

## **Análise quantitativa comparada do ensino de Cálculo com computador**

### **Autores:**

\* Maria Helena Campos Soares de Mello - helena\_mello@yahoo.com.br

\*\*João Carlos Correia Baptista Soares de Mello - jcsmello@yahoo.com.br

\*\*\*Marcos Pereira Estellita Lins - lins@pep.ufrj.br

### **Instituição:**

\*Universidade Federal Fluminense - Coordenação do Básico de Engenharia - CTC

\*\*Universidade Federal Fluminense – Departamento de Matemática Aplicada

\*\*\*Universidade Federal do Rio de Janeiro - Programa de Engenharia de Produção

***Resumo:** Nos últimos anos tem sido moda experimentar o uso de programas de computador para “auxiliar” o ensino de Cálculo I. Sem desprezar a utilização de novos meios para o ensino, não se tem feito avaliações consistentes que apresentem dados quantitativos e mesmo qualitativos, melhores do que opiniões dos próprios envolvidos na experiência. Esse tipo de avaliação, naturalmente parece tendenciosa e carece da necessária objetividade.*

*Neste trabalho é descrita a experiência da UFF nesse campo, e é proposta uma metodologia para avaliação dos resultados. Tal metodologia utiliza uma técnica de Pesquisa Operacional, relativamente recente, chamada Análise Envoltória de Dados, que faz uma avaliação de eficiência comparando recursos utilizados e resultados obtidos pelas diversas turmas.*

## **1. INTRODUÇÃO**

A avaliação universitária é uma atividade em que há duas unanimidades. Ela é necessária, mas qualquer modelo de avaliação é fortemente atacado. Esse ataque constante tem reflexos negativos, pois são poucos os que se aventuram em desenvolver modelos de avaliação, por saberem que, na melhor das hipóteses, o seu trabalho será de pouco uso.

Como conseqüência, sucedem-se mudanças curriculares, metodológicas e várias outras, sem que se tenha uma idéia clara da sua validade. As avaliações, quando existem, são qualitativas (e feitas pelos que implantaram a mudança ou seus detratores) ou quando muito, usando índices muito simplistas, tais como número de reprovados, número de formandos, ou uma prova no final do curso. É, pois, imperativo criar e usar métodos consistentes de avaliação quantitativa e essencialmente comparativa (Boclin, 1999).

## **2. O CÁLCULO I NA UFF**

A disciplina de Cálculo I é, desde há vários anos, um marco para os alunos da área de Ciências Exatas e de Tecnologia. Com efeito é aí que é vista, pela primeira vez, um tipo de matemática completamente diferente da que se está habituado. As dificuldades inerentes a essa mudança provocam maus resultados e até desistências. Esses maus resultados foram criando o mito (não totalmente desprovido de fundamento) de que havia uma grande falta de base dos alunos para acompanhar o curso. Por isso, no início da década de 80, a carga horária semanal foi elevada de 4 para 6 horas, para haver tempo de dar essa base. Pouco depois foi introduzido o sistema de prova única, sem que se tenha notado nenhuma melhora sensível.

Em 1994 foi implantada uma grande reforma curricular nos cursos de Engenharia na UFF.

Alterando a tendência dominante, a carga horária de Cálculo I foi diminuída para 4 horas semanais, com a passagem de parte do conteúdo para Cálculo II. A idéia básica era que o problema vinha menos da falta de base e do tempo para dar a matéria, e mais da quantidade de conceitos novos que eram apresentados em poucos meses. Foi também abolido o sistema de prova única. Os resultados parecem ter sido satisfatórios.

É importante ressaltar que todas estas mudanças não tiveram uma avaliação objetiva, quantitativa e comparativa.

Finalmente, em 1998 uma nova mudança: algumas turmas passaram a ter 6 horas semanais, e as aulas dadas com alguns recursos computacionais. Este trabalho constitui uma primeira tentativa de avaliar essa mudança.

### **3. TURMAS COM COMPUTADOR**

A criação das turmas com computador não foi pioneira. Ela se insere no projeto PRODENGE, onde era dado financiamento para os cursos de Engenharia modernizarem o ensino. Havia a exigência de integração entre os ciclos básico e profissional, uso de informática e investimento no primeiro semestre. Assim, foram implantadas duas turmas a partir do primeiro período letivo de 1998, em caráter experimental, até o segundo período letivo de 1999, reduzindo-se para uma em 2000, sem que houvesse uma avaliação quantitativa ou qualitativa da experiência. Existem argumentos favoráveis e contrários à experiência e à sua manutenção. Os favoráveis acentuam a interatividade, os aspectos gráficos do que o professor simplesmente apresentava no quadro negro, como a construção de curvas e suas tangentes, cálculos de áreas de figuras planas, além do fato de ser mais moderno e atraente para o aluno que já tem hábito de usar o computador e fazer pesquisas na internet. Para os contrários, o fato de nem todos os alunos terem hábito de lidar com o computador, muitos não terem acesso à internet (muitos dos nossos alunos são oriundos de classes sociais menos favorecidas), faz com que alguns alunos tenham uma dificuldade adicional para aprender o cálculo, que é intrinsecamente difícil: o raciocinar com o infinitamente pequeno ou infinitamente grande e o conceito de limite. Há ainda a posição intermediária, dos que defendem a validade do uso do computador no ensino de Cálculo, mas numa etapa posterior, quando os principais conceitos já foram fixados (inclusive com exercícios manuais) e deve-se evitar a carga de trabalho braçal, como seria o caso das Equações Diferenciais. Ou seja, o debate acaba sendo infundável, como a eterna discussão sobre quando começar a utilização de calculadoras no ensino médio e fundamental.

### **4. AVALIAÇÃO QUANTITATIVA**

É necessário que se faça uma avaliação isenta e sem paixões. O problema central é analisar quantitativamente um conjunto de turmas de uma mesma disciplina, com alunos diferentes, com origens diferentes, recursos materiais e de horas de aulas diferentes. Pensou-se então em aplicar técnicas de avaliação de unidades produtivas, em que se utilizam recursos para transformar insumos em produtos. Os insumos são os alunos que ingressam no curso, com o nível de conhecimento que dispunham. Os produtos são os mesmos alunos que saem do curso, com um nível de conhecimento maior. Existem vários indicadores para medir o que significa nível de conhecimento, tanto na entrada como na saída, assim o significado de recursos utilizados. A necessidade de combinar todos estes critérios leva a utilizar uma técnica de pesquisa operacional, nascida em meados da década de 1970, conhecida por

Análise Multicritério [Roy, 1993]. Essa técnica exige que os critérios sejam estabelecidos de forma a não serem redundantes, sejam exaustivos e coerentes entre si. Ou seja, os critérios devem levar em conta todos os aspectos do problema, dentro das limitações da modelagem.

## **5. O VESTIBULAR E AS TURMAS DE CÁLCULO I NA UFF**

O objeto deste trabalho está intimamente relacionado com o que se faz nesta Universidade em particular. Assim, é conveniente que se esclareça o modelo de admissão à Universidade e critérios de aprovação e medida de rendimento nas turmas, bem como a inserção do Cálculo I no currículo dos cursos de Engenharia. A admissão à Universidade é feita por meio do concurso vestibular, e é realizado em duas etapas, sendo a primeira composta de provas com questões objetivas de todas as disciplinas do antigo segundo grau (Matemática, Física, Química, Biologia, História, Geografia, Língua Portuguesa e Língua Estrangeira) e a segunda, composta por provas discursivas sendo para os cursos de Engenharia, uma redação em prosa, em língua portuguesa e duas provas sendo uma de Matemática e outra de Física. Não há nota mínima para aprovação. A primeira fase elimina o candidato que tiver nota zero em qualquer das disciplinas. O candidato que não obtiver acerto em pelo menos cinquenta por cento do conjunto das questões também é eliminado. Por outro lado, em cursos com baixa procura, mesmo candidatos que não obtiveram os cinquenta por cento de acertos podem ser classificados para a segunda fase, caso restem menos de 3 candidatos para cada vaga. Também são eliminados, em cursos com grande procura, os candidatos que tenham quantidade de acertos tal que o número de candidatos classificados ultrapasse 10 candidatos para cada vaga. A segunda fase é classificatória, e não é há sentido em se falar em aprovação. Apenas em classificação. Só é eliminado o candidato que tenha nota zero em qualquer das provas.

Com relação ao Cálculo I, é uma disciplina obrigatória para todos os cursos de Engenharia, posicionada no primeiro período de estudos, com 60 horas no total, sendo cursada com mais 5 disciplinas, tendo o primeiro período uma carga horária total de 360 horas. Entre as disciplinas cursadas no mesmo período encontra-se Álgebra Linear. Cálculo I e Álgebra Linear são, em conjunto, requisitos para se poder cursar Cálculo II.

Para ser aprovado numa disciplina a nota mínima, numa escala de zero a dez, é seis. Numa mesma turma podem ser inscritos alunos de mais de um curso, alunos repententes e alunos novos (calouros).

## **6. ESCOLHA DOS CRITÉRIOS PARA AVALIAÇÃO**

Foram identificados três grandes classes de critérios, conforme já tinha sido previsto anteriormente: a qualidade do aluno que entra, a qualidade do aluno sai e a quantidade de recursos utilizada.

A quantidade de recursos deveria ser medida através dos meios materiais e físicos utilizados, salário do professor e para quantos alunos estes recursos foram utilizados. No entanto, alguns desses dados são difíceis de serem obtidos, não estão disponíveis ou são tantas as variáveis que inviabilizariam o estudo. Pode-se utilizar como medida da quantidade de recursos, a quantidade de horas de aula de cada turma. Convém observar que essa não é uma restrição séria ao modelo, uma vez que as turmas que usaram mais recursos materiais são aquelas que usaram mais horas de aula (as turmas que usavam a técnica computacional tinham 6 horas semanais de aula, enquanto que as demais tinham 4 horas de aula semanais): um parâmetro substitui o outro. Já o salário do professor não é um dado usado em tomadas de decisão acadêmicas, especialmente em Universidades públicas (que é o caso da UFF) e

portanto também não será usado. Por outro lado, um dado relevante é o número de alunos na turma. Esse número não é igual ao número de calouros, visto que pode haver alunos repetentes, e até alunos de cursos diferentes das Engenharias. Quanto maior o número de alunos, maior diluição no uso dos recursos materiais e menos atenção o professor pôde dar a cada calouro. Isso leva à consideração que os recursos materiais devem ser tomado *per capita*. Sendo  $H_j$  o número de aulas semanais da turma  $j$ , e  $N_j$  o número total de alunos dessa turma, será usado  $R_j = H_j/N_j$  como o parâmetro para quantificar os recursos materiais.

Medir a qualidade dos alunos que chegam à turma foi determinante para o fato de escolher alunos calouros, uma vez que é viável considerar que o nível de conhecimentos de um calouro pode ser igual ao que tinha no fim do ensino médio, enquanto que para o repetente não é possível saber o que ele pode ter acrescentado ao seu nível de conhecimentos nas diversas vezes que se inscreveu na disciplina. Então o nível de conhecimento do calouro, pode ser considerado função das notas que teve no vestibular. Como a análise é feita para turmas de Cálculo, é razoável considerar no modelo, apenas as notas de matemática no vestibular. Serão utilizadas as notas obtidas em matemática nas duas fases do vestibular como outro critério. No entanto, como a nota não se refere a um único aluno, mas ao conjunto de alunos (a turma), não se pode utilizar *uma única* nota, mas sim alguma medida representativa do conjunto de notas. Aqui há duas alternativas: a primeira é usar uma medida de tendência central, por exemplo, a média. A outra, é considerar o percentual de alunos que obtiveram no vestibular, nota acima de um determinado valor. Como no vestibular não há nota mínima para aprovação, esta última não tem sentido. Assim, a média será utilizada como critério. Então, tem-se os seguintes parâmetros medidores da qualidade dos alunos:

$MD_j$  Média dos alunos da turma  $j$  na prova discursiva do vestibular,

$MM_j$  Média dos alunos da turma  $j$  na prova de múltipla escolha do vestibular

O uso da nota no vestibular em anos diferentes poderia trazer distorções. No entanto, é opinião generalizada que, desde 1995, as provas de matemática do vestibular da UFF têm tido um nível de dificuldade muito semelhante. Veremos adiante que, mesmo assim, algumas distorções podem surgir, devido ao fato do aluno estar fazendo outras provas no mesmo dia.

Finalmente, deviam ser consideradas as condições do aluno: tipo de colégio onde estudou no ensino médio, idade, renda, tempo disponível para estudo, distância da residência à faculdade, etc. Infelizmente, esses dados além de não estarem disponíveis, é bastante razoável supor que estão suficientemente representados na nota obtida no vestibular.

Falta analisar a qualidade dos alunos ao final do curso. Uma medida dessa qualidade poderia ser através das notas obtidas. No entanto, essa medida, embora relevante, introduz distorções, a saber: adequação da avaliação aos itens a que foi dado ênfase no curso (didaticamente bom, mas não avalia se o aluno está realmente preparado), e a influencia de professores "carrascos" e "bonzinhos". Então, além das notas em Cálculo I, deve-se analisar o aproveitamento do aluno em matérias posteriores. É impossível, e nem sequer é útil, fazer essa análise para todas as matérias. Assim, a opção foi analisar o desempenho em Cálculo II dos alunos que foram aprovados em Cálculo I. Naturalmente, esta avaliação de desempenho sofre igualmente de algumas distorções, vindas do fato dos professores de Cálculo II também serem diferentes, e dos alunos aprovados em Cálculo I poderem ficar impossibilitados de cursar Cálculo II, por uma eventual reprovação em Álgebra Linear. Mas, como os alunos aprovados em Cálculo I acabam se dispersando por várias turmas de Cálculo II, e podem também ter cursado Álgebra Linear em turmas diferentes, a distorção é bem menor. Além disso, a diversificação de riscos de erro, acaba por reduzir o risco de erro total do indicador final.

As mesmas considerações feitas anteriormente sobre medidas de tendência central, e percentuais de notas acima de um certo valor continuam válidas. É de notar apenas que, dentro do curso de Engenharia já existe nota mínima para aprovação, o que valida o uso de uma medida de aprovação. São então considerados na avaliação os seguintes parâmetros:

$A1_j$  - Percentual de calouros que foram aprovados na turma  $j$  de Cálculo I (número de aprovados dividido pelo número de inscritos)

$M1_j$  - Média dos calouros na turma  $j$  de Cálculo I

$A2_j$  - Percentual dos alunos inscritos na turma  $j$  de Cálculo I que foram aprovados em Cálculo II no semestre seguinte

$M2_j$  - Média das notas em Cálculo II, dos alunos aprovados na turma  $j$  de Cálculo I

## 7. APRESENTAÇÃO DOS DADOS

À época da realização deste estudo só foi possível incluir turmas até o primeiro semestre de 1998, ano em que começaram as turmas com uso de computador. Para aumentar a base de comparação, foram incluídas as turmas de 1997. As turmas são identificadas pela sua letras e por três dígitos, sendo o primeiro referente ao semestre e os outros dois ao ano. Os dados obtidos são resumidos na tabela 1.

Tabela 1 - Resumo dos dados

	<b>A1</b>	<b>M1</b>	<b>A2</b>	<b>M2</b>	<b>R</b>	<b>MM</b>	<b>MD</b>
<b>A197</b>	0,62	0,504	0,57	0,706	0,476	0,715	0,647
<b>B197</b>	0,80	0,572	0,64	0,616	0,455	0,719	0,678
<b>D197</b>	0,42	0,384	0,28	0,658	0,556	0,718	0,630
<b>E197</b>	0,54	0,522	0,49	0,691	0,571	0,713	0,707
<b>A297</b>	0,18	0,303	0,11	0,652	0,444	0,657	0,502
<b>B297</b>	0,43	0,413	0,30	0,586	0,500	0,660	0,522
<b>D297</b>	0,62	0,487	0,38	0,572	0,588	0,615	0,517
<b>E297</b>	0,50	0,416	0,18	0,515	0,625	0,643	0,486
<b>A198</b>	0,80	0,629	0,43	0,825	0,370	0,716	0,533
<b>D198</b>	0,68	0,534	0,63	0,726	0,417	0,677	0,511
<b>J198</b>	0,77	0,617	0,58	0,645	0,698	0,704	0,537
<b>K198</b>	0,70	0,618	0,53	0,734	1,000	0,693	0,459

As turmas que estavam sob experiência são a J198 e a K198.

Todos os resultados foram normalizados, para posterior facilidade de uso dos métodos quantitativos.

Dentre todas essas variáveis, decidir quais são critérios relevantes, exige conhecimento do problema, ou o uso de alguma técnica de análise de relevância (Lins, 1999). Neste caso optou-se por considerar que todos são relevantes.

Nem todos os critérios que medem recursos (inputs) ou produtos (outputs) são independentes entre si. Afim de eliminar redundâncias, são calculados os coeficientes de correlação entre os inputs, e entre os outputs. Foi utilizado o MS Excel para o cálculo destes coeficientes e são apresentados na Tabela 2 para os inputs e na Tabela 3 para os outputs.

Tabela 2 - Correlações entre os inputs

	<b>Recursos</b>	<b>MM</b>
<b>MM</b>	-0,01	
<b>MD</b>	-0,34	0,64

Tabela 3 - Correlação entre os outputs

	<b>A1</b>	<u><b>M1</b></u>	<b>A2</b>
<u><b>M1</b></u>	0,95		
<b>A2</b>	0,83	0,82	
<b>M2</b>	0,37	0,52	0,41

Os coeficientes de correlação superiores a 0,9 estão sublinhados nas tabelas, o que indica que uma das variáveis deve ser descartada. Em relação aos outputs descartaram-se as médias: é melhor que uma turma tenha boa aprovação do que as notas dos seus alunos serem muito altas.

As figuras 1 e 2 apresentam gráficos que correlacionam algumas variáveis.

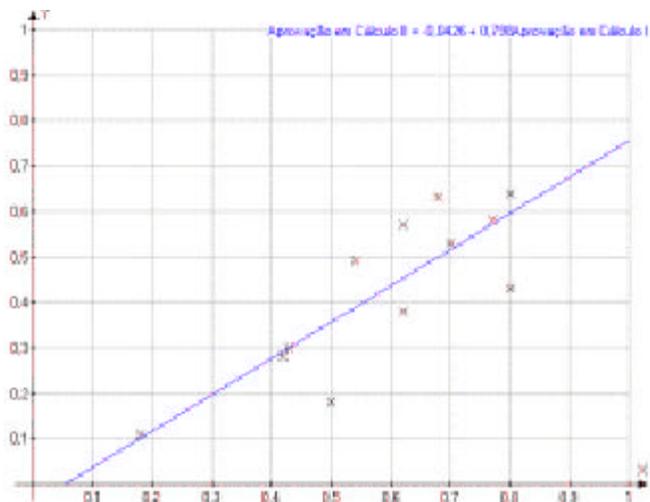


Figura 1 - Correlação entre aprovações nos Cálculos I e II:  
Correlação=0,83

Analisando as aprovações em Cálculo I e II (Figura 1) tiram-se algumas conclusões bem interessantes. Apesar da correlação ser alta, nota-se claramente a existência de alguns grupos: acima da reta, colados na reta e abaixo da reta. As turmas plotadas acima da reta

indicam que a aprovação em Cálculo I foi menor do que deveria, quando comparada com a aprovação dos mesmo alunos em Cálculo II. Ou seja, foram turmas em que o professor foi mais rigoroso. De forma semelhante, as turmas plotadas abaixo da reta indicam turmas em que o professor foi benevolente.

Uma última conclusão é com respeito à aparente baixa correlação das notas da prova discursiva com o desempenho dos alunos. Tomando como exemplo a aprovação em Cálculo II pode-se concluir que há vários grupos de correlação, conforme a figura 3.

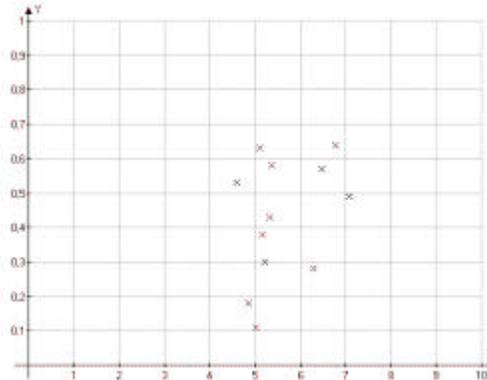


Figura 2 - Correlações entre outputs e inputs: x=média da prova discursiva, y=aprovação em Cálculo II

Vê-se que existem alguns grupos de correlação. Em especial, as turmas de 98 tiveram um bom desempenho em Cálculo II e mau na prova discursiva, apesar de terem ido bem na objetiva. Isso pode ser explicado pelo grau de dificuldade da prova discursiva de física em 1998. Apesar da prova de matemática não ter sido difícil, a dificuldade de outra prova feita ao mesmo tempo fez as médias baixarem.

## 8. O MODELO DEA

A maior parte dos modelos multicritério apresentam a desvantagem de uma grande arbitrariedade do avaliador, ao estabelecer os pesos de cada critério. Por isso, optou-se pelo uso do método Análise Envoltória de Dados, ou DEA (Lins 2000). Este método calcula os pesos de cada critério de forma a avaliar cada unidade da forma mais favorável a ela, respeitando certas limitações matemáticas.

Em termos mais rigorosos, o método considera cada unidade (neste caso cada turma) a ser avaliada como algo que transforma  $n$  inputs  $y_{ik}$ ,  $i = 1, \dots, n$ , em  $m$  outputs  $x_{jk}$ ,  $j = 1, \dots, m$ . O modelo calcula a eficiência de cada unidade através do seguinte problema de programação fracionária:

$$ef_k = Máx \frac{\sum_{j=1}^m u_{jk} \cdot x_{jk}}{\sum_{i=1}^n v_{ik} \cdot y_{ik}}, \text{ com as restrições de } \frac{\sum_{j=1}^m u_{jk} \cdot x_{jk}}{\sum_{i=1}^n v_{ik} \cdot y_{ik}} \leq 1, \forall k; u_{jk} \text{ e } v_{ik} \text{ não negativos.}$$

Mediante alguns artifícios matemáticos, este modelo pode ser linearizado, transformando-se em um Problema de Programação Linear.

Como modelo multicritério, o DEA apresenta a vantagem de baixa arbitrariedade mas, na versão apresentada, não respeita o princípio da exaustão, já que alguns critérios de avaliação podem ser desconsiderados. Isso acontece quando o modelo lhes atribui peso zero. Por esse motivo é comum várias unidades apresentarem eficiência 100%, o que obriga ao uso de técnicas adicionais para o seu ordenamento.

## 9. APLICAÇÃO DO MODELO

Usando como inputs os recursos de cada turma, e as variáveis que medem a qualidade dos alunos no início do curso, e como outputs as variáveis que medem a qualidade dos alunos no final do curso, foi construído um modelo DEA básico com 3 inputs e 3 outputs. As eficiências foram calculadas no software Frontier Analyst, e os resultados são apresentados na tabela 4.

Tabela 4 - Eficiência das turmas utilizando o Frontier Analyst

Turma	EFICIÊNCIA
<b>A197</b>	90,96
<b>B197</b>	100,00
<b>D197</b>	79,54
<b>E197</b>	87,51
<b>A297</b>	86,13
<b>B297</b>	77,06
<b>D297</b>	90,34
<b>E297</b>	69,60
<b>A198</b>	100,00
<b>D198</b>	100,00
<b>J198</b>	100,00
<b>K198</b>	100,00

Devido ao fato de as notas da prova discursiva de 1998 terem sido baixas, todas as turmas desse ano apresentaram eficiência de 100%. Além dessas, uma turma de 1997 conseguiu eficiência de 100%. Ou seja, num total de 12 turmas, o modelo considerou 5 como eficientes, não permitindo avaliar as turmas em que foi usado computador.

## 10. MODELO COM RESTRIÇÕES

Com a finalidade de melhorar a classificação das unidades, existem modelos DEA mais elaborados, tais como avaliação cruzada (Meza, 1999), agregação de eficiências parciais (Rangel 1999) e restrições aos pesos. Neste trabalho serão usadas outras técnicas de Análise Multicritério para estabelecer restrições aos pesos (Arraya, 1999). Para diminuir a arbitrariedade da escolha das restrições aos pesos, será usada a metodologia Macbeth (Bana e Costa, 1997). Esta metodologia parte de informações sobre as preferências dos avaliadores

para sugerir uma escala de pesos e seus limites de variação. São esses limites de variação que podem ser usados no DEA, pois o software Frontier Analyst permite a introdução direta dos valores quantitativos dessas restrições. As preferências sobre a importância dos critérios foram as seguintes:

Preferência sobre a predominância do acadêmico: essa restrição impõe que o input de recursos materiais usados não pode ser mais importante que os inputs relativos à condição dos alunos que iniciam o curso.

Preferência sobre a predominância das provas discursivas: essa restrição impõe que os inputs relativos à prova de múltipla escolha do vestibular não devem ser mais importantes que os relativos à prova discursiva.

Preferência sobre a predominância da avaliação posterior: aqui se estabelece que os parâmetros relativos ao desempenho da turma não devem ser mais importantes que parâmetros relativos à avaliação posterior, no caso, os coeficientes dos parâmetros relativos a Cálculo I devem ser menores ou iguais que os mesmos coeficientes para Cálculo II.

Restrições quanto à média: essas restrições procuram ver a real importância das medidas de tendência central. Em relação às matérias da faculdade é claro que é mais importante a aprovação que a nota, ou seja, é melhor uma aprovação de 100% tendo todos os alunos a nota mínima, que uma aprovação inferior, mas com alguns alunos com notas máximas. Então, em Cálculo I e II os parâmetros relativos às médias não podem ser mais importantes que os parâmetros relativos ao percentual de aprovação.

Restrição quanto à relevância de todos os parâmetros: essa restrição estabelece a não nulidade de nenhum coeficiente dos parâmetros considerados, ou seja, uma DMU não pode ficar artificialmente eficiente considerando um parâmetro irrelevante. Essa restrição é equivalente ao axioma da exaustão.

## 11. IMPLANTAÇÃO DO MODELO DEA COM RESTRIÇÕES

As preferências explicitadas acima, foram introduzidas no software Macbeth, gerando uma matriz de restrições aos pesos. Essas restrições tiveram que sofrer algumas modificações, para que os problemas de programação linear do modelo DEA pudessem ser resolvidos. A matriz modificada é apresentada na tabela 5.

Tabela 5- Limites para os pesos

<b>Critério</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
<b>A2</b>	16,70	54,47
<b>M2</b>	12,26	33,32
<b>A1</b>	11,12	33,27
<b>MD</b>	16,69	43,82
<b>MM</b>	16,68	39,98
<b>R</b>	10,01	33,28

Usando essas restrições aos pesos, foram novamente calculadas as eficiências. Os resultados, junto com a eficiência calculada pelo outro modelos podem ser vistas na Tabela 6, onde cada modelo é identificado pelos programas usados.

Tabela 6 - Eficiências das turmas obtidas pelos diferentes modelos

<b>Turma</b>	<b>EF Frontier</b>	<b>EF Frontier-Macbeth</b>
<b>A197</b>	90,96	81,27
<b>B197</b>	100,00	90,53
<b>D197</b>	79,54	50,99
<b>E197</b>	87,51	67,63
<b>A297</b>	86,13	27,72
<b>B297</b>	77,06	59,08
<b>D297</b>	90,34	72,60
<b>E297</b>	69,60	46,73
<b>A198</b>	100,00	93,56
<b>D198</b>	100,00	100,00
<b>J198</b>	100,00	86,58
<b>K198</b>	100,00	82,47

Apenas uma turma ficou eficiente. As turmas sob experiência perderam muita eficiência ao serem usadas todas as restrições, obrigando a não desprezar nenhum critério.. As turmas de 297, também ficaram pouco eficientes. Provavelmente o segundo semestre apresenta baixos resultados devido ao fato dos alunos ficarem 6 meses parados, perdendo ritmo de estudo.

Repare-se ainda que as duas turmas com computador ficaram menos eficientes que as outras turmas de 1998 e, mesmo com a vantagem do vestibular ter apresentado notas menores nesse ano, ficaram menos eficientes que algumas turmas de 1997

## 12. CONCLUSÕES

O uso de métodos quantitativos mostrou ser um avanço em relação à avaliação meramente opinativa. No entanto, eles devem ser usados sempre sabendo das limitações do modelo, e sempre analisando os resultados, para evitar eventuais distorções, como a provocada pelas notas do vestibular de 1998.

Esta avaliação foi possível porque, ao contrário de outras universidades, houve coexistência de turmas clássicas com as turmas que usaram computador. A possibilidade de estabelecer comparações levou ao uso de DEA.

Ficou evidente também que, analisar turmas é uma atividade que leva em conta vários fatores, tornando indispensável o uso da Análise Multicritério.

Finalmente, as turmas com computador mostraram não ter uma boa eficiência., principalmente quando se levou em conta resultados que os alunos obtiveram posteriormente. Embora de forma preliminar, pois este estudo englobou apenas 2 das turmas que já tiveram aula com computador, estas turmas parecem não ter atingido os objetivos pretendidos, mostrando eficiência inferior às demais.

## 13. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Araya, M.C.G., Lins, M.P.E., Gomes, L.F.A.M, *A integração entre a Análise de Envoltória de Dados e o Apoio Multicritério à Decisão: Uma Revisão*, Anais do

- XXXI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Juiz de Fora, Minas Gerais, outubro, 1999.
- [2] Bana e Costa, C.A., Vansnick, J.C., *MACBETH - An interactive path towards the construction of a cardinal value functions*, International Transactions in Operations Research, v.1, 1994, pp.489-500.
  - [3] Bana e Costa, C.A., Vansnick, J.C., *Applications of the MACBETH approach in the framework of an additive aggregation model*, Journal of Multi-Criteria Decision Analysis, v.6, 1997, pp.107-114.
  - [4] Bana e Costa, C.A., Vansnick, J.C., *Cardinal Value Measurement With Macbeth*, Research Paper, n13, CEG-IST, Lisboa, 1999
  - [5] Banker, R. D., Charnes, A., Cooper W.W., *Some models for estimating Technical and Scale inefficiencies in Data Envelopment Analysis*, Management Science, v. 30, n. 9, 1984, pp. 1078-1092.
  - [6] Boclin, R., *Indicadores de Desempenho: "Novas Estratégias da Educação Superior"*, Ensaio - Avaliação e Políticas Públicas em Educação, v. 7, 1999, pp. 299-308.
  - [7] Charnes, A., Cooper, W. W., Rhodes, E., *Measuring the Efficiency of Decision-Making Units*, European Journal of Operational Research, v. 2, 1978, pp. 429-444.
  - [8] Duarte, V.C.A., *Indicadores Tecnológicos em um Contexto de Decisão Multicritério: Fundamentação Teórica e Aplicação de Sistemas Especialistas em Estudo de caso*, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 1997.
  - [9] Fardel, M.J., *The measurement of productive efficiency*, Journal of the Royal Statistical Society, Series A, General, 120,Part 3, 1957, pp. 253-281.
  - [10] Lins, M.P.E., Meza, L.A., *Análise Envoltória de Dados e perspectivas de integração no ambiente do Apoio à Decisão*, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2000.
  - [11] Lins, M.P.E., Moreira, M.C.B., *Método I-O para seleção de variáveis em modelos de Análise de Envoltória de Dados*, Pesquisa Operacional, v. 19, 1999, pp. 39-49.
  - [12] Meza, L.A., Lins, M.P.E., *Incremento da discriminação na Análise de Envoltória de Dados utilizando avaliação cruzada e a sua aplicação na determinação da eficiência nos programas de Pós-Graduação da COPPE-UFRJ*, Anais do XXXI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Juiz de Fora, Minas Gerais, outubro, 1999.
  - [13] Rangel, L.A.D., Lins, M.P.E., Gomes, L.F.A.M, *Agregação parcial das eficiências das unidades de decisão em análise envoltória de dados*, Anais do XXXI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Juiz de Fora, Minas Gerais, outubro, 1999.
  - [14] Roy, B., Bouyssou, D., *Aide Multicritère à la Décision: Méthode et cas*, Economica, Paris, 1993.