

# Aplicando DEA para simplificar a avaliação de desempenho de programas de pós-graduação: um estudo com Programas de Engenharia Mecânica e Produção, 2001-2003

Rubens E. B. Ramos (UFRN) – rubens@ct.ufrn.br  
Harlan J. G. Marcelice (UFRN) – hmarcelice@yahoo.com.br

## Resumo

*Apresenta-se uma aplicação da metodologia DEA (Data Envelopment Analysis – Análise de Envoltória de dados) à avaliação de programas de pós-graduação, para simplificar a etapa quantitativa do processo. Aplica-se um modelo CCR, orientado a produto com Região de Garantia, que implementa restrição aos pesos para os produtos, em dois estágios, com dois produtos (outputs), titulados e produção científica e um insumo (input), docentes, utilizando dados de programas de Engenharia de Produção e Engenharia Mecânica. Os resultados sugerem que Engenharia Mecânica e Engenharia de Produção são grupos distintos. A análise em dois estágios mostrou-se útil em identificar programas “outstandings”, que podem ser relacionados para nota 6 ou 7, para identificar os potenciais programas para nota 5, assim como para relacionar os “benchmarks” para melhoria contínua dos programas com desempenho inferior. A análise de correlação de Pearson entre escores e notas resultou em valores estatisticamente significantes ( $<0,01$ ) de 0,630 para o conjunto dos programas e de 0,857 para Engenharia Mecânica. Como principal conclusão, os resultados sugerem que a adoção de DEA, com a formulação adotada, produz uma simplificação da parte quantitativa da avaliação atual.*

**Palavras-chave:** DEA, Análise de Envoltória de Dados, Desempenho em Educação.

## Abstract

*A DEA application is presented to the evaluation of graduation programs in order to simplify the quantitative stage of the process. A product-oriented CCR model is applied with a Warranty Region that implements restriction to the weights to the products, in two stages, with two products (outputs): titled and scientific production. And an input: faculty, by using Mechanical Engineering and Production Engineering program data. The results suggest that Mechanical Engineering and Production Engineering are distinct groups. The two-stage analysis was useful to identify “outstanding” programs that can be related to grade 6 or 7, in order to identify the potential programs for grade 5, as well as to relate the “benchmarks” to continuous improvement of the programs having inferior performance. The Pearson’s correlation analysis between scores and grades resulted in statistically significant values ( $<0.01$ ) of 0.630 to the program set and of 0.857 to Mechanical Engineering. As a main conclusion, the results suggest that the adoption of DEA, with the adopted formulation, produces a simplification in a quantitative part of the current evaluation.*

**Keywords:** DEA; Data Envelopment Analysis; Performance in Education.

## 1. INTRODUÇÃO

Os Programas de Pós-Graduação no Brasil são avaliados pela CAPES, uma instância do Ministério da Educação, sendo atribuídos notas de 1 a 7. Os Programas de Engenharia são divididos em quatro grupos, dos quais a Engenharias III inclui, em um mesmo conjunto, a Engenharia de Produção e a Engenharia Mecânica. Esta avaliação é baseada em um modelo aditivo multi-critérios. Os critérios e respectivos pesos são apresentados na Tabela 1.

TABELA 1 – Critérios da Avaliação CAPES, 2001-2003

Critério	Peso
Proposta do Programa	-
II – Corpo Docente	10%
III – Atividades de Pesquisa	10%
IV – Atividades de Formação	10%
V – Corpo Discente	20%
VI – Teses e Dissertações	20%
VII – Produção Intelectual	30%

Fonte: CAPES (2004b)

O processo final de avaliação é realizado em duas etapas, uma quantitativa e outra qualitativa. Na etapa quantitativa, são realizados vários cálculos, com base em indicadores em cada critério e obtida uma pontuação final, que pode ser representado pela equação (1):

$$P_i = \sum_{j=2}^7 P_j \sum_{k=1}^n P_{j,k} I_{i,j,k} , \quad (1)$$

onde  $P_i$  é a pontuação do programa  $i$ ,  $j$  é o critério (2 a 7, ver Tabela 1),  $P_j$  é o peso do critério (conforme tabela 1),  $P_{j,k}$  é o peso do indicador  $k$  do critério  $j$  e  $I_{i,j,k}$  é o valor do indicador  $k$  do critério  $j$  do Programa  $i$ .

Para cada indicador, há uma definição da forma de sua pontuação, por exemplo, a Tabela 2 apresenta os indicadores com respectivos pesos do critério VII Produção Intelectual, e a Tabela 3, as formas de pontuação dos indicadores 2 (Qualidade...) e 3 (Quantidade...)

TABELA 2 – Indicadores do Critério VII – Produção Intelectual

	Itens	Pesos
1	Adequação dos tipos de produção à Proposta do Programa e vínculo com as Áreas de Concentração, Linhas e Projetos de Pesquisa ou Teses e Dissertações.	10
2	Qualidade dos veículos ou meios de divulgação.	30
3	Quantidade e regularidade, em relação à dimensão do NRD6; distribuição da autoria entre os docentes.	30
4	Autoria ou co-autoria de outros participantes (não pertencentes ao núcleo básico)	10
5	Produção técnica	20

Fonte: CAPES (2004b).

TABELA 3 – Cálculo dos indicadores dos itens 2 e 3.

Item	Equação	Detalhe
2	Índice = A/B	A = 1,0 x Int. A + 0,75 x Int. B + 0,5 x Nac. A B = Número total de docentes e pesquisadores
3	Índice = A/B	A = 1,0 x Periódicos [Int. (1,0A+0,8B+0,4C) + Nac. (0,6A+0,4B)] + 0,6 x Anais [Int. (1,0A+0,6B+0,4C) + Nac. (0,6A+0,4B)] + 3 x Livro + 1,0 x Capt. Livro + 0,5 x Coletânea + 1,0 x Trad. Livro B = Número total de docentes do NRD6

Fonte: CAPES (2004b)

Após os cálculos da pontuação, (cujo processo consome geralmente 4 dos 5 dias da semana dos avaliadores) realiza-se no último, dia uma avaliação qualitativa, para atribuir uma nota de 1 a 5, inicialmente, a cada programa, e, em seguida, uma avaliação da recomendação para 6 ou 7.

Este estudo consiste em mais uma contribuição ao processo de avaliação de programas de pós-graduação no Brasil e no conjunto daqueles que buscam usar DEA como um método, dos quais podem ser citados os trabalhos de Albani Neto (2000), Silva (2001), Souza (2004) e Lins et al. (2004). Neste artigo, procura-se aplicar a metodologia DEA para avaliar os programas e realizar uma discussão, que pode lançar novas visões sobre o processo, especialmente para simplificar o processo de avaliação.

## 2. METODOLOGIA DE ANÁLISE DE ENVOLTÓRIA DE DADOS - DEA

A principal metodologia ou modelo de DEA é denominada CCR, de Charnes, Cooper e Rhodes, a qual foi primeiramente apresentada em Charnes, Cooper e Rhodes (1978) e nos trabalhos iniciais relatados em Rhodes (1978), Charnes, Cooper e Rhodes (1978). Uma apresentação abrangente de modelos e extensões de DEA podem ser encontrados em Charnes et al. (1994) e Cooper, Seiford e Tone (2006). A modelagem inicial do escore de eficiência e do método DEA CCR (orientado a insumos) é dada por sua forma de programação fracionária (CHARNES, COOPER, RHODES, 1978),

$$\max h_0 = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{ro}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{io}} \quad (2)$$

sujeito a:

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{jr}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1; \quad j = 1, \dots, n,$$

$$u_r, v_r \leq 1; \quad r = 1, \dots, s, \quad i = 1, \dots, m.$$

onde  $u$  e  $v$  são os pesos que multiplicam os produtos  $y$  e insumos  $x$ . Este modelo, em sua forma de multiplicadores e já na forma de programação linear, é dado por (COOPER, SEIFORD e TONE, 2006):

$$\begin{aligned}
 (PLO) \quad & \max_{v,u} \quad uy_o \\
 \text{sujeito a} \quad & vx_o = 1 \\
 & -vX + uY \leq 1 \\
 & v \geq 0, u \geq 0.
 \end{aligned} \tag{3}$$

onde  $u$  e  $v$  são os vetores de pesos que multiplicam os insumos  $x$  e  $y$  representados nas matrizes de insumos  $X$  e produtos  $Y$ . E  $x_o$  e  $y_o$  são os vetores de insumos e produtos da DMU (*Decision Making Unit – Unidade de Tomada de Decisão*) que está sendo avaliada.

A cada DMU são atribuídos pesos ótimos, de modo a se obter o maior escore de eficiência possível. Estes pesos podem (e geralmente irão) variar de uma DMU para outra DMU. Um aspecto importante em DEA é que os “pesos” são derivados dos dados, em vez de serem fixados antes, a partir de uma função de produção. A eficiência de uma DMU do conjunto de DMU $_j$ ,  $j = 1, \dots, n$ , será relativo às outras. A DMU, em análise, é representada na função objetivo para otimização, com a designação do sub-escrito ‘ $o$ ’, mas é também incluída nas restrições (preservando seu sub-escrito original). A maximização indicada então dá a esta DMU $_o$  a ponderação mais favorável que as restrições permitirem, ou seja, até que a própria DMU $_o$  ou outra DMU $_j$  (presente nas restrições) alcance quociente com valor 1 para os  $u$  e  $v$  definidos para a DMU $_o$ . O conjunto das DMUs que alcançam valor 1 no quociente, quando da otimização para a DMU $_o$  analisada, é denominado conjunto de referência e é a base para a melhoria (*benchmarking*), no caso do modelo CCR.

O modelo básico CCR tem como pressuposto o retorno constante de escala, ou seja, o tamanho da DMU não altera a relação de transformação entre insumos e produtos. O modelo BCC, de Banker, Charnes e Cooper (1984) considera retornos variáveis de escala. O modelo CCR (e BCC) é orientado a insumos ou produtos; no primeiro caso, em termos de minimizar os insumos para dado nível de produto e no segundo, maximizar os produtos dado determinado nível de insumos. Para o CCR tem-se assim, a denominação respectiva de um modelo de DEA, orientado a insumo, CCR-I (*Input*), e orientado a produto, CCR-O (*Output*).

No caso da avaliação dos programas de pós-graduação, adota-se, aqui, o modelo CCR-O. Ao adotar o modelo, assume-se que a diferença de escala entre os programas não altera a produtividade por docente em publicar e em orientar com sucesso. Este pressuposto não significa, aqui, que a produtividade é assumida constante até o infinito, mas na faixa considerada dos programas existentes. A orientação a produto deve-se ao fato de considerar-se como objetivo principal para o país, no período considerado, a busca de maximizar resultados (dois produtos - titulação e produção científica) dado um nível de corpo docente (um insumo - docentes).

A formulação de PL, em forma de envoltória para o modelo orientado a produto, é dada por (COOPER et al., 2006),

$$\begin{aligned}
 (DPLO_o) \quad & \max_{\eta, \mu} \quad \eta \\
 \text{sujeito a} \quad & x_o - Xi \geq 0 \\
 & \eta y_o + Y\mu \geq 0 \\
 & u = 0.
 \end{aligned} \tag{4}$$

A solução ótima do DPLO $_o$  (4) pode ser obtida diretamente de uma solução ótima do modelo CCR, orientado a insumo dado em (3) como segue (COOPER et al., 2006).

Seja

$$\lambda = \mu / \eta, \quad \theta = \mu / \eta$$

Então o  $DPLO_o$  (4) torna-se

$$\begin{aligned}
 (DPL_o) \quad & \underset{\theta, \lambda}{\text{mix}} \quad \theta \\
 \text{sujeito a} \quad & \theta x_0 - X\lambda \geq 0 \\
 & y_0 - Y\lambda \leq 0 \\
 & \lambda \geq 0.
 \end{aligned} \tag{5}$$

que é o modelo CCR, orientado a insumo em sua forma de envoltória - Dual do  $PL_o$  (3). Assim, uma solução ótima de um modelo orientado a produto relaciona-se àquela do modelo orientado a insumo, via:

$$\eta^* = 1 / \theta^* \quad \mu^* = \lambda^* / \theta^* \tag{5}$$

O uso deste modelo de CCR orientado a produto, usando  $\theta$  em vez de  $\eta$ , permite uma comparação do escore de eficiência similar ao modelo orientado a insumo (COOPER et al., 2006). Neste trabalho, os resultados são apresentados em termos de  $\theta$ , com esta intenção. Deve-se notar, todavia, que o significado do escore de eficiência é diferente (excesso de insumos, deficiência de produção) e os valores dos pesos são diferentes nas duas orientações.

A análise CCR-O (assim como CCR-I e BCC-I/O) tem, todavia, o inconveniente de permitir que o máximo escore de eficiência dado a uma DMU possa ser alcançado com peso zero em algum produto (ou insumo), resultando, no caso em questão, que um Programa poderia ter seu melhor desempenho, se tivesse deixado de titular ou publicar. De fato, é o que ocorre aqui (assim como em LINS et al., 2004), como se vê na Tabela 1.

TABELA 4 – Análise CCR-O, Engenharia de Produção e Mecânica, dados parciais, 2001

DMU	Escore	$v1(\text{Doc})$	$u1(\text{Tit})$	$u2(\text{Prod})$
1	0,950529	0,1052	0,1055	0,1683
2	0,14	0,2976	0,5556	0
3	0,0747	1,3392	2,5000	0
...	...	...	...	...
7	1	0,0357	0,0667	0
8	0,24	0,5952	1,1111	0
...	...	...	...	...

Como se pode ver, vários Programas têm seu escore máximo com o peso da contribuição da produção científica ( $u_2$ ) com valor nulo (p.ex., DMU2, DMU3, DMU8). Ainda, a DMU7 tem escore 1 (eficiente) com situação similar. Embora seja o resultado normal da análise de DEA CCR, isto não faz sentido, em termos práticos e, portanto, nesses casos é necessário alterar o modelo da análise.

Uma alternativa é impor limites aos pesos, de tal modo que não ocorra peso com valor nulo, como a abordagem proposta por Thompson et al. (1986), denominada Assurance Region, ou Região de Garantia, devido a se garantir que a variação dos pesos ficará restrita (assegurada) a esta região. No presente caso, os pesos dos produtos são restritos a variar na forma

$$L_{1,2} \leq \frac{u_1}{u_2} \leq U_{1,2} \tag{6}$$

onde  $L_{1,2}$  é o limite inferior (*Lower*) para a razão dos pesos de produtos  $u_1/u_2$ , e  $U_{1,2}$  o limite superior (*Upper*) para a mesma razão. O menor valor de  $L_{1,2}$  ocorre quando  $u_1$  é mínimo e  $u_2$  é máximo. Inversamente, o maior valor de  $U_{1,2}$  ocorre quando  $u_1$  é máximo e  $u_2$  é mínimo. Outras estratégias são apresentadas por Dyson e Thanassoulis (1988), Charnes et al. (1990) e Roll, Cook e Golany (1991).

Adota-se, aqui, como peso mínimo para cada produto, o peso dado ao critério que ele representa na avaliação CAPES, ou seja, o produto Titulados representa o critério VI Teses e Dissertações, cujo peso na avaliação CAPES é de 20% (0,20). O produto Produção Científica representa, aqui, o critério VII Produção Intelectual, cujo peso respectivo é de 30% (0,30). Para definir  $L_{1,2}$ , toma-se o valor mínimo do peso do produto Titulados (0,20) e o valor máximo do peso de Produção Científica, resultando em  $1 - 0,20 = 0,80$ . Assim, o valor de  $L_{1,2} = 0,20/0,80 = 0,25$  assegura um peso mínimo do produto Titulados de 20% no Produto Virtual dado por  $u_1 \cdot \text{Titulados} + u_1 \cdot \text{Produção}$ . Para o valor de  $U_{1,2}$ , toma-se o valor mínimo do peso da Produção Científica adotado (0,30) e o valor máximo do peso de Titulados para essa situação ( $1 - 0,30 = 0,70$ ). Assim, o valor de  $U_{1,2}$  fica definido como  $0,70/0,30 = 2,33$ . A região de garantia incluída nas restrições, fica definida então como:

$$0,25 \leq \frac{u_1}{u_2} \leq 2,3 \quad (7)$$

Estes valores foram usados por ser aqueles definidos na avaliação, significando uma limitação à livre variação dos pesos, característica primeira da DEA, mas importante, aqui, pelo significado gerencial. Todavia, outros limites poderiam ser tentados para testes de sensibilidade ou interesse de políticas acadêmicas, mas foge ao espaço disponível neste artigo.

A Tabela 5 apresenta os dados utilizados, contendo a relação de cada programa de pós-graduação e sua respectiva denominação como DMU, as notas CAPES e os dados de Docentes - *Doc*, indicador de Titulados - *Tit* (soma de mestres e doutores formados no ano) e de Produção - *Prod* (indicador A do item 2 da Tabela 3). A adoção destes indicadores decorre do fato de que são considerados como os dois indicadores principais de desempenho de cada programa e o objetivo de tentar simplificar o processo de avaliação em sua etapa quantitativa. Para ajuste de magnitude dos dados (uma questão para a qual a análise DEA é sensível, ver ALI, 1994), o número de titulados está apresentado em 10 alunos. Para os casos de valor zero em algum produto (titulação ou produção), foi adotado o valor 0,001 pequeno. Não foram considerados os programas que não foram avaliados em todos os anos do triênio.

TABELA 5 – Relação de Programas, Dados e Respectivas Denominações de DMU

DMU	IES	Programa	Cursos	Nota	2001			2002			2003		
					Doc	Tit	Prod	Doc	Tit	Prod	Doc	Tit	Prod
1	PUC/Rio	Produção	MDF	4	10	2,3	4,5	11	3,2	0,88	12	2,3	1,2
2	UFF	Produção	M	4	24	1,8	0,48	24	3,2	7,2	22	4,1	4,7
3	UFMG	Produção	M	4	10	0,4	0,001	9	1,1	0,001	11	1,1	0,53
4	UFPB/JP	Produção	M	3	6	1,5	1,7	11	1,9	0,001	17	0,7	0,57
5	UFPE	Produção	MDF	5	13	1,3	1,2	15	1,6	2	15	2,2	0,88
6	UFRGS	Produção	MD	5	13	0,6	4,9	12	1,1	3,4	13	2,9	4,6
7	UFRJ	Produção	MD	5	28	15	8,1	30	15,4	12,3	33	13,4	24,8
8	UFRN	Produção	M	3	7	0,9	0,001	11	1,3	0,001	14	1,6	0,001
9	UFSCAR	Produção	MD	4	27	1,9	7,3	28	2,4	7,3	29	3,9	9,8
10	UFSM	Produção	M	3	24	4,1	0,001	24	4,3	2,4	25	6,8	1
11	UNIFEI	Produção	M	3	18	2,3	0,001	9	1,2	0,001	9	2,2	2,5
12	UNIMEP	Produção	MD	4	13	1,6	2,7	14	1,4	2,7	19	2,2	5,6
13	UNIP	Produção	M	3	12	1,3	3	14	1,4	1,8	15	1,5	2,6

DMU	IES	Programa	Cursos	Nota	2001			2002			2003		
					Doc	Tit	Prod	Doc	Tit	Prod	Doc	Tit	Prod
14	USP/SC	Produção	MD	4	14	1,5	1,7	12	1,6	1,6	17	2,7	2,1
15	USP/SP	Produção	MD	5	26	3,4	5,2	28	5,0	2,2	28	4,5	10,3
16	IME	Mecânica	M	3	8	0,5	2,3	9	0,4	3,8	7	0,5	2,5
17	PUC/MG	Mecânica	M	4	12	0,8	0,36	10	0,8	3,8	11	1,3	3,5
18	PUC/PR	Mecânica	M	4	10	0,5	2	10	0,5	1,6	12	1,1	1,9
19	PUC/Rio	Mecânica	MD	6	22	1,2	13	20	2,7	12,8	23	3,1	11,3
20	UFES	Mecânica	M	3	12	0,4	2,1	12	0,7	0,96	9	0,6	3,05
21	UFF	Mecânica	M	4	11	1,2	3	14	1,0	7,8	17	2,0	8,5
22	UFMG	Mecânica	MD	4	25	1,9	4,5	25	2,5	6,8	25	3,0	9,4
23	UFPA	Mecânica	M	3	12	0,3	0,48	10	0,4	2,4	14	0,4	2,7
24	UFPB/JP	Mecânica	MD	4	18	1,0	3,4	23	3,8	6	22	3,2	3,8
25	UFPE	Mecânica	M	4	18	0,9	5	20	0,5	3,8	22	1,2	7,5
26	UFPR	Mecânica	M	4	15	0,001	7,7	19	0,4	8,2	22	1,3	8
27	UFRGS	Mecânica	MD	5	23	2,6	9,7	22	2,9	5,9	26	3,8	9,8
28	UFRJ	Mecânica	MD	6	26	3,1	8,6	23	2,7	21,4	24	3,4	17,6
29	UFRN	Mecânica	M	4	13	0,7	0,91	13	0,8	6,2	14	0,7	17,7
30	UFSC	Mecânica	MDF	6	40	6,5	10,4	41	5,8	9,4	51	8,2	25,3
31	UFU	Mecânica	MD	5	25	2,3	6,5	28	2,2	8,4	29	3,3	13,3
32	UNB	Mecânica	M	4	12	0,4	6	19	0,6	8,7	14	0,5	5
33	UNESP/G	Mecânica	MD	4	26	1,1	6,5	23	2,3	15,9	29	2,5	19,1
34	UNESP/IS	Mecânica	M	3	13	1,1	0,001	15	0,8	0,75	16	1,0	5,3
35	UNICAMP	Mecânica	MDF	6	52	11,5	24,4	51	8,3	28,6	58	11,7	49,3
36	UNIFEI	Mecânica	MD	4	12	0,9	0,72	12	1,1	0,001	12	1,0	4,3
37	USP/SC	Mecânica	MD	5	29	3,1	7	32	5,1	14,7	33	6,4	13,5
38	USP/SP	Mecânica	MD	5	27	3,0	7,3	40	5,5	7,6	34	3,2	8,5

Fonte: (CAPES, 2004a,b)

Legenda: M – Mestrado, D – Doutorado, F – Mestrado Profissional

Doc – Total de Docentes do NRD6 (Docente com 40H de contrato com a IES e participação no Programa de Pós-Graduação em mais de 30% de seu tempo de trabalho, ao longo dos 12 meses do ano)

Tit – Soma dos Mestres e Doutores Titulados no ano

Prod – Pontuação referente à qualidade da produção científica =  $1,0 \times \text{Int. A} + 0,75 \times \text{Int. B} + 0,5 \times \text{Nac. A}$ , Int. e Nac. referem-se a periódicos Internacionais e Nacionais, respectivamente, e A e B são classificações do periódico, conforme tabela QUALIS da CAPES para a área

Notas:

1. Não foram incluídos programas que não eram apenas Engenharia de Produção ou Engenharia Mecânica
2. Foram atribuídos valores 0,001 para casos de valores nulos, para fins de computação.
3. Não foram incluídos os Programas novos e com menos de três anos de avaliação.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1. Análise de Categoria

A Tabela 5 apresenta o resultado da análise CCR-O, com Região de Garantia, considerando Engenharia Mecânica e Engenharia de Produção. Percebe-se, inicialmente, que a DMU<sub>7</sub> da Engenharia de Produção, possui escore 1 em todos os anos e é a referência para quase todas DMU<sub>s</sub>, em 2001 e para mais de 90% das outras DMU<sub>s</sub>, nos anos 2002 e 2003. Em 2001, 2002 e 2003, outras três DMU<sub>s</sub>, DMU<sub>19</sub>, DMU<sub>28</sub> e DMU<sub>29</sub>, todas da Engenharia Mecânica, compartilham com a DMU<sub>7</sub> para terem também escore máximo,

respectivamente em cada ano.

A análise, considerando um “programa médio” do triênio, com corpo docente médio, média de titulados e média de produção, coloca as DMU<sub>7</sub> e DMU<sub>35</sub> como as referências para todas as outras.

TABELA 5 – Análise AR-O-C, ano a ano, Eng, Mecânica e Produção em um mesmo conjunto

DMU	2001		2002		2003		$\theta$ Médio	Média20012003	
	$\theta$	Ref.	$\theta$	Ref.	$\theta$	Ref.		$\theta$	Ref.
1	0,9505	7,19	0,5395	7	0,4196	7	0,6365	0,4636	7
2	0,1364	7	0,4381	7,28	0,4319	7	0,3355	0,3286	7,35
3	0,0709	7	0,2207	7	0,2181	7	0,1699	0,1358	7
4	0,7040	7,19	0,3119	7	0,0926	7	0,3695	0,2149	7
5	0,2480	7,19	0,2522	7,28	0,3174	7	0,2725	0,2294	7
6	0,6493	7,19	0,3723	7,28	0,5372	7	0,5196	0,5452	7,35
7	1	7	1	7	1	7	1	1,0000	7
8	0,2279	7	0,2134	7	0,2379	7	0,2264	0,1711	7
9	0,5031	7,19	0,3442	7,28	0,3978	7,29	0,4150	0,4626	7,35
10	0,3027	7	0,3413	7	0,5745	7	0,4062	0,3287	7
11	0,2264	7	0,2408	7	0,5660	7	0,3444	0,2710	7
12	0,4557	7,19	0,2990	7,28	0,3454	7,29	0,3667	0,4025	7,35
13	0,5086	7,19	0,2397	7,28	0,2439	7	0,3307	0,3152	7,35
14	0,3017	7,19	0,2845	7,28	0,3561	7	0,3141	0,2718	7
15	0,4511	7,19	0,3364	7	0,4485	7,29	0,4120	0,4001	7,35
16	0,5226	7,19	0,4532	28	0,3442	7,29	0,4400	0,5449	35
17	0,1234	7	0,4473	7,28	0,3655	7,29	0,3121	0,3762	7,35
18	0,3701	7,19	0,2081	7,28	0,2234	7	0,2672	0,2789	7,35
19	1	19	0,7536	7,28	0,5129	7,29	0,7555	0,8734	35
20	0,3134	7,19	0,1444	7,28	0,3255	7,29	0,2611	0,2894	35
21	0,5457	7,19	0,6002	7,28	0,5010	7,29	0,5490	0,7080	35
22	0,3642	7,19	0,3719	7,28	0,4107	7,29	0,3823	0,4435	7,35
23	0,0891	7,19	0,2697	7,28	0,1751	7,29	0,1780	0,2377	35
24	0,3579	7,19	0,4407	7,28	0,3384	7	0,3790	0,3713	7,35
25	0,4945	7,19	0,2055	7,28	0,3139	7,29	0,3380	0,4128	35
26	0,8636	19	0,4616	28	0,3358	7,29	0,5537	0,6348	35
27	0,7880	7,19	0,4070	7,28	0,4396	7,29	0,5449	0,5769	7,35
28	0,6487	7,19	1	28	0,7015	7,29	0,7834	0,9989	35
29	0,1660	7,19	0,5142	7,28	1	29	0,5601	0,9265	35
30	0,5789	7,19	0,3828	7,28	0,5445	7,29	0,5021	0,5710	7,35
31	0,5082	7,19	0,3718	7,28	0,4659	7,29	0,4486	0,5373	35
32	0,8448	19	0,4904	28	0,3058	7,29	0,5470	0,6519	35
33	0,4424	7,19	0,7585	7,28	0,5858	7,29	0,5956	0,8051	35
34	0,1500	7	0,1107	7,28	0,3152	7,29	0,1920	0,2321	7,35
35	0,9724	7,19	0,7142	7,28	0,8535	7,29	0,8467	1,0000	35
36	0,1712	7,19	0,1655	7	0,3580	7,29	0,2316	0,2463	7,35
37	0,4933	7,19	0,6166	7,28	0,5152	7,29	0,5417	0,6159	7,35
38	0,5440	7,19	0,3418	7,28	0,2885	7,29	0,3914	0,3942	7,35

Legenda:  $\theta = 1/\eta$ , Ref.: DMUs do Conjunto de Referência.

Esta primeira análise coloca uma DMU da Engenharia de Produção, que teve nota 5, na avaliação

final, como referência para praticamente todas as DMUs da Engenharia Mecânica com nota 6, ano a ano, e referência para todas as outras nota 6 e 5 da Engenharia Mecânica, exceto a DMU<sub>35</sub>, considerado-se o programa virtual médio. O uso de um “programa médio” formado pela média do seu desempenho no triênio, diminui a contribuição da DEA de analisar os dados, a partir dos dados realmente observados. A análise ano a ano permite isto, porém.

Um cuidado com DEA refere-se à sensibilidade aos dados. Uma análise da Figura 1, que apresenta os valores ponderados de cada produto por docente – com os pesos resultantes da análise CCR-O-AR, mostra que a DMU<sub>28</sub> deveria estar na fronteira eficiente. Mas a execução do algoritmo, com o nível de precisão computacional adotado, resultou em um escore  $\theta = 0,999$ .

Além disso, a modelagem adotada permite analisar graficamente as DMUs agrupadas em torno de suas referências e as distâncias relativas para a fronteira de eficiência. A adoção de um modelo simplificado, com dois produtos e um insumo, permite esta fácil visualização.

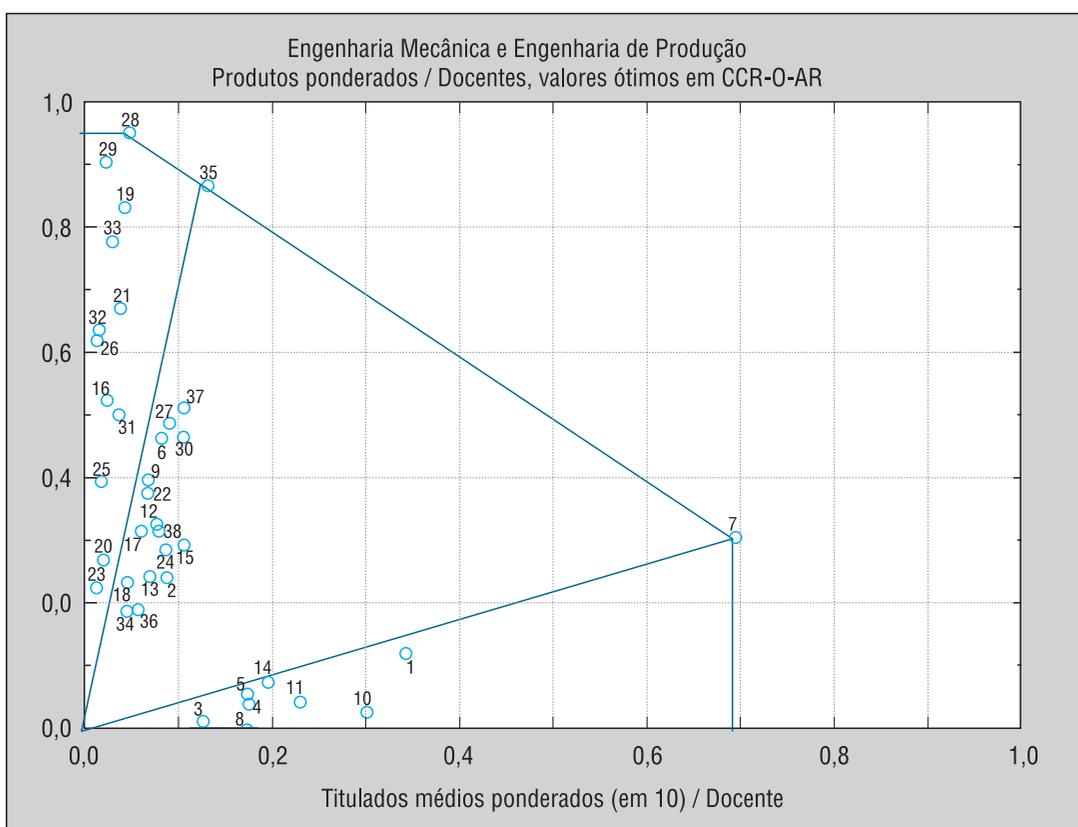


FIGURA 1 – Desempenho ponderado das DMUs, considerando a análise CCR-O-AR

Esta análise, considerando Engenharia de Produção e Engenharia Mecânica em um mesmo conjunto, produziu um quadro com poucas DMUs de referência. Na análise ano a ano, a DMU<sub>7</sub> (Engenharia de Produção) é a referência para praticamente todas as outras, sugerindo ser esta DMU o benchmark único a ser buscado por toda a Engenharias III. Na análise de uma média do programa (construção virtual), a DMU<sub>35</sub> também torna-se referência. Uma consideração, aqui, é que poderia haver categorias diferentes sendo analisadas em conjunto; desse modo, uma delas, ou ambas, seriam prejudicadas por esta modelagem (em um mesmo conjunto). Para explorar este aspecto, são realizadas análises, em separado, para Engenharia de Produção e Engenharia Mecânica, as quais são apresentadas nas Tabela 6 e 7, respectivamente.

Como principal resultado, observa-se que vários programas de Engenharia Mecânica (Tabela 6) melhoraram substancialmente seus escores e a DMU<sub>35</sub>, que analisada em conjunto com a Engenharia de Produção, era sempre ineficiente relativamente à DMU<sub>7</sub> (Engenharia de Produção) e mesmo a outras duas três

da Engenharia Mecânica (DMU<sub>19</sub>, DMU<sub>28</sub>, DMU<sub>29</sub>), torna-se agora a referência para praticamente todas as outras DMU<sub>s</sub> de Engenharia Mecânica em todos os anos, e as DMU<sub>19</sub>, DMU<sub>28</sub>, DMU<sub>29</sub> continuam tendo o mesmo desempenho eficiente nos mesmos anos que na análise em conjunto. A análise, em separado, não prejudicou as DMU<sub>s</sub> que tiveram desempenho eficiente na análise em conjunto, mas trouxe para a fronteira uma DMU que passa agora a ter um comportamento consistentemente eficiente em todos os anos (DMU<sub>35</sub>).

TABELA 6 – Análise AR-O-C, ano a ano, Engenharia Mecânica

DMU	2001		2002		2003		$\theta$ médio	Referências 2001 a 2003	Freq. Ref.
	$\theta$	Ref.	$\theta$	Ref.	$\theta$	Ref.			
16	0,5282	19, 35	0,4532	28	0,3942	29, 35	0,4585	19,28,29,35	-
17	0,2603	35	0,5469	28, 35	0,5236	35	0,4436	28,35	-
18	0,3750	19, 35	0,3017	35	0,3755	35	0,3507	19,35	-
19	1	19	0,9222	28, 35	0,6416	35	0,8546	19,28,35	14
20	0,3160	19, 35	0,3036	35	0,3719	29, 35	0,3305	19,29,35	-
21	0,5587	19, 35	0,6037	28, 35	0,5863	29, 35	0,5829	19,28,29,35	-
22	0,3734	19, 35	0,5816	35	0,5500	35	0,5017	19,35	-
23	0,1082	35	0,2999	28, 35	0,1934	29, 35	0,2005	28,29,35	-
24	0,3638	19, 35	0,8754	35	0,5687	35	0,6026	19,35	-
25	0,4983	19, 35	0,2086	28, 35	0,3497	29, 35	0,3522	19,28,29,35	-
26	0,8636	19	0,4616	28	0,3748	29, 35	0,5667	19,28,29,35	-
27	0,7995	19, 35	0,7256	35	0,6418	35	0,7223	19,35	-
28	0,6625	19, 35	1	28	0,7996	29, 35	0,8207	19,28,29,35	12
29	0,2271	35	0,5185	28, 35	1	29	0,5819	28,29,35	12
30	0,7034	35	0,7522	35	0,7343	35	0,7300	35	-
31	0,5187	19, 35	0,4983	28, 35	0,5569	35	0,5246	19,28,35	-
32	0,8448	19	0,4903	28	0,3246	29, 35	0,5532	19,28,29,35	-
33	0,4453	19, 35	0,7982	28, 35	0,6382	29, 35	0,6272	19,28,29,35	-
34	0,3163	35	0,2671	35	0,3583	29, 35	0,3139	35	-
35	1	35	1	35	1	35	1	35	61
36	0,3025	35	0,4201	35	0,4182	29, 35	0,3803	29,35	-
37	0,5065	19, 35	0,9386	35	0,8202	35	0,7551	19,35	-
38	0,5573	19, 35	0,7163	35	0,4158	35	0,5631	19,35	-

Legenda:  $\theta = 1/\eta$ , Ref.: DMUs do Conjunto de Referência, Freq. Ref.: frequência com que a DMU foi referência de outra.

Analisando o caso da Engenharia de Produção (Tabela 7), verifica-se que não há grandes mudança e a DMU7 continua sendo a referência para todos os programas, nos anos 2002 e 2003 e para quase todos os programas em 2001.

TABELA 7 – Análise AR-O-C, ano a ano, Engenharia de Produção

DMU	2001		2002		2003		$\theta$ médio	Referências 2001 a 2003	Freq. Ref.
	$\theta$	Ref.	$\theta$	Ref.	$\theta$	Ref.			
1	1	1	0,5395	7	0,4196	7	0,5980	1,7	9
2	0,1364	7	0,6968	7	0,4319	7	0,3759	7	-
3	0,0709	7	0,2207	7	0,2181	7	0,1346	7	-
4	0,7265	1, 7	0,3119	7	0,0926	7	0,3512	1,7	-
5	0,2538	1, 7	0,3165	7	0,3174	7	0,2623	1,7	-
6	0,8175	1	0,6531	7	0,5372	7	0,6163	1,7	-

DMU	2001		2002		2003		$\theta$ médio	Referências 2001 a 2003	Freq. Ref.
	$\theta$	Ref.	$\theta$	Ref.	$\theta$	Ref.			
7	1	7	1	7	1	7	1	7	41
8	0,2279	7	0,2134	7	0,2379	7	0,1745	7	-
9	0,5915	1	0,6012	7	0,4457	7	0,5090	1,7	-
10	0,3027	7	0,3413	7	0,5744	7	0,3261	7	-
11	0,2264	7	0,2407	7	0,5660	7	0,2955	7	-
12	0,4771	1,7	0,4500	7	0,3886	7	0,4204	1,7	-
13	0,5529	1	0,3048	7	0,2439	7	0,3569	1,7	-
14	0,3114	1,7	0,3204	7	0,3560	7	0,3039	1,7	-
15	0,4707	1,7	0,3364	7	0,4864	7	0,4190	1,7	-

Legenda:  $\theta = 1/\eta$ , Ref.: DMUs do Conjunto de Referência, Freq. Ref.: frequência com que a DMU foi referência de outra.

Para ambos os casos, analisando o desempenho das DMU35 e DMU7, respectivamente, no subconjunto Engenharia Mecânica e Engenharia de Produção, poderiam estas serem consideradas como desempenho consistentemente muito superior, *outsanding*, cujo desempenho também provoca certa distorção na avaliação do conjunto dos outros programas. Esta distorção, no caso, resultaria em que estes dois programas, em cada subconjunto, para cerca de 90% dos programas, estas DMUs seriam os benchmarks (distante) de desempenho excelente. Isto coloca um problema no aspecto relacionado à melhoria contínua factível em determinado horizonte de tempo (o triênio seguinte).

## 3.2. Análise em Dois Estágios

Uma forma de explorar ainda mais a fundo estes dados é considerar que este desempenho de referência, em todos os anos, colocaria estas DMUs em outra categoria superior, ou seja, candidatando-as à nota 6 ou 7, no modelo CAPES. O primeiro estágio consistiria então, na análise CCR-O-AR com o grupo homogêneo, tal como realizado para Engenharia Mecânica e Engenharia de Produção (Tabelas 6 e 7). Desta análise, identifica-se as DMUs *outstandings*, com desempenho superior nos três anos consecutivos (ou ainda, em dois dos três – este pode ser um outro critério). Estas DMUs são então retiradas para uma nova análise da cada subconjunto, com o objetivo de identificar um segundo nível de eficiência. Os resultados desta análise, no segundo estágio, são apresentados nas Tabelas 8 e 9, para Engenharia Mecânica e Engenharia de Produção, respectivamente.

TABELA 8 – Análise AR-O-C, ano a ano, Engenharia Mecânica, sem DMU35

DMU	2001		2002		2003		$\theta$ médio	Referências 2001 a 2003	Freq. $\theta = 1$	Nota CAPES
	$\theta$	Ref.	$\theta$	Ref.	$\theta$	Ref.				
16	0,6255	19, 27	0,4532	28	0,4964	28, 37	0,5250	19,27,28,37	-	3
17	0,3700	30	0,5615	28	0,6521	28, 37	0,5279	28,30,37	-	4
18	0,4603	19, 27	0,3143	28	0,4579	37	0,4108	19,27,28,37	-	4
19	1	19	0,9469	28	0,8234	28, 37	0,9234	19, 28,37	1	6
20	0,3625	19, 27	0,3163	28	0,4667	28, 37	0,3818	19,27,28,37	-	3
21	0,7954	27, 30	0,6042	28	0,7628	28, 37	0,7208	27,28,30,37	-	4
22	0,5415	27, 30	0,6060	28	0,6950	28, 37	0,6142	27,28,30,37	-	4
23	0,1538	30	0,3044	28	0,2306	28, 29	0,2296	28,29,30	-	3
24	0,4682	27, 30	0,9122	28	0,6934	37	0,6913	27,28,37	-	4
25	0,5642	19, 27	0,2091	28	0,4227	28, 29	0,3987	19,27,28,29	-	4
26	0,8636	19	0,4616	28	0,4543	28, 29	0,5932	19,28,29	-	4

DMU	2001		2002		2003		$\theta$ médio	Referências 2001 a 2003	Freq. $\theta = 1$	Nota CAPES
	$\theta$	Ref.	$\theta$	Ref.	$\theta$	Ref.				
27	1	27	0,7561	28	0,7962	28, 37	0,8508	27,28,37	1	5
28	0,9106	27, 30	1	28	1	28	0,9702	27,28,30	1	6
29	0,3229	30	0,5191	28	1	29	0,6140	28,29,30	1	4
30	1	30	0,7838	28	0,9264	28, 37	0,9034	28,30,37	1	6
31	0,7087	27, 30	0,5169	28	0,7223	28, 37	0,6493	27,28,30,37	-	5
32	0,8448	19	0,4903	28	0,3630	28, 29	0,5660	19,28,29	-	4
33	0,4974	19, 27	0,8040	28	0,7452	28, 29	0,6822	19,27,28,29	-	4
34	0,4496	30	0,2783	28	0,4461	28, 29	0,3913	28,29,30	-	3
36	0,4300	30	0,4378	28	0,5429	28, 37	0,4702	28,30,37	-	4
37	0,7467	27, 30	0,9780	28	1	37	0,9082	27,28,30,37	1	5
38	0,8008	27, 30	0,7463	28	0,5172	28, 37	0,6881	27,28,30,37	-	5

Legenda:  $\theta = 1/\eta$ , Ref.: DMUs do Conjunto de Referência, Freq. Ref.: frequência com que a DMU foi referência de outra.

Em ambos os casos, pode-se ver que há um novo nível de eficiência, ano a ano, com a retirada da DMU<sub>7</sub> e DMU<sub>35</sub>. Isto é útil tanto para elencar programas potenciais para nota 5, assim como para definir para os programas de menor desempenho, quem são suas referências de benchmark mais próximas, tornando, assim, mais exequível uma estratégia de melhoria contínua no triênio seguinte. Esta análise pode ser aprimorada ainda, considerando os valores dos  $\lambda_j$  da projeção da DMU<sub>o</sub> em relação à DMU<sub>j</sub> na fronteira eficiente. Maior o  $\lambda_j$  mais importante é esta referência. Esta análise, contudo, escapa ao espaço deste artigo.

TABELA 9 – Análise AR-O-C, ano a ano, Engenharia de Produção, sem DMU7

DMU	2001		2002		2003		$\theta$ médio	Referências 2001 a 2003	Freq. $\theta = 1$	Nota CAPES
	$\theta$	Ref.	$\theta$	Ref.	$\theta$	Ref.				
1	1	1	1	1	0,7347	10, 11	0,8753	1,10,11	2	4
2	0,2769	4	1	2	0,7640	6, 11	0,6464	2,4,6,11	1	4
3	0,1439	4	0,4091	1	0,3817	10, 11	0,2642	1,4,10,11	-	4
4	1	4	0,5781	1	0,1629	10, 11	0,5193	1,4,10,11	1	3
5	0,3925	4	0,5806	1, 2	0,5548	10, 11	0,4564	1,2,4,10,11	-	5
6	0,8175	1	0,9374	2	1	6	0,8947	1,2,6	1	5
8	0,4625	4	0,3955	1	0,4142	10	0,3243	1,4,19	-	3
9	0,5915	1	0,8628	2	0,9164	15	0,7736	1,2,15	-	4
10	0,6145	4	0,7202	1, 2	1	10	0,6320	1,2,4,10	1	3
11	0,4596	4	0,4462	1	1	11	0,5608	1,4,11	1	3
12	0,5211	1, 4	0,6839	1, 2	0,7990	15	0,6586	1,2,4,15	-	4
13	0,5529	1	0,5517	1, 2	0,4847	6, 15	0,5273	1,2,6,15	-	3
14	0,4286	4	0,6572	1, 2	0,6259	10, 11	0,5329	1,2,4,10,11	-	4
15	0,5450	4	0,6744	1, 2	1	15	0,7275	1,4,15	1	5

Legenda:  $\theta = 1/\eta$ , Ref.: DMUs do Conjunto de Referência, Freq. Ref.: frequência com que a DMU foi referência de outra.

### 3.3. Comparação da análise DEA com as Notas da Avaliação CAPES

Para avaliar o potencial do uso da análise DEA, apresentada como uma primeira etapa quantitativa simplificada da avaliação CAPES, apresenta-se, a seguir, uma análise de correlação entre os escores de efi-

ciência e as notas de cada programa. A tabela 10 mostra as análises de correlação (Pearson) entre o escore médio de cada programa e a nota final atribuída na avaliação CAPES. O resultado sugere para a Engenharia Mecânica, uma correlação positiva muito forte ( $r = 0,857$ ) e para o conjunto das Engenharias III uma correlação positiva de média para forte ( $r = 0,630$ ), com significância  $< 0,01$ . A queda da correlação para a análise em conjunto, deve-se, principalmente, à correlação para o subconjunto da Engenharia de Produção, onde o valor do  $r$  ficou menor que 0,50.

TABELA 10 – Análise de Correlação (Pearson) entre Escore Médio e Nota CAPES

Programas em Análise	Escore utilizado	r	significância
Eng. Mecânica e Produção (juntos)	Tabela 5 - $\theta$ médio	0,630	**
Eng. Mecânica	Tabela 5 - $\theta$ médio	0,741	**
Eng. de Produção	Tabela 5 - $\theta$ médio	0,422	
Eng. Mecânica em separado (todos)	Tabela 6 - $\theta$ médio	0,857	**
Eng. Mecânica (s/ DMU outstanding)	Tabela 8 - $\theta$ médio	0,865	**
Eng. de Produção	Tabela 7 - $\theta$ médio	0,508	*
Eng. de Produção (s/ DMU outstanding)	Tabela 9 - $\theta$ médio	0,386	

Legenda: Significância = \*\*:  $< 0,01$ ; \*:  $< 0,05$

## 4. PRINCIPAIS CONCLUSÕES E IMPLICAÇÕES

Uma primeira conclusão que o estudo sugere, é que Engenharia Mecânica e Engenharia de Produção são categorias diferentes e não deveriam ser avaliadas como um mesmo conjunto. Esta análise em conjunto, termina por prejudicar a ambas as áreas. Em um aspecto, os Programas de Excelência da Engenharia Mecânica (DMU<sub>19</sub>, DMU<sub>28</sub>, DMU<sub>30</sub>, DMU<sub>35</sub>), seriam classificados como ineficientes, quando comparados com o melhor Programa de Engenharia de Produção, devido, sobretudo, à produção de titulados. Em outro, programas de Engenharia de Produção podem ter como referência programas de engenharia mecânica (p.ex., a DMU<sub>9</sub> teve como referência além da DMU<sub>7</sub>, DMU<sub>19</sub>, DMU<sub>28</sub>, DMU<sub>29</sub>).

A análise em dois estágios revelou-se útil para cada subconjunto (Engenharia Mecânica e Engenharia de Produção), permitindo identificar DMUs outstandings, no primeiro estágio; e aquelas de melhor desempenho, no segundo estágio, contribuindo ainda para uma melhor definição de benchmarks de curto prazo (triênio seguinte) para melhoria, o que pode contribuir para ações dos Programas e da própria CAPES em priorizar projetos de melhoria. A abordagem DEA realiza uma avaliação do desempenho, que define as DMUs como eficientes e ineficientes relativamente apenas aos resultados observados, isto permite estabelecer referências de produtividade acadêmica, com bases reais alcançáveis. Pode-se ainda, se desejável, introduzir DMUs de outros países, que se considere como referência acadêmica reconhecida e, assim, avaliar o quadro nacional relativamente, p.ex., para a nota 7.

A metodologia apresentada não pode substituir o processo completo da avaliação CAPES, mas pode simplificar e melhorar a qualidade da avaliação quantitativa na medida em os indicadores utilizados são os principais e possuem alta correlação positiva com as notas efetivamente atribuídas. O método proposto facilita também a auditoria, impraticável com o atual volume de informações coletadas. Os indicadores usados poderiam também ser melhor detalhados, por exemplo, com a produção intelectual, medida com fator de impacto.

A maturidade da análise de DEA e as ferramentas computacionais disponíveis são dois direcionadores fortes para sua adoção como método complementar à avaliação CAPES.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBANI NETO, L. **Uma Aplicação da DEA nos Programas de Mestrado em Engenharia Civil nas Instituições de Ensino Superior no Brasil**, Tese de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, não publicada, 2000.
- ALI, A. I. (1994) Computational Aspects of DEA in CHARNES, A.; COOPER, W.; LEWIN, A.Y.; SEIFORD, L.M. (1994) **Data Envelopment Analysis – Theory, Methodology and Applications**, Capítulo 4, pp, Kluwer.
- BANKER, R. D.; CHARNES, A., COOPER, W. W. Some Models for Estimating Technical and Scales Inefficiencies in Data Envelopment Analysis, **Management Scienc**, Vol. 30, N. 9, Sept. 1984, 1078-1092.
- CAPES. **Relatório Final da Avaliação Trienal da Pós-graduação** - Período Avaliado: 2001-2003, 20 de dezembro de 2004. Disponível em [http://www.capes.gov.br/capes/portal/conteudo/10/Resultado\\_AvaliacaoTrienal.htm](http://www.capes.gov.br/capes/portal/conteudo/10/Resultado_AvaliacaoTrienal.htm). 2004(a).
- CAPES. **Relatório da Avaliação Engenharias III** - Avaliação Tri-Anual – Período de 2001 a 2003, mimeo, 2004(b).
- CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. “A Data Envelopment Analysis Approach to Evaluation of the Program Follow Through Experiments in U.S. Public School Education”, **Management Science Resarch Reorit** No. 432, Carnegie-Mellow University, School of Urban and Public Affairs, Pittsburgh, PA, 1978.
- CHARNES, A., COOPER, W. W.; HUANG, Z. M.; SUN, D. B. Polyhedral Cone-Ratio DEA Models with an Illustrative Application to Large Commercial Banks, **Journal of Econometrics** 46, pp. 73-91, 1990.
- CHARNES, A.; COOPER, W. W.; LEWING, A. Y.; SEIFORD, Lawrence M. **Data Envelopment Analysis – Theory, Methodology and Applications**, Kluwer, 1994, second edition (1996).
- COOPER, W. W.; SEIFORD, L. M.; TONE, K. **Introduction to Data Envelopment Analysis and Its Uses**, Springer, 2006.
- DYSON, R.G.; THANASSOULIS, E. Reducing Weight Flexibility in Data Envelopment Analysis, **Journal of the Operational Research Society** 39, pp. 563-576, 1988.
- LINS, M. P. E.; ALMEIDA, B. F.; BARTHOLO JÚNIOR, R. (2004) Avaliação de desempenho na pós-graduação, utilizando a Análise Envoltória de Dados: o caso da Engenharia de Produção, **Revista Brasileira de Pós-Graduação**, N°. 1, julho 2004, 41-56.
- RHODES, E. **Data Envelopment Analysis and Related Approaches for Measuring the Efficiency of Decision Making Units with and Application to Program Follow Through in U.S. Education**, Ph.D. thesis, Carnegie-Mellon University School of Urban and Public Affairs, Pittsburgh, 1978.
- ROLL, Y., COOK, W.D.; GOLANY, B. Controlling Factor Weights in Data Envelopment Analysis, **IIE Transactions** 23, pp. 2-9, 1991.
- SILVA, M. M. **Um Estudo da Eficiência dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia no Brasil**, Tese de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, não publicada, 2001.
- SOUZA, S. H. L. Análise Envoltória de Dados e Cálculos Probabilístico de Produtividades Globais na Avaliação de Cursos, **Tese de Mestrado**, Universidade Federal Fluminense, não publicada, 2004.
- THOMPSON, R.G.; SINGLETON JR., F.D.; THRALL, R.M.; SMITH, B.A. Comparative Site Evaluations for Locating a High-Energy Physics Lab in Texas, **Interfaces** 16, pp. 35-49, 1986.