

LOCALIZAÇÃO DE ERBs COM USO DE ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS

Carolina Carvalho Maia

Mestrado em Engenharia de Produção – Universidade Federal Fluminense
Rua Passo da Pátria 156, São Domingos, CEP.:24210-240, Niterói, RJ – carolinamaia@urbi.com.br

Aline Bandeira de Mello Fonseca

Mestrado em Engenharia de Produção – Universidade Federal Fluminense
Rua Passo da Pátria 156, São Domingos, CEP.: 24210-240, Niterói, RJ – aline.mello@ig.com.br

João Carlos Correia Baptista Soares de Mello

Departamento de Engenharia de Produção – Universidade Federal Fluminense
Rua Passo da Pátria 156, São Domingos, CEP.: 24210-240, Niterói, RJ - jcsmello@producao.uff.br

Mariana Vieira Rangel Nunes

Curso de Engenharia de Telecomunicações – Universidade Federal Fluminense
Rua Passo da Pátria 156, São Domingos, 24210-240, Niterói, RJ - marianavr@hotmial.com

Resumo:

Nos últimos anos, o setor de telecomunicações tem se caracterizado pela expansão e surgimento de novas tecnologias, principalmente pela expansão da telefonia celular e, conseqüentemente, um grande número de antena de celular, as chamadas ERBs (Estação Radio Base). E a localização dessas ERBs é um dos principais pontos para o melhor funcionamento do sistema.

Neste trabalho, foi usada a técnica denominada Análise Envoltória de Dados (Data Envelopment Analysis – DEA) na escolha da melhor localização de uma ERB.

Neste caso, foram previamente selecionadas 4 possíveis localizações para instalação da ERB(DMU). O insumo(Input) é o preço do aluguel, e os produtos(Output) são a altura dos prédios, a área disponível para instalação, a viabilidade técnica(facilidade de instalação) e a forma de transmissão(Rádio ou Fibra ótica).

Como alguns dos output são qualitativos, foi utilizado o método MACBETH para quantifica-los, por outro lado, como o número de DMUs é muito menor que o recomendável, utilizou-se as técnicas de aumento de discriminação em DEA para a obtenção do resultado final (restrição aos pesos e fronteira invertida).

O resultado final é comparado com o resultado que foi obtido anteriormente para o mesmo problema utilizando as técnicas de Apoio Multicritério à Decisão.

Palavras-chave: DEA, Telecomunicações, Localização

Abstract: In recent years, there has been a big expansion in the Telecommunication sector with the development of new technology, especially with mobile phones. The number of mobile phones and telecommunication antennas has increased, and the location of these antennas is one of the key factors in the improvement of Telecommunication Systems.

This paper proposes the use of DEA (Data Envelopment Analysis) in choosing the best location for telecommunication antennas. The case study selected four potential locations (DMU)

for the installation of telecommunication antenna. The input is the cost of the installation area, and the outputs are: building heights, area to install the antenna, technical feasibility and wave transmission method (radio or fiber optic).

As some of the outputs are of a qualitative nature, the MACBETH method was applied to quantify such outputs. On the other hand, as the number of DMUs is much less than recommended, techniques of DEA increase in discrimination were used to obtain the final result. The techniques used were weight restrictions and inverted frontier. The final result is compared with a previous result that was achieved with Multicriteria Decision Aid.

Key Words: DEA, Telecommunication, Location problem.

1. INTRODUÇÃO

A escolha da localização mais adequada para uma Estação Rádio Base (ERB) é feita pelas operadoras de telefonia móvel, que examinam e comparam os locais disponíveis. Geralmente esta análise não é baseada em métodos matemáticos. Estes métodos têm como objetivo facilitar a busca e seleção da alternativa mais adequada ao caso em questão e permitem considerar simultaneamente os vários aspectos envolvidos na decisão. Evita-se, assim, tomar decisões que considerem um único ponto de vista.

Neste artigo é tratado o caso da escolha da localização de uma ERB, utilizando-se a técnica denominada Análise Envoltória de Dados (Data Envelopment Analysis – DEA). Foi utilizado o modelo CCR (CRS – Constant Returns to Scale) com uma orientação a input e o programa Sistema Integrado de Apoio a Decisão -SIAD (Ângulo-Meza et al.,2003) foi utilizado na implementação dos cálculos. Foram utilizadas, também, duas técnicas de aumento de discriminação em DEA para a obtenção do resultado final, a de restrição aos pesos e a de fronteira invertida, já que o número de DMUs era muito menor que o recomendado. O método MACBETH (Bana e Costa et al., 1999) é usado para a quantificação dos outputs qualitativos.

A decisão de implantação de uma nova ERB deve ser precedida de uma análise prévia da necessidade técnica de aumentar a capacidade de transmissão em uma região. Este estudo está fora do escopo deste relatório.

Na seção 2, serão analisados os princípios e as condições para instalação de uma ERB e sua relação com as técnicas de Análise Envoltória de Dados (seção 3). Na seção 4 são apresentados o estudo de caso e a sua modelagem. Os resultados das avaliações são apresentados na seção 5. As seções 6 e 7 trazem, respectivamente, as conclusões do estudo e as referências bibliográficas utilizadas neste relatório.

2. SOBRE A INSTALAÇÃO DA ERB

Um sistema de telefonia móvel não é composto somente pelos aparelhos celulares que conhecemos. Existe uma rede de telecomunicações que estabelece as chamadas entre esses aparelhos ou entre estes e outros, e esta é composta, principalmente, por antenas que irradiam sinal para os aparelhos celulares. Estas antenas são chamadas de Estações Rádio Base(ERB) e cada uma delas é responsável por cobrir uma determinada região, chamada de célula. Ou seja, a célula é a área geográfica “coberta” por uma ERB, dentro da qual a recepção do sinal rádio atende às especificações do sistema (Lima e Lara, 2001).

A geometria da área atendida por uma determinada ERB pode variar de acordo com o terreno onde está situada a ERB. As dimensões da célula dependem da altura da torre, do grau de urbanização e altura das edificações, do grau de arborização das ruas, das irregularidades naturais do relevo e, ainda, da potência de transmissão e ganho das antenas.

A instalação de novas ERBs pode ser necessária para incluir novas áreas geográficas ao sistema de telefonia móvel ou, simplesmente, devido ao aumento da demanda de tráfego em uma determinada região (necessidade de mais canais em uma mesma região).

3. ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS: CONSIDERAÇÕES GERAIS

A busca por um local adequado para instalação de uma ERB é um exemplo da problemática da comparação de eficiência (Charnes, Cooper e Rhodes, 1978), que apresenta como característica o fato de obter-se uma DMU mais eficiente em recorrer ao arbítrio de pesos para cada variável e sem converter todas as variáveis em valores econômicos comparáveis (Angulo-Meza e Lins-Estelita, 2000).

Como conceitos elementares da Análise Envoltória de Dados apresentam-se:

- DMU: Decision Making Units, também chamados de unidades tomadores de decisão, cujas eficiências são avaliadas.
- Input: variável de entrada, insumo.
- Output: variável de saída, produto.

O modelo CCR (CRS) trabalha com retornos constantes de escala (Charnes et al.,1978), considerando que cada DMU k , $k = 1, \dots, s$, é uma unidade de produção que utiliza n inputs

$x_{ik}, i = 1, \dots, n$, para produzir m outputs $y_{jk}, j = 1, \dots, m$. Define-se a eficiência como sendo a maximização do quociente entre a soma ponderada dos outputs pela soma ponderada dos inputs, sob a restrição que este valor deve variar entre 0 e 1. Esta definição conduz a um problema de programação fracionária, cuja forma linearizada é apresentada a seguir :

$$\begin{aligned} \max h_o &= \sum_{j=1}^m u_j y_{jo} \\ \text{sujeito a} \\ \sum_{i=1}^n v_i x_{io} &= 1 \\ \sum_{j=1}^m u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^n v_i x_{ik} &\leq 0, \quad k = 1, \dots, s \\ u_j, v_i &\geq 0 \quad \forall x, y \end{aligned}$$

As DMUs eficientes estão localizadas na fronteira extrema de eficiência e são consideradas as benchmarks para as ineficientes. A projeção das DMUs ineficientes na fronteira de eficiência define a orientação do modelo : a input, minimizando-se os inputs e mantendo os outputs constantes e a outputs, maximizando os outputs e mantendo os inputs constantes. (Gomes et al., 2003).

3.1. Métodos de Discriminação em DEA

Os métodos de discriminação em DEA, quando usados em um problema, têm o objetivo de evitar que as DMUs coloquem pesos altos nas variáveis que possuem excelência e o excesso de pesos zeros nas variáveis que não obtém boa performance. Abaixo segue os métodos de discriminação em DEA utilizados neste trabalho. Existem ainda outros métodos de discriminação em DEA, e em Angulo Meza e Estelita Lins (2002) é apresentada uma revisão completa destes métodos.

3.1.1. Fronteira Invertida

A fronteira invertida ou dupla envoltória (Novaes, 2002; Entani et al., 2002), é um desses métodos, e trabalha com uma fronteira de ineficiência invertendo inputs em outputs e outputs em inputs. A fronteira de ineficiência ajuda a identificar DMUs falso positivas, ou seja, DMUs consideradas eficientes pela fronteira padrão e ineficientes pela fronteira invertida. Para não pertencerem a fronteira invertida, as DMUs devem-se ser excelentes naquelas variáveis que são consideradas muito boas e não podem ser muito ruins nas outras. (Angulo Meza et al, 2003).

Um resultado conjunto das fronteiras padrão e invertida de cada DMU é obtido com a eficiência composta:

$$EficiênciaComposta = \frac{EficiênciaPadrão + (1 - EficiênciaInvertida)}{2}$$

A eficiência composta normalizada de cada DMU é o resultado da divisão da eficiência composta daquela DMU pelo valor da maior eficiência composta dentro de todas as DMUs analisadas no problema:

31.2. Restrição aos Pesos

A restrição aos pesos é outro método de discriminação em DEA e como a fronteira invertida identifica as DMUs ineficientes. O enfoque por regiões de segurança (Thompson et al., 1990) tende a evitar a inviabilidade, introduzindo restrições lineares separadas. Estas restrições são introduzidas para incorporar na análise a ordenação relativa ou valores relativos dos inputs/outputs (Angulo-Meza e Lins-Estelita, 2000).

3.1 Método MACBETH Scores

O método MACBETH (*Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*) (Bana e Costa et al., 1999) constrói uma escala cardinal de valores através do julgamento do decisor para todas as alternativas em cada critério. Para cada critério, uma função é atribuída e que a cada alternativa faça corresponder a um número real (Maia et al., 2002). E através de uma escala de preferências/atratividade essas alternativas são comparadas segundo um mesmo critério.

Além de construir a escala de valor cardinal, o MACBETH realiza uma análise de consistência e indica as inconsistências, se houverem. O módulo Scores do MACBETH através de uma escala semântica com diferentes categorias de atratividade (muito fraca, fraca, moderada, forte, muito forte e extrema) ajuda no bom entendimento entre o decisor e o analista na construção da escala cardinal de valores. É também utilizado para quantificar critérios qualitativos, onde não existe uma forma natural de atribuir os valores.

4. ESTUDO DE CASO: APLICAÇÃO À ESCOLHA DA LOCALIZAÇÃO DA ERB COM USO DE DEA

Devido ao crescimento acelerado da telefonia móvel, algumas regiões não conseguem suportar o tráfego e acabam congestionadas e assim surge a necessidade da ampliação do número de canais para atender a essa demanda. Se a instalação de uma nova ERB na região for a opção escolhida pela operadora de telefonia móvel, a viabilidade técnica, a forma de transmissão, a altura na qual a antena é instalada, a área disponível no local e o preço do aluguel da área de instalação são de fundamental importância para a implantação da nova ERB. Vistorias técnicas aos possíveis locais de instalação são necessárias para que as características técnicas sejam avaliadas.

Este artigo utiliza os dados já previamente usados em Maia et al. (2002), também considerando a instalação de uma ERB no bairro de Icaraí, Niterói, no Estado do Rio de Janeiro, que se encontra congestionado. Foram considerados quatro prédios:

- DMU1 – Prédio 1,
- DMU2 – Prédio 2,
- DMU3 – Prédio 3,
- DMU4 – Prédio 4.

O input considerado foi o preço do aluguel da área a ser instalada a ERB, e os outputs escolhidos foram:

– Output 1 - Altura da Antena:

Altura em que a ERB deve ser instalada (altura do prédio), para o bairro de Icaraí, a antena deve ficar a uma distância relativamente grande do solo, para que o sinal chegue com eficiência aos pontos críticos.

– Output 2 - Área Disponível no Local:

Área disponível para instalação da ERB considerando-se que a ERB deve ser instalada juntamente com equipamentos como fonte, GCR (Grupo de Canais de Rádio) e CSC (Controladora da Estação Rádio Base), e que os técnicos devem ter espaço suficiente para operar a antena, estipula-se uma área mínima de 100m². (Maia et al., 2002)

– Output 3 - Viabilidade Técnica:

Envolve questões como a facilidade de instalação, a possibilidade de levar cabos até a antena e a eficiência da antena em relação aos pontos críticos.

– Output 4 - Forma de Transmissão:

- Rádio: forma mais prática e usada por não necessitar de um caminho físico para que a fibra seja colocada. A transmissão via rádio é mais barata tanto na manutenção quanto na implantação.
- Fibra ótica: necessária em caso em que não existe visada direta entre a CCC (Central de Comutação e Controle) e a ERB. Destaca-se que a colocação de fibra ótica é cara e pode envolver dificuldades técnicas.

4.1. Modelagem

Os dados de input e outputs para cada possível localidade são mostrados na Tabela 1:

	<i>DMU1</i>	<i>DMU2</i>	<i>DMU3</i>	<i>DMU4</i>
Output 1	40 m	35 m	38 m	25 m
Output 2	300 m ²	350 m ²	250 m ²	200 m ²
Output 3	Razoável Instalação Fácil Acesso Boa Eficiência	Razoável Instalação Fácil Acesso Razoável Eficiência	Fácil Instalação Fácil Acesso Boa Eficiência	Fácil Instalação Fácil Acesso Razoável Eficiência
Output 4	Rádio (visada direta)	Fibra Ótica	Rádio (visada direta)	Rádio (por reflexão)
Input	R\$2500,00	R\$2100,00	R\$2150,00	R\$2100,00

Tabela 1

O modelo DEA CCR (CRS – Constant Returns to Scale) com orientação a input é o modelo escolhido para a avaliação das eficiências das DMUs. É orientado a input uma vez que se deseja minimizar o aluguel do terreno sem que haja alteração nos valores dos outputs. Como o número de DMUs é pequeno comparado ao número de variáveis, foi utilizado métodos da fronteira invertida e restrição aos pesos (região de segurança).

4.2. Método MACBETH

Os outputs 3 e 4 são qualitativos, por esse motivo há a necessidade de quantificá-los antes de inseri-los na matriz de dados. Essa quantificação foi feita a partir do MACBETH Scores. Na figura 1 pode-se observar a escala de valores para o output 3 (viabilidade técnica) gerada pelo software. A figura 2 mostra a escala de valores para o output 4 (forma de transmissão).

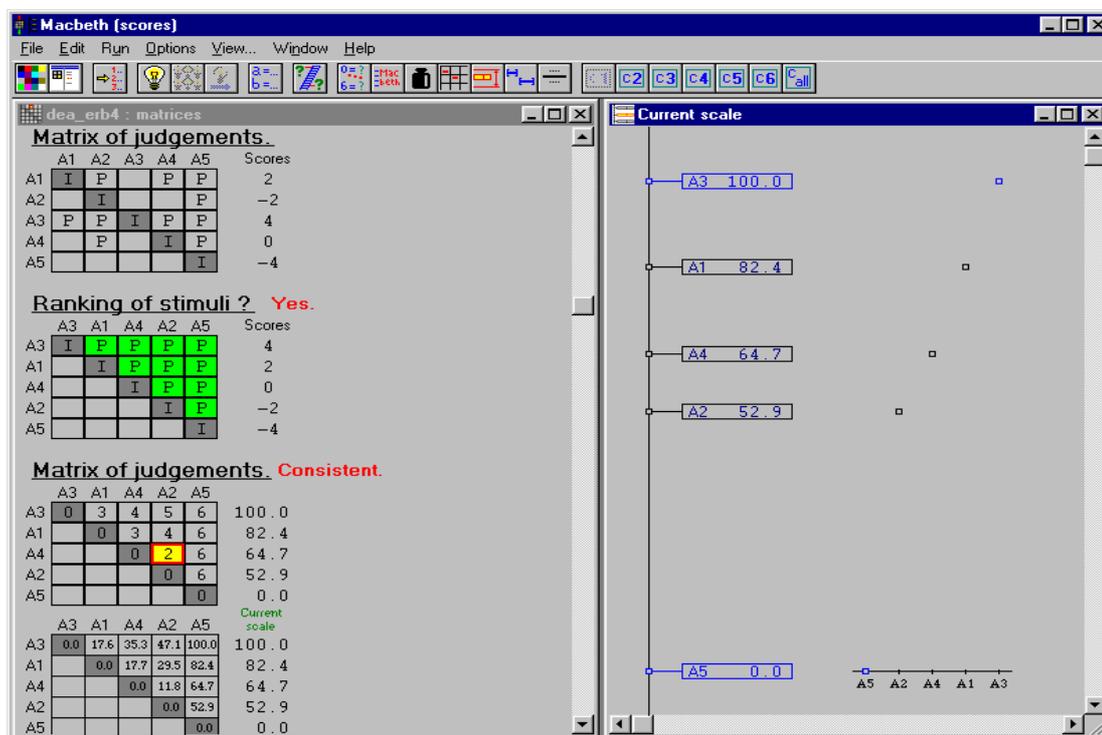


Figura 1: Quantificação do Output 3.

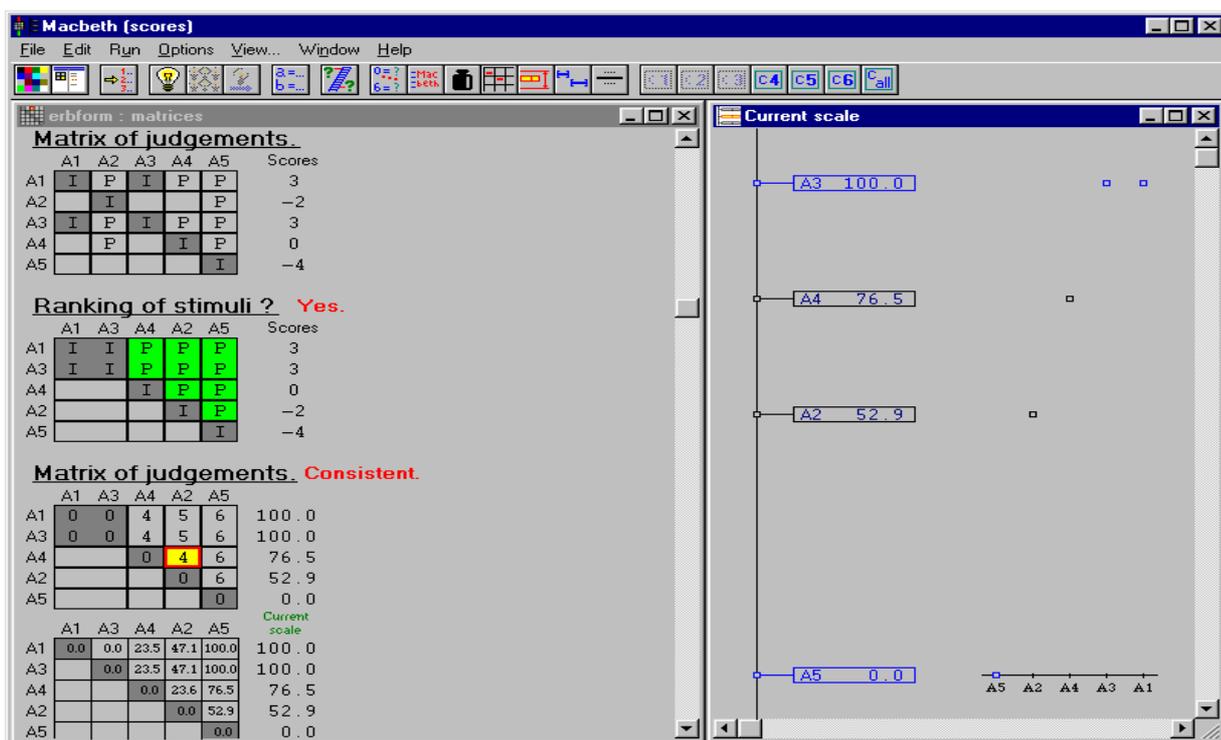


Figura 2: Quantificação do Output 4.

4.3. Matriz de Dados

A tabela 2 ilustra a matriz de dados, depois de já quantificados os qualitativos.

DMUS	Input	Output 1	Output 2	Output 3	Output 4
DMU1	2500	40	300	824	1000
DMU2	2100	35	350	529	529
DMU3	2150	38	250	1000	1000
DMU4	2100	25	200	647	765

Tabela 2 – Matriz de Dados

5. RESULTADOS

A tabela 3 mostra as eficiências padrão obtidas com o programa SIAD – Sistema Integrado de Apoio à Decisão (Ângulo-Meza et al.,2003).

DMUS	EFICIÊNCIA PADRÃO
DMU1	0,94842
DMU2	1,00000
DMU3	1,00000
DMU4	0,80136

Tabela 3

Métodos de discriminação em DEA como fronteira invertida e restrição aos pesos foram utilizados na análise das eficiências das DMUs. Três restrições foram impostas aos pesos, conforme pode ser observado na tabela 4.

	PESO OUTPUT 1	PESO OUTPUT 2	PESO OUTPUT 3	PESO OUTPUT 4
1)			-1	1
2)	-1		1	
3)	1	-1		

Tabela 4

As restrições apresentadas na tabela 4 significam que o Output 4 tem maior peso que o Output 3, este tem maior peso que o Output 1, que tem peso maior que o Output 2.

A tabela 5 mostra os resultados das eficiências das DMUs aplicando a fronteira invertida e restrição aos pesos.

DMUS	EFICIÊNCIA PADRÃO	INVERTIDA	COMPOSTA	COMPOSTA*
DMU1	0,86396	0,86793	0,49801	0,79279
DMU2	0,81949	1,00000	0,40794	0,65228
DMU3	1,00000	0,74365	0,62817	1,00000
DMU4	0,78321	1,00000	0,39161	0,62340

Tabela 5

Os resultados obtidos mostram que a DMU3 obteve o maior índice de eficiência, sendo por este motivo o melhor local para a instalação de uma ERB. Esta DMU3 também foi a mais eficiente ao ser avaliada somente pela fronteira invertida sem a restrição aos pesos.

5.1. Comparação Multicritério x DEA

Comparando os resultados obtidos neste artigo com os obtidos por Maia et al (2002) através de uma abordagem por Apoio Multicritério à Decisão, nota-se uma inversão de ordem entre as duas localizações melhor colocadas utilizando Metodologia DEA e Multicritério. Esta inversão deve-se a diferentes formas de se considerar a opinião do decisor. Em DEA, o decisor indica uma faixa de variação dos pesos, enquanto em multicritério atribui um peso fixo a cada alternativa. Esta diferente forma dos modelos considerarem a mesma opinião do decisor, por si só, já justifica as diferenças encontradas. Acresce que, no problema MCDA, foi necessária uma normalização hiperbólica do critério aluguel, desnecessária na modelagem DEA.

6. CONCLUSÕES

Através de uma abordagem pela Análise Envoltória de Dados foi possível identificar a melhor localidade para a instalação da ERB. Neste caso, observou-se a importância do módulo Scores do MACBETH na quantificação de outputs qualitativos.

O método de fronteira invertida em conjunto com a restrição aos pesos foi de fundamental importância na discriminação das DMUs, possibilitando assim correlacionar em uma escala de pesos os outputs mais importantes na análise e medir a ineficiência das DMUs ao impedilas de valorizarem somente seus outputs mais favoráveis.

O artigo foi importante na comparação com os resultados já obtidos com a abordagem multicritério, mostrando apenas pequenas diferenças entre as duas localizações mais bem avaliadas, o que pode ser entendido pelo fato de como a opinião do decisor foi considerada.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Angulo Meza, L., Biondi Neto, L., Soares de Mello, J.C.C.B. & Gomes, E.G. (2003). *SIAD - Sistema Integrado de Apoio à Decisão: uma implementação computacional de modelos de Análise Envoltória*

de Dados. Resumos da I Reunião Regional da Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional no Rio de Janeiro, Junho, Niterói, RJ, 24-24.

Angulo Meza, L., Estellita Lins, M. P. - Review of Methods for Increasing Discrimination in Data Envelopment Analysis. *Annals of Operations Research*. New Jersey/USA: , v.116, p.225 - 242, 2002.

Angulo Meza, L., Gomes, E.G., Soares de Mello, J.C.C.B., Biondi Neto, L. Fronteira DEA de dupla envoltória no estudo da evolução da ponte aérea Rio - São Paulo In: Anais do XVII ANPET - Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes, Rio de Janeiro, 2003.

Bana e Costa, C.A., Vansnick, J.C., Corrêa, E.C. & Ensslin, L. (1999). Decision Support Systems in action: Integrated Application in a Multicriteria Decision Aid Process. *European Journal of Operational Research*, **113** (2), 585-594.

Charnes, A., Cooper, W.W. & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision-making units. *European Journal of Operational Research*, **2**, 429-444.

Entani, T., Maeda, Y. & Tanaka, H. (2002). *Dual Models of Interval DEA and its extensions to interval data*. *European Journal of Operational Research*, 136, 32-45.

Gomes, E.G.; Soares de Mello, J.C.C.B.; Assis, A.S.; Moraes, D.; Cardoso de Oliveira, N.A. (2003). Uma Medida de Eficiência em Segurança Pública. *Relatórios de Pesquisa em Engenharia de Produção*, 3 (7). Disponível em: <<http://www.producao.uff.br/rpep/revista32003.htm>>.

Gomes, E.G.; Soares de Mello, J.C.C.B.;, Biondi Neto, L. - Avaliação de Eficiência por Análise de Envoltória de Dados: Conceitos, Aplicações à Agricultura e Integração com Sistemas de Informação Geográfica. Série Documentos, n. 28. Campinas:Embrapa Monitoramento por Satélite, 2003.

Lima, G.C. & Lara, J.H. (2001). Notas do Curso Interno de Telefonia Móvel Celular. Rio de Janeiro: Telefonica Celular.

Lins, M.P.E. & Angulo-Meza, L. (2000). *Análise Envoltória de Dados e perspectivas de integração no ambiente de Apoio à Decisão*. Editora da COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

Maia, C.C, Nunes, M.V, Soares de Mello, J.C.C.B & Gomes, E.G. (2002). Localização de instalações de telefonia móvel: Uma Abordagem por Apoio Multicritério à Decisão. *Relatórios de Pesquisa em Engenharia de Produção*,3.

Novaes, L.F.L. (2002). *Envoltória Sob Dupla ótica aplicada na avaliação imobiliária em ambiente do sistema de informação geográfica*. Tese de Doutorado, Programa de Engenharia de Produção, UFRJ, Rio de Janeiro, Dezembro.

Thompson, R.G., Langemeier, L.N., Lee, et al. (1990). The Role of Multiplier Bounds in Efficiency Analysis with Application to Kansas Farming. *Journal of Econometrics*, vol.46, pp.93-108.