britânica e americana empregoaram uma abordagem científica para tratamento de problemas de gerenciamento de recursos escassos de forma eficaz no período de batalhas pela primeira vez. Os cientistas empregados tinham que pesquisar as operações militares e as atividades dentro de cada operação para sugerir alternativas viáveis.

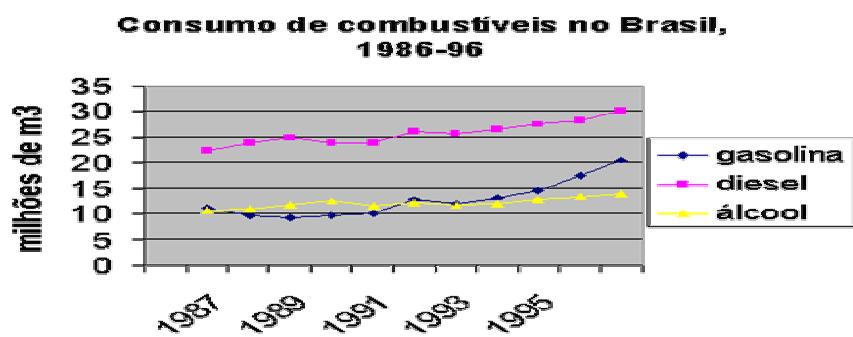
Em 1947, o interesse das indústrias na utilização das técnicas desenvolvidas na área militar apareceu para auxiliar no planejamento e controle da produção. Operar de forma econômica a fim de produzir mais e com maior agilidade, principalmente diante das necessidades de reconstrução de cidades e produtos destruídos pela guerra, frente às necessidades de fabricação em série e a baixos preços e ainda visando diminuir desperdícios. Era o início da era industrial. Em 1949 Dantzig apresenta o Método Simplex para resolver problemas de programação linear (equações e/ou inequações lineares), e cria uma nova linha de resoluções para trabalho com problemas já considerados clássicos, como é o caso do transporte.

Esse é então o ponto de encontro do passado com o presente. O método assume hoje, e mais a cada dia, a capacidade de reduzir impactos, tornando mais objetiva e racional à aplicação de recursos naturais, ou ainda reduzindo o desgaste dos mesmos.



4 Porque otimizar

O setor de transporte consumiu em 1996, 43 milhões de toneladas de energia, correspondente a 21% do consumo total do país. Dentro do setor de transporte, o rodoviário é a forma predominante de uso de energia (90% de toda a energia consumida no setor), como consequência das políticas de transporte adotadas nas últimas décadas. Quanto à forma específica de energia usada, o óleo diesel é dominante, refletindo o grande uso de caminhões no transporte rodoviário (Figura 1).



Fonte: Ministério das Minas e Energia

Figura 1 – Consumo de combustíveis no Brasil

5 Problemas ambientais

Uso de combustíveis fósseis e a demanda crescentes no transporte rodoviário agrava as emissões de poluentes. Este aumento tem sido em parte compensado pelo fato dos novos veículos produzidos pela indústria nacional emitirem menor quantidade de poluentes por quilômetro rodado. Uma consequência da regulamentação estabelecida pelo PROCONVE – Programa de Controle da Poluição Veicular, e de controles estabelecidos em algumas cidades brasileiras sobre a emissão de poluentes por veículos nas ruas. Apesar de avanços, o problema da poluição atmosférica é grave, principalmente em regiões metropolitanas, com grandes frotas de veículos automotores. A gravidade do problema se expressa por meio dos prejuízos à saúde da população, em particular das pessoas idosas e das crianças.

6 Competências da pesquisa operacional para otimização

Compreender como se constroem descrições ou modelos de problemas de decisão e controle para tratar situações de complexidade e incerteza, utilizando matemática, estatística e economia, são algumas das competências da pesquisa operacional. E ainda, interpretar e analisar as relações que determinam as prováveis consequências futuras da tomada de ações alternativas. Planejar e projetar medidas apropriadas de eficácia de modo a calcular o mérito relativo a cada ação alternativa tomada.

Dentre as habilidades propostas, está elaborar análise da relação custo/benefício para tomada de decisões, considerando-se diversos aspectos conjunturais e sintetizando informações na elaboração de modelos matemáticos e estatísticos para solução de problemas de produção. Tornando possível, lidar com formulação, manipulação e análise de modelos matemáticos relacionados à produção de bens e produtos.

Os problemas de otimização são problemas de maximização ou minimização em funções de variáveis, designadas por objetivo, que dependem de um número finito de



1º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 29 a 31 de Outubro de 2008

variáveis. Estas variáveis podem ser independentes uma das outras, ou podem estar relacionadas através de uma ou mais restrições. Os problemas de *Programação Matemática* são uma classe particular de *problemas de otimização*, que surgem na década de quarenta, aplicados nos campos da *organização* e da *gestão econômica*, em que o *objetivo* e as *restrições* são dados como *funções matemáticas e relações funcionais*.

O problema pode ser representado por um *modelo matemático*. Os problemas de *Programação Linear* são uma classe particular de Problemas de Programação Matemática, onde a função objetiva e as restrições podem ser representadas por *funções lineares*. A Programação Linear determina o *planejamento ótimo de atividades*, ou seja, um *plano ótimo* que represente a *melhor solução* entre todas as *alternativas possíveis*. O problema é representado matematicamente pelo modelo de PM onde todas as funções $F(x_1, x_2, \dots, x_N)$, $g_i(x_1, x_2, \dots, x_N), \dots, M$ são *lineares*.

7 Exemplos clássicos de programação linear – o transporte

Supõe-se que um sistema de distribuição alimenta N armazéns a partir de M grandes unidades produtoras. Conhecendo os custos de transporte, a procura prevista para cada armazém, e as capacidades (máximas) de produção de cada unidade, faz-se necessário *determinar o programa de distribuição com menor custo ou ainda de menor impacto ambiental possível*.

Os problemas de *Programação Linear* podem ser formulados de acordo com um *modelo matemático geral*, que consiste na determinação de valores não negativos para as variáveis $x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_N$, a satisfazer um sistema de M equações (inequações) lineares que *maximizem ou minimizem* uma função (real) *linear* dessas variáveis.

Problemas de transporte envolvem achar rotas mais curtas ou de mínimo custo. Conseqüentemente, são economicamente significativos para muitas empresas comerciais que operam em várias instalações e mantém estoques em armazéns locais. Além disso, têm uma estrutura matemática idêntica àquela dos outros modelos de pesquisa operacional que pareçam não relacionados à primeira vista. Mas estas duas razões sozinhas não justificam que se escolha modelos de redes para estudo em maior detalhe. A justificativa chave é que as características matemáticas de modelos de rede são tão especiais que, explorando essas propriedades estruturais, pode se obter eficiência para achar soluções ótimas, menores impactos, menor desgastes para estradas, redução dos custos de manutenção, redução do impacto sobre o entorno, e muitos outros ainda incidentes diretamente sobre a qualidade de vida da população global. Em aplicações industriais reais, os modelos em redes contêm freqüentemente milhares de atividades e centenas de restrições, de modo que usar algoritmo mais eficiente não é somente proveitoso, mas na maioria das vezes, uma necessidade prática.

8 O problema clássico de transporte

O problema de transporte ou de distribuição é exemplo precoce em que a otimização de redes lineares aplica-se em padrão industrial com várias fábricas, depósitos, zonas de vendas e vias de distribuição. A utilidade primária do modelo é para planejamento. Nesse caso, as decisões estratégicas envolvem selecionar rotas de transportes de modo a distribuir a produção de várias fábricas e vários depósitos ou pontos terminais.

Na interpretação padrão do modelo, à ‘m’ pontos de fornecimento com itens disponíveis a serem remetidos à ‘n’ pontos de demanda. Especialmente, a fábrica i pode remeter no máximo seus s_i itens, e o ponto de demanda j necessita pelo menos D_j itens. Os S_j e D_j são fixados com referência a um intervalo de tempo definido ou horizonte de planejamento. O custo de remeter cada unidade da fabrica i a ponto de demanda j é c_{ij} . O objetivo é escolher, para a duração do horizonte, um plano de rotas que minimize os custos



1º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 29 a 31 de Outubro de 2008

totais de transporte. A descrição Matemática do problema clássico de transporte é:

(1)

$$\text{minimize} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

sujeito a

(2)

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq S_i \text{ para } i = 1, 2, \dots, m \quad (\text{fornecimento})$$

(3)

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \geq D_j \text{ para } j = 1, 2, \dots, n \quad (\text{demanda})$$

(4)

$$x_{ij} \geq 0 \text{ para todos os } i \text{ e } j.$$

Figura 2 – Problema clássico de transporte

Na descrição matemática, a quantidade não negativa x_{ij} representa a quantidade de mercadorias remetidas da Fábrica i para o Ponto de Demanda j . Observa-se que as somas das remessas da Fábrica i a todos os Pontos de Demanda não pode exceder o fornecimento disponível S_i . Do mesmo modo, a soma das remessas a Ponto de Demanda j vindas de todas as Fábricas deve igualar pelo menos a necessidade de demanda D_j . Numa representação de rede tal como na figura, é conveniente distinguir os fornecimentos disponíveis das demandas fazendo serem números positivos e as necessidades números negativos. Daí pode achar conveniente reescrever numa formulação equivalente multiplicando ambos os lados por menos um, por isto alterando o sentido da desigualdade, para resultar:

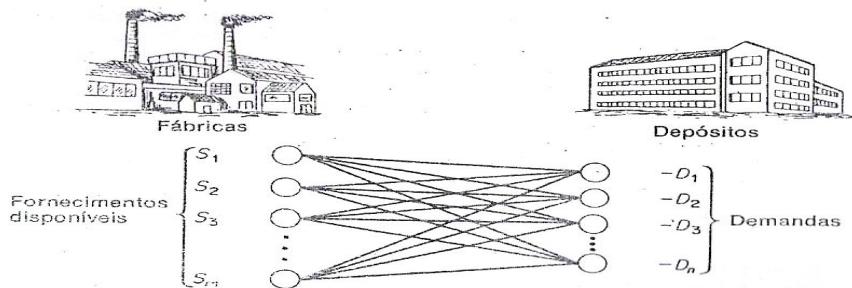


Figura 3 - Rede para problema de transporte

		Depósito			
		1	2	3	...
Fábrica	1	c_{11}	c_{12}	c_{13}	\dots
	2	c_{21}	c_{22}	c_{23}	\dots
3	1	c_{31}	c_{32}	c_{33}	\dots
	2	x_{31}	x_{32}	x_{33}	\dots
...	1	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
	m	c_{m1}	c_{m2}	c_{m3}	\dots
		x_{m1}	x_{m2}	x_{m3}	\dots
		Demandas:	D_1	D_2	D_3
					D_n

A tabela mostra a estrutura de custos (c_{ij}) entre as m fábricas e os n depósitos. As remessas são representadas por x_{ij} . As colunas de fornecimento (S_i) e demanda (D_j) estão listadas ao lado da tabela.

Figura 4 – Rede para problema de transporte

O quadro de tecnologia expõe o modelo usado. A função-objetivo soma os custos associados a todas as remessas individuais. Um resultado chave na teoria de redes é que, entre as soluções ótimas do modelo, há pelo menos uma na qual os x_{ij} tem valor inteiro, desde que



1º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 29 a 31 de Outubro de 2008

S_i e D_j sejam todos inteiros positivos, o que supomos daqui para frente. Portanto, restringindo $x_{ij} = 0, 1, 2, \dots$. Não afeta adversamente o valor.

		Atividades de remessa																	
		x_{11}	x_{12}	x_{13}	\dots	x_{1n}	x_{21}	x_{22}	x_{23}	\dots	x_{2n}	\dots	x_{m1}	x_{m2}	x_{m3}	\dots	x_{mn}		
fábricas	1	1	1	1	\dots	1	1	1	\dots	1	\dots	1	1	1	\dots	1	$\leq S_i$		
	2																$\leq S_2$		
		\vdots															\vdots		
		m															$\leq S_m$		
depósitos	1	-1					-1					-1					$\leq -D_1$		
	2		-1					-1				-1					$\leq -D_2$		
		3		-1					-1			-1					$\leq -D_3$		
		\vdots															\vdots		
		n								-1							$\leq -D_n$		
			c_{11}	c_{12}	c_{13}	\dots	c_{1n}	c_{21}	c_{22}	c_{23}	\dots	c_{2n}	\dots	c_{m1}	c_{m2}	c_{m3}	\dots	c_{mn}	Minimize

Figura 5 - Quadro de tecnologia para um problema de transporte

Além disto, o método simplex achará tal solução ótima, se o custo unitário de produzir um item diferir de fabrica, então este custo é incluído na determinação de C_{ij} . Se, por razões físicas ou econômicas, certa fabrica for inacessível a um ponto de demanda particular, então o X_{ij} associado é eliminado, ou, se for mais conveniente, ao C_{ij} correspondente atribui-se um valor arbitrariamente grande. Ou seja, $C_{ij} > 0$ e reescreve-se com igualdades. Para o modelo possuir uma solução viável, é certamente necessário que o fornecimento total seja pelo menos tão grande quanto à demanda total. Há um grande numero de aplicações, na qual o fornecimento total pode exceder a demanda total. Por ex: S_i representa algumas vezes a capacidade de produção da fabrica ‘i’ durante o horizonte do planejamento, em vez de uma quantidade do produto realmente fabricado para a distribuição no início do período.

Analisando um modelo de fornecimento de transporte padrão e ideando um algoritmo de otimização, contudo, é conveniente supor que o fornecimento total é igual à demanda total:

$$\sum_{i=1}^m S_i \geq \sum_{j=1}^n D_j$$

As variáveis da decisão x_{ij} ($mn = 3 \times 2 = 6$), são as quantidades a enviar da origem i para o destino j ; as duas primeiras restrições referem-se à oferta e indicam que de cada origem (armazém) sai exatamente a quantidade disponível; as três restrições seguintes significam que os destinos (mercados) vão ser abastecidos exatamente das quantidades que precisam; quanto as restrições de não negatividade, tem o significado habitual. Devido a sua estrutura particular, o problema do transporte goza de algumas propriedades, em geral não verificadas para os problemas de programação linear, que suportam métodos específicos de resolução.

Teorema 1. *O problema de transporte tem sempre uma solução ótima (finita)*

$$\sum_i x_{ij} = \frac{\sum_i a_i b_j}{Q} = \frac{b_j \sum_i a_i}{Q} = b_j, \quad \text{mais dada por } x_{ij} = \frac{a_i b_j}{Q}, \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n).$$

Demonstração. Como $\sum_i a_i = \sum_i b_i = Q$, uma solução admissível para o problema satisfaz as restrições de oferta,

$$\sum_i x_{ij} = \frac{\sum_i a_i b_j}{Q} = \frac{a_i \sum_j b_j}{Q} = a_i.$$

O que prova que o problema de transporte é sempre possível, isto é, possui pelo menos uma solução admissível. Como cada variável x_{ij} tem coeficiente (+ 1) em apenas duas restrições (uma oferta e outra de procura), então o problema de transporte tem a solução ótima



1º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 29 a 31 de Outubro de 2008

e finita.

9 Conclusão

Infelizmente, ainda é pequeno o número de empresas que utilizam em seus processos alguma técnica de otimização. Isto se deve, principalmente, a falta de conhecimento a respeito do poder real de tais técnicas. É muito comum que as empresas não tenham consciência de que certas tarefas são passíveis de otimização por sistemas computacionais. Tarefas ineficientes poderiam ser melhoradas significativamente, mas continuam promovendo prejuízos que passam despercebidos. Ter prejuízo não significa somente terminar o mês com o caixa negativo. Durante muitos anos, as teorias e métodos desenvolvidos por matemáticos e cientistas foram arquivados em livros e periódicos especializados e muito pouco foi absorvido pelo setor empresarial. Felizmente, essa situação vem se alterando. É cada vez maior o número de companhias que adotam modelos de otimização no seu dia-a-dia, diminuindo custos e assim aumentando lucros. Além disso, com a onda crescente de privatizações nos diversos setores da sociedade, a concorrência se fortifica e a sobrevivência dos negócios começa a depender do desempenho de cada um com relação aos demais. No Brasil esse processo vem ganhando força porém ainda é incipiente. Nos demais países, principalmente na Europa e nos Estados Unidos, a utilização de técnicas de otimização dentro das empresas é mais difundida, assumindo um papel significativo. Desenvolvimento sustentável é qualidade de vida projetada para o futuro. Os recursos para isso, em sua maioria, serão obtidos da ponderação do valor dos danos ocasionados ao ambiente tendo em vista a necessidade de conservação do mesmo e a exploração dos recursos naturais por futuras gerações

Referências

- HARVEY, M. Wagner. *Pesquisa Operacional*. In Dean School of Business Administration University of North Carolina At Chapel Hill; Consultant to the Firm MC Kinsey & Company, Inc. Traduzido por: Paulo Antônio Matiotto, Professor Adjunto, Departamento de Engenharia de Eletricidade, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. PHB 2ª Edição.
- Anfavea (1997), **Anuário Estatístico**, São Paulo. ANTP (1997) *Anuário Estatístico dos Transportes*, São Paulo.
- FERGUSON C. E. (1994) *Microeconômica*. Forense Universitária Ltda., Rio de Janeiro.
http://hist.antp.org.br/telas/congresso_transito_transporte7.htm, visita em 05 de junho de 2007.
- MARTINS J. A., SANTOS M.P.S. (1994) **A Auto Sustentabilidade no Planejamento de Transporte**. *Anais do 8º ANPET*, Recife.
- OECD (1988) *Transport and the Environment*, Head of Publications Service OECD, Paris (França).
- PEARCE D., MARKANDYA A., BARBIER E. B. (1989) *Blueprint for a Green Economy*, Earthscan, Publications Ltd, London (Inglaterra).
- TEIXEIRA S.G., (1993) **Tratamento da Questão Ambiental no Âmbito do Ministério dos Transportes**. *Anais do 7º ANPET*, São Paulo.