

APLICAÇÃO DA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS NA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE MANCAIS DE LINHAS DE EIXO

Otávio Henrique Paiva Martins Fontes
Mestrado em Engenharia de Produção – Universidade Federal Fluminense
Rua Passos da Pátria, 156, São Domingos, CEP: 24210-240, Niterói, RJ
ohfontes@yahoo.com.br

João Carlos C. B. Soares de Mello
Departamento de Engenharia de Produção - Universidade Federal Fluminense
Rua Passos da Pátria, 156, São Domingos, CEP: 24210-240, Niterói, RJ
jcsmello@producao.uff.br

Resumo

Este trabalho apresenta uma modelagem para avaliação da qualidade do processo de fabricação de mancais das linhas de eixo de navios de guerra da Marinha do Brasil, com o uso da Análise Envoltória de Dados (DEA). O objetivo é comparar as eficiências encontradas para cada mancal fabricado, determinando assim o mais eficiente. Utilizou-se para tal o modelo CCR orientado ao input. Dentre as variáveis existente no processo foram escolhidas a rugosidade superficial (μm) e número de defeitos encontrados (porosidade, rechupes, vazios, etc.), como inputs. Considerou-se o próprio mancal fabricado como output, ou seja, igual a 1.

Palavras-chave: DEA, mancais e eficiência.

Abstracts

This work shows a modeling to measure the quality of manufactured process of shaft lines bearings from warships of the Brazilian Navy, with the use of Data Envelopment Analysis (DEA). The purpose is to compare the efficiency in each bearing manufactured, establishes the most efficient bearing. For this purpose, the CCR model oriented to input was used. The variables used in this model were roughness (μm) and the total of imperfections (porosity, contraction cavity, vacant, etc.) like inputs. The proper bearing manufactured was considered like output, equal one.

Keywords: DEA, bearings and efficiency.

1 – INTRODUÇÃO

Um mancal de deslizamento é um elemento mecânico que tem por finalidade suportar e absorver os esforços provenientes do movimento de rotação de uma árvore ou de um eixo. Motores diesel, motores elétricos, turbinas a vapor, engrenagens redutoras, compressores, eixos propulsores de navios, etc., são algumas das principais aplicações de mancais de deslizamento. Os principais métodos de fabricação desses tipos de mancais são: por fundição, por laminação e usinagem, ou ainda usando-se em alguns casos a metalurgia do pó.

Em um navio, seja ele um navio mercante ou um navio de guerra, os mancais da(s) linha(s) de eixo(s) são elementos importantíssimos, cujo desempenho e vida útil são funções diretas da folga existente entre o diâmetro externo do “moente” do eixo e o diâmetro interno

do mancal. Estes valores de folga variam de acordo com o diâmetro do eixo e quando estas chegam ao seu limite, faz-se necessária a substituição dos mancais.

Neste trabalho será avaliado o processo de fabricação dos mancais das linhas de eixo de navios de guerra da Marinha do Brasil. De uma forma geral os mancais de linhas de eixo dos navios da Marinha do Brasil são recuperados pelo Setor de Fundição de mancais da Divisão de Oficinas Mecânicas do Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro. Esta recuperação dos mancais consistiu na sua fundição, enchimento, usinagem e ajustagem. A figura 1 apresenta uma foto da usinagem das telhas dos mancais após sua fabricação:



Figura 1 – Usinagem das telhas dos mancais. As telhas foram montadas para usinagem em um “mandril”.

2 – PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE MANCAIS

Os mancais foram fabricados pelo processo de fundição por gravidade, englobando as seguintes fases: limpeza mecânica, desengraxe, limpeza química, estanhagem, fundição por gravidade propriamente dita e usinagem. As principais vantagens do processo de fabricação por centrifugação são o menor tempo e o menor número de imperfeições. As figuras 2, 3, 4 e 5 mostram algumas dessas fases do processo:



Figura 2 – Fase de aquecimento da telha do mancal.



Figura 3 – Fase de estanhagem da telha do mancal.

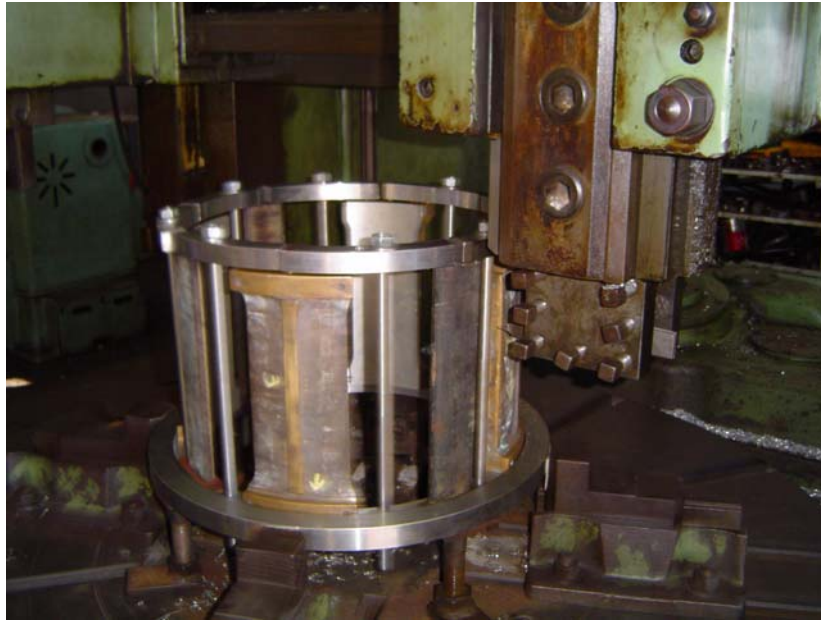


Figura 4 – Fase de usinagem das telhas do mancal.



Figura 5 – Fase de ensaio de ultra-som da telha do mancal.



Figura 6 – Fase de ensaio de ultra-som da telha do mancal.

Durante o processo de fabricação, as principais variáveis envolvidas são: composição química do metal patente, temperatura de aquecimento do metal patente, rugosidade final da superfície usinada, n.º de defeitos encontrados em ensaio de ultra-som.

3 – ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS

O objetivo da abordagem através da Análise Envoltória de Dados (Data Envelopment Analysis – DEA), é o de avaliar a eficiência das unidades produtivas, chamadas como unidades de tomada de decisão (Decision Making Units – DMU's), comparando entre si as unidades que realizam tarefas semelhantes e que diferenciam-se umas das outras pelas quantidades de recursos (inputs) que consomem e bens (outputs) que produzem (Cooper et al., 2000, Lins e Angulo-Meza, 2000)[1,2]. Este modelo é baseado num problema de programação fracionária onde a medida de eficiência será obtida pela soma ponderada dos outputs, pela soma ponderada dos inputs. Assim sendo, torna-se possível a eficiência das DMU's através da construção de uma fronteira de eficiência, de tal forma que “aquelas que possuírem a melhor relação "produto/insumo" serão consideradas mais eficientes e estarão situadas sobre esta fronteira e as menos eficientes estarão situadas numa região inferior à fronteira, conhecida como envelope (envoltória).

4 – APLICAÇÃO DA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE MANCAIS

4.1 – MODELAGEM

Para que se possa avaliar a eficiência da qualidade do processo de fabricação, utilizaremos a técnica de Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis* – DEA), determinando a eficiência de cada mancal fabricado, levando-se em consideração tão somente duas variáveis do processo: a rugosidade da superfície (μm) após a sua usinagem e número total de defeitos observados em ensaio de ultra-som.

A abordagem por “DEA” gera um meio eficaz de fazer tal comparação, pois permite ordenar as DMU's segundo um índice de eficiência multidimensional (Gomes et al., 2003)[4,5]. As simulações de cenários pelo DEA possibilitam identificar as soluções

eficientes e as não eficientes. Cada DMU terá sua eficiência relativa determinada de forma quantitativa.

O DEA irá comparar as DMU's através dos inputs que são rugosidade da superfície (μm) e o número total de defeitos observados, e os outputs que são os próprios mancais e terão valor igual a 1. O pequeno número de variáveis – inputs e outputs - aumenta o poder discriminatório do modelo DEA (Soares de Mello et al., 2002)[5]. Não existe a preocupação quanto a conversão ou uniformização de unidades (GOMES, et al., 2003), pois o DEA é invariante com relação a escala, ou seja, capaz de trabalhar com múltiplos inputs e múltiplos outputs, todos utilizando unidades e escalas diferentes.

O modelo escolhido para solução do problema foi o DEA CCR (CRS) orientado a input, apresentado na equação 1. Este modelo CCR, apresentado originalmente por Charnes et al. (1978) [5] gera uma superfície linear por partes, não paramétrica, envolvendo os dados. Utiliza retornos constantes de escala, onde qualquer variação nas entradas (inputs) produz variação proporcional nas saídas (outputs). Este modelo determina a eficiência pela divisão entre a soma ponderada das saídas e a soma ponderada das entradas (GOMES et al., 2003).

$$\begin{aligned} &\text{Maximizar } h_0 = \sum_{j=1}^s u_j y_{j0} \\ &\text{Sujeito a: } \sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1 \\ &\sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} \leq 0 \\ &u_j, v_i \forall x, y \end{aligned}$$

Equação 1. Modelo CCR orientado a input (LINS, M.P.E et al., 2000)[6]

4.2 – DADOS

A tabela 2 apresenta os dados referentes as DMU's, aos inputs e outputs:

Tabela 2 – Matriz de dados utilizados no modelo.

DMU's	INPUTS		OUTPUTS
	Rugosidade (μm)	N.º de Defeitos	
Mancal 1a	16	5	1
Mancal 1b	16	4	1
Mancal 1c	15	8	1
Mancal 1d	17	7	1
Mancal 2a	20	8	1
Mancal 2b	19	8	1
Mancal 2c	18	8	1
Mancal 2d	17	8	1
Mancal 3a	16	2	1
Mancal 3b	15	2	1
Mancal 3c	16	3	1
Mancal 3d	16	3	1

4.3 – ANÁLISE DOS RESULTADOS

O modelo DEA CCR (CRS) orientado a input, apresentado na equação 1, foi aplicado aos dados apresentadas na tabela 2. Os resultados apresentados na tabela 3 foram obtidos através do software -SIAD- Sistema Integrado de Apoio à Decisão (Angulo Meza, et al, 2003):

Tabela 3 – Resultados obtidos na simulação com o programa SIAD.

DMU's	Padrão	Invertida	Composta	Composta*
Mancal 1a	0,9375	0,8	0,56875	0,91
Mancal 1b	0,9375	0,8	0,56875	0,91
Mancal 1c	1	1	0,5	0,8
Mancal 1d	0,88325	0,875	0,50368	0,80588
Mancal 2a	0,75	1	0,375	0,6
Mancal 2b	0,78947	1	0,39474	0,63158
Mancal 2c	0,83333	1	0,41667	0,66667
Mancal 2d	0,88235	1	0,44118	0,70588
Mancal 3a	1	0,8	0,6	0,96
Mancal 3b	1	0,75	0,625	1
Mancal 3c	0,9375	0,8	0,56875	0,91
Mancal 3d	0,9375	0,8	0,56875	0,91

Analisando os resultados obtidos, observa-se que quatro DMU's foram consideradas eficientes. Durante esta análise, utilizou-se o conceito de fronteira invertida (Novaes, 2002; Entani et al., 2002)[7], que consiste em considerar os *outputs* como *inputs* e os *inputs* como *outputs*. Este enfoque considera pelo menos duas interpretações: a primeira é que a fronteira consiste das DMU's com as piores práticas gerenciais (e poderia ser chamada de fronteira ineficiente); a segunda é que essas mesmas DMU's têm as melhores práticas considerando o ponto de vista oposto (Soares de Mello et al., 2003). As DMU's sejam avaliadas naquilo que elas são ineficientes, ou seja, a DMU deve “especializar-se” naquilo que possui de excelência, não devendo possuir um desempenho ruim nas outras tarefas. O conceito de fronteira invertida permite a identificação das DMU's “falsa eficientes”, pois as DMU's eficientes através da fronteira padrão são consideradas ineficientes através da fronteira invertida, caracterizando assim uma falsa eficiência.

Não basta uma DMU ter um bom desempenho naquilo em que ela é melhor: também não pode ter um mau desempenho no critério em que for pior. Para que uma DMU venha a possuir alta eficiência, esta deve ter um elevado grau de pertinência em relação à fronteira otimista e baixo grau em relação à fronteira pessimista. Dessa forma, todas as variáveis são levadas em conta no índice final, não se atribuindo peso subjetivo a qualquer critério. (Soares de Mello et al., 2003).

O resultado da análise da DMU pela fronteira padrão e invertida é chamada de eficiência composta. Este resultado é obtido através da média aritmética entre a eficiência padrão e o valor obtido da subtração da eficiência invertida pela unidade:

$$EC = EP + (1 - EI) / 2$$

Onde:

EC – eficiência composta;

EP – eficiência padrão; e

EI – eficiência invertida.

A eficiência composta normalizada (EC*) é obtida dividindo o valor da eficiência composta pelo maior valor entre todos os valores de eficiência composta:

$$EC^* = EC / \text{Max}(EC)$$

Assim sendo observa-se que o mancal com maior eficiência composta normalizada foi o mancal 3b.

5 – CONCLUSÕES

A aplicação da metodologia DEA permitiu avaliarmos a eficiência do processo de fabricação de mancais. A análise permitiu observar que apenas o modelo DEA CCR clássico foi suficiente para uma avaliação satisfatória do processo de fabricação.

O modelo DEA de fronteira invertida (ou dupla envoltória) possibilitou uma discriminação entre as DMU's eficientes. Este modelo não permite que uma DMU seja avaliada apenas pelos seus resultados mais favoráveis, pois minimiza o problema de excesso de pesos zero dos modelos DEA clássicos (Soares de Mello et al., 2003). Além disso, possibilitou o desempate entre as DMU's que obtiveram eficiência máxima (100%).

A utilização do DEA como ferramenta para avaliação da qualidade do processo de fabricação de mancais mostrou-se extremamente interessante, pois possibilita identificar e localizar os pontos críticos do processo de fabricação em questão. Além disso, mostrou-se uma ferramenta que permite vislumbrar perspectivas extremamente interessantes em processos de fabricação mecânica, haja vista que esta ferramenta é muito pouco utilizada nesta área.

6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Angulo-Meza, L. Um enfoque multiobjetivo para os modelos de determinação de alvos em DEA. Exame de qualificação ao Doutorado, Programa de Engenharia de produção, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, (2001).
- [2] Cooper, W.W., Seiford, L.M., Tone, K. Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with models, Applications, References and DEA-Solver Software. Kluwer Academic Publishers, USA (2000).
- [3] Gomes, E.G.; Soares de Mello, J.C.C.B.; Biondi Neto, L. (2003) *Avaliação de Eficiência por Análise de Envoltória de Dados: Conceitos, Aplicações à Agricultura e Integração com Sistemas de Informação Geográfica* - Embrapa.
- [4] Gomes, E.G.; Soares de Mello, J.C.C.B.; Assis, A.S.; Morais, D.; Cardoso de Oliveira, N.A. (2003). Uma Medida de Eficiência em Segurança Pública. *Relatórios de Pesquisa em Engenharia de Produção*. Disponível em: <<http://www.producao.uff.br/rpep/revista32003.htm>>.
- [5] Charnes, A., Cooper, W.W. & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision-making units. *European Journal of Operational Research*, **2**, 429-444.
- [6] 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.
- [7] 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.