



/MEDIDA DE RELEVÂNCIA E VISIBILIDADE DAS TESES DE PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA

João Carlos Correia Baptista Soares de Mello – jcsmello@bol.com.br
Departamento de Engenharia de Produção – Universidade Federal Fluminense
Rua Passo da Pátria, 156, 24240-240, São Domingos, Niterói, RJ

Eliane Gonçalves Gomes – eliane@cnpm.embrapa.br
Embrapa Monitoramento por Satélite
Av. Dr. Júlio Soares de Arruda, 803, 13088-300, Parque São Quirino, Campinas, SP

Lidia Angulo Meza – lidia@pep.ufrj.br
Programa de Engenharia de Produção – Universidade Federal do Rio de Janeiro
Cidade Universitária, Centro de Tecnologia, F-105, 21945-970, Rio de Janeiro, RJ

Maria Helena Campos Soares de Mello – mhelenamello@bol.com.br
Departamento de Engenharia de Produção – Universidade Federal Fluminense
Rua Passo da Pátria, 156, 24240-240, São Domingos, Niterói, RJ

Resumo: Os cursos de pós-graduação são avaliados periodicamente pela CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior) segundo critérios nem sempre claros. Estes critérios buscam medir, dentre outros, a produtividade acadêmica (incluindo-se qualidade e quantidade da produção científica), a dedicação do corpo docente, o tempo para conclusão do curso, etc.. A quantificação da excelência acadêmica não é geralmente realizada; é feita de forma qualitativa. Este artigo tem como objetivo avaliar o desempenho de programas de pós-graduação em Engenharia na capacidade de transformar teses de mestrado e doutorado em produção científica pública. É utilizado o modelo de Análise Envoltória de Dados (Data Envelopment Analysis – DEA) para propor um índice que meça a relevância e visibilidade da produção científica de forma comparada. São usadas como unidades de avaliação os 12 programas de pós-graduação em Engenharia da COPPE (UFRJ), ao considerar as teses de mestrado e doutorado como insumos e os diversos tipos de publicação como produto. A metodologia aqui proposta é aplicável apenas à pós-graduação, já que para o ensino de graduação os aspectos didático pedagógicos são muito mais relevantes que os aspectos meramente científicos.

Palavras-chave: Pós-Graduação, Avaliação, Análise Envoltória de Dados.

1. INTRODUÇÃO

As avaliações de produtividade em educação são normalmente subjetivas devido à grande quantidade de variáveis a serem consideradas. Para quantificar e agregar estas variáveis em um único índice há a necessidade da imposição de pesos, cuja subjetividade pode ser causa de desconforto e não aceitação dos resultados.

A avaliação educacional deve ser quantitativa e comparada (BOCLIN, 1999). A abordagem por Análise Envoltória de Dados (Data Envelopment Analysis – DEA)



(CHARNES *et al.*, 1978) apresenta estas duas características em consonância. No entanto, os pesos atribuídos pelos modelos DEA clássicos podem não ser considerados realistas pelos especialistas no assunto. Esta característica pode igualmente gerar dificuldades na aceitação dos resultados do modelo.

É assim desejável uma metodologia que alie a subjetividade da avaliação qualitativa com a objetividade da avaliação quantitativa de DEA (SOARES DE MELLO *et al.*, 2001).

Este artigo tem como objetivo avaliar a eficiência dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro em relação à geração de produção científica a partir das teses defendidas. É usado o modelo DEA com retornos constantes de escala (DEA CCR), inicialmente sem restrições aos pesos e, posteriormente, com a inclusão da avaliação de importâncias qualitativas das variáveis usadas, através da inclusão de restrições aos pesos com o uso do método de Regiões de Segurança. Esta imposição, além de incluir informação qualitativa, permite contornar o problema da existência de grande número de variáveis e reduzido número de unidades de avaliação, chamadas DMUs (*Decision Making Units*).

2. ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS – DEA

A Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis – DEA*), desenvolvida originalmente por CHARNES *et al.* (1978) no contexto da avaliação de escolas, é um método que usa programação linear para determinação de eficiências comparativas de Unidades de Tomada de Decisão (*Decision Making Units – DMUs*) onde não seja preponderante ou não se deseja considerar somente o aspecto financeiro (GOMES *et al.*, 2001). A eficiência relativa de uma DMU é definida como a razão da soma ponderada de seus produtos (*outputs*) pela soma ponderada dos insumos necessários para gerá-los (*inputs*).

Ao contrário dos modelos tradicionais de apoio à decisão com vários critérios, não há a figura de um decisor arbitrário que escolhe os pesos para cada fator de ponderação. Eles são obtidos pelo próprio modelo matemático. Para isso, é resolvido um problema de programação fracionária que atribui a cada DMU os pesos que maximizam a sua eficiência. Assim, os pesos são diferentes para cada unidade em estudo, e o mais benevolentes possíveis para essa unidade. Portanto, a abordagem por DEA impede que os responsáveis por uma unidade cuja avaliação não tenha sido boa argumentem que tal situação se deveu a uma escolha casuística de pesos.

Os modelos DEA podem levar em conta as diferentes escala de operação. Quando isso acontece o modelo é chamado de BCC (BANKER *et al.*, 1984). Quando a eficiência é medida sem considerar os efeitos de escala, o modelo é conhecido como modelo CCR (CHARNES *et al.*, 1978). É apresentada em (1) a formulação do problema de programação fracionária, previamente linearizado, para o modelo DEA CCR (LINS e ANGULO-MEZA, 2000, COOPER *et al.*, 2000).

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



No modelo (I), h_o é a eficiência da DMU_o em análise; x_{ik} representa o *input* i da DMU_k, y_{jk} representa o *output* j da DMU_k; v_i é o peso atribuído ao *input* i , u_j é o peso atribuído ao *output* j .

Neste trabalho foi usado o modelo CCR. A escolha deste modelo é justificada pelo fato de estar-se propondo uma medida de qualidade e porque os programas de pós graduação têm porte semelhante. Ou seja, os efeitos relacionados à escala de cada programa não são relevantes.

A estrutura matemática dos modelos DEA faz com que, freqüentemente, uma DMU seja considerada eficiente por serem atribuídos pesos nulos a algumas variáveis. Estas variáveis são desconsideradas na avaliação da eficiência daquela unidade, podendo acarretar uma avaliação incompleta.

Torna-se possível complementar o modelo matemático ao serem adicionadas restrições que permitem variar os pesos em certas faixas pré-definidas, minimizando-se a quantidade de variáveis que recebem peso zero (LINS e ANGULO-MEZA, 2000). Existem dois métodos clássicos para restringir os limites dos pesos: restrições à participação da variável virtual e restrições diretas aos pesos através da imposição de Regiões de Segurança (*Assurance Region Method* – ALLEN *et al.*, 1997), que buscam evitar a inviabilidade do problema de programação linear.

Este último método é usado neste artigo, pois exige um menor grau de precisão nas informações fornecidas pelo decisor. Este método compara a “importância” de pares de variáveis, desde que se faça uma prévia normalização para que os pesos retratem fielmente as preferências dos especialistas. Uma outra abordagem utiliza restrições à participação de cada variável na variável virtual (soma ponderada dos *inputs* ou dos *outputs*), o que exige a quantificação de limites percentuais de suas “importâncias”. Neste último caso, torna-se quase sempre necessário o uso de métodos auxiliares de determinação destes limites (SOARES DE MELLO *et al.*, 2002).

Além de identificar as DMUs eficientes, os modelos DEA permitem medir e localizar a ineficiência e estimar uma função de produção linear por partes, que fornece o *benchmark* (unidades de referência) para as DMUs ineficientes. Esse *benchmark* é determinado pela projeção das DMUs ineficientes na fronteira de eficiência.

3. ESTRUTURAÇÃO DO PROBLEMA

Para este estudo de caso foram selecionados os Programas de Pós-Graduação em Engenharia, sob coordenação do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE), com sede na Universidade Federal do Rio de Janeiro.

A COPPE é constituída de 12 Programas: Engenharia Biomédica (PEB), Engenharia Civil (PEC), Engenharia Elétrica (PEL), Engenharia Mecânica (PEM), Engenharia de Materiais e Metalúrgica (PEMM), Engenharia Nuclear (PEN), Engenharia Naval e Oceânica (PENO), Engenharia de Produção (PEP), Engenharia Química (PEQ), Engenharia de Sistemas e Computação (PESC), Engenharia de Transportes (PET) e Planejamento Energético (PPE). Estes programas representam as DMUs do modelo DEA.

Para a avaliação da produtividade científica, as variáveis selecionadas representam as teses publicadas e as publicações provenientes destas teses. Como recursos (*inputs*) foram escolhidas as Teses de Mestrado (TM) e as Teses de Doutorado (TD); como produtos (*outputs*), as publicações em Revistas Internacionais (RI), em Revistas Nacionais (RN), em Congressos Internacionais (CI) e Nacionais (CN), Livros publicados (L) e Extras (EX). Este modelo mede a capacidade de cada programa de gerar publicações científicas baseadas nas teses defendidas.



Os dados utilizados referem-se ao somatório das variáveis para o período compreendido entre 1996 e 2000 (inclusive). O uso deste intervalo temporal alargado tem como objetivo diluir a defasagem entre a data da defesa das teses e a data de publicação de seus resultados para a comunidade científica.

Assim, o modelo DEA CCR é constituído de 12 DMUs, 2 *inputs* e 6 *outputs*. A Tabela 1 apresenta os valores das variáveis.

Tabela 1 - Valores para as variáveis.

<i>DMUs</i>	<i>TM</i>	<i>TD</i>	<i>RI</i>	<i>RN</i>	<i>CI</i>	<i>CN</i>	<i>L</i>	<i>EX</i>
PEB	59	24	24	21	66	194	0	6
PEC	189	88	71	22	283	186	3	28
PEL	132	33	83	13	229	165	2	16
PEM	79	30	60	13	81	136	1	9
PEMM	114	47	107	29	102	277	1	4
PEN	62	29	46	10	50	131	0	1
PENO	72	19	17	5	71	62	0	19
PEP	286	181	22	44	66	179	8	53
PEQ	79	69	139	32	138	332	1	6
PESC	150	78	62	22	183	211	3	92
PET	72	15	7	12	57	91	2	33
PPE	84	4	12	13	31	41	7	32

4. RESULTADOS

4.1. Modelo DEA CCR sem restrições aos pesos

As Tabelas 2 e 3 mostram, respectivamente, os resultados de eficiência e as DMUs de referência (ou *benchmarks*) para as ineficientes, e os pesos atribuídos pelo modelo para as variáveis.

Tabela 2 - Eficiências e referências no modelo DEA CCR, sem restrições aos pesos.

<i>DMUs</i>	<i>Eficiência (%)</i>	<i>Referência</i>
PEB	100,0	---
PEC	90,6	PEL, PEQ, PESC, PPE
PEL	100,0	---
PEM	89,0	PEL, PEMM, PEQ, PPE
PEMM	100,0	---
PEN	76,8	PEB, PEL, PEMM, PPE
PENO	79,2	PEL, PESC, PET
PEP	61,5	PEQ, PESC, PPE
PEQ	100,0	---
PESC	100,0	---
PET	100,0	---
PPE	100,0	---

Cabe destacar que para as DMUs eficientes os pesos apresentados não são únicos, ou seja, para tais DMUs outro *software* utilizado pode encontrar um conjunto diferente de pesos que mantenha a DMU com eficiência 100%.



Como pode ser observado na Tabela 3, existem de três a cinco pesos nulos para cada DMU, o que significa que estas variáveis estão sendo desconsideradas como critérios de avaliação.

Tabela 3 - Pesos atribuídos no modelo DEA CCR sem restrições.

DMUs	Pesos							
	TM	TD	RI	RN	CI	CN	L	EX
PEB	2,144	4,206	0,000	1,570	0,000	0,429	0,000	0,000
PEC	1,513	0,000	0,000	0,027	0,782	0,000	0,366	0,219
PEL	0,614	3,930	0,305	0,000	1,010	0,000	0,000	0,000
PEM	0,876	4,574	1,986	0,000	0,000	0,207	0,000	0,591
PEMM	0,284	3,415	0,655	0,068	0,000	0,540	0,000	0,000
PEN	1,170	4,659	1,087	0,000	0,603	1,353	0,000	0,000
PENO	2,654	3,163	0,000	0,000	2,398	0,000	0,000	1,930
PEP	1,000	0,000	0,000	0,544	0,000	0,000	0,154	0,523
PEQ	3,620	0,000	0,756	0,000	0,450	0,000	0,000	0,372
PESC	1,907	0,000	0,301	0,000	0,000	0,000	0,000	0,866
PET	2,543	4,342	0,000	0,000	1,188	0,996	0,000	1,359
PPE	0,000	45,250	0,000	0,000	0,000	0,000	1,143	0,000

4.2. Modelo DEA CCR com restrições aos pesos

Na avaliação do item anterior não foi possível obter uma boa ordenação das DMUs, isto é, verifica-se a existência de uma grande quantidade de unidades 100% eficientes. Tal fato é uma característica dos modelos DEA clássicos e ocorre quando o número de variáveis é muito superior ao número de DMUs. Existe uma recomendação empírica de que o número de DMUs deve ser pelo menos o triplo do número de variáveis. No presente estudo essa relação não é verificada, o que gera a grande quantidade de DMUs eficientes.

A necessidade de obter uma melhor ordenação e a indesejável existência de múltiplos pesos nulos, recomenda a inclusão de restrições aos pesos no modelo. Foi considerado que para a produtividade científica, as publicações em revista são mais relevantes que as publicações em congresso, as publicações internacionais são preferíveis às publicações nacionais, todas os tipos de publicação são mais relevantes que as publicações classificadas como extras e a publicação em revista internacional é mais importante que livros. Com relação aos *inputs*, considera-se que as teses de doutorado, pela necessidade de ineditismo teórico, são consideradas mais relevantes que as de mestrado.

Para a correta aplicação dos pesos, os dados correspondentes às variáveis foram normalizados. Com a aplicação do modelo DEA CCR com restrições aos pesos, foram obtidos os resultados da Tabela 4, na qual apresentam-se os pesos e a eficiência de cada DMU.

Comparando-se as Tabelas 2, 3 e 4, observa-se uma redução no número de DMUs eficientes, de sete para cinco, como resultado da inclusão das restrições aos pesos. O número de pesos nulos passou a variar de zero a três. Conseguiu-se uma melhor ordenação das DMUs e uma avaliação mais completa por não desconsiderar um menor número de variáveis.

4.3. Análise de resultados

Uma comparação dos dois modelos revela que as DMUs PESC e PET deixaram de ser eficientes quando da aplicação do modelo com restrições aos pesos. Isto indica que no



modelo inicial, estas DMUs eram eficientes devido a uma combinação muito particular de pesos.

Já as DMUs PEB, PEL, PEMM, PEQ e PPE são eficientes em ambos os modelos. Esta situação indica uma robustez na eficiência. É interessante observar que dentre estas cinco DMUs, encontram-se as únicas com conceito máximo na avaliação realizada pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior – CAPES (PEQ e PEMM).

Já a DMU PEP teve a mais baixa eficiência em ambos os modelos. Isto sugere falta de empenho ou falta de possibilidade em divulgar os resultados obtidos na teses defendidas. Ao comparar-se, em especial, o resultado de sua eficiência no modelo com restrições aos pesos (36%) com o resultado da segunda mais baixa eficiência (55,5%), nota-se a discrepância entre os resultados das publicações do PEP com os dos outros programas avaliados. Destaca-se, ainda, que a eficiência 36% do PEP foi conseguida com três pesos nulos, ou seja, desconsiderando-se três critérios de avaliação.

Ainda sobre o PEP é interessante observar a necessidade de uma definição de estratégia para publicações. Apesar de esta DMU ter um bom número de publicações em congressos nacionais, o modelo atribuiu peso nulo a essa variável. De fato, as restrições impostas obrigam a que o peso para os congressos internacionais seja, pelo menos, igual ao dos congressos nacionais. Assim, a falta de participação em congressos internacionais obriga a que o modelo DEA ignore a boa participação do PEP em congressos nacionais, para não ser penalizado pela falta de participação em congressos internacionais.

Tabela 4 - Resultados do modelo DEA CCR, com restrições aos pesos.

DMUs	Eficiência (%)	Pesos							
		TM	TD	RI	RN	CI	CN	L	EX
PEB	100,0	2,122	4,240	0,670	0,670	0,670	0,670	0,249	0,249
PEC	63,5	0,900	0,833	0,360	0,000	0,360	0,000	0,242	0,000
PEL	100,0	1,500	1,688	0,711	0,000	0,711	0,000	0,000	0,000
PEM	87,5	0,865	4,592	1,952	0,000	0,022	0,000	0,211	0,000
PEMM	100,0	0,759	2,685	0,502	0,337	0,320	0,320	0,053	0,053
PEN	72,4	1,259	4,538	0,854	0,546	0,576	0,546	0,000	0,000
PENO	55,5	1,895	4,982	0,842	0,657	0,842	0,657	0,185	0,185
PEP	36,0	0,690	0,310	0,167	0,167	0,000	0,000	0,167	0,000
PEQ	100,0	3,620	0,000	0,294	0,294	0,294	0,294	0,294	0,294
PESC	70,6	1,158	0,912	0,196	0,196	0,196	0,196	0,196	0,196
PET	77,6	2,396	4,788	0,757	0,757	0,757	0,757	0,281	0,281
PPE	100,0	3,287	1,569	0,934	0,000	0,934	0,000	0,934	0,000

5. CONCLUSÕES

A Análise Envoltória de Dados mostrou-se uma ferramenta importante para a avaliação da produtividade científica, ao serem consideradas múltiplas variáveis que apresentam relação causal.

Os resultados obtidos independem de opiniões subjetivas, e sempre polêmicas, dos avaliadores, sejam internos, como a CAD (Comissão de Avaliação de Docentes), ou externos, como a CAPES. As únicas opiniões incluídas no modelo de restrições aos pesos, são, geralmente, consensuais na comunidade científica.

A inclusão de restrições aos pesos permite um refinamento do modelo DEA clássico, mantendo, no entanto, grande consistência de resultados em ambos os modelos. Por outro lado, se não tivessem sido consideradas restrições aos pesos, os resultados teriam pouco



significado, devido à alta relação variáveis–DMUs. Sempre que relação for alta, os resultados só podem ser validados se ao modelo DEA forem incorporadas técnicas adicionais. A técnica de restrições aos pesos é apenas uma destas.

É importante ressaltar que os resultados obtidos em DEA são sempre comparativos. Assim, não é necessário (nem sequer possível) comparar os resultados com os obtidos em outros problemas de avaliação. Embora esta característica retire o caráter absoluto de uma avaliação, dispensa o uso exaustivo de testes para validação, comuns aos métodos estatísticos baseados em algum tipo de métrica.

Os resultados deste artigo podem contribuir no balizamento de políticas de melhoria acadêmica dos programas analisados. Porém, esta avaliação não pretende ser exaustiva. Uma avaliação dos mesmos programas com metodologia DEA, porém com variáveis diferentes, pode ser encontrada em ANGULO-MEZA (1998).

Embora o método e os parâmetros usados sejam altamente relevantes em pós-graduação, a sua aplicação ao ensino de graduação não pode ser imediata. Neste caso, a transmissão de conhecimento é mais relevante que a sua produção. Logo, embora modelos DEA possam, e devam, ser usados na avaliação do ensino de graduação, as variáveis, as restrições e, de forma geral, toda a modelagem, devem ser bem diferentes

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R., ATHANASSOPOULOS, A., DYSON, R. G. Weights Restrictions and Value Judgements in Data Envelopment Analysis: Evolution, Development and Future Directions. **Annals of Operations Research**. v. 73, p. 13-34, 1997.
- ANGULO-MEZA, L. **Data Envelopment Analysis na determinação da eficiência dos Programas de Pós-Graduação da COPPE/UFRJ**. 1998. Tese (Mestrado em Engenharia de Produção) - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- BANKER, R.D., CHARNES, A., COOPER, W.W. Some models for estimating technical scale inefficiencies in Data Envelopment Analysis. **Management Science**. v. 30, p. 1078-1092, 1984.
- BOCLIN, R. Indicadores de Desempenho: Novas Estratégias da Educação Superior. **Ensaio - Avaliação e Políticas Públicas em Educação**. n. 7, p. 299-308, 1999.
- CHARNES, A., COOPER, W. W., RHODES, E. Measuring the Efficiency of Decision Making Units. **European Journal of Operational Research**. v. 2, p. 429-444, 1978.
- COOPER, W.W., SEIFORD, L.M., TONE, K. **Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software**. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2000.
- GOMES, E.G., SOARES DE MELLO, J.C.C.B., SERAPIÃO, B.P., LINS, M.P.E., BIONDI, L.N. Avaliação de Eficiência de Companhias Aéreas Brasileiras: Uma Abordagem por Análise de Envoltória de Dados. In: Setti, J.R.A., Lima Júnior, O.F. (Eds.). **Panorama Nacional da Pesquisa em Transportes 2001 – Anais do XV ANPET**. Campinas, SP, Novembro, v. 2, p. 125-133, 2001.
- LINS, M.P.E., ANGULO-MEZA, L. **Análise Envoltória de Dados e perspectivas de integração no ambiente de Apoio à Decisão**. Rio de Janeiro: Editora da COPPE, 2000.
- SOARES DE MELLO, J.C.C.B., LETA, F.R., FERNANDES, A.J.S., VAZ, M.R., SOARES DE MELLO, M.H.C., BARBEJAT, M.E.R.P. Avaliação Qualitativa e Quantitativa: uma Metodologia de Integração. **Ensaio – Avaliação e Políticas Públicas em Educação**. v. 9, p. 237-251, 2001
- SOARES DE MELO, J.C.C.B., LINS, M.P.E., SOARES DE MELLO, M.H.C., GOMES, E.G. Evaluating the Performance of Calculus Classes Using Operational Research Tools. **European Journal of Engineering Education**. v. 27, n. 2, p. 209-218, 2002.



THE MEASURE OF SCIENTIFIC RELEVANCE IN TO POST GRADUATION ENGINEERING COURSES

Abstract: *The academic excellence is not usually quantified; being only performed qualitative analysis. This aim of this is to evaluate the post-graduation engineering programs performance in its capacity of publishing its thesis. We use the Data Envelopment Analysis (DEA) approach in this task. We employed the constant returns to scale DEA model and the Assurance Region Method to impose constraints to the variables weights. It is also proposed an indicator that measures the scientific production relevance and visibility in a comparative way. The evaluation units (Decision-Making Units) are the 12 COPPE (UFRJ) Post-Graduation Engineering Programs, considering master and doctoral thesis as inputs and the various kinds of publications as outputs.*

Key-words: *Data Envelopment Analysis, Post Graduation Evaluation, Scientific Productivity.*