

SISTEMATIZAÇÃO DO PROCESSO DE ESCOLHA DOS MODELOS E PERSPECTIVAS DA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS POR MEIO DE UM SISTEMA ESPECIALISTA

Enzo Barberio Mariano (EESC-USP)

ebmariano@bol.com.br

Daisy Aparecida do Nascimento Rebelatto (EESC-USP)

daisy@prod.eesc.usp.br



Um dos maiores desafios para as organizações é a determinação de sua eficiência produtiva, sendo que para ajudá-las a superá-lo, foram desenvolvidas algumas técnicas como a Análise Envoltória de Dados (DEA). Esse artigo teve o objetivo de: (a) elaborar uma taxionomia que permitisse construir um modelo de referência para a DEA, (b) utilizá-la para sistematizar o processo de escolha entre os diversos modelos e perspectivas existentes para essa técnica e (c) programar essa sistematização em um sistema especialista. Visando atingir esses objetivos foi necessário: (a) uma breve revisão sobre a DEA e (b) uma pesquisa de termos, tanto na literatura quanto em dicionários. A taxionomia desenvolvida por esse artigo foi baseada nos conceitos de: método, técnica, modelo e perspectiva. Já o sistema especialista, que foi implementado no programa Expert SINTA, foi construído para trabalhar em etapas, por meio de uma árvore de decisões. Esse sistema pode servir não apenas como um instrumento de escolha, mas de também como um instrumento de ensino e aprendizagem sobre a DEA.

Palavras-chaves: Eficiência Produtiva; Modelo de referência; Sistema especialista; Análise Envoltória de Dados (DEA);

1. Introdução

Eficiência pode ser definida como a capacidade de se utilizar, da melhor maneira possível, os recursos disponíveis e as condições estruturais, visando obter um desempenho ótimo. Pode-se medir a eficiência de um sistema pela divisão entre um indicador de desempenho desse sistema e o valor máximo que esse indicador poderia alcançar. Dentro dos diversos tipos de sistemas em que se pode utilizar o conceito de eficiência, têm-se como um dos mais importantes as “Unidades Tomadoras de Decisões” (*Decision Making Units - DMUs*), que se caracterizam por produzirem um conjunto de saídas (*outputs*) a partir de um conjunto de entradas (*inputs*), e que dão origem ao conceito de “eficiência produtiva”, que é baseada no indicador de desempenho chamado de “produtividade” (que é a relação entre os *outputs* e *inputs* de uma DMU).

Devido à crescente complexidade dos ambientes empresariais, o número de variáveis que deve ser incluída no cálculo da eficiência produtiva, tem-se tornado cada vez maior. Como resultado, a determinação da eficiência produtiva se tornou um problema bastante complexo, exigindo o desenvolvimento de técnicas que pudessem facilitá-lo. Essas técnicas surgiram a partir dos trabalhos de Pareto-Koopmans (1951), Debreu (1951) e Farrel (1957).

Existem duas classes de técnicas de análise de eficiência produtiva: (a) as paramétricas, que são apoiadas numa função produção, que relaciona os *inputs* às quantidades médias de *outputs* que eles podem produzir e as (b) não-paramétricas, que não necessitam da determinação da função produção, pois se baseiam no conceito de fronteira de eficiência. Dentre as técnicas não-paramétricas, tem-se como uma das mais importantes a Análise Envoltória de Dados (DEA).

Desde que foi criada, a partir do trabalho de Charnes, Cooper e Rhodes (1978), a DEA evoluiu bastante e foi constantemente sendo aprimorada, o que gerou complexidades no que diz respeito à escolha da melhor formulação a se utilizar. Essa dificuldade persiste, apesar das muitas compilações existentes, tanto nacionais, como o livro de Lins e Meza (2000), quanto internacionais, como o livro de Cooper et al. (2000) e os artigos de Seiford (1996) e Cook e Seiford (2008).

Procurando trazer uma nova abordagem para esse problema, esse artigo teve o objetivo de: (a) analisar alguns modelos e perspectivas da técnica DEA, buscando a elaboração de uma taxionomia que permitisse representá-los, (b) elaborar um processo sistemático de escolha entre as diferentes formulações existentes para a DEA e (c) implementar esse processo em um sistema especialista.

Visando a concretização desses objetivos, esse artigo realizou uma pesquisa teórico-conceitual de caráter descritivo, baseada em pesquisa bibliográfica. A revisão bibliográfica se concentrou tanto nos termos que pudessem compor a taxionomia para classificar a DEA, quanto nos modelos e perspectivas da DEA propriamente dita. A pesquisa sobre os possíveis termos para a taxionomia se deu tanto na literatura relacionada ao tema, quanto em dicionários da língua portuguesa. Após essa fase de revisão, as informações coletadas foram classificadas e sistematizadas segundo a taxionomia estabelecida e após essa sistematização, os resultados foram implementados em um sistema especialista.

2. Análise Envoltória de Dados (DEA)

A Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis* - DEA) é uma técnica baseada em programação linear, que possui o objetivo de medir o desempenho de DMUs, quando a presença de múltiplas entradas e múltiplas saídas torna difícil a comparação.

A DEA é uma abordagem de programação matemática, alternativa aos métodos estatísticos tradicionais, que possibilita estimar a eficiência produtiva de uma DMU, mediante a construção empírica de uma fronteira de eficiência, sendo que a DMU será comparada com a sua projeção nessa fronteira. Vale ressaltar que ao se comparar uma DMU com a sua projeção na fronteira, garante-se que estejam sendo comparadas várias DMUs ao mesmo tempo, visto que para construção da fronteira são necessários os dados dessas várias DMUs. A eficiência produtiva calculada pela DEA é dita relativa, no sentido de que se baseia na comparação da produtividade de uma DMU com a produtividade de seus pares, e não na comparação com algum ideal teórico.

A Análise Envoltória de Dados tem a capacidade incorporar múltiplas entradas e múltiplas saídas no cálculo da eficiência, sem a necessidade de conversão para uma base comum (nem mesmo uma normalização é necessária). A DEA teve origem nos trabalhos de Charnes, Cooper e Rhodes (1978) e de Banker, Charnes e Cooper (1984), sendo ambos os trabalhos baseados em Farrel (1957).

3. Modelo de referência da DEA

A taxionomia formalizada nesse artigo, com o objetivo de ser um modelo de referência para a DEA, se baseia nos conceitos de: método, técnica, modelo e perspectiva. Segundo Camarinha-Matos e Afsarmanesh (2007), um modelo de referência é uma representação genérica e abstrata das entidades que se encontram dentro de um dado domínio e de suas relações.

Um método é uma seqüência lógica de passos ou operações para se realizar determinada tarefa ou atingir determinado objetivo. Segundo Houaiss (2001), método é o procedimento, técnica ou meio de se fazer alguma coisa de acordo com um plano; também pode ser um processo lógico, organizado e sistemático de pesquisa, instrução, investigação, apresentação e etc. Segundo Ferreira (1975), método é o caminho pelo qual se atinge um objetivo (essa definição será adotada para fins desse artigo).

Uma técnica, por outro lado, possui as mesmas duas definições pelos dois dicionários: (a) um conjunto de processos que acompanham os conhecimentos científicos e são utilizados para investigar e transformar a realidade observada ou; (b) um procedimento ou um conjunto de procedimentos empregados para obter um determinado resultado ou alcançar um determinado objetivo (HOUAISS, 2005; FERREIRA, 1975). Para fins desse trabalho uma técnica será definida como um conjunto de procedimentos, geralmente de caráter matemático, empregado dentro do contexto de um método, para se determinar um conjunto de resultados. Para se utilizar uma técnica de qualquer natureza é necessário que a realidade sobre a qual essa técnica irá atuar seja representada e em muitos casos, simplificada. Para resolver essa questão fez-se necessário à definição dos conceitos de modelo e perspectiva.

Segundo Houaiss (2001), modelo pode ser: (a) uma construção teórica, de natureza matemática, que visa estabelecer a essência de determinada estrutura; (b) uma tradução ou interpretação da realidade e; (c) um conjunto de hipóteses sobre a estrutura ou o

comportamento de um sistema, a partir do qual se procura explicá-lo ou prevê-lo. Todas essas definições se aplicam para o caso deste artigo.

Segundo Houaiss (2001), perspectiva é a forma ou aparência sob a qual algo se apresenta. No contexto desse artigo, perspectiva será definida como cada um dos diferentes aspectos, ângulos ou pontos de vista sob os quais um modelo pode ser analisado. As perspectivas de um modelo são obtidas por meio de manipulações e simplificações que não alteram as hipóteses sob as quais esse modelo se sustenta; sendo assim, duas perspectivas de um mesmo modelo poderão conduzir a resultados iguais ou complementares a respeito da realidade que foi modelada sob um determinado conjunto de hipóteses. Para efeitos da construção do sistema especialista, as perspectivas de um determinado modelo podem ser divididas em diferentes níveis, sendo que cada perspectiva de dado um nível pode conter todas as combinações de perspectivas dos níveis hierarquicamente subordinados a ela. A Figura 1 ilustra o modelo de referência construído para a DEA:

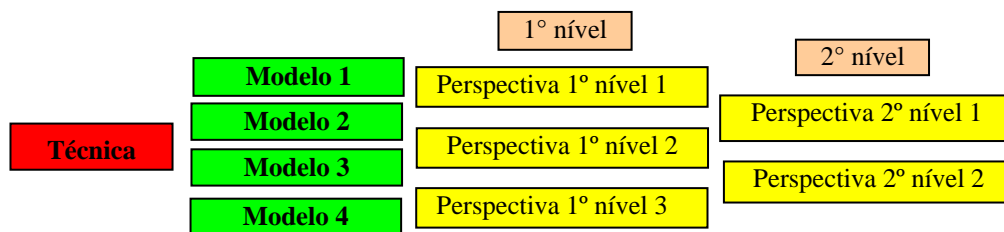


Figura 1: Modelo de referência para técnicas de análise de eficiência

4. Modelos da DEA

Serão analisados nesse artigo 9 modelos da técnica DEA: CCR, BCC, IRS, DRS, FDH, Aditivo Invariante, Aditivo Variante, Multiplicativo Invariante e Multiplicativo Variante. Cada modelo representará a realidade de maneira diferente, por meio de um conjunto de hipóteses que vão se referir: (a) à orientação adotada (se é radial ou mista), (b) ao tipo de retorno à escala adotado (se é constante, variável ou híbrido), (c) às DMUs utilizadas como referência (se serão apenas DMUs reais ou também DMUs virtuais – que são obtidas a partir de combinações lineares entre DMUs reais) e (d) à forma de se combinar os *inputs* e *outputs* (se por meio de adição ou multiplicação). O Quadro 1 apresenta as hipóteses adotadas por cada modelo.

Modelo	Retorno à escala	Orientação	DMUs de referência	Combinação entre os <i>inputs</i> e <i>outputs</i>
CCR	Constante	Radial	Reais e Virtuais	Linear
BCC	Variável	Radial	Reais e Virtuais	Linear
IRS	Híbrido (Constante e crescente)	Radial	Reais e Virtuais	Linear
DRS	Híbrido (Constante e decrescente)	Radial	Reais e Virtuais	Linear
FDH	Variável	Radial	Apenas reais	Linear
Aditivo Invariante	Constante	Mista	Reais e Virtuais	Linear
Aditivo Variante	Variável	Mista	Reais e Virtuais	Linear
Multiplicativo Invariante	Constante	Mista	Reais e Virtuais	Multiplicativa
Multiplicativo Variante	Variável	Mista	Reais e Virtuais	Multiplicativa

Quadro 1 - Comparação entre os modelos da técnica DEA

O primeiro modelo desenvolvido para a DEA foi o modelo CCR (homenagem aos autores) também conhecido como CRS (*Constant Returns to Scale* – retornos constantes à escala), apresentado em Charnes, Cooper e Rhodes (1978). Esse modelo adotava: retornos constantes à escala, orientação radial, combinação aditiva entre *inputs* e *outputs* e DMUs de referência tanto reais quanto virtuais. Com o passar do tempo, cada uma dessas características foi sendo modificada e novos modelos foram surgindo. O mais famoso foi o modelo BCC (homenagem aos autores) ou VRS (*Variant Returns to Scale* – retornos variáveis à escala), apresentado em Banker, Charnes e Cooper (1984).

A Hipótese de retornos constantes à escala (dos modelos CCR, Aditivo Invariante e Multiplicativo Invariante) considera que os *outputs* crescem proporcionalmente aos *inputs* em todas as regiões da fronteira, que possui o formato de uma reta. A hipótese de retornos variáveis à escala (dos modelos BCC, Aditivo Variante e Multiplicativo Variante), por outro lado, considera que a fronteira de eficiência possui o formato linear por partes e que nela existem 3 regiões distintas: (a) a crescente (em que os *outputs* crescem proporcionalmente mais que os *inputs*), (b) a constante (em que existe proporcionalidade) e (c) a decrescente (em que os *outputs* crescem proporcionalmente menos que os *inputs*) Por fim, existe a hipótese de retornos híbridos à escala, que considera que existe apenas duas regiões na fronteira: ou a crescente e a constante - no modelo IRS (*increasing returns to scale* – retornos crescentes à escala) - ou (b) a constante e a decrescente - no modelo DRS (*decreasing returns to scale* – retornos decrescentes à escala) (COOPER *et al.*, 2000).

As orientações radiais visam ou a minimização dos *inputs* ou a maximização dos *outputs*, sempre de forma separada. As orientações mistas, por outro lado, trabalham ao mesmo tempo na redução de *inputs* e no aumento de *outputs*; os modelos com orientação mista são os Aditivos, propostos em Charnes *et al.* (1985), e os Multiplicativos, propostos em Charnes *et al.* (1982). O que diferencia esses dois modelos é que enquanto os modelos Aditivos, assim como todos os demais, consideram que os *inputs* e *outputs* virtuais surgem a partir de combinações lineares, os modelos multiplicativos partem da hipótese de que a combinação entre os *inputs* e entre os *outputs* é multiplicativa e, portanto, não-linear. Os modelos aditivos têm a característica de utilizar a menor distância entre a DMU e a fronteira de eficiência ao fazer os seus cálculos. Já os modelos Multiplicativos, segundo Banker (2004), possuem a capacidade de modelar problemas que possuam uma superfície envoltória convexa em alguns pontos e côncava em outros, além de permitirem calcular as elasticidades.

Vale ressaltar que os modelos Aditivos e Multiplicativos são incapazes de determinar um índice de eficiência para cada DMU, determinando apenas o conjunto das DMUs eficientes. Esse fato fará com que esses modelos possuam um número de perspectivas menor do que o os modelos radiais, já que algumas perspectivas exigem a utilização desse índice de eficiência. Alguns trabalhos propuseram fórmulas para se calcular índices de eficiência utilizando as hipóteses dos modelos aditivos, sendo que entre esses trabalhos pode-se destacar os de: Green *et al.* (1997), Tone (2001) e Pastor *et al.* (1999); vale ressaltar que essas fórmulas não foram incluídas no sistema especialista desse artigo.

Por fim, há também o modelo FDH (*Free Disposal Hull* – Livre Disposição de Envoltória) que foi desenvolvido por Deprins *et al.* (1984) e apresenta as mesmas hipóteses do modelo BCC, com a diferença que ele utiliza como referência para os cálculos apenas DMUs reais, enquanto todos os outros modelos utilizam tanto DMUs reais quanto virtuais. A

fronteira do modelo FDH, apesar dele ter retornos variáveis à escala, não possui três regiões distintas como o modelo BCC, pois apresenta um formato de degraus. O modelo FDH, ao contrário dos outros modelos radiais que são baseados em programação linear, se baseia em programação inteira e devido a isso, possui um número de perspectivas menor do que a desses modelos.

5. Perspectivas da DEA

Constituindo o **primeiro nível** de perspectivas dos modelos DEA, têm-se inicialmente a perspectiva **fracionária**, que é a formulação original da DEA, mas que possui poucas aplicações práticas. Para que se possa trabalhar, é necessário linearizar essa perspectiva, sendo que para tal é necessário que se escolha uma orientação, que pode ser: (a) **aos inputs** (onde se mantém os *outputs* constantes e se minimiza os *inputs*) ou (b) **aos outputs** (onde se mantém os *inputs* constantes e se maximiza os *outputs*). O resultado obtido após essa linearização será um problema de programação linear conhecido como **forma dos multiplicadores**. Ao se aplicar os princípios da dualidade à forma dos multiplicadores, se obtém a **forma do envelope**. Os resultados da forma do envelope e da forma dos multiplicadores são diferentes e levam a informações complementares, sendo que enquanto na forma dos multiplicadores é possível se obter o peso sombra relacionado a cada *input* e *output*, na forma do envelope é possível determinar as metas para que as DMUs ineficientes atinjam a eficiência. Os modelos BCC, CCR, IRS e DRS podem utilizar todas essas perspectivas no seu primeiro nível; já os modelos aditivos e multiplicativos não possuem orientação, mas podem ser escritos na forma do envelope e na dos multiplicadores; o modelo FDH, por sua vez, possui orientação, mas só pode ser escrito na forma do envelope.

No **segundo nível** de perspectivas, têm-se inicialmente a **fronteira clássica**, que corresponde às formulações originais da DEA. Já a **fronteira invertida**, introduzida por Yamada *et al.* (1994) e Entani *et al.* (2002), serve para se lidar com os inúmeros empates obtidos pela fronteira DEA clássica, sendo que seu princípio é muito simples, bastando inverter os *inputs* com os *outputs*. Após o cálculo da eficiência com a fronteira invertida, poder-se-á determinar o índice combinado entre as fronteiras clássica e invertida que será capaz de discriminar as melhores DMUs dentre aquelas que haviam sido consideradas 100% eficientes; levará vantagem nesse índice as DMUs que forem eficientes de maneira mais uniforme (não dependendo de um único *input* ou *output*). Por fim, há a **fronteira difusa**, que segundo Mello *et al.* (2005), serve para os casos onde exista incerteza na medição de algum dos *inputs* ou dos *outputs*, que serão expressos como uma faixa de valores. Nesse caso, ter-se-á uma região difusa que é delimitada por 2 fronteiras, a otimista e a pessimista, sendo que a eficiência será obtida a partir do grau de pertença da DMU nessa região. Vale ressaltar que, no segundo nível, os modelos Aditivos e Multiplicativos só podem ser utilizados com a fronteira clássica; os outros modelos, por outro lado, podem ser utilizados com as três perspectivas que foram mencionadas nesse parágrafo.

No **terceiro nível** têm-se a utilização ou não de restrições de **ganho de soma zero**, que impõem a condição de que a soma dos *outputs* e/ou *inputs* do conjunto de DMUs analisado deve ser fixa. Essas restrições são bastante utilizadas, por exemplo, em situações em que o *output* considerado é a posição de liderança no mercado; nesses casos, para alguma DMU melhorar o seu nível de *output*, necessariamente outra terá que diminuí-lo. Segundo o teorema da determinação do alvo, para se calcular a eficiência nessa perspectiva basta multiplicar o índice da fronteira clássica por um fator denominado coeficiente de redução

(GOMES e LINS, 2008). Alguns trabalhos relevantes sobre essa perspectiva são encontrados em: Gomes e Lins (2008), Avellar et al. (2007) e Lozano e Villa (2004). Vale ressaltar que os modelos aditivos e multiplicativos não são utilizados com restrições de ganho de soma zero, já que não calculam um índice de eficiência.

No **quarto nível** têm-se a utilização ou não de restrições aos pesos. Muitas vezes os pesos atribuídos livremente pelo DEA entram em contradição com a realidade e por isso pode ser necessário restringi-los. Meza e Lins (2004) identificaram três tipos de restrições aos pesos utilizadas na DEA: (a) restrições diretas aos pesos, desenvolvidas por Dyson e Thanassoulis (1988); (b) restrições de regiões de segurança do tipo I, também chamada de *cone ratio*, e do tipo II, desenvolvidas por Thompson et al. (1990) e; (c) restrições aos *inputs* e *outputs* virtuais, desenvolvidas por Wong e Beasley (1990).

Por fim, no **quinto nível**, têm-se a utilização ou não de variáveis não-controláveis. As variáveis de *input* ou *output* não-controláveis (também conhecidas como variáveis ambientais) são informações relevantes para o cálculo da produtividade, mas sobre as quais a DMU não tem controle. Segundo Rugigero (1998), essas variáveis afetam a forma com que os *inputs* controláveis são transformados em *outputs*, ou seja, afetam a função produção. A introdução das variáveis não-controláveis aos modelos DEA foi concebida por Banker e Morey (1986).

6. Sistemas especialistas

Os sistemas especialistas (SE) são uma subárea do campo de pesquisa conhecido como Inteligência Artificial (IA). Segundo Barr e Feigenbaum (1981), a inteligência artificial é a parte da ciência da computação que compreende o projeto de sistemas computacionais que exibam características associadas, quando presentes no comportamento humano, à inteligência. A IA está dividida em três áreas de pesquisa relativamente independentes: (a) o desenvolvimento de programas que leiam, falem ou entendam a linguagem humana, (b) o desenvolvimento de robôs inteligentes e (c) o desenvolvimento de programas que simulem o comportamento de especialistas humanos (sistemas especialistas).

Segundo Jackson (1998), um Sistema Especialista (SE) é um tipo de sistema baseado no conhecimento especialmente projetado para emular a especialização humana em algum domínio específico. Os sistemas especialistas foram desenvolvidos a partir da necessidade de processar informações do tipo não-numéricas, sendo capazes, desde que devidamente orientados e alimentados, de apresentar conclusões sobre um determinado tema. A idéia básica de um sistema especialista é desenvolver programas que permitam o armazenamento e o seqüenciamento de informações, além da auto-aprendizagem.

Os sistemas especialistas, de forma geral, podem ser divididos em quatro partes: (a) uma base de regras, que reúne o conhecimento do especialista; (b) um motor de inferência, que é o responsável por examinar o conteúdo da base de regras; (c) uma memória de trabalho, onde os fatos e regras utilizados pelo motor de inferência são temporariamente registrados (pode ser comparada com a memória RAM do computador) e; (d) uma interface, que é a parte do sistema que irá interagir diretamente com o usuário.

Um dos pontos mais importantes ao se projetar um sistema especialista é a escolha do sistema de representação do conhecimento que dará origem a base de regras. Entre os tipos mais comuns de formalismos utilizados para se representar o conhecimento estão: (a) as redes

semânticas, (b) os quadros (*frames*), (c) os roteiros (*scripts*), (d) a lógica e as (e) regras de produção.

Dentre essas várias maneiras existentes para se representar o conhecimento, uma das mais utilizadas são as regras de produção. As regras de produção podem ser definidas como um conjunto de sentenças do tipo “Se – Então” onde um conjunto de variáveis são trabalhadas por meio do princípio da causa (“Se”) e efeito (“Então”). Segundo Jackson (1998), as principais vantagens dessa representação são: (a) a modularidade (b) a facilidade de edição e (c) a transparência.

Uma regra de produção pode ser dividida em duas partes: a “cauda” e a “cabeça”. A “cauda” é constituída por um conjunto de sentenças que se localizam logo após o cognitivo “Se” e a “cabeça” é formada por um conjunto de sentenças que se encontra logo após o cognitivo “Então”. Em suma, a “cauda” apresenta um conjunto de causas que devem ser satisfeitas para produzir o efeito dado pela “cabeça”. Cada sentença de uma regra de produção, tanto da cauda quanto da cabeça, deve ser constituída de: (a) uma variável, (b) um operador (=, >, <, ≤ ou ≥) e (c) um valor que deve ser atribuído a essa variável.

O Expert SINTA é uma ferramenta computacional, desenvolvida pela Universidade Federal do Ceará, que utiliza técnicas de inteligência artificial para geração automática de sistemas especialistas. Esse tipo de ferramenta é denominado SHELL - *software* de desenvolvimento de sistemas especialistas. O Expert SINTA tem a característica de construir seus sistemas especialistas a partir de regras de produção.

A construção de um SHELL não é trivial, tendo em vista que este *software* deve ser capaz de tratar de problemas complexos, que necessitam da intervenção de um especialista, e de chegar às mesmas conclusões a que ele chegaria. Uma das vantagens do Expert SINTA é que ele possui um suporte visual que facilita muito a sua utilização, pois traz um ambiente de trabalho que possibilita, tanto ao projetista quanto ao usuário final, a utilização do programa sem que seja necessário um conhecimento aprofundado de informática.

7. Construção do sistema especialista da DEA

Os modelos e as perspectivas da DEA devem ser escolhidos de acordo com as informações que se tem em mãos e com os resultados que se deseja obter. Por exemplo, caso se queira calcular tipos diferentes de eficiência produtiva, devem-se utilizar modelos diferentes, já que a obtenção desses tipos dependerá das hipóteses de retorno a escala adotadas.

Sendo assim, o processo de escolha entre os modelos e perspectivas da DEA pode ser representado como uma árvore de decisão, onde se inicia pela escolha do modelo e se chega até o último nível de perspectiva. Cada decisão tomada em uma etapa influenciará nas escolhas realizadas nas etapas posteriores e, por isso, a escolha do melhor vetor modelo/perspectiva deverá ser realizada em etapas, o que, de certa forma, facilita a modelagem desse processo na forma de regras de produção. Para resumir o processo, pode-se dizer que a cada decisão que será tomada pelo SE, automaticamente é escolhido um ramo da árvore de decisão, sendo que todas as possibilidades presentes nos outros ramos serão automaticamente eliminadas.

O sistema especialista desenvolvido por esse artigo interage com o usuário por meio de uma seqüência de perguntas de múltipla escolha que podem ser divididas em duas

categorias: (a) Perguntas referentes ao tipo de análise que o usuário deseja; (b) perguntas referentes ao tipo e a quantidade de dados que o usuário possui. A primeira classe de perguntas servirá para que o usuário tenha uma idéia mais clara das diversas possibilidades de análise disponibilizadas pela DEA. Já as perguntas da segunda classe funcionarão como uma espécie de trava para as vontades do usuário, sendo que caso o tipo de análise que ele deseje entre em contradição com os dados que possui, o sistema será capaz de avisá-lo.

Uma limitação do sistema especialista desse artigo é que ele só será capaz de indicar como resposta uma única combinação de modelo e perspectiva de cada vez; essa limitação se reflete no fato de que, às vezes, o usuário poderá ser ver frente a perguntas nas quais ele poderia ter vontade de escolher mais de uma alternativa, visto que deseja vários tipos de informações, mas no sistema desse artigo ele só poderá escolher uma alternativa de cada vez. Essa limitação, porém, pode ser uma vantagem, pois muito mais do que simplesmente um mecanismo de consulta, o SE desse artigo pode funcionar como um *software* de ensino-aprendizagem, já que, por meio dele, o usuário poderá ter a visão quase imediata das conseqüências de todas as suas escolhas, inclusive das contradições que cometeu.

Para projetar um sistema especialista, devem-se seguir os seguintes passos: (a) cadastrar as variáveis; (b) especificar, dentre essas variáveis, quais são as variáveis objetivo do sistema e quais são as variáveis de interface; (c) cadastrar a base de regras de produção; (d) definir, para cada variável de interface, como será a conexão do SE com o usuário e; (e) rodar o sistema.

As variáveis objetivo de um SE são aquelas que são fornecidas como resposta ao fim da análise, ou seja, são as variáveis que representam o objetivo ou meta do sistema especialista. No caso desse artigo o objetivo do SE é encontrar o melhor vetor modelo/perspectiva para a DEA, a partir de algumas informações requeridas ao usuário. Como esse vetor admite diversas combinações diferentes, foi necessário que se definissem 6 variáveis como objetivo do sistema, que foram denominadas de: (a) “Modelo”; (b) “Perspectiva de 1º nível”; (c) “Perspectiva de 2º nível”; (d) “Perspectiva de 3º nível”; (e) “Perspectiva de 4º nível” e; (f) “Perspectiva de 5º nível”. Cada uma dessas variáveis poderá assumir diversos valores, que foram especificados nos itens 4 e 5 desse artigo. Foi omitida como possível resposta da variável “perspectiva de primeiro nível”, a perspectiva “Fracionária”, pois ela não apresenta aplicações práticas, Vale ressaltar que as variáveis também poderão assumir o valor “Contradição”, que será atribuído nos casos em que forem escolhidas aplicações que sejam incompatíveis com os dados que se têm em mãos.

As variáveis de interface são aquelas que representam as informações que são requeridas diretamente aos usuários. No sistema especialista desse artigo cada uma dessas variáveis será denominada como “Pergunta n”, onde n é um número natural. Cada resposta a essas perguntas representa um ramo diferente da árvore de decisão e, portanto, cada uma dessas respostas dará origem a uma regra de produção diferente. O Quadro 2 apresenta as variáveis de interface, as interfaces e as regras de produção referentes a escolha do **modelo**.

Pré-requisito	Variável	Interface	Valores que pode assumir	Conseqüência
Sem requisito	Pergunta 1	Você deseja calcular a eficiência com uma orientação...	a) Apenas aos <i>inputs</i> ou aos <i>outputs</i> .	Vá para a Pergunta 5
			b) Mista, simultaneamente aos <i>inputs</i> e <i>outputs</i> .	Vá para a Pergunta 2

Pergunta 1 = b	Pergunta 2	Você deseja determinar um índice de eficiência para cada DMU?	a) sim	Modelo = “Contradição”
			b) não	Vá para as perguntas 3 e 4
Pergunta 2 = b	Pergunta 3	Você deseja que as combinações entre os <i>inputs</i> e os <i>outputs</i> sejam...	a) Lineares	Modelo = “Aditivo...”
			b) Multiplicativas	Modelo = “Multiplicativo...”
	Pergunta 4	O seu problema apresenta retornos à escala...	a) Constantes	Modelo = ...Invariante”
			b) Variáveis	Modelo = ...Variante”
Pergunta 3 = a	Pergunta 5	O seu problema apresenta retornos à escala...	a) Constantes	Modelo = “CCR”
			b) Variáveis e utiliza DMUs reais e virtuais	Modelo = “BCC”
			c) Variáveis e utiliza apenas DMUs reais.	Modelo = “FDH”
			d) Crescente e constante	Modelo = “IRS”
			e) Constante e decrescente	Modelo = “DRS”

Quadro 2: Variáveis de interface referentes a escolha do modelo do DEA

O Quadro 3 reúne as variáveis de interface, as interfaces e as regras de produção referentes a escolha das **perspectivas de 1º, 2º, 3º, 4º e 5º níveis**.

Pré-requisito	Variável	Interface	Valores que pode assumir	Consequência
Modelo = Aditivos ou Multiplicativos	Pergunta 6	Você deseja como informação?	a) As utilidades dos <i>inputs</i> e <i>outputs</i> .	Perspectiva de 1º nível = “Multiplicadores”,
			b) As metas para as DMUs ineficientes	Perspectiva de 1º nível = “Envelope”
Perspectiva de 2º nível = “Fronteira clássica” e Perspectiva de 3º nível = “Sem ganho de soma zero”				
Modelo = CCR, BCC, IRS ou DRS	Pergunta 7	Você deseja como informação?	a) As utilidades dos <i>inputs</i> e <i>outputs</i> .	Perspectiva de 1º nível = “Multiplicadores...”
			b) As metas para as DMUs ineficientes	Perspectiva de 1º nível = “Envelope...”
	Pergunta 8	Você deseja analisar a eficiência...	a) Minimizando os <i>inputs</i> e mantendo constantes os <i>outputs</i>	Perspectiva de 1º nível = ...orientado aos <i>inputs</i>”
			b) Maximizando os <i>outputs</i> e mantendo constantes os <i>inputs</i>	Perspectiva de 1º nível = ...orientado aos <i>outputs</i>”
Modelo = FDH	Pergunta 9	Você deseja analisar a eficiência...	a) Minimizando os <i>inputs</i> e mantendo constantes os <i>outputs</i>	Perspectiva de 1º nível = “Envelope orientado aos <i>inputs</i>”
			b) Maximizando os <i>outputs</i> e mantendo constantes os <i>inputs</i>	Perspectiva de 1º nível = “Envelope orientado aos <i>outputs</i>”
Modelo = CCR, BCC, IRS, DRS ou FDH	Pergunta 10	Seus dados de <i>inputs</i> e <i>outputs</i> apresentam incertezas?	a) Sim	Perspectiva de 2º nível = “Fronteira difusa”
			b) não	Vá para pergunta 11

Pergunta 10 = b	Pergunta 11	Você deseja determinar...	a) A eficiência, as metas e os <i>benchmarks</i> de cada DMU ou os pesos de cada <i>input</i> e <i>output</i>	Perspectiva de 2º nível = “Fronteira clássica”
			b) Um índice que possibilite o desempate entre as DMUs eficientes	Perspectiva de 2º nível = “Fronteira invertida”
Modelo = CCR, BCC, IRS, DRS ou FDH	Pergunta 12	Para calcular a eficiência você deseja...	a) Manter constante a soma total dos <i>inputs</i> e <i>outputs</i> do conjunto de DMUs analisado	Perspectiva de 3º nível = “Com restrições de ganho de soma zero”
			b) Não manter constante a soma dos <i>inputs</i> e <i>outputs</i> do conjunto de DMUs analisado	Perspectiva de 3º nível = “Sem restrições de ganho de soma zero”
Sem requisito	Pergunta 13	Você deseja impor alguma restrição aos pesos dos <i>inputs</i> ou <i>outputs</i> ?	a) Sim	Perspectiva de 4º nível = “Com restrição aos pesos”
			b) Não	Perspectiva de 4º nível = “Sem restrição aos pesos”
	Pergunta 14	Você deseja trabalhar com alguma variável ambiental?	a) Sim	Perspectiva de 5º nível = “Com variáveis ambientais”
			b) Não	Perspectiva de 5º nível = “Sem variáveis ambientais”

Quadro 3: Variáveis de interface referentes a escolha das perspectivas do DEA

As Figuras 2, 3 e 4 apresentam uma ilustração do sistema especialista desenvolvido por esse artigo, implementado no Expert SINTA. A Figura 2 apresenta um exemplo de uma regra de produção implementada no programa (mais especificamente a da regra referente a Pergunta 9); a Figura 3 apresenta uma tela que indica como o usuário é inquirido pelo sistema a fornecer informações (está ilustrada a interface relacionada a pergunta 11); a Figura 4, por fim, apresenta uma das telas de resultados do SE (referente a variável “Modelo”).

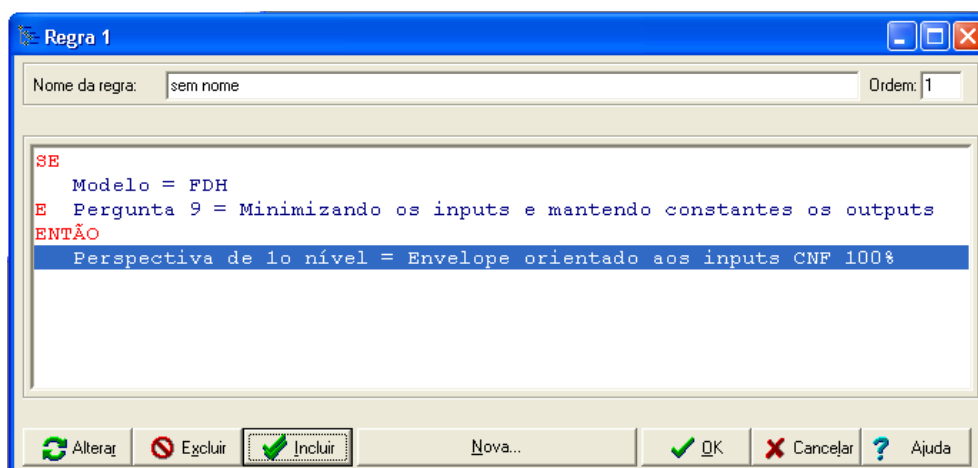


Figura 2: Ilustração de uma regra de produção implementada

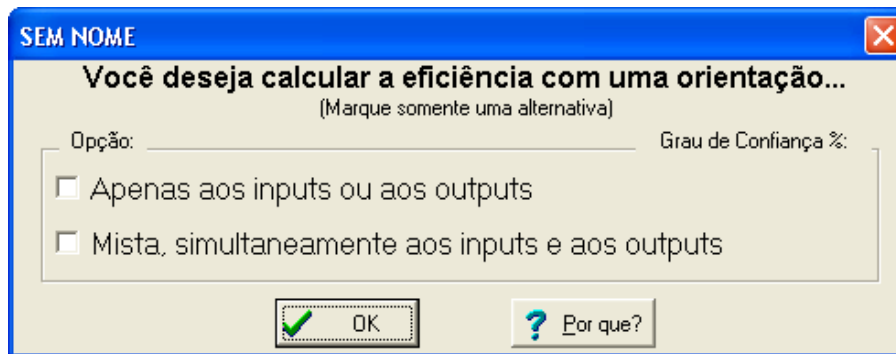


Figura 3: Ilustração da interface do SE com o usuário

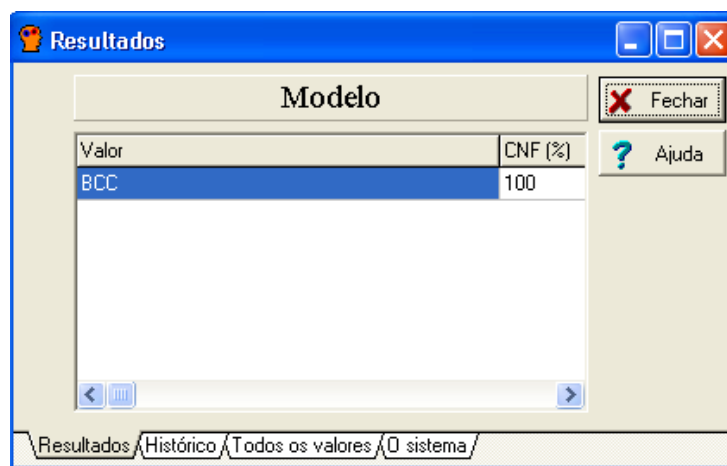


Figura 4: Ilustração da apresentação de resultados do SE

8. Considerações finais

A DEA, apesar de possuir muitas aplicações, o que sem dúvida é algo muito positivo, possui uma infinidade de modelos e perspectivas que podem atrapalhar a sua compreensão e utilização. Essa dificuldade pode ser percebida no fato de que há um predomínio, especialmente na literatura nacional, de utilização dos modelos clássicos, CCR e BCC, enquanto os muitos novos modelos e perspectivas que foram criados nos últimos anos estão ficando esquecidos.

O desenvolvimento de um sistema especialista que ajude a determinar o melhor modelo e perspectiva da DEA, tendo como base as demandas de um determinado usuário, pode ser uma solução interessante para o problema expresso acima, que poderia inclusive ser incorporado a pacotes computacionais, onde os modelos e perspectivas da DEA já se encontrassem implementados. Vale ressaltar, porém, que o sistema especialista construído nesse artigo, não é de forma nenhuma a versão final, sendo apenas um protótipo que partiu dos modelos básicos, e que ainda faltam muitos modelos e perspectivas para completá-lo.

Acredita-se que o modelo de referência, que engloba os conceitos de método, técnica, modelo e perspectiva, e o sistema especialista desenvolvidos por esse artigo, apresentam uma grande contribuição para o entendimento da técnica DEA, tanto por usuários quanto por pesquisadores. Como já mencionado, esse SE, muito mais do que apenas um guia para a

utilização da técnica DEA, pode ser encarado também como um instrumento de ensino-aprendizagem sobre ela.

Uma sugestão para trabalhos futuros seria utilizar a taxionomia desenvolvida por esse artigo para representar outros domínios do conhecimento que também necessitem de uma sistematização. A utilização da taxionomia desenvolvida nessa pesquisa certamente poderá facilitar a sistematização do processo de escolha de outras técnicas, além de possibilitar a implementação dessa sistematização em um sistema especialista.

Referências

- AVELLAR, J.V.G.; MILIONI, A.Z. RABELLO, T.N...** Spherical frontier DEA model based on constant sum of inputs. *Journal of operational research society*, v. 58, n. 9, p. 1246-1251, 2007.
- BANKER, R.D.; CHARNES, A.; COOPER, W.W.** Some models for estimating technical scale inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science*, 30(9). p. 1078-1092. 1984.
- BANKER, R. D. et al** . Returns to scale in different DEA models. *European Journal of Operational Research*. vol. 154, cap. 2, p. 345-362. 2004.
- BANKER, R.D.; MOREY, R.C.** Efficiency Analysis for Exogenously Fixed Inputs and Outputs. *Operations Research*, vol. 34, n. 4; pp.. 513-521. 1986
- BARR, A.; FEIGENBAUM, E.** *The Handbook of Artificial Intelligence*. Los Altos, California: William Kaufmann Inc., v.I.II. 1981.
- CAMARINHA-MATOS, L.; AFSARMANESH, H.** On reference models for collaborative network organizations, *Journal of Production Research*, v. 46, 7, , p. 2453- 2569. may 2008.
- CHARNES, A.; COOPER, W.W.; RHODES, E.** Measuring the efficiency of decision-making units. *European Journal of Operational Research*, vol. 2, p. 429-444. 1978.
- CHARNES, A.; COOPER, W.W.; GOLANY, B.; SEIFORD, L.; STUTZ, J.** Foundations of data envelopment analysis for Pareto-Koopmans efficient empirical production functions. *Journal of Econometrics*, 30, p. 91-107. 1985
- CHARNES, et al.** A multiplicative model for efficiency analysis. *Socio-Economic Planning Sciences*, v. 16, n.5, p. 223-224. 1982.
- COOK, W. D.; SEIFORD, L. M.** Data envelopment analysis (DEA) – Thirty years on. *European Journal of Operational Research*. v. 192, n. 1. 2008.
- COOPER, W. W; SEIFORD, L. M.; TONE, K.** *Data Envelopment Analysis, a Comprehensive Text with Models, Applications, Reference and DEA–Solver software*. Kluwer Academic Publishers, Norwell, 2000.
- DYSON, E. G.; THANASSOLIS, E.** Reducing weight flexibility in DEA. *Journal of the Operational research society*, 39. 1988.
- DEBREU, G.** The Coefficient of Resource Utilization. *Econometrica*, 19, 3, 273-292. 1951.
- ENTANI, T.; MAEDA, Y; TANAKA, H.** Dual Models of Interval DEA and its extensions to interval data. *European Journal of Operational Research*, 136, p.32-45. 2002.
- FARRELL, M. J.** The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society*, series A, v.120, part III, p. 253 – 281. 1957.
- FERREIRA, A.B.H.** *Novo dicionário de língua portuguesa*. São Paulo: Nova Fronteira, 1975.
- GOMES E. G.; LINS, M. P. E.** . Modelling undesirable outputs with zero sum gains data envelopment analysis models. *Journal of the Operational Research Society*, v. 59, p. 616-623, 2008
- GREEN, R.;; COOK, W. D.; DOYLE, J;** A note on the additive data envelopment analysis . *Journal of Operational Research Society*. n 48(4), p. 446-448. 1997.
- HOUAISS, A.** *Dicionário Houaiss da língua portuguesa*. São Paulo: Objetiva, 2001.

- JACKSON, P.** *Introduction to Expert Systems*, Addison-Wesley Longman Publishing Co: Boston, MA, 1998.
- KOOPMANS, T.C.** *An Analysis of Production as an Efficient Combination of Activities*. ed. Activity Analysis of Production and Allocation, Cowles Commission for Research in Economics, Monograph No.13. New York: John Wiley and Sons, Inc. 1951.
- LINS, M. P. E. ; MEZA, L. A.** *Análise Envoltória de Dados e Perspectivas de Integração no ambiente de Apoio à Decisão*. Rio de Janeiro: COPPE / UFRJ. 2000
- LOZANO, S. N.; VILLA, G.** Centralized resource allocation using Data Envelopment Analysis. *Journal of Productivity Analysis*, v. 22, p. 143-161, 2004.
- MELLO J. C. B. S. et al.** Fronteiras DEA difusas, *Investigação Operacional*, Volume 25 p.85-103. 2005
- MEZA, L. A.; LINS, M. P. E.** Review of Methods for Increasing Discrimination in Data Envelopment Analysis. *Annals of Operations Research*, New Jersey/USA, v. 116, p. 225-242, 2002.
- NORMAN, M. e STOKER, B.** *Data Envelopment Analysis: the assessment of performance*. Chichester: John Wiley, 1991.
- PASTOR, J. T.; RUIZ, J. L.; SIRVENT, I.** An enhanced DEA Russell graph efficiency measure. *European Journal of Operational research*, n. 115. p.596-607. 1999.
- RUGGIERO, J.** Non-discretionary inputs in data envelopment analysis. In: *European Journal of Operational Research*, vol. 111, n.3, p. 461-469. 1998.
- SEIFORD L M.** Data envelopment analysis: the evolution of the state of the art (1978–1995). *The Journal of Productivity Analysis*. v.7, p.99–137. 1996.
- THOMPSON, R.G.** et al. The role of multiplier bounds in efficiency analysis with application to Kansas Farming. *Journal of econometrics*, 46, p. 93-108. 1990.
- TONE, K.** A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis. *European Journal of Operational research*, n. 130. p.243-250. 2001.
- YAMADA, Y.; MATUI, T.; SUGIYAMA, M.** New analysis of efficiency based on DEA. *Journal of the Operations Research Society of Japan*, v. 37, n. 2, p. 158-167, 1994.
- WONG, Y.B., BEASLEY, T.E.** Restricting weight flexibility in DEA. *Journal of the Operational Research Society*. v. 41, n. 9 p. 829. 1990.