UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

MODELO PARA AVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA DE INVESTIMENTOS EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

TESE DE DOUTORADO SUBMETIDA À UFPE PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE DOUTOR EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

POR

ANA PAULA HENRIQUES DE GUSMÃO

Orientadora: Prof.ª Ana Paula Cabral Seixas Costa

RECIFE, JULHO / 2009

G982m **Gusmão, Ana Paula Henriques de.**
Modelo para avaliação de eficiência de investimentos em Sistemas de Informação / Ana Paula Henriques de Gusmão. - Recife: O Autor, 2009.
x, 119 folhas, il : tabs.,grafs.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2009.

Inclui Referências.

1. Engenharia de Produção. 2.Sistema de Informação. 3.Avaliação da Eficiência. 4.Planejamento Estratégico - Informação. I. Título.

UFPE

658.5 **BCTG/ 2009-128**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA
DE DEFESA DE TESE DE
DOUTORADO DE

ANA PAULA HENRIQUES DE GUSMÃO

"MODELO DE AVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA DE INVESTIMENTOS EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO"

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: PESQUISA OPERACIONAL

A comissão examinadora, composta pelos professores abaixo, sob a presidência do(a) primeiro(a), considera a candidata **ANA PAULA HENRIQUES DE GUSMÃO** APROVADA COM DISTINÇÃO.

Recife, 03 de julho de 2009.

Prof.ª ANA PAULA CABRAL SEIXAS COSTA, Doutor (UFPE)

Prof. ADIEL TEIXEIRA DE ALMEIDA, PhD (UFPE)

Prof.ª DANIELLE COSTA MORAIS, Doutor (UFPE)

Prof. CARLOS FRANCISCO SIMÕES GOMES, Doutor (IBMEC-RJ)

Prof. NEI YOSHIHIRO SOMA, PhD (ITA)

Aos meus pais, Ricardo e Alcina,
e ao meu esposo Rafael
por todo incentivo.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, agradeço a Deus, que me deu forças para me manter firme na busca pela concretização desse objetivo.

À minha família, em especial meus pais, minha irmã *Karenina* e meu esposo *Rafael*, além da gratidão pelo carinho, compreensão e incentivo, peço perdão pelas ausências nos últimos anos.

Agradeço a minha orientadora *Prof.ª Ana Paula*, que com toda sua competência e paciência me ajudou bastante na consecução desse trabalho. A ela devo meu sucesso nessa jornada. Ao *Prof. Adiel*, não só pelas suas contribuições a esse trabalho, mas pelos ensinamentos, incentivo e consideração.

À comissão examinadora – *Prof. Nei Soma*, *Prof. Carlos Simões* e *Prof.ª Danielle Morais* – e a *Prof.ª Caroline Mota* pela riqueza de suas contribuições.

Agradeço à UFPE e, em especial, ao PPGEP e toda sua equipe, querendo destacar aqui a atenção e a disponibilidade de *Juliane*.

Aos meus amigos da CELPE, os quais represento em nome de *Paulo Araújo* e *Ana Flávia*, pelo apoio e compreensão.

E, por fim, mas não menos importantes, agradeço aos companheiros dessa jornada, *Suzana*, *Márcio Santana* e *Márcio Moura* por compartilharem seus conhecimentos e pelas conversas bastante proveitosas nos sábados de estudo.

RESUMO

A era da informação, na qual a riqueza é obtida a partir de idéias inovadoras e do uso inteligente da informação, tem levado as organizações a investirem cada vez mais em Sistemas de Informação (SI) que as permitam criar uma vantagem competitiva frente a um mercado repleto de desafios. Os investimentos em SI cada vez mais sofisticados, no entanto, não implicam em retornos financeiros de curto prazo. Muitos dos benefícios provenientes desses investimentos são intangíveis e só são percebidos nos anos seguintes à sua implantação. A maioria dos modelos utilizados na avaliação da eficiência dos investimentos em SI, não leva em consideração essas peculiaridades. Neste trabalho, é proposto um modelo que permite avaliar a eficiência de organizações que utilizam diferentes SI, com o objetivo de auxiliar o processo de seleção de SI, e a eficiência de diferentes organizações que fazem uso de um mesmo SI de forma a realizar um *benchmarking* das práticas adotadas pelas empresas que conseguem tirar maior proveito dessas novas tecnologias de tratamento das informações. O modelo proposto tem como primícias a definição de critérios de avaliação alinhados ao planejamento estratégico da organização e a consideração dos julgamentos de valores dos decisores/usuários na análise das alternativas.

Palavras-chave: Sistemas de Informações, avaliação da eficiência, julgamentos de valores, alinhamento estratégico.

ABSTRACT

A feature of the information age stems from the wealth being obtained by innovative ideas and the intelligent information usage. This has led organizations to make ever larger investments in Information Systems (IS) which enable them to create a competitive advantage in a market that is full of challenges. Increasingly sophisticated investments in IS, however, do not result in short-term financial returns. Many of the benefits from these investments are intangible and can only be perceived years after the investments have been deployed. Most models used in evaluating the efficiency of investments in IS, do not take these peculiarities into account. In this study, a model is proposed for assessing the effectiveness that organizations obtain when they use different IS, with the objective of assisting the process of selecting IS, and the efficiency of different organizations which use the same IS in order to undertake a benchmarking of practices adopted by the companies that benefit most from these new technologies for information processing. The model proposed sets out to define the assessment criteria which the organization has aligned to its strategic planning and to consider the value judgments of decision makers / users in order that it may analyze and suggest alternatives.

Keywords*: Information Systems, efficiency evaluation, value judgments, strategic alignment.*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 11
1.1 Relevância do trabalho 11
1.2 Justificativa 13
1.3 Objetivos Gerais e Específicos 13
1.4 Organização do Trabalho 14
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 16
2.1 Sistemas de Informação 16
2.2 Aplicações dos Sistemas de Informação 21
2.3 O problema de decisão na área de SI 22
2.3.1 Teoria da Utilidade Multiatributo – MAUT 24
2.4 Método SMARTS 26
2.5 Análise Envoltória de Dados - DEA 29
2.5.1 Conceitos gerais 29
2.5.2 Os modelos DEA 33
2.6 *Balanced Scorecard* (BSC) 42
2.7 Considerações sobre a Fundamentação Teórica 46
3 REVISÃO DA LITERATURA 47
3.1 Lei de Moore 47
3.2 O Paradoxo da Produtividade 48
3.3 Avaliação de investimentos em TI 53
3.4 Avaliação de SI utilizando o modelo DEA 59
3.5 Atribuição de pesos no DEA 66
3.5.1 Motivação e propósito para incorporação de restrições de pesos ao DEA 66
3.5.2 Formas de incorporação dos julgamentos de valor no DEA 67
3.5.2.1 Restrições diretas aos pesos 68
3.5.2.2 Modificação nos níveis observados de *input* e *output* para capturar os julgamentos de valor 69
3.5.2.3 Restrição aos *input* e *output* virtuais 70
3.5.3 Conclusões com relação às restrições aos pesos 71
3.6 Evoluções na utilização dos modelos DEA 73
3.7 Considerações sobre a Revisão da Literatura 78
4 PROPOSTAS DE MODELOS DEA COM RESTRIÇÕES AOS PESOS 80
4.1 Modelo DEA com restrições diretas aos pesos baseadas nas preferências do decisor 80
4.1.1 Aplicação do modelo 83
4.2 Modelo DEA com restrições aos pesos utilizando funções de penalidade 87
4.2.1 Exemplo numérico 90
4.3 Conclusões sobre as propostas iniciais 94
5 MODELO DE AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DOS INVESTIMENTOS EM TI 96
5.1 A utilização do BSC para definição dos atributos de avaliação 100
5.2 A utilização do processo de troca do SMARTS para definição de restrições aos pesos 105
5.3 Análises dos resultados do modelo proposto 106
5.4 Exemplo da aplicação do modelo 107
6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS 112
6.1 Conclusões 112
6.2 Sugestões para trabalhos futuros 113

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Sistema de Informação (adaptado de Almeida & Ramos, 2002)..... 17
Figura 2.2 – Curva de um processo de produção (Fonte: Mello *et al.*, 2005)..... 31
Figura 2.3 – Produtividade x Eficiência (Fonte: Mello *et al.*, 2005)..... 32
Figura 2.4 – Fronteira de eficiência (Fonte: Mello *et al.*, 2005)..... 32
Figura 2.5 – Fatores de escala (modelo BCC com orientação a input) (Fonte: Mello *et al.*, 2005)..... 39
Figura 2.6 – Fatores de escala (modelo BCC com orientação a output) (Fonte: Mello *et al.*, 2005)..... 40
Figura 2.7 – Exemplo de relacionamento entre as medidas de desempenho do BSC (adaptado de Kaplan & Norton, 1992) 44
Figura 3.1 – Modelo de três estágios (adaptado de Davis, 1974) 54
Figura 3.2 – Abordagens para incorporação de julgamentos de valor no DEA (adaptado de Allen *et al.*, 1997) . 68
Figura 3.3 – Três perspectivas do modelo BSC para projetos de P&D (adaptado de Eilat, Golany e Shtub, 2008) 75
Figura 4.1 – Modelo DEA com restrições aos pesos baseado no SMARTS 82
Figura 5.1 – Modelo proposto para avaliação de SI 98
Figura 5.2 – Etapa para definição dos atributos de avaliação (input e output) no modelo proposto utilizando o BSC 104

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Matriz de Avaliação (Fonte: Mello *et al.*, 2005)..... 84
Tabela 4.2 – Valores obtidos a partir do DEA (Fonte: Mello *et al.*, 2005). 85
Tabela 4.3 – Valores obtidos a partir do modelo proposto (DEA com julgamento de valores do SMARTS). 85
Tabela 4.4 – Matriz de Avaliação das DMUs..... 91
Tabela 4.5 – Valores dos pesos dos Output e cálculo das Eficiências utilizando o DEA CCR..... 91
Tabela 4.6 – Valores dos pesos dos Output e cálculo das Eficiências utilizando o modelo proposto (α =0)..... 91
Tabela 4.7 – Valores dos pesos dos Output e cálculo das Eficiências utilizando o modelo proposto (α =0,002) 92
Tabela 4.8 – Valores dos pesos dos Output e cálculo das Eficiências utilizando o modelo proposto (α =0,7).... 93
Tabela 5.1 – Matriz de avaliação das DMUs (valores em %) 108
Tabela 5.2 – Matriz de avaliação da empresa X definida no processo de troca do SMARTS..... 109
Tabela 5.3 – Eficiências das empresas calculadas a partir do DEA CCR 110
Tabela 5.4 – Matriz dos pesos de input e output 110

GLOSSÁRIO DE SIGLAS

AR	*Assurance Region Method*
BSC	*Balanced Scorecard*
BSP	*Bussiness Sytem Planning*
CEO	*Chief Enterprise Officer*
CIO	*Chief Information Officer*
CRM	*Costumer Relationship Mangement*
CRS ou CCR	*Constant Returns to Scale*
DEA	*Data Envelopment Analysis*
DMDP	*Decision Makers Defined Projects*
DMUs	*Decision Making Units*
ERP	*Enterprise Resource Planing*
FCS	Fatores Críticos de Sucesso
IRR	*Internal Rate of Return*
MADM	*Multiple Attribute Decision Making*
MAUT	Teoria da Utilidade Multiatributo
MCDM	*Multicriteria Decision Making*
NPV	*Net Present Value*
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PDM	*Profile Distance Method*
PPL	Problema de Programação Linear
ROI	*Return of Investment*
SAD	Sistema de Apoio a Decisão
SI	Sistemas de Informação
SIE	Sistema de Informação Executiva
SIG	Sistema de Informação Gerencial
SIT	Sistema de Informação Transacional
SMART	*Simple Multiattribute Rating Technique*
TI	Tecnologia da Informação
URM	*Utility Ranking Method*
VPL	Valor Presente Líquido
VRS ou BCC	*Variable Returns to Scale*

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, têm aumentado bastante os investimentos das organizações em Tecnologia da Informação (TI). Todavia, alguns estudos, dentro desse contexto, não têm conseguido estabelecer uma associação entre esses investimentos e a melhoria do desempenho das empresas, ou seja, não têm encontrado relação significante entre a performance das empresas e os recursos investidos nas novas tecnologias. Alguns autores justificam que, na realidade, a forma como se avalia a eficiência das organizações após implantação de Sistemas de Informação (SI) não é adequada.

O processo de avaliação da eficiência de organizações não é uma tarefa simples, principalmente quando se deseja analisar o impacto do uso de um novo SI nas empresas.

1.1 Relevância do trabalho

Tem se intensificado, cada vez mais, nas empresas a adoção de sistemas eficientes para o controle de gastos nas organizações e, por conseguinte, aumentado a oportunidade de negócios para fornecedores de soluções de armazenamento de dados. Isso vem sendo motivado não só pela busca de eficiência dos processos empresariais, mas, principalmente, nos últimos meses, pela desaceleração global da economia.

Mesmo com o desaquecimento do mercado, os investimentos com tecnologia no país devem aumentar, principalmente quando voltados para a melhora da produtividade e redução de gastos (GAZETA MERCANTIL, 2009).

Segundo dados da Fundação Getúlio Vargas, o investimento médio das empresas, de todos os portes e de várias regiões do Brasil, em TI foi de 5,7% da receita bruta em 2007. Acredita-se ainda que esse percentual tende a crescer 8% ao ano (Gazeta Mercantil, 2008). Aquele estudo revela também que os bancos são os que mais investem, 12,3% do faturamento, seguido de serviços, 8,2%. De fato, o setor bancário é um dos setores que mais investem em TI, principalmente na aquisição de equipamentos de informática e comunicação e de programas de computador. Seus produtos e serviços dependem dessas tecnologias. A título de exemplo, o Brasil aumentou sua rede de caixas automáticos em 32,6% no período de 1998 a 1999 (BECKER *et al.*, 2003).

O comércio farmacêutico também tem investido bastante em TI nos últimos anos. Com isso, as farmácias deixaram de ser lojas isoladas e passaram a constituir numerosas redes de farmácia. Passou-se, por exemplo, a se utilizar *softwares* que permitem a atualização, em

tempo real, do faturamento e do estoque sempre que entra e sai mercadoria da loja. Esses *softwares* de gestão de estoques costumam ser desenvolvidos pelos setores de informática dessas redes, por empresas especializadas ou ainda adaptados de programas comerciais (MACHLINE & AMARAL JÚNIOR, 1998).

Grande parte desses investimentos justifica-se por motivos já conhecidos: redução de custos; aumento de produtividade; aumento do relacionamento com os clientes, etc. No entanto, nos segmentos mais inovadores, as decisões estão cada vez mais relacionadas à percepção dos clientes quanto ao "valor tecnológico" da marca e outros valores intangíveis (GAZETA MERCANTIL, 2008).

Não existe, no entanto, um consenso entre os profissionais da área acadêmica e os profissionais do mercado com relação a como a TI influencia a performance organizacional. Existem estudiosos que afirmam que a TI hoje é uma *commodity*, como a eletricidade e as estradas de ferro, não resultando em grandes vantagens competitivas para as empresas que a empregam. Alguns afirmam que a TI é essencial, mas não apresentam uma correlação intrínseca entre os gastos de TI e a eficiência empresarial. Dessa forma, resta a questão de como uma organização pode realmente se beneficiar da TI no sentido de se diferenciar dos seus concorrentes e atingir seus objetivos de negócios mais ambiciosos. O que se pode concluir é que não é possível as empresas manterem uma posição confortável dentro de um ambiente altamente competitivo se as mesmas não aderirem às novas tecnologias. A preocupação que deve existir, no entanto, é com relação à melhor forma de aproveitamento e de mensuração dos benefícios provenientes dos investimentos em TI.

No mercado, é comum encontrar empresas utilizando modelos financeiros para avaliação de investimentos em TI, os quais são desenvolvidos em colaboração mundial entre acadêmicos e líderes empresariais. Essas formas de avaliação, na maioria das vezes, são insuficientes. Metodologias como ROI (retorno de investimento), *pay-back* (tempo de retorno) ou VPL (valor presente líquido) deram uma contribuição decisiva às organizações. Todavia, mais do que os indicadores objetivos, as métricas de benefícios intangíveis dos investimentos e transformações em TI devem estar alinhadas à cultura organizacional e aos valores de seus clientes.

Dentro desse contexto, o presente trabalho apresenta um modelo de avaliação da eficiência dos investimentos em SI. Nesse modelo, são avaliadas empresas usuárias de SI semelhantes ou diferentes, mas que são implantados em uma área específica da organização para atender as especificidades da mesma (por exemplo: sistemas de gestão de estoque, sistema financeiro, sistema de gestão de recursos humanos, entre outros).

1.2 Justificativa

O modelo proposto nesse trabalho tem por objetivo avaliar o impacto da utilização de SI nas organizações. Existe, no entanto, a preocupação de se considerar atributos de avaliação intangíveis, no sentido de que não são mensurados apenas em termos financeiros. Isso se justifica pelo fato de os SI não resultarem apenas em ganhos financeiros, mas principalmente em ganhos estratégicos para as empresas.

Dessa forma, o modelo proposto pode ser utilizado como uma ferramenta de apoio ao problema de decidir em qual Sistema de Informação uma organização deve investir. Também apresenta uma contribuição relevante no que diz respeito ao estudo do aproveitamento de um mesmo SI por diferentes empresas. Assim, esse modelo possibilita as organizações realizarem um *benchmarking* de forma a melhorar os resultados obtidos com o uso de novas tecnologias.

A proposta desse modelo se baseia na avaliação de eficiência de organizações usuárias de SI, utilizando a técnica de programação matemática DEA (do inglês *Data Envelopment Analysis* – DEA).

Verifica-se, desde o momento em que o DEA passou a ser utilizado em aplicações empresariais, a necessidade de se incorporar as preferências dos decisores, no intuito de não só obter resultados mais condizentes com a realidade, como também de forma a distinguir empresas com o mesmo grau de eficiência. Portanto, agregado ao modelo DEA será utilizado o processo de troca do método SMARTS (*Simple Multiattribute Rating Technique* com processo de *Swing Weights*), o qual fornece uma ordenação dos pesos dos atributos de avaliação que são condizentes com os julgamentos de valor dos decisores.

Também, com o objetivo de que a avaliação de eficiência das empresas leve em consideração a cultura organizacional e alinhe os critérios de performance com as estratégias organizacionais, o modelo engloba uma etapa de derivação das medidas de eficiência que é realizada utilizando o BSC (*Balanced Scorecard*).

1.3 Objetivos Gerais e Específicos

Esse trabalho tem por objetivo geral a proposição de um modelo para avaliação da eficiência de organizações usuárias de SI que leve em consideração atributos estratégicos e julgamentos de valor dos decisores no processo de avaliação.

Os objetivos específicos são:

- Abordar o problema da avaliação da eficiência das empresas usuárias de SI, ou seja, do impacto desses sistemas na organização a partir dos investimentos realizados nessa área.
- Realizar uma Revisão da Literatura desde os modelos tradicionais utilizados para avaliação da eficiência de SI, até a utilização do DEA no contexto da TI e as evoluções que essa técnica de Programação Linear tem tido nos últimos anos.
- Apresentar alguns modelos que já foram desenvolvidos com o intuito de se considerar as preferências dos usuários/decisores no processo de avaliação de alternativas utilizando o modelo DEA.
- Realizar uma análise crítica desses modelos.
- Desenvolver um modelo para avaliação eficiência de empresas usuárias de SI, através da contextualização na área de SI do processo de avaliação de alternativas, utilizando o DEA,
- Realizar uma aplicação do modelo proposto de forma a esclarecer melhor as etapas do mesmo.

1.4 Organização do Trabalho

O presente trabalho está organizado da seguinte forma:

- Capítulo 2: apresenta toda a base conceitual que será abordada ao longo do desenvolvimento deste trabalho. Inicialmente fornece uma visão geral sobre SI. Em seguida, é abordado o processo decisório na área de SI, uma vez que o modelo proposto pode se enquadrar como uma ferramenta de apoio a decisão na seleção de SI. Ainda são apresentados os conceitos e as características com relação aos modelos DEA, ao método SMARTS e à abordagem BSC.
- Capítulo 3: nesse capítulo é realizada uma Revisão da Literatura com relação ao paradoxo da produtividade; às várias abordagens para avaliação dos investimentos em TI; ao uso do DEA na avaliação desses investimentos e às modificações que vêm sendo propostas ao DEA com o objetivo de tornar este mais aderente às necessidades empresariais.
- Capítulo 4: apresenta dois modelos baseados no DEA e no SMARTS para avaliação da eficiência de alternativas. Esses modelos seguem mais a linha de melhoramentos

feitos ao DEA e não levam em consideração características intrínsecas da avaliação de SI.

- Capítulo 5: aborda a proposta desse trabalho, detalhando cada etapa do modelo proposto e apresenta uma aplicação numérica que facilita o entendimento.
- Capítulo 6: apresenta as conclusões que podem ser feitas a partir desse trabalho e, por conseguinte, são feitas algumas recomendações e sugestões para trabalhos futuros dentro desse contexto.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Sistemas de Informação

Atualmente, vive-se a era da informação, na qual a riqueza é obtida a partir de idéias inovadoras e do uso inteligente da informação. Para sobreviver em um mercado repleto de desafios – dinâmico, complexo, globalizado, super competitivo e voltado para o cliente – as empresas precisam responder de forma mais rápida aos anseios dos clientes e às oportunidades que surgem nesse ambiente empresarial moderno. Assim, constantes pressões são impostas às empresas, as quais podem responder reativamente a uma pressão já existente ou de modo proativo a uma pressão esperada. O fato é que sejam quais forem essas reações, as mesmas serão facilitadas pela TI.

A TI consiste em um conjunto de componentes tecnológicos individuais, normalmente organizados em SI. Embora os conceitos de SI e TI sejam empregados muitas vezes indistintamente, eles não são sinônimos.

Um Sistema de Informação é um tipo de sistema de transformação cujas entradas são dados e as saídas são informações. Ele coleta, processa, armazena, analisa e dissemina informações com um propósito específico. É importante, dentro desse contexto, saber as diferenças entre dados, informação e conhecimento.

Segundo Almeida & Costa (2008), freqüentemente, os conceitos de informação são apresentados em contraposição aos de dados, os quais se referem a fatos brutos, isto é, geralmente na forma em que são obtidos. Assim, os dados são descrições básicas de coisas, eventos, atividades e transações que são capturados, registrados, armazenados e classificados, mas não são organizados para transmitir qualquer significado que permita uma tomada de decisão (ALMEIDA & RAMOS, 2002; TURBAN *et al*., 2003).

Com relação ao conceito de informação, Davis (1974) apresenta uma definição bastante rica: “corresponde ao dado que tenha sido processado de uma forma que tem significado para o receptor (usuário) e tem valor, real ou percebido, em ações ou decisões atuais ou futuras”.

O conhecimento, de acordo com Turban *et al*. (2003), consiste em informações organizadas e processadas para transmitir discernimento, experiências, aprendizagem ou habilidade, quando aplicável a um problema ou processo empresarial atual.

Fazendo uma analogia com os sistemas de produção, pode-se considerar que os dados estão para a informação assim como a matéria prima está para o produto final, ou seja, um SI

transforma dados em informações associadas a escolhas ou tomadas de decisão (ALMEIDA & COSTA, 2008).

Dessa forma, os componentes básicos de um SI podem ser relacionados da seguinte forma (STAIR, 1996; O' BRIEN, 2001):

- Entradas: dados que serão processados para a consecução dos objetivos a que o sistema se propõe;
- Processamento: refere-se ao mecanismo de transformação (cálculo, comparação, armazenamento, etc) dos dados de entrada;
- Saída: corresponde ao fornecimento das informações depois do processamento, normalmente se apresenta na forma de relatórios e consultas. Uma saída de um sistema pode ser entrada de outro.

A Figura 2.1 permite visualizar esse tipo de sistema:

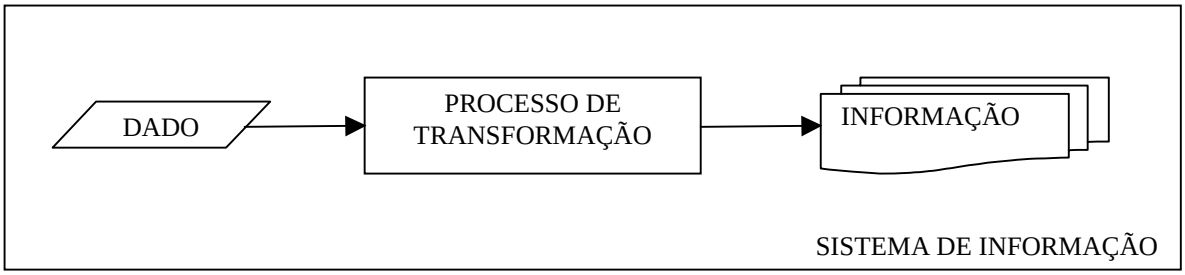

Figura 2.1 – Sistema de Informação (adaptado de Almeida & Ramos, 2002)

Os SI têm um papel cada vez mais crucial nas organizações uma vez que disponibilizam com maior precisão e agilidade um bem cada vez mais precioso dentro das organizações: a informação. Os SI eficazes podem ter um grande impacto sobre a estratégia corporativa e sobre o sucesso de uma empresa. O uso de SI significa, na maioria das vezes, melhores serviços e produtos, maior eficiência, maior produtividade e um suporte mais preciso no processo de avaliação de desempenho e tomada de decisão.

De acordo com Turban *et al.* (2003), para executar o papel a que se propõem, os SI computadorizados necessitam de recurso, que são:

- *Hardware* (HW): um conjunto de dispositivos como processador, monitor, teclado e impressora, que aceita dados e informações, processa-os e os exibe.
- *Software* (SW): um grupo de programas de computador, que permite o processamento de dados no hardware.
- Banco de dados (BD): um conjunto organizado de arquivos ou registros, que armazena dados e as associações entre eles.

- Rede: um sistema de conectividade que viabiliza o compartilhamento de recursos entre computadores diferentes.
- Procedimentos: estratégias, políticas, métodos e regras para utilizar os SI.
- Pessoas: o componente mais importante nos SI, inclui aquelas que trabalham com o próprio sistema ou usam sua saída.

A idéia é identificar o problema, as necessidades de informação e encontrar a solução mais adequada: a TI a ser utilizada. Dessa forma, entende-se por TI os recursos de HW, de SW, telecomunicações, administração de Bancos de Dados (BD) e outras tecnologias de processamento de dados utilizados em SI computadorizados. Essas tecnologias viabilizam e suportam os SI.

A TI e os sistemas empresariais que usam a TI permitem que se trabalhe com mais inteligência e eficiência. Além disso, geralmente modificam o modo como se estrutura e administra as organizações e processos, isto é, o modo como se trabalha e se interage. A TI é uma facilitadora das atividades e processos organizacionais, que impacta as pessoas, a estrutura organizacional, a estratégia organizacional e os processos empresariais e administrativos. Os principais objetivos das organizações, ao implantarem SI, são:

- processar informações de forma mais rápida e precisa;
- armazenar e acessar rapidamente grandes massas de dados;
- comunicação rápida (de uma máquina para outra, de um ser humano para outro);
- trabalhar apenas com informações relevantes para a organização;
- integrar os processos dentro das organizações e entre organizações em toda cadeia logística;
- fornecer suporte para a tomada de decisão;
- fornecer uma arma competitiva em relação aos concorrentes.

Os diferentes tipos de abordagem de sistemas de informação estão relacionados aos tipos de problemas de decisão na organização, em função do nível de estruturação (SPRAGUE & WATSON, 1989; DAVIS & OLSON, 1985; BIDGOLI, 1989):

- Decisões Estruturadas: correspondem às tarefas programadas, bem definidas, para as quais não precisa de um decisor para implementação; existem procedimentos bem definidos ou podem existir.
- Decisões Semi-Estruturadas: não são totalmente definidas por procedimentos, apesar de incluírem aspectos estruturados. Alguns exemplos são: previsão de demanda, orçamento e análise de compra de capital.

- Decisões Não-Estruturadas: são decisões únicas pela sua natureza; a intuição do decisor tem uma forte presença; utilizam menos a tecnologia de computação. Exemplos: a introdução de um novo produto; a localização de uma nova fábrica.

De acordo com a abordagem, o objetivo, o foco, a forma como a informação é disponibilizada e a que se destina, os SI podem apresentar várias classificações (ALMEIDA & RAMOS, 2002).

Das abordagens consideradas no paradigma utilizado por Sprague & Watson (1989), são apresentados:

- Sistemas de Informação Transacional (SIT): estão intimamente interligados às atividades da rotina da empresa, com as transações da empresa. Consiste na automação das tarefas. Trata problemas muito bem estruturados. As transações de um SIT permitem a entrada dos dados, o processamento e armazenamento de dados e a geração de consultas e relatórios. O SIT tem por objetivo processar os dados gerados por e sobre transações, tornando as informações mais precisas, assegurando a integridade dos dados e informação, a rapidez na disponibilização da informação, minimizando erros, garantindo o fornecimento de melhores produtos e serviços (Stair, 1996; Lucas, 1990). Em geral, existem diversos sistemas de processamento de transações em uma única empresa e são considerados críticos para o êxito de uma organização porque respaldam as principais operações empresariais, como a compra de materiais, a preparação da folha de pagamentos e o envio de mercadorias para os clientes (TURBAN *et al.*, 2003).

- Sistemas de Informação Gerencial (SIG): fornecem aos gerentes informações úteis para o gerenciamento das várias atividades da empresa. Os SIG apresentam como saídas os relatórios gerenciais. A diferença entre os relatórios gerados pelo SIT e os gerados pelo SIG é que o primeiro caso objetiva a eficiência dos processos, e o segundo a eficácia da gestão. Ambos os relatórios atendem a solicitações do usuário e são pré-formatados. São utilizados para o tratamento de problemas estruturados. Uma das principais entradas para o SIG são os dados e/ou informações geradas e/ou manipuladas nos SIT. Os relatórios gerados pelos SIG são basicamente de 3 tipos (STAIR, 1996; TOM, 1991):
    - Programados – produzidos periodicamente, diariamente, semanalmente ou mensalmente.
    - Sob Solicitação – relatórios produzidos por solicitação onde o gerente precisa de uma determinada informação e solicita o relatório.

- Relatórios de Exceção – relatórios emitidos quando uma situação incomum acontece.

Todos esses relatórios informam situações em que algum indicador gerencial está fora de controle. É importante ressaltar que um SIG é utilizado pelos gerentes para tomar decisões que dizem respeito a problemas estruturados.

- Sistemas de Apoio de Decisão (SAD): apóiam a tomada de decisão quanto a problemas não-estruturados ou semi-estruturados, considerando-se o estilo do decisor. O SAD obtém e processa dados de fontes diferentes, dispõe de flexibilidade de apresentação e operação, realiza a modelagem dos problemas, além de executar análises, utilizando pacotes de *software* específicos, simulações e cenários (Davis & Olson, 1985; Stair, 1996). O principal objetivo de um SAD é oferecer suporte por computador a decisões complexas, às vezes não rotineiras (TURBAN *et al.,* 2003). São sistemas interativos e usados freqüentemente por indivíduos com pouca experiência em computação e métodos analíticos. A diferença entre o SAD e os sistemas tradicionais está no fato de serem os SAD flexíveis e adaptáveis às mudanças do meio ambiente e dos problemas. Os projetistas de SAD devem trabalhar com três subsistemas básicos (GOMES *et al.*, 2009).

1. Banco de Dados;
2. Banco de Modelos;
3. Comunicação ou Interface.

O primeiro subsistema tem por objetivo agrupar todas as informações disponíveis, fornecendo-as de forma rápida e permitindo sua manipulação de forma eficiente. Já o subsistema Modelos consiste de modelos gerenciais, capazes de lidar com os dados da empresa mediante simulações, cálculos, resoluções de problemas matemáticos, entre outros. O subsistema de Comunicação ou Interface reúne todos os componentes de *hardware* e *software* que dão suporte ao usuário do SAD. Esse subsistema permite a interação humano-computador, onde um perfil pré-definido definirá a linguagem que será usada no Subsistema de Modelos e o modo como os resultados devem ser impressos. Para tanto, o subsistema de comunicação utiliza-se de terminais, *link* de dados, processadores de texto, etc (GOMES *et al.*, 2009).

O suporte a decisão se expandiu em duas direções. Primeiramente os Sistemas de Informação Executiva (SIE) foram elaborados para dar suporte aos executivos mais experientes e foram expandidos posteriormente para apoiar todos os níveis de gerentes em toda organização. O SIE manipula dados gerados pelos vários SI da empresa, em todos os

níveis, podendo manipular dados de fontes externas, e disponibiliza, de forma sumarizada e/ou gráfica, as informações de acordo com o estilo gerencial dos executivos. A segunda direção foi o suporte a pessoas que trabalham em grupos. Inicialmente, os Sistemas para Suporte de Grupos (SSG) davam suporte a pessoas que trabalhavam em uma situação ou reunião especial de tomada de decisão dentro de um único local. Com o desenvolvimento da computação em rede, os SSG também puderam dar suporte aos tomadores de decisões que trabalhavam em locais diferentes. Os diversos produtos de software comercial que davam apoio a grupos de pessoas são conhecidos como *groupware* (WATSON *et al.*, 1992; TURBAN *et al.*, 2003).

2.2 Aplicações dos Sistemas de Informação

A crescente importância do papel dos SI nas organizações e a velocidade da evolução tecnológica têm resultado na disponibilização no mercado de inúmeras ferramentas que contribuem significativamente para a melhoria da gestão dos negócios, tais como: sistemas Integrados de Gestão Empresarial (do inglês *Enterprise Resource Planing* - ERP); sistemas de Gestão de Relacionamento com o Cliente (do inglês *Costumer Relationship Mangement* - CRM); negócio eletrônico (do inglês e-*business*) e transações comerciais entre empresas que utilizam a internet ou redes privadas (do inglês *business to business* - b2b).

Os sistemas ERP se propõem a dar suporte a todas as necessidades de informação para o controle e tomada de decisões gerenciais de uma organização como um todo. Eles integram o fluxo de informação entre todas as atividades consideradas como sendo as mais relevantes da empresa. A entrada da informação acontece uma única vez, estando estas informações disponíveis para toda a organização.

O negócio eletrônico significa usar as tecnologias da Internet para transformar processos de negócio, não restritos apenas a comércio eletrônico. É um termo para expressar a forma de fazer negócio integrando ferramentas para Web com as já existentes na organização.

O b2b é o nome dado a transações comerciais entre empresas através de sistemas computacionais. Através de aplicações b2b, fazendo uso de tecnologias de redes, é possível estabelecer intercâmbio automático de informações entre os sistemas de diferentes organizações, melhorando os serviços oferecidos aos clientes e fazendo parcerias com fornecedores.

O CRM é uma estratégia que as empresas usam para melhor informarem-se sobre as necessidades e os comportamentos dos clientes e desenvolver relações mais estreitas com eles. Embora, algumas vezes, a tecnologia seja visualizada como um fator responsável por

eliminar o caráter pessoal das relações humanas, para que uma empresa otimize todos os seus processos de relacionamento com o cliente, uma estrutura de SI adequada e aliada a recursos de TI é fundamental. Uma empresa com um CRM eficiente é capaz de reconhecer o cliente de maneira personalizada, melhorar os serviços oferecidos e identificar novas oportunidades de negócio.

Independente do tipo de sistema, o sucesso de um SI depende da integração de todos os sistemas de uma organização. Tal integração significa entrar ou gerar informação no sistema uma única vez e tê-la disponível para toda a empresa. Outro fator que maximiza os resultados obtidos com investimentos em SI é o alinhamento da estratégia de SI com a estratégia de negócio.

O planejamento de SI deve fazer parte do plano de Estratégico da organização. É necessário integrar a visão corporativa à visão de gestão de recursos de informação, o que não é uma tarefa fácil. É preciso entender as duas perspectivas para saber exatamente o que se deseja integrar (ALMEIDA & RAMOS, 2002).

Um planejamento acontece com sucesso quando identifica projetos que agregam valor para as organizações e fornece eficiente suporte para implantá-los. Numa visão mais moderna de planejamento, esse deve ser proativo, quando se antecipa às necessidades da organização, e ao mesmo tempo reativo, sendo flexível o suficiente para ajustar-se às mudanças no ambiente (SALMELA *et al.*, 2000).

Para que os SI melhorem o desempenho organizacional, apóiem o processo decisório e criem uma vantagem competitiva para a organização, o processo de Planejamento de SI deve ser direcionado pelo negócio e não pela tecnologia (TI).

2.3 O problema de decisão na área de SI

O problema de avaliação de SI está inserido num contexto maior de seleção ou de priorização de sistemas. Dessa forma, as empresas tomam a decisão sobre qual Sistema de Informação investir a partir de uma avaliação e conseqüente priorização desses sistemas.

Uma decisão precisa ser tomada sempre que se está diante de um problema que possui mais que uma alternativa para sua solução. Mesmo quando, para solucionar um problema, se possui uma única ação a tomar, tem-se as alternativas de tomar ou não essa ação (Gomes *et al.*, 2009). Decisões são necessárias quando uma oportunidade ou um problema existe, ou quando algo não é o que deveria ser ou, ainda, quando existe uma oportunidade de melhoria ou otimização.

Algumas decisões, quando realizadas, seguem um único parâmetro para escolha; assim, se procede a uma mensuração desse parâmetro, que pode ser qualitativo ou quantitativo. No entanto, na década de 70, vários pesquisadores e usuários de pesquisa operacional perceberam que as decisões no mundo real nunca se dão visando apenas um critério de decisão. As decisões humanas se dão em presença de pelo menos dois critérios. Logo, decidir é escolher uma alternativa em um conjunto de alternativas possíveis sob a influência de pelo menos dois parâmetros (GOMES *et al.*, 2009).

Problemas de decisão que apresentam vários critérios, segundo os quais as alternativas serão avaliadas, são conhecidos como problemas de decisão multicritério. Tais problemas, segundo Malczewski (1999), envolvem seis componentes:

- objetivos;
- decisor(es);
- conjunto de critérios de decisão;
- conjunto de alternativas;
- conjunto de estados da natureza;
- conseqüências das decisões.

Muitas vezes, a seleção de SI caracteriza-se como um problema de decisão multicritério, situação em que comparar as aplicações de SI e estabelecer uma ordem ou seleção entre elas pode ser difícil de tratar de forma objetiva, uma vez que a avaliação do que é mais preferido dependerá, como já foi dito, de mais de um aspecto ou critério a ser considerado (GOMES *et al.*, 2009).

Segundo Vincke (1992), um problema de decisão multicritério é uma situação em que, sendo definido um conjunto de ações *A* e uma família de critérios *F*, deseja-se:

- determinar um subconjunto de ações consideradas as melhores em relação a *F* (problema de escolha);
- particionar *A* em subconjuntos, de acordo com algumas normas (problema de classificação);
- ordenar as ações de *A* da melhor para a pior (problema de ordenação).

Na verdade, os problemas reais podem, em algumas situações, serem uma mistura de escolha, classificação e ordenação.

Dentro do processo de decisão, existem os atores da decisão, que são as pessoas envolvidas nesse processo e que contribuem de alguma forma para a tomada de uma decisão satisfatória.

Para que um agente de decisão possa efetuar escolhas sobre um conjunto de ações potenciais A, supõe-se que sua análise será baseada em diferentes critérios. Na escolha, por exemplo, entre diversas marcas de determinado produto, características como preço, qualidade, estética e durabilidade, devem ser consideradas pelo consumidor. Essas características são denominadas atributos. Quando esses atributos apresentam um mínimo de informação relativa às preferências desse consumidor, eles são chamados de critérios. Assim, um critério expressa, com maior ou menor precisão, as preferências de um agente de decisão com respeito a certo atributo (Gomes *et al.*, 2009). Há autores, no entanto, que não fazem distinção entre os conceitos de atributos e critérios

Costa (2003) argumenta que a palavra critério na língua portuguesa apresenta como um dos seus significados "*aquilo que serve de norma para julgamento ou apreciação*". Esse significado se enquadra bem no contexto de tomada decisão. Por meio dos critérios, é possível estabelecer um julgamento de valor e construir as relações de preferências entre alternativas. No trabalho dessa autora os critérios também são referenciados como atributos.

Segundo Gomes *et al.* (2009), um critério *g* é uma função com valores reais, definida sobre um conjunto de potenciais alternativas *A*, de forma que é possível comparar duas alternativas *a* e *b*, segundo esse critério, com base na comparação de dois números *g(a)* e *g(b*), que representam respectivamente as avaliações de *a* e *b* à luz do critério *g*. Assim, se *g(a)* > *g(b)* $\Rightarrow a\ P_g\ b$ (*a* é preferível a *b*, com relação ao critério *g*).

Os critérios ou atributos de decisão podem ser quantitativos, quando são avaliados segundo escalas numéricas (ex: preço, velocidade, área e outros), ou qualitativos, para os quais não existe unidade de medida definida (ex: qualidade, conforto, impacto ambiental, etc). A depender das preferências dos decisores, os critérios podem ter, em dado problema, um sentido de maximização ou de minimização (GOMES *et al.*, 2009).

No próximo item, é abordada a Teoria da Utilidade Multiatributo, que é um método de apoio multicritério a decisão, no qual se baseia o método SMARTS utilizado no modelo proposto desse trabalho.

2.3.1 Teoria da Utilidade Multiatributo – MAUT

A Teoria da Utilidade Multiatributo (MAUT) foi derivada da Teoria da Decisão (Keeney & Raiffa, 1976) e incorpora à teoria da utilidade a questão do tratamento de problemas com múltiplos objetivos (atributos) (ALMEIDA & RAMOS, 2002).

No conjunto de métodos de apoio multicritério a decisão, esse é o único que recebe o nome de teoria. Essa distinção está associada à forma como se obtém a função utilidade

multiatributo. Como teoria, a determinação da função está associada à confirmação da relação que existe entre a estrutura axiomática da teoria e a estrutura de preferências do decisor. Como método, essa confirmação não é efetuada, pelo menos em alguns estágios do processo de análise (GOMES *et al.*, 2009).

O MAUT consiste na agregação de diferentes atributos em um critério único de síntese. Assim, é construída uma função utilidade $u(g_1, ..., g_j, ..., g_n)$ que agrega os critérios g_j $(j=1, ..., n)$ em um critério único de síntese, explicitando as preferências do decisor. Esse método de agregação dos critérios equivale a uma compensação entre os mesmos, o que sugere, segundo Vincke (1992), uma quantidade que contrabalance a desvantagem de um, em relação à vantagem de outro. Por esse motivo, é chamado de método compensatório.

A Teoria da Utilidade Multiatributo irá, então, maximizar a função $u(g_j) = U(g_1, ..., g_j, ..., g_n)$ que agrega todos os pontos de vista sobre o problema (KEENEY & RAIFFA, 1976).

A função utilidade $U(g_j)$ é obtida através de processo estruturado e fundamentado na estrutura axiomática da teoria da utilidade, incluindo inclusive a questão probabilística sobre a escolha entre diferentes conseqüências. Este processo é geralmente denominado de elicitação da função utilidade (ALMEIDA & RAMOS, 2002).

Keeney & Raiffa (1976) apresentam uma metodologia que permite a determinação da função utilidade por um processo composto de cinco etapas: 1) Preparação do decisor para avaliação; 2) Identificação de independência; 3) Avaliação da função utilidade condicional; 4) Avaliação das constantes de escala; 5) Checagem da consistência.

No processo de elicitação da função utilidade é efetuada a avaliação e estudo das condições de independência em preferência do decisor em relação aos atributos. A independência em utilidade implica em uma independência das preferências do decisor entre os atributos de maneira a simplificar bastante a forma analítica da função utilidade multiatributo (ALMEIDA & RAMOS, 2002).

A independência aditiva (Keeney & Raiffa, 1976) consiste em outra condição mais restritiva para a estrutura de preferências do decisor e leva a forma da função utilidade aditiva. Dessa forma, tem-se como forma típica para a função utilidade multiatributo a função utilidade aditiva, representada a seguir:

$$u(a) = \sum_{j=1}^{n} k_j u_j(a) \qquad (2.1)$$

Nesta equação, $u_j(a)$ representa a função utilidade unidimensional da alternativa a segundo o j-ézimo atributo e k_j (com $k_j \geq 0$) representa uma constante de escala relativa ao j-ézimo atributo. Esta constante de escala é algumas vezes indevidamente chamada de peso.

Outra forma de se obter a função utilidade multiatributo seria através da avaliação direta. A avaliação direta para vários atributos é semelhante ao caso mono-atributo. A diferença básica é a dimensão da conseqüência. No caso de apenas um atributo, a conseqüência é um ponto em uma reta; no caso bi-atributo, é um ponto no espaço bidimensional; no caso de *n* atributos, é um ponto no espaço *n* (ALMEIDA & RAMOS, 2002).

Segundo Almeida e Ramos (2002), a escolha do MAUT é apropriada para o caso de um decisor que esteja em conformidade com a racionalidade proposta pela estrutura axiomática da teoria, o que implica em uma lógica de compensação entre os critérios, de modo a se obter uma função de síntese que agregue todos os critérios.

2.4 Método SMARTS

Sabe-se que o processo de construção de um funcional que represente as preferências do decisor pode ser bastante trabalhoso. Mas, na prática, um alto nível de detalhamento das funções utilidade para cada critério pouco contribui para o resultado final devido aos freqüentes erros de julgamento. A fim de se evitar esse processo longo e sujeito a erros, Edwards (1971) *apud* Edwards & Barron (1994) propôs a aproximação de cada função utilidade por funções lineares e a agregação dessas pelo modelo aditivo (PARREIRAS, 2006).

O SMARTS (*Simple Multiattribute Rating Technique* usando *Swings Weights*) foi desenvolvido por Edwards & Barron (1994) e constitui uma evolução do método SMART desenvolvido por Edwards em 1971. O SMARTS é um método de mensuração da utilidade multiatributo baseado num procedimento de elicitação dos pesos. Na prática, ele provê uma maneira simples para implementar os princípios da Teoria da Utilidade Multiatributo.

Segundo Edwards & Barron, (1994), o SMART não requer julgamento de preferência ou indiferença entre alternativas hipotéticas, como é requerido na maioria dos métodos derivados do MAUT. Dessa forma, uma das vantagens do SMART é a simplicidade tanto das respostas exigidas pelo decisor como também da análise que é feita sobre estas respostas. A análise do problema é bastante transparente, de forma que o decisor apresenta um bom entendimento sobre o processo utilizado na solução do problema. Muitas abordagens, por outro lado, não apresentam a transparência necessária a uma boa compreensão do caso analisado. O SMART tem ainda, como característica, uma velocidade considerável com que é aplicado, resultando, assim, em uma ferramenta bastante útil em conferências de decisão.

Essa simplicidade, todavia, pode fazer com que o método deixe de captar alguns detalhes importantes da complexidade do problema real. Seu idealizador, em contrapartida,

argumenta que erros podem surgir também na modelagem e no processo de elicitação da função utilidade ao se empregar o MAUT.

O erro de modelagem ocorre devido à aplicação de um modelo com hipóteses bastante simplificadas. O erro de elicitação surge quando as medidas obtidas não refletem acuradamente as preferências subjetivas (EDWARDS & BARRON, 1994).

A idéia básica da medição da utilidade multiatributo é que cada conseqüência de uma ação pode ter valor em um número de diferentes dimensões. O MAUT procura medir estes valores em uma dimensão por vez e, segue pela agregação destes valores sobre as dimensões, através do processo de obtenção do peso. A mais simples e mais utilizada regra de agregação é tomar uma média ponderada linear, ou seja:

$$valor = \sum_{k} w_k s_{jk} \tag{2.2}$$

w_k – o peso na k-ésima dimensão

s_{jk} – a medida da alternativa j na dimensão k

No método SMART, a atribuição dos pesos é feita em duas etapas:

1. os critérios são ordenados de acordo com sua importância; e
2. o decisor avalia a importância relativa de cada critério, iniciando pelo critério de menor importância para o de maior importância.

Na etapa 2, normalmente, são atribuídos 10 pontos para o critério de menor importância, e as importâncias dos demais critérios assumem valores acima de 10 (GOMES *et al.*, 2009).

O método SMART é geralmente aplicado através de dez passos:

1. Identificação do decisor (pessoa ou organização dos quais a utilidade deverá ser maximizada).
2. Identificar a questão ou as questões.
3. Identificar as alternativas a serem avaliadas.
4. Identificar os atributos que são importantes para avaliação das alternativas.
5. Ordenar os critérios em ordem de importância.
6. Razão das dimensões em importância: preservação das taxas.
7. Somar a importância dos pesos e dividir cada um pela soma.
8. Avaliação das alternativas em cada dimensão.
9. Cálculo das utilidades para as alternativas.
10. Decidir.

Por outro lado, o SMARTS é um método de medição da utilidade multiatributo baseado em um procedimento de elicitação dos pesos dos critérios conhecido como *Swing Weights,* o qual será traduzido aqui como processo de troca.

A grande diferença existente entre o SMART e o SMARTS, dessa forma, está relacionada com a metodologia utilizada para a atribuição de pesos aos critérios. No processo de troca (*Swing Weights*), o decisor é convidado a considerar a situação hipotética de uma alternativa que possui a menor pontuação em todos os critérios envolvidos no processo de decisão. O decisor, assim, atribui 100 pontos para o critério que decide elevar primeiro à maior pontuação possível. O decisor, após atribuir 100 pontos para esse critério, elimina-o do processo (EDWARDS & BARRON, 1994).

O SMARTS permite, portanto, definir o peso de um critério analisando as avaliações das alternativas para esse critério e não apenas a importância do mesmo para o decisor. Caso todas as alternativas possuam avaliações semelhantes para o mesmo critério, esse deixa de ser relevante no processo de decisão, embora seja de extrema importância para os decisores ao se considerar outras alternativas. O SMART não possibilita tal análise.

Em seguida, ainda dentro do processo de troca, o decisor consulta os critérios restantes e novamente escolhe o critério que gostaria de elevar, e atribui um valor inferior a 100 pontos, e assim o faz para todos os critérios.

Uma vez ordenados os critérios, os decisores são questionados com relação ao valor de cada critério em uma escala de valores do critério que foi considerado o melhor para os decisores, estabelecendo, dessa forma, o peso para os critérios (GUSMÃO *et al.*, 2004).

Dessa forma, o método SMARTS é aplicado utilizando-se nove passos:

1. Identificação do decisor (pessoa ou organização dos quais a utilidade deverá ser maximizada);
2. Identificar a questão ou as questões uma vez que a utilidade depende do contexto e do propósito de decisão;
3. Identificar as alternativas a serem avaliadas;
4. Identificar os atributos que são importantes para avaliação das alternativas;
5. Avaliação das alternativas em cada dimensão;
6. Utilizar o processo de troca;
7. Localizar os critérios dentro da escala de 0 a 1;
8. Cálculo das utilidades para as alternativas;
9. Decidir.

Além da simplicidade e transparência características do SMARTS, pode-se afirmar que esse método, assim como o MAUT, é um método compensatório. Isso significa uma quantidade que contrabalance a desvantagem de um critério em relação a uma vantagem em outro. Dessa forma, o SMARTS favorece ações não balanceadas, aquelas cuja performance é excelente sob algum aspecto, mas sofrível nos demais.

O SMARTS fornece um valor de utilidade para cada alternativa, através de uma função valor aditiva que calcula a média das avaliações de uma determinada alternativa à luz dos vários atributos ponderada pela importância desses atributos. No entanto, o SMARTS provê uma forma bem mais estruturada de captar as preferências dos decisores em relação aos critérios de avaliação, levando em consideração não somente a importância que os decisores atribuem a cada critério, mas também o intervalo de avaliação das alternativas no problema de decisão em questão. Além dessa vantagem, o SMARTS é uma metodologia de fácil aplicação e apresenta resultados precisos, sendo recomendada para avaliações tecnológicas e econômicas como afirma Biruel Junior (2008).

Da forma como será aplicado o método SMARTS no modelo proposto, não será necessário realizar as etapas 8 e 9. O objetivo, ao se utilizar o SMARTS nesse trabalho, é captar as preferências e julgamentos de valor com relação aos atributos de um problema de decisão, ou seja, definir de forma simples as importâncias atribuídas pelo decisor levando-se em consideração as alternativas disponíveis.

2.5 Análise Envoltória de Dados - DEA

2.5.1 Conceitos gerais

Cada vez mais cresce o interesse das organizações com relação à mensuração e comparação da eficiência de unidades organizacionais de mesmo tipo, como departamentos, hospitais, escolas e bancos. As empresas eficientes são utilizadas como modelo para as demais organizações, uma vez que utilizam as melhores práticas. Com essa avaliação de eficiência, é possível realizar um *benchmarking*, o qual proporciona significantes melhorias e alerta as organizações com relação a novas práticas ou novos paradigmas.

A avaliação da eficiência de empresas, sistemas e outros, também serve, em algumas ocasiões, para suportar alguns processos decisórios dos tipos: em que sistema investir, qual produto fabricar, que consultoria contratar, etc.

Entretanto, mensurar a eficiência de uma organização é um processo complicado em virtude de vários fatores. Primeiramente, as organizações são entidades comportamentais e

economicamente complexas, de forma que não é possível se calcular uma medida absoluta de eficiência tal como as medidas obtidas na engenharia e na física. Por isso, mais na frente será visto que nesses casos se utiliza medidas relativas de eficiência; organizações são comparadas com outras similares. Outro fator complicador se refere ao fato de que as organizações são entidades econômicas compostas por processos de transformação multidimensionais onde múltiplos *input* são utilizados para produzir múltiplos *output*. Portanto, ponderações adequadas para os *input* e *output* devem ser obtidas para se calcular uma medida de eficiência de toda organização.

Existem, atualmente, várias definições para os conceitos de eficiência, eficácia e produtividade. Nesse trabalho, irá se adotar os conceitos utilizados por Mello *et al.* (2005), o qual estabelece o seguinte:

- Eficácia: é a capacidade de a unidade produtiva atingir a produção, ou resultado, que tem como meta sem levar em consideração os recursos usados para tanto.
- Produtividade: refere-se ao quociente entre o que foi produzido (ou alcançado) e o que foi gasto para produzir (para alcançar o resultado). Assim, diz-se que uma empresa é mais produtiva se ela produz mais com os mesmos recursos ou se obtém os mesmos resultados com menos recursos.
- Eficiência: é um conceito relativo que compara o que foi produzido, dado os recursos disponíveis, com o que poderia ter sido produzido com os mesmos recursos.

O conceito de eficiência se torna, assim, mais adequado quando está associado à comparação entre empresas similares, ou seja, que trabalham no mesmo setor da economia, com os mesmos objetivos, nas mesmas condições de mercado, utilizando os mesmos recursos (*input* ou entradas) para gerar produtos (*output* ou saídas) semelhantes.

Usualmente, a medida de eficiência utilizada corresponde à razão entre a soma ponderada de *output* e a soma ponderada de *input* (SIEMS, 1992 *apud* BECKER *et al.*, 2003):

$$\text{EFICIÊNCIA}_k = \frac{\sum_{j=1}^{n} W_{jk} OUTPUT_{jk}}{\sum_{i=1}^{m} V_{ik} INPUT_{ik}} \qquad k = 1, ..., N \tag{2.3}$$

V_{ik} – o peso unitário do *input i* e

W_{jk} – o peso unitário do *output j* para a unidade estudada *k*

Nessa notação, existem *N* unidades que estão sendo avaliadas, *m* variáveis de *input* e *n* variáveis de *output*. As unidades (escalas) de medida não são, necessariamente, as mesmas para as variáveis de *input* e de *output*. Pode-se, por exemplo, utilizar a relação tonelada de grãos por hectare como uma medida de eficiência de um agricultor. Mas, uma vez adotada uma medida de eficiência, todas as unidades (agricultores) devem ser avaliadas considerando as mesmas variáveis e respectivas unidades de medida. Para cada unidade estudada, determina-se o conjunto de pesos que lhe fornece a maior eficiência possível. Dessa forma, o valor da eficiência fica restrito ao intervalo [0,1]. A definição operacional de *input* e *output* depende do contexto e dos objetivos do problema de pesquisa.

Na avaliação da eficiência, os métodos paramétricos supõem uma relação funcional pré-definida entre os recursos e o que foi produzido e geralmente utilizam valores médios para determinar o que poderia ter sido produzido. Os métodos não-paramétricos, onde se inclui o DEA, não fazem nenhuma suposição prévia e consideram que o máximo que poderia ser produzido é obtido por meio da observação das unidades produtivas que estão sendo avaliadas (MELLO *et al.*, 2005).

Para ilustrar esses conceitos, serão apresentados aqui alguns exemplos do trabalho de (Mello *et al.*, 2005). Na Figura 2.2, o eixo *X* representa os recursos e o eixo *Y* a produção. A curva *S*, chamada fronteira de eficiência, indica o máximo que foi produzido para cada nível de recurso. A região abaixo da curva é chamada de conjunto viável de produção.

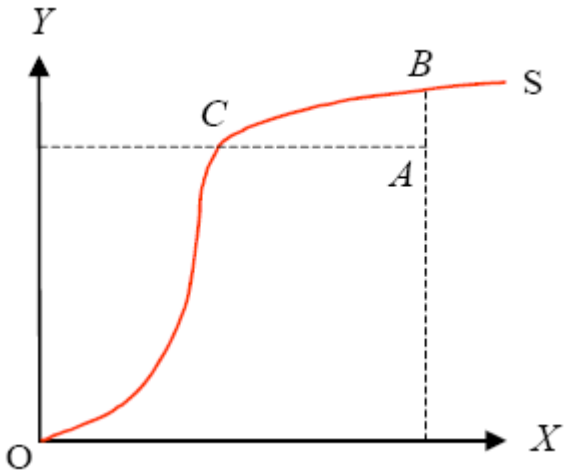

Figura 2.2 – Curva de um processo de produção (Fonte: Mello et al., 2005)

Na Figura 2.3, é mostrada a diferença entre os conceitos de produtividade e eficiência:

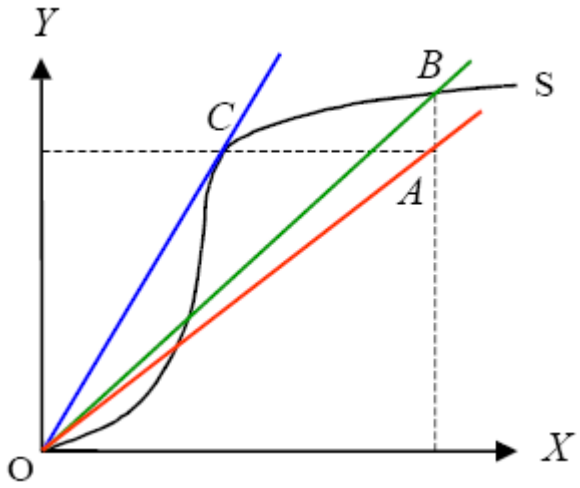

Figura 2.3 – Produtividade x Eficiência (Fonte: Mello et al., 2005)

Nessa figura, as unidades *B* e *C* são eficientes, pois estão localizadas na fronteira de eficiência (curva *S*), mas a unidade *C* é mais produtiva. Esse fato pode ser observado comparando-se os coeficientes angulares das retas *OC* e *OB*. A unidade mais produtiva é aquela cuja reta que a liga à origem apresenta o maior coeficiente angular. Assim, *C* é mais produtiva porque possui uma maior relação produto/insumo. Já a unidade *A* é uma unidade improdutiva, pois apresenta a menor razão produto/insumo, e ineficiente, pois consome os mesmos recursos que *B* e *C*, mas sua produção é inferior às produções de destas unidades.

Pode-se, concluir, então, que existem duas formas básicas de uma unidade ineficiente vir a se tornar eficiente. Uma forma é reduzindo a quantidade de recursos consumidos, mantendo-se os níveis de produção, a qual é chamada orientação a *input*. A segunda forma, conhecida como orientada a *output*, consiste em aumentar a produção utilizando-se os mesmos insumos. Para ilustrar essa idéia, considere a Figura 2.4 também apresentada por Mello *et al.* (2005).

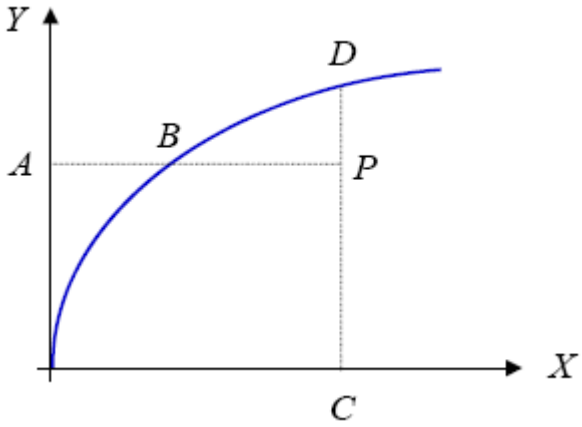

Figura 2.4 – Fronteira de eficiência (Fonte: Mello et al., 2005)

Nesse caso, *P* pode tornar eficiente reduzindo os recursos consumidos, ou seja, aproximando-se da unidade *B* (orientação a *input*), ou aumentando a quantidade produzida, isto é, caminhando ao encontro de *D* (orientação a *output*). Na primeira situação, a eficiência é definida pelo quociente *AB*/*AP* e no segundo caso é dada por *CP*/*CD*.

2.5.2 Os modelos DEA

O uso da programação linear para avaliação da eficiência relativa de unidades produtivas (do inglês *Decision Making Units* – DMUs) foi proposto inicialmente por Farrel (1957) *apud* Allen *et al.* (1997). Esse desenvolvimento, no entanto, só foi operacionalizado e tornou-se popular a partir dos trabalhos de Charnes *et al.* (1978), que estabeleceram a Análise de Envoltória de Dados (DEA), a qual tem por objetivo avaliar o grau de eficiência relativa de unidades produtivas que realizam uma mesma atividade, quanto à utilização dos seus recursos.

Essa técnica permite analisar a eficiência de DMUs com múltiplos insumos (*input*) e múltiplos produtos (*output*) através da construção de uma fronteira de eficiência, de tal forma que as empresas que possuírem a melhor relação produto/insumo serão consideradas mais eficientes e estarão situadas sobre esta fronteira e, as menos eficientes estarão situadas numa região inferior à fronteira, conhecida como envelope (por isso o nome envoltória) (PIMENTA *et al.*, 2003).

Uma DMU é definida como eficiente (taxa de eficiência igual a 100%) se nenhuma outra DMU no conjunto de dados puder produzir mais *output* com o mesmo *input*, ou o mesmo *output* utilizando menos *input* (SOTERIOU & ZENIOS, 1999 *apud* BECKER *et al.*, 2003).

O DEA apresenta os seguintes objetivos (MELLO *et al.*, 2005):

- Identificar as DMUs eficientes, medir e localizar a ineficiência e estimar uma função de produção linear por partes (*piece-wise linear frontier*), que fornece o *benchmark* (referência) para as DMUs ineficientes.
- Determinar a eficiência relativa das DMUs, contemplando cada uma relativamente a todas as outras que compõem o grupo a ser estudado. Assim, em algumas situações, DEA pode ser usado na problemática da ordenação como ferramenta multicritério de apoio à decisão (Barba-Romero e Pomerol, 1997 *apud* Mello *et al.* 2005), já que, neste caso, estabelece uma relação binária de pré-ordem entre as DMUs.
- Subsidiar estratégias de produção que maximizem a eficiência das DMUs avaliadas.

- Estabelecer taxas de substituição entre as entradas, entre as saídas e entre entradas e saídas, permitindo a tomada de decisões gerenciais.
- Considerar a possibilidade de os *outliers* não representarem apenas desvios em relação ao comportamento médio, mas possíveis *benchmarks* a serem analisados pelas demais DMUs.
- Não necessidade de determinar uma forma funcional para a estimativa da fronteira.

Segundo Haslem, *et al.*, (1999) *apud* Becker *et al.*, (2003), as principais vantagens dos modelos DEA são: (a) a flexibilidade, uma vez que é uma técnica não-paramétrica, não exigindo uma forma explícita de relacionamento entre *input* e *output*, sendo desnecessário o conhecimento detalhado do processo de produção; e (b) a geração de cenários, identificando as DMUs eficientes e as ineficientes, oferecendo objetividade para proposição de melhoria das ineficiências.

A aplicação do DEA deve considerar três fases no estudo de medida de eficiência (GOLANY e ROLL, 1989 *apud* BECKER *et al.*, 2003):

1. definição e seleção das DMUs para a análise,
2. determinação de fatores de *input* e *output* que são relevantes e apropriados, e
3. elaboração de um modelo de análise de eficiência.

Na fase de definição e seleção das DMUs, alguns autores sugerem que o número de DMUs deve ser maior do que o produto do número de *input* e *output* (Soterious and Zenios, 1998 *apud* Bendoly *et al.*, 2008) ou três vezes a soma dos *input* e *output*.

Conforme Mello *et al*. (2005) embora várias formas da fronteira possam ser determinadas, existem dois modelos que são considerados clássicos: o CCR e o BCC.

No modelo DEA CCR, apresentado originalmente por Charnes *et al*. (1978), é construída uma superfície linear por partes, não paramétrica, envolvendo os dados. Trabalha-se com retornos constantes de escala, isto é, qualquer variação nas entradas (*input*) produz variação proporcional nas saídas (*output*). Esse modelo é igualmente conhecido como modelo CRS (*Constant Returns to Scale*) ou CCR.

No modelo CCR, a eficiência é determinada pela otimização da divisão entre a soma ponderada das saídas pela soma ponderada das entradas. Esse modelo permite também que cada DMU escolha os pesos para cada variável (entrada ou saída) da forma que lhe for mais benevolente, com a condição de que esses pesos quando aplicados às outras DMUs não gerem uma razão superior a 1 (restrição 2.5 do modelo apresentado a seguir).

O modelo CCR ainda subdivide-se em: orientado a *input* e orientado a *output*. No modelo orientado a *input*, o objetivo é minimizar as entradas (*input*), mantendo-se as saídas

(*output*) inalteradas. Nesse caso, é apresentado um problema de programação fracionária do tipo:

$$\text{Max } Eff_o = \left(\frac{\sum_{j-1}^{S} u_j y_{jo}}{\sum_{i=1}^{r} v_i x_{io}} \right) \tag{2.4}$$

sujeito a

$$\frac{\sum_{j-1}^{S} u_j y_{jk}}{\sum_{i=1}^{r} v_i x_{ik}} \leq 1, \forall k \tag{2.5}$$

$$v_i, u_j \geq 0, \ \forall i, j \tag{2.6}$$

Eff_o – a eficiência de uma DMU *o* em análise

v_i – representa os pesos dos *input i, i=1,...,r*

u_j – representa os pesos dos *ouputs j, j=1,...,s*

x_{ik} – são os *input i* da DMU *k*

y_{jk} – são os *output j* da DMU *k*

$k = 1, ..., n$

Esse problema deve ser resolvido para cada uma das DMUs e pode ser transformado em um problema de programação linear (PPL). Para tal, obriga-se que o denominador da função objetivo, que é a soma ponderada dos *input*, seja igual a uma constante, normalmente igual à unidade.

Uma vez que a definição de eficiência, utilizando o modelo DEA, é baseada no conceito de produtividade total e é determinada pela razão da soma ponderada dos *output* pela soma ponderada dos *input* de uma DMU, as variáveis de decisão são os pesos dos *input* e *output*.

O modelo DEA CCR orientado a *input* é geralmente representado da seguinte forma:

$$\text{Max } Eff_o = \sum_{j-1}^{S} u_j y_{jo} \tag{2.7}$$

sujeito a

$$\sum_{i=1}^{r} v_i x_{io} = 1 \tag{2.8}$$

$$\sum_{j-1}^{S} u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^{r} v_i x_{ik} \leq 0, \forall k \quad (2.9)$$

$$v_i, u_j \geq 0, \forall i, j \quad (2.10)$$

Esse problema de programação linear é chamado de Modelo dos Multiplicadores com orientação a *input*. Como a orientação a *input* está associada ao fato da eficiência ser atingida com redução de recursos, muitas vezes se utiliza o dual deste modelo, o qual é apresentado a seguir e é conhecido como Modelo do Envelope:

$$\text{Min } h_o \quad (2.11)$$

sujeito a

$$h_o x_{jo} - \sum_{k=1}^{n} x_{ik} \lambda_k \geq 0, \forall i \quad (2.12)$$

$$- y_{jo} + \sum_{k=1}^{n} y_{ik} \lambda_k \geq 0, \forall j \quad (2.13)$$

$$\lambda_k \geq 0, \forall k \quad (2.14)$$

Nessa última forma de representação do modelo DEA CCR orientado a *input*, a função objetivo representa a eficiência, que é o valor a ser multiplicado por todos os *input* de forma a obter valores que coloquem a DMU na fronteira eficiente. Dessa forma, os *input* têm seus valores reduzidos. O primeiro conjunto de restrições garante que essa redução em cada um dos *input* não ultrapasse a fronteira definida pelas DMUs eficientes. Já o segundo grupo de restrições garante que redução nos *input* não altere o nível atual dos *output* da DMU. Enquanto no Modelo dos Multiplicadores, os pesos são as variáveis de decisão, no Modelo do Envelope as variáveis de decisão são h_o e λ_k. Se o valor de λ_k, por exemplo, for igual a zero significa que a DMU *k* não é *benchmark* para a DMU *o*. Quanto maior for o valor de λ, maior a importância da DMU correspondente como referência para a DMU ineficiente (MELLO *et al*., 2005).

No modelo CCR orientado a *output*, o objetivo é maximizar os *output* sem alterar os *input*. Sua representação no Modelo dos Multiplicadores é:

$$\text{Min } h_o = \sum_{i-1}^{r} v_i x_{io} \quad (2.15)$$

sujeito a

$$\sum_{j-1}^{S} u_j y_{jo} = 1 \quad (2.16)$$

$$\sum_{i=1}^{r} v_i x_{ik} - \sum_{j-1}^{S} u_j y_{jk} \geq 0, \forall k \quad (2.17)$$

$$v_i, u_j \geq 0, \forall j, i \quad (2.18)$$

Nesse problema de programação linear o objetivo é minimizar os *input* de forma que a soma ponderada dos *output* deva ser igual a uma constante (unidade). Da mesma forma que no modelo orientado a *input*, o modelo orientado a *output* pode ser representado na forma dual (Modelo do Envelope), o qual permite uma melhor visualização do real objetivo da orientação a *output* (maximização dos *output*):

$$\text{Max } h_o \quad (2.19)$$

sujeito a

$$x_{jo} - \sum_{k=1}^{n} x_{ik} \lambda_k \geq 0, \forall i \quad (2.20)$$

$$-h_o y_{jo} + \sum_{k=1}^{n} y_{jk} \lambda_k \geq 0, \forall j \quad (2.21)$$

$$\lambda_k \geq 0, \forall k \quad (2.22)$$

Nesse modelo CCR orientados a *output*, as variáveis de decisão são as mesmas do modelo orientado a *input*. No entanto, h_o representa por quanto todos os produtos devem ser multiplicados, mantendo-se constantes os recursos, para a DMU *o* atingir a fronteira eficiente. Dessa forma, h_o é um número maior que um, pois provoca incremento no valor dos *output* (MELLO *et al*., 2005).

Banker (1984) *apud* Mello *et al*. (2005), a partir do modelo CCR, cria o modelo BCC para os casos de retornos variáveis de escala, isto é, substitui o axioma da proporcionalidade entre *input* e *output* pelo axioma da convexidade. Assim, esse modelo também é conhecido como VRS (*Variable Returns to Scale*). Uma vez que existe a condição de que a fronteira seja convexa, o modelo BCC permite que DMUs que operam com baixos valores de input tenham retornos crescentes de escala e as que operam com altos valores tenham retornos decrescentes de escala. Matematicamente, a convexidade da fronteira equivale a uma restrição adicional ao Modelo do Envelope (MELLO *et al*., 2005).

O Modelo dos Multiplicadores e o Modelo do Envelope orientado a *input* são representados em (2.23) e (2.24):

$$\text{Max } Eff_o = \sum_{j=1}^{s} u_j y_{jo} + u *$$

sujeito a

$$\sum_{i=1}^{r} v_i x_{io} = 1 \tag{2.23}$$

$$-\sum_{i=1}^{r} v_i x_{ik} + \sum_{j=1}^{s} u_j y_{jk} + u^* \leq 0, \ \forall k$$

$$v_i, u_j \geq 0, u^* \in \Re$$

Min h_o

sujeito a

$$h_o x_{io} - \sum_{k=1}^{n} x_{ik} \lambda_k \geq 0, \ \forall i \tag{2.24}$$

$$-y_{jo} + \sum_{k=1}^{n} y_{jk} \lambda_k \geq 0, \ \forall j$$

$$\sum_{k=1}^{n} \lambda_k = 1$$

$$\lambda_k \geq 0, \ \forall k$$

Já o Modelo dos Multiplicadores e o Modelo do Envelope orientado a *output* são representados em (2.25) e (2.26):

$$\text{Min } Eff_o = \sum_{i=1}^{r} v_i x_{io} + v^*$$

sujeito a

$$\sum_{j=1}^{s} u_j y_{jo} = 1 \tag{2.25}$$

$$-\sum_{i=1}^{r} v_i x_{ik} + \sum_{j=1}^{s} u_j y_{jk} - v^* \leq 0, \ \forall k$$

$$v_i, u_j \geq 0, v^* \in \Re$$

Max h_o

sujeito a

$$x_{io} - \sum_{k=1}^{n} x_{ik} \lambda_k \geq 0, \ \forall i$$

$$-h_o y_{jo} + \sum_{k=1}^{n} y_{jk} \lambda_k \geq 0, \ \forall j \tag{2.26}$$

$$\sum_{k=1}^{n} \lambda_k = 1$$

$$\lambda_k \geq 0, \ \forall k$$

Nos Modelos dos Multiplicadores orientados a *input* e a *output*, as variáveis u^* e v^* são as variáveis duais associadas à condição $\sum_{k=1}^{n} \lambda_k = 1$ e são interpretadas como fatores de escala (MELLO *et al*., 2005).

A interpretação geométrica dos fatores de escala pode ser visualizada nas Figuras 2.5 e 2.6 para os casos de orientação a *input* e orientação a *output* respectivamente (Mello *et al*., 2005). Nesses dois casos, os fatores de escala representam os interceptos dos hiperplanos suporte das faces da fronteira de eficiência.

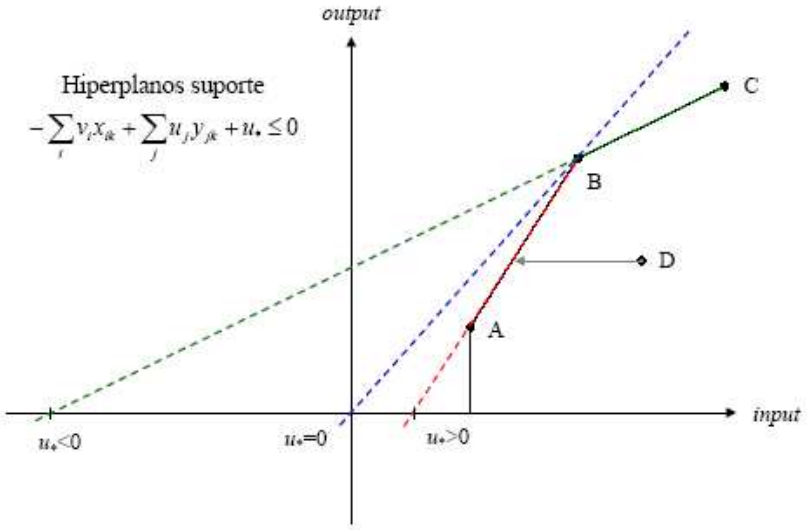

Figura 2.5 – Fatores de escala (modelo BCC com orientação a input) (Fonte: Mello et al., 2005)

No modelo orientado a *input*, apresentado acima, valores positivos de u^* indicam retornos crescentes de escala; valores negativos indicam retornos decrescentes de escala e valores nulos representam a situação de retornos constantes de escala.

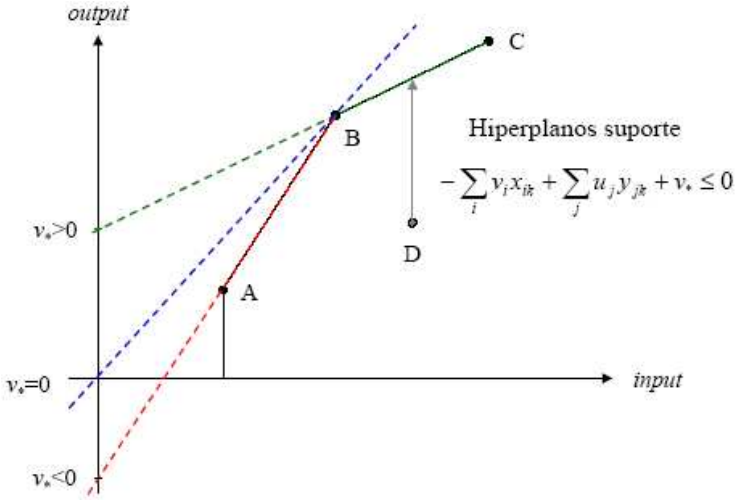

Figura 2.6 – Fatores de escala (modelo BCC com orientação a output) (Fonte: Mello et al., 2005)

No caso de orientação a *output* (Figura 2.6), quando $v^* > 0$, existem retornos decrescentes de escala; para $v^* < 0$, existem retornos crescentes de escala e nos casos de $v^* = 0$, a situação é de retornos constantes de escala.

Os modelos CCR e BCC são os modelos DEA mais conhecidos e utilizados. Segundo Charnes *et al.* (1994) *apud* Mello *et al.* (2005), ao se escolher um desses modelos, determina-se:

- As propriedades implícitas dos retornos de escala.
- A geometria da superfície de envelopamento dos dados, que tem relação com as medidas de eficiência.
- As projeções de eficiência, ou seja, o caminho das DMUs ineficientes até a fronteira de eficiência.

Segundo Eilat *et al*. (2008), a seleção da formulação do modelo DEA a ser utilizado deve-se basear nos projetos (alternativas, DMUs) que estão sendo analisados. Assim, quando se está avaliando projetos diversos com diferentes requerimentos de recursos e que estão competindo pelos mesmos recursos, o modelo de retornos variáveis de escala é mais apropriado. Inversamente, quando os projetos são mais homogêneos, o modelo de retornos constantes de escala é mais adequado.

De acordo com Allen *et al*. (1997), os pesos nos modelos DEA representam um sistema de valores relativos para cada DMU que provê a mais alta eficiência para a DMU em questão, também são consistentes com a noção de o sistema de valores resultante ser viável para todas as outras DMUs no sentido de que nenhuma alcançará uma taxa de eficiência superior ao limite superior especificado pelo usuário.

Portanto, os modelos DEA clássicos permitem total liberdade em relação à seleção dos pesos que darão o máximo valor de eficiência a uma dada DMU. Conforme ressalta Allen *et al*. (1997), essa liberdade é importante na identificação das unidades ineficientes, ou seja, aquelas DMUs que apresentam um baixo desempenho, mesmo com seu próprio conjunto de pesos. A flexibilidade (com base no PPL) na escolha dos pesos é uma das vantagens apontadas à modelagem por DEA. Entretanto, os pesos calculados podem ser inconsistentes com os conhecimentos que se tem *a priori* com relação aos valores relativos de *input* e *output*.

Para Angulo Meza & Lins (2002), desde o aparecimento do DEA, esta metodologia tem sido aplicada em estudos práticos, revelando algumas desvantagens, entre as quais destacam-se:

- ausência de discriminação entre DMUs eficientes, que ocorre quando o número de DMUs é pequeno em comparação com o número total de variáveis em análise (conforme já foi abordado, para alguns autores o número de DMUs adequado é aquele que é maior do que o produto do número de *input* e *output* (Soterious and Zenios, 1998 apud Bendoly *et al.*, 2008) ou três vezes a soma dos *input* e *output*);
- esquema de ponderação inadequado, que freqüentemente pode ser irreal, definindo pesos altos às variáveis de menor importância ou fornecendo valores pequenos (ou mesmo de valor zero) aos pesos de variáveis importantes;
- múltiplas soluções ótimas para o sistema de ponderação de DMUs eficientes.

Na realidade o desenvolvimento do DEA por Charnes *et al*. (1978), foi seguido por uma rápida expansão da teoria e aplicações sem, no entanto, aprimorar a base fundamental do DEA, na medida em que a flexibilidade na seleção dos pesos é algo preocupante. Assim, a incorporação de julgamentos de valor no cálculo das eficiências surge como uma evolução natural das aplicações de DEA a problemas reais, ou seja, há a necessidade da introdução de condições além das de não negatividade aos pesos.

A atribuição de pesos como forma de representar a estrutura de preferências do decisor, apesar da suposta simplicidade, pode encontrar alguma relutância por parte dos decisores. Atribuir pesos é uma tarefa para a qual muitos decisores não estão técnica nem psicologicamente preparados (Gomes *et al.*, 2009). Não é só difícil prover preferências no início de qualquer processo, mas também estas podem mudar com a evolução do processo decisório. Procedimentos usados para elicitação dos valores dos pesos podem implicar muito tempo e paciência – dois fatores que os decisores não possuem. Finalmente, em decisões em grupo, as opiniões e preferências são freqüentemente divergentes.

Por outro lado, uma vez definidos os pesos pelo modelo, o decisor pode sentir-se excluído do processo de decisão, sendo-lhe apresentado um resultado final do qual julga que não participou. Quando há preferências entre os *input* e/ou *output*, por parte dos agentes de decisão, incorpora-se esses julgamentos de valor aos modelos DEA por meio de restrições aos pesos (ou multiplicadores) associados aos *input* e/ou aos *output* das unidades avaliadas. Allen *et al*. (1997) apresentam uma completa revisão da evolução da incorporação de julgamentos de valor através de restrições aos pesos (MELLO *et al.*, 2005).

Allen *et al*. (1997) identificaram as seguintes abordagens de incorporação dos julgamentos de valores ao modelo DEA:

- Restrição direta aos pesos: onde se impõem limites numéricos aos multiplicadores (pesos) com o objetivo de não superestimar ou ignorar *input* e *output* na análise.
- Ajuste dos níveis de *input*/*output* observados para capturar julgamentos de valor: duas abordagens são apresentadas, onde dados transformados de *input-output* são usados para simular restrições de pesos. A abordagem mais utilizada nessa situação é a *Cone Ratio* proposta por Charnes *et al.* (1990), que incorpora na análise a ordenação relativa ou valores relativos de *input* ou *output*.
- Restrições aos *Input* e *Output* Virtuais: esse tipo de restrição aos pesos dos multiplicadores considera os níveis de *input* e *output* das DMUs, ao incluir somente os *input* e *output* que contribuem significativamente aos custos totais ou benefícios de uma unidade.

Mais adiante, uma seção abordará detalhadamente as restrições aos valores dos pesos no modelo DEA.

2.6 *Balanced Scorecard* (BSC)

O BSC foi proposto primeiramente por Kaplan & Norton (1992) como uma metodologia para identificar problemas em algumas áreas da organização e propor melhorias. Segundo esses autores, executivos seniores compreendem que seus sistemas organizacionais de mensuração afetam fortemente o comportamento dos gestores. Executivos também reconhecem que formas de medição financeira tradicionais, tais como retorno sobre o investimento e lucros por ação, podem fornecer sinais enganosos com relação ao crescimento e inovação contínuos da organização. As formas tradicionais de mensuração do desempenho financeiro funcionaram bem para a era industrial, mas não servem mais para avaliar as habilidades e competências que atualmente as empresas estão buscando. O caráter inovador e a posição estratégica das empresas são exemplos de características que não são mensuradas

monetariamente. O fato é que não existe uma única medida que forneça uma avaliação geral da performance organizacional. Os gestores procuram, assim, balancear medidas financeiras e operacionais na avaliação de desempenho (KAPLAN & NORTON, 1992).

Kaplan & Norton (1992) definem o *Balanced Scorecard* como um conjunto de medidas que provê a alta gerência de uma visão rápida, mas abrangente do negócio. Esse conjunto de medidas complementa as medidas financeiras com medidas operacionais com relação: à satisfação do consumidor, aos processos internos e às atividades de crescimento e inovação da organização. Essas medidas operacionais, na realidade, são decisivas para o desempenho e os resultados financeiros no futuro. A complexidade de gerir uma empresa, atualmente, requer que os gestores estejam aptos a ter uma visão do desempenho da organização com relação às várias áreas, simultaneamente.

Dessa forma, o *Balanced Scorecard* é visto como uma ferramenta de apoio a decisão para acompanhar e monitorar as decisões da empresa, centradas em indicadores chaves. Cada pessoa na organização deve entender cada aspecto ligado a estratégia para que o sucesso seja pleno.

Essa metodologia funciona também como uma ferramenta para alinhar uma organização com suas estratégias, a partir da derivação dos objetivos e medidas para unidades organizacionais específicas. Essa derivação ocorre de cima para baixo através de um processo *top-down*, ou seja, os objetivos da organização definidos pela alta administração são derivados para os níveis táticos e operacionais (EILAT *et al.*, 2008).

O *Balanced Scorecard*, portanto, é uma ferramenta de gestão que compreende uma coleção de medidas organizadas em grupos chamados *cards*. Esses grupos estão relacionados a quatro perspectivas maiores de gestão: Finanças, Aprendizado e Crescimento, Processos Internos e Cliente. As medidas desses quatro grupos têm o objetivo de prover os executivos acerca do desempenho financeiro, operacional, estratégico e de marketing das suas organizações. Dessa forma, o BSC visa acompanhar e assegurar que os objetivos estratégicos de curto e longo prazo da empresa serão alcançados, através da tradução da estratégia organizacional em objetivos mensuráveis.

O BSC permite aos gestores avaliarem o negócio a partir dessas quatro perspectivas e fornece respostas para as seguintes questões:

- Como os consumidores vêem a empresa? (Perspectiva do cliente)
- Como é possível superar essa visão? (Perspectiva interna)
- É possível continuar melhorando e criando valor (Perspectiva de inovação e aprendizado)

- Como os acionistas são vistos? (Perspectiva financeira)

A Figura 2.7 ilustra um exemplo da relação entres essas quatro perspectivas, apresentado por Kaplan & Norton (1992):

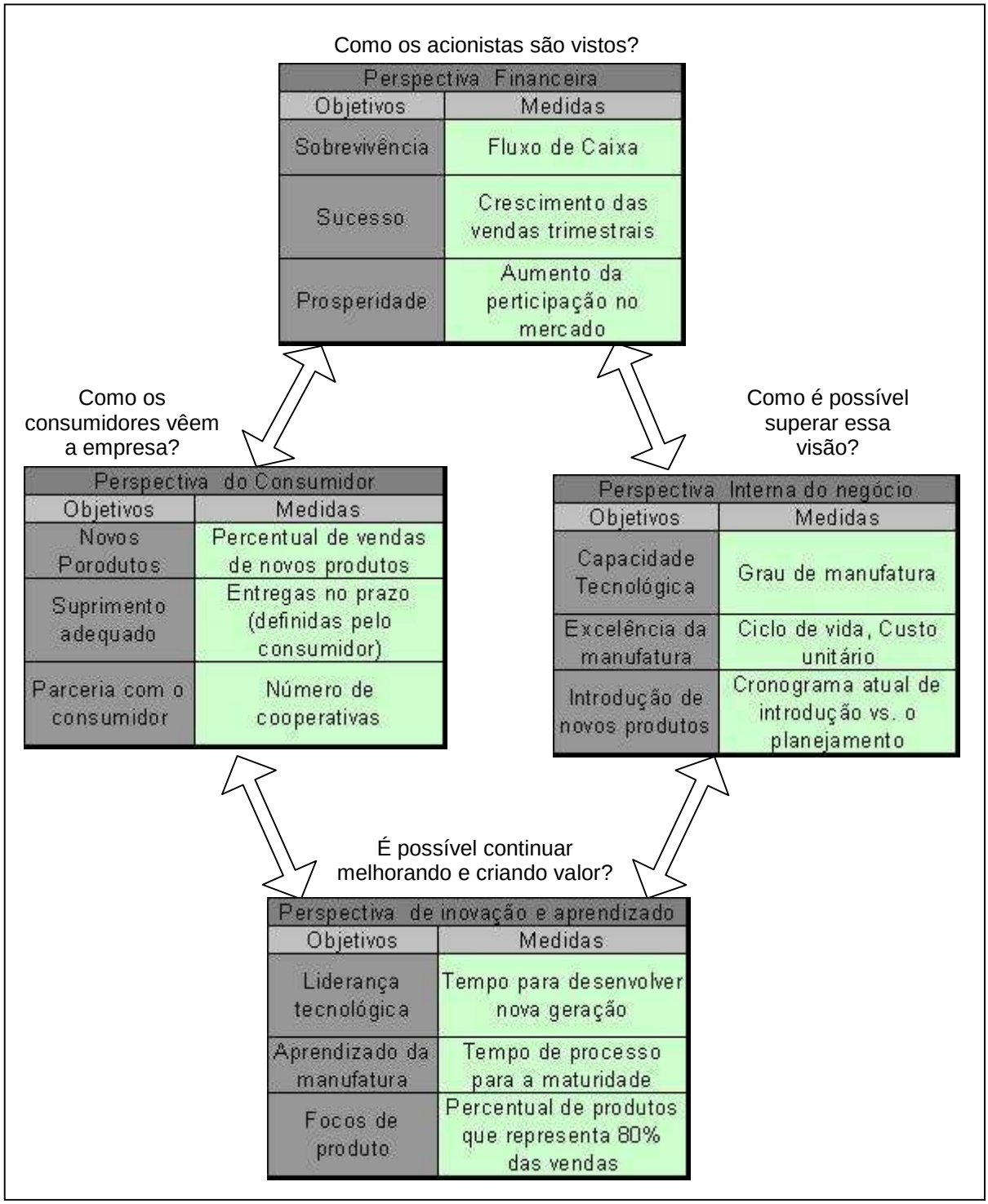

Figura 2.7 – Exemplo de relacionamento entre as medidas de desempenho do BSC (adaptado de Kaplan & Norton, 1992)

Com relação à perspectiva do consumidor, observa-se que muitas organizações, atualmente, têm suas missões focadas no consumidor. “Ser o número um a entregar valor aos clientes” é um exemplo de uma missão típica. Como a empresa está se comportando com relação a essa perspectiva tem tornado, portanto, uma prioridade para a gestão. A missão com relação ao consumidor deve ser traduzida em medidas que refletem, de fato, os fatores que importam ao consumidor. Os consumidores costumam se importar com quatro características: tempo, qualidade, performance e serviço, e custo. Dessa forma, o BSC deve estabelecer objetivos para essas características e traduzir esses objetivos em medidas específicas. As empresas também devem ser sensíveis ao fator custo dos produtos oferecidos (KAPLAN & NORTON, 1992).

Medidas baseadas nos consumidores são importantes, mas devem ser traduzidas em medidas associadas ao que a organização internamente deve fazer para suprir as expectativas dos clientes. O sucesso na perspectiva cliente está relacionado diretamente aos processos, decisões e atividades que ocorrem em toda organização, de forma que os gestores devem focar nas operações internas críticas para a satisfação do consumidor. As medidas de processos internos para o BSC devem estar associadas aos processos do negócio que têm o maior impacto sobre a satisfação do consumidor (fatores que afetam o ciclo de vida, a qualidade, as habilidades funcionais e a produtividade, por exemplo). As empresas devem ainda identificar e medir as competências da organização e as tecnologias necessárias para manter a liderança de mercado (KAPLAN & NORTON, 1992).

Os processos de medição baseados nas perspectivas do cliente e dos processos internos identificam parâmetros que a organização consideram mais importantes para seu sucesso, mas os alvos para o sucesso variam. A competição intensa que se estabelece no mundo globalizado requer que as empresas continuem a realizar melhorias contínuas com relação a seus produtos e processos e que tenham a habilidade de introduzir novos produtos no mercado (Kaplan & Norton, 1992). Portanto, medidas que captem a inovação e o aprendizado das organizações devem ser consideradas na avaliação de desempenho das mesmas.

Segundo Kaplan & Norton (1992), as medidas do desempenho financeiro indicam se a estratégia da organização e sua execução estão contribuindo para a melhoria do negócio. Objetivos financeiros típicos incluem: lucratividade, crescimento e valor dos acionistas. Muitos executivos têm criticado as medidas financeiras pelo fato das mesmas focarem o passado e pela inabilidade de refletir as ações de criação de valor. Alguns argumentam ainda que as medidas financeiras tradicionais não melhoram a satisfação dos clientes, a qualidade, o tempo de vida e a motivação dos empregados. A visão é de que a performance financeira é o

resultado de ações operacionais e o sucesso financeiro deve ser uma conseqüência de fazer bem o fundamental. Assim as empresas devem parar de navegar orientadas apenas por indicadores financeiros, pois fazendo as melhorias fundamentais nas suas operações, bons resultados financeiros se tornam conseqüência (KAPLAN & NORTON, 1992).

Enquanto fornece aos executivos seniores informações relativas a quatro diferentes perspectivas, o BSC minimiza a sobrecarga de informação, limitando o número de medidas utilizadas. Essa metodologia força os gestores focarem nas medidas mais críticas e que podem ser trabalhadas (KAPLAN & NORTON, 1992).

Várias empresas tem implementado o BSC e as experiências prévias têm demonstrado que essa abordagem atende muitas necessidades gerenciais. Primeiramente, o *Balanced Scorecard*, traz, em um só relatório gerencial, elementos aparentemente distintos: orientação ao consumidor, redução do tempo de resposta, melhoria da qualidade, incentivo ao trabalho em equipe, redução do tempo de lançamento de novos produtos e gestão a longo prazo. O BSC também força os gestores a terem uma visão geral da organização, conhecendo todas as medidas operacionais importantes, de forma a evitar que a melhoria em uma área seja alcançada à custa de outra área (Kaplan & Norton, 1992). Assim, cria-se uma visão integrada com relação aos processos da organização.

2.7 Considerações sobre a Fundamentação Teórica

Na Fundamentação Teórica foram apresentadas as definições dos métodos que serão utilizados, nesse trabalho, para a proposição de um modelo de avaliação de empresas usuárias de SI. Foram abordados os SI, sua classificação e principais aplicações. Também se discutiu a metodologia DEA de avaliação de eficiência, seus objetivos e limitações. Por último é abordada a técnica de gestão BSC.

A partir desses conceitos, também, é possível compreender melhor a utilização dos modelos DEA e da abordagem BSC para avaliação de SI e as modificações ou integrações que alguns autores têm sugerido a esses métodos, com o objetivo de obter uma avaliação mais consistente no sentido de captar as preferências dos decisores e alinhar os atributos e avaliação com a estratégia da empresa.

3 REVISÃO DA LITERATURA

Nas últimas décadas, as organizações estão investindo cada vez mais em TI. Apesar de substanciais investimentos nesse segmento, estudos recentes não têm conseguido comprovar a correspondência entre tais investimentos e o aumento de performance das organizações. Muitos estudos, ao contrário, não têm identificado associação significante entre os investimentos em TI e o desempenho das empresas (Shafer & Byrd, 2000). Chen & Zhu (2004) afirmam que isso ocorre devido ao fato de que a relação entre o investimento em TI e o desempenho da organização não é direta. Os investimentos em TI também têm a característica de impactar diferentes estágios dos processos empresariais (CHEN *et al.*, 2006).

Inicialmente será aborda a expansão da utilização da TI, e mais especificamente do uso de microcomputadores, no ambiente empresarial. Em seguida, será discutida a questão do paradoxo da produtividade, que aborda o desenvolvimento da TI no ambiente empresarial e permite chegar a algumas conclusões com relação à forma como os SI devem ser implantados e avaliados. Em seguida, uma revisão com relação a alguns trabalhos dentro do contexto de avaliação dos SI será realizada, destacando-se as vantagens e desvantagens dos métodos empregados. Por fim, são apresentados estudos que utilizam o modelo de Análise Envoltória de Dados para avaliação da eficiência de SI, bem como as evoluções que estão sendo sugeridas a esse modelo em função de suas aplicações práticas.

3.1 Lei de Moore

Em 1965, Gordon E. Moore, um dos fundadores da Intel, afirmou que o futuro da eletrônica estava diretamente relacionado com a capacidade de se integrar componentes eletrônicos. Essa integração teria como vantagem a proliferação dos eletrônicos, ou seja, a utilização dos mesmos em muitas novas áreas. A expectativa de Moore (1965) era que haveria, em breve, um crescimento do número de componentes por circuito, ou seja, o número de transistores que podem ser colocados em um circuito integrado aumentaria e uma redução dos custos dos equipamentos eletrônicos seria verificada. Com isso, é formulada a Lei de Moore em homenagem a seu criador, Gordon E. Moore, a qual afirma que o número de transistores que podem ser colocados em um circuito integrado dobra a cada 18 meses. Dessa forma, o poder de processamento dos computadores (informática geral e não apenas os computadores domésticos) dobraria a cada 18 meses (MOORE,1965).

A evolução da eletrônica e os avanços tecnológicos nos últimos anos, leva a crer que a Lei de Moore sobreviveu durante mais de duas décadas e ainda não parece ter prazo de validade definido, apesar de já existir especulações sobre seu fim em virtude de que, se os avanços continuarem no mesmo ritmo, em breve se alcançará o limite físico dos semicondutores (INFO Online, 2009).

O que é importante concluir sobre a Lei de Moore é que se não houvesse um investimento prévio na área de eletrônica, no sentido de aumentar a capacidade de processamento de computadores ou, mais genericamente, de incorporar funções eletrônicas mais complexas aos equipamentos eletrônicos em um espaço físico limitado, não seria permitido às empresas nos últimos anos, desfrutar da possibilidade de automação de tarefas básicas e de sistemas eficazes de processamento de dados. Os avanços da eletrônica fizeram com que as organizações investissem em tecnologias com o objetivo, principalmente, de aumentarem a produtividade.

3.2 O Paradoxo da Produtividade

A produtividade segundo Mello e*t al.* (2005) corresponde à razão entre o que foi produzido (produtos) e o que foi gasto para produzir (recursos), ou seja, a quantidade de *output* produzidos por unidade de *input*. Costuma-se comparar a produtividade de empresas que exercem atividades semelhantes para investigar porque umas são mais produtivas que outras. Em geral, algumas empresas são mais produtivas que outras porque tomaram decisões que lhe permitiram aproveitar melhor os recursos. Essas decisões podem ser: o uso de uma tecnologia mais avançada, a contratação de mão-de-obra mais qualificada, melhores técnicas gerenciais, etc.

Um dos maiores objetivos das organizações é aumentar a produtividade dos seus processos (produção, atendimento aos clientes, e outros) de forma a se tornarem mais competitivas no mercado em que atuam. Ao produzirem mais com menos recursos, as empresas podem direcionar mais recursos para outras áreas, agregando mais valor aos produtos oferecidos, ou ainda podem ofertar os mesmos produtos a um preço mais competitivo no mercado. Produtividade não é tudo, mas segundo o economista Paul Krugman *apud* Brynjolfsson & Hitt (1998), no longo prazo, é quase tudo. O crescimento da produtividade determina os padrões de vida da sociedade e a saúde econômica das nações. Isso porque a quantidade de produtos que pode ser consumida por uma nação está estreitamente vinculada ao que ela produz. Da mesma forma, o sucesso de um negócio

geralmente depende da sua habilidade de fornecer mais valor ao consumidor sem utilizar mais trabalho, capital ou outros *input*.

Apesar do seu conceito ser facilmente compreendido, é notoriamente difícil mensurar a produtividade, especialmente no contexto da economia moderna. Segundo Brynjolfsson & Hitt (1998), existem dois aspectos da produtividade cada vez mais importantes para uma mensuração precisa: *output* e *input*. Medidas apropriadas para os *output* devem incluir não somente a quantidade de produtos fabricados, mas principalmente o valor criado para os consumidores a partir dos produtos. Na economia industrial, a quantidade produzida era uma das principais formas de mensuração dos valores dos *output*. Na economia atual, o valor dos *output* depende cada vez mais da qualidade, da customização, da variabilidade e de outras características intangíveis dos produtos fornecidos pela organização.

Da mesma forma, medidas apropriadas de *input* incluem não somente horas de trabalho, mas a quantidade e a qualidade dos equipamentos usados, materiais e outros recursos consumidos, treinamento e educação da força de trabalho, além do capital organizacional requerido, tal como relacionamentos de suprimento e investimentos em novos processos do negócio. A ironia é que, enquanto se tem hoje mais dados brutos com relação a todos os tipos de *input* e *output* do que antes, mensurar a produtividade na economia da informação tem sido mais difícil do que anteriormente na economia industrial.

Na busca pelo crescimento de produtividade, as organizações analisam os diversos fatores que podem influenciar esse crescimento. É certo que maior produtividade não vem do fato de se trabalhar mais, pois isso implica em utilizar mais horas da força de trabalho. Brynjolfsson & Hitt (1998) afirmam que o crescimento da produtividade está associado ao trabalho “inteligente”, isto é àquele que emprega novas tecnologias e novas técnicas para produção. Entre essas novas tecnologias pode-se citar a Eletricidade, que permitiu uma série de inovações em 1890.

Similar ao que ocorreu com a Eletricidade em 1890, outra tecnologia que se apresenta como promissora para o aumento da produtividade das organizações é a TI. Existem, nos últimos anos, casos de sucesso de empresas que investiram em TI e também alguns casos de fracasso. Dessa forma, uma questão importante que há muito tempo vem sendo discutida é se a TI de fato contribui para o crescimento da produtividade. Hoje se verifica que algumas empresas têm investido grandes somas de dinheiro em TI e têm obtido poucos benefícios, enquanto outras que investem quantidades similares de recursos, têm alcançado grande sucesso. Dessa forma, a questão não é mais se a TI implica em retornos financeiros e de produtividade para a organização e sim como melhor usá-la para maximizar esses benefícios.

É importante que as organizações reconheçam que para se obter o máximo proveito dos investimentos em TI, é necessário que estes venham acompanhados de outros investimentos complementares tais como investimentos em: novas estratégias, novos processos de negócio e novas formas de organização do trabalho. Essas mudanças não são fáceis na maioria das organizações, uma vez que elas requerem dinheiro e tempo para a reestruturação organizacional e reengenharia dos processos. No entanto, uma vez também realizados investimentos com relação a essas mudanças, as empresas estarão em vantagem em relação àquelas que apenas investiram em novas tecnologias.

De acordo com Brynjolfsson & Hitt (1998), o trabalho de Steven Roach, intitulado *America's Technology Dilemma: A Profile of the Information Economy* e publicado em 1987, foi o primeiro que despertou atenção para a questão do “paradoxo da produtividade”. Steven Roach tenta explicar nesse trabalho a razão pela qual a taxa de crescimento em produtividade na economia dos Estados Unidos não tem crescido muito desde 1973. Ele observou que, apesar de ter crescido dramaticamente, no setor industrial, o poder computacional por unidade de trabalhador, ao longo dos anos 1970 e 1980, a produtividade deste setor se encontrava estável. Sua conclusão foi de que um grande investimento em computação tem pouco efeito sobre a performance econômica, particularmente para aqueles setores da economia com uma grande quantidade de pessoas que trabalham com informação.

Outros estudos realizados naquela época também apresentaram pouca evidência da relação entre investimento em tecnologia computacional e aumento da produtividade, tanto para o setor industrial como para unidades de negócio de grandes empresas. Poucos trabalhos conseguiram apresentar efeitos positivos desses investimentos sobre fatores intermediários tais como redução de custo, aumento da participação no mercado.

No final dos anos 80, dizia-se que os computadores não estavam contribuindo significativamente para o aumento de produtividade. Robert Solow *apud* Brynjolfsson & Hitt (1998) chegou a afirmar no *New York Times Book Review* em 1987: "Vemos a era do computador em todos os lugares exceto nas estatísticas de produtividade".

Apesar dos resultados apresentados por esses estudos terem encontrado pouca evidência da relação entre a TI e a produtividade, existia também pouca evidência de que os investimentos nessa tecnologia fossem improdutivos. Na realidade, muitas pessoas argumentam que existem incoerências na forma de mensurar a produtividade. Um dos problemas é que, na época em que se começou a questionar o real benefício da TI, o investimento total em computação era relativamente pequeno quando comparado ao total investido em despesas trabalhistas (BRYNJOLFSSON & HITT, 1998).

Brynjolfsson (1993) *apud* Shafer & Byrd (2000) apresenta quatro explicações para a aparente inabilidade em documentar a contribuição da TI para o aumento da produtividade: falta de formas efetivas de mensuração dos *input* e *output*; lacunas existentes entre custos e benefícios; redistribuição e dissipação dos lucros e a própria falta de gestão da TI.

A maioria das medidas de produtividade é orientada a contagem: número de empregados, quilos de prego, quantidade de cheques processados, etc. Uma vez que o uso da TI permite às empresas produzirem o mesmo produto com menos custos, essas medidas funcionam razoavelmente bem. No entanto, os executivos não fazem investimentos em TI apenas para reduzir custos. Quando os executivos são questionados com relação ao motivo pelo qual eles investem em TI, pesquisas revelam que os serviços prestados ao cliente e a qualidade consistente dos processos e produtos oferecidos aparecem como prioridades para se realizar tais investimentos (BRYNJOLFSSON & HITT, 1998).

No começo dos anos 90, a disponibilidade de mais dados a respeito dos investimentos das empresas em TI, permitiu se chegar conclusões mais precisas com relação às contribuições da TI. Esses dados se referiam a um grande número de empresas em vez de focarem apenas no setor industrial, além disso, cobriam um período razoável de tempo, o que permitia analisar os impactos da TI a longo prazo. O nível de informações obtidas com relação às empresas pesquisadas também possibilitou a mensuração de alguns valores intangíveis criados pela TI, mesmo quando esses valores não podiam ser observados diretamente. Se os consumidores, por exemplo, estão dispostos a pagar mais por um aumento na qualidade do produto oferecido, as receitas das empresas irão refletir parte do aumento desse valor intangível. No entanto, essas diferenças não irão ser percebidas no nível industrial, onde empresas de alta qualidade irão fazer com que as de baixa qualidade baixem seus preços para continuarem competitivas. Portanto, nem todas receitas industriais irão aumentar à medida que a empresa se informatiza. Embora o valor de alguns investimentos em TI, feitos por empresas e transmitidos aos consumidores através da concorrência, não sejam facilmente observados, pelo menos uma parte deste valor intangível pode ser captado na empresa através de medições de produtividade.

Estudos realizados nos anos 90 (Brynjolfsson & Hitt, 1995; Brynjolfsson & Hitt, 1996; Dewan & Min 1997; Brynjolfsson & Hitt, 1997; Malone, 1997) *apud* Brynjolfsson & Hitt (1998) mostram que a TI possui um impacto positivo e significativo sobre os resultados das organizações, refutando, assim, o “paradoxo da produtividade”. Nesses trabalhos, fica clara a idéia de que os retornos dos investimentos em TI podem representar mais do que retornos em termos de tecnologia. Tecnologia é apenas um componente dos investimentos em TI. Existem

geralmente grandes gastos com treinamento, redefinições de processos e outras mudanças organizacionais que acompanham os investimentos em novos sistemas. Tal conclusão não muda a idéia de que a TI contribui para uma melhoria dos resultados organizacionais, mas torna mais difícil o cálculo da taxa exata de retorno sobre esses investimentos.

De acordo com Brynjolfsson & Hitt (1998), apesar da TI aparentemente aumentar a produtividade das organizações, isso não é suficiente para os gerentes de TI fazerem grandes investimentos. Na verdade, a dificuldade de se determinar o valor global da TI pode ser um sintoma de que o valor que ela traz para uma empresa varia muito de empresa para empresa. Mas como justificar o fato de que existem empresas que investem enormemente e alcançam alta produtividade e também empresas que investiram da mesma forma, mas obtiveram baixa performance?

Para entender as fontes de variação dos retornos sobre os investimentos, é importante dividir os benefícios da TI em duas partes: aqueles que são únicas para uma determinada empresa, e aqueles que aparecem devido à variação nos gastos das empresas. Brynjolfsson & Hitt (1998) sugerem que metade do valor agregado pela TI às organizações é devido às características próprias das empresas, enquanto que a outra metade está vinculada às características gerais compartilhadas por todas as empresas. O que se passa dentro da "caixa preta" da empresa tem uma influência significativa sobre a produtividade dos investimentos em TI.

Para se obter uma melhor caracterização dos fatores organizacionais que afetam o valor da TI, pode-se examinar a influência dos investimentos em TI sobre a produtividade ao longo de diferentes períodos de tempo. Se as mudanças organizacionais que acompanham os investimentos em TI podem ser realizadas instantaneamente, não é necessário se analisar um período longo para se verificar o impacto da TI sobre a organização. No entanto, quando é necessário um período de tempo para que a empresa se ajuste às mudanças advindas das novas tecnologias, é de se esperar que os resultados dos investimentos em TI só sejam sentidos a longo prazo.

Na verdade, o que se conclui é que para a TI implicar em ganhos de produtividade para a organização, é necessário que se invista também tempo e dinheiro em: treinamentos, reestruturação dos processos, reorganização do trabalho, etc. Os benefícios de longo prazo não se resumem apenas aos retornos da TI, mas aos retornos de um sistema composto por novas tecnologias e por mudanças organizacionais.

Há empresas, no entanto, que insistem em manter a estrutura organizacional antiga e não se adaptar às mudanças ocorridas em virtude da implantação de novas tecnologias. Isso

decorre do fato de que essas mudanças organizacionais consomem tempo, são arriscadas, custam caro e requerem comprometimento dos usuários para que as mudanças sejam eficazes e isso não é fácil de se conseguir dada a aversão das pessoas às mudanças. A redefinição da estrutura de gestão, a substituição de pessoal, as mudanças fundamentais nas práticas organizacionais e o redesenho dos principais processos do negócio não são fáceis. Em muitos casos, essas mudanças implicam em abandonar práticas, que por muitas décadas têm sido aplicadas com sucesso, em favor de uma nova forma de trabalho com a qual a organização tem pouca experiência. Além das mudanças de processos, outra mudança extremamente difícil de realizar e manter é a mudança nos hábitos dos trabalhadores. É muito importante treinar as pessoas com relação à nova tecnologia e também comunicá-las a respeito dos objetivos que são esperados com a adoção de novas ferramentas. A força de trabalho dever estar comprometida com a mudança e se sentir responsável pelos resultados esperados. Só assim, realizando mudanças em todos os níveis organizacionais, é que se pode tirar o melhor proveito dos investimentos em TI.

A aquisição de equipamentos computacionais representa a menor parcela dos gastos totais para se criar um novo sistema de manufatura. Os grandes custos dizem respeito às mudanças na organização (BRYNJOLFSSON & HITT, 1998).

Contudo, pode-se concluir três aspectos importantes com relação à avaliação dos benefícios provenientes de investimentos em TI:

- os benefícios, na maioria das vezes, só são percebidos analisando-se a performance da organização ao longo de um período razoável de tempo (aproximadamente de cinco anos);
- de nada adianta investir grandes somas de dinheiro em novas tecnologias se não houver um investimento correspondente em mudanças organizacionais (de estrutura, de processos, de força de trabalho, etc);
- não se deve avaliar os investimentos em TI apenas com relação aos retornos financeiros. A adoção de novas tecnologias, antes de tudo, objetiva aumentar a produtividade da organização e a qualidade e confiabilidade dos produtos oferecidos por esta aos clientes. Portanto, fatores intangíveis devem ser considerados na avaliação de TI.

3.3 Avaliação de investimentos em TI

Conforme abordado anteriormente, o sucesso dos investimentos em TI está diretamente associado a um planejamento dos SI alinhado com o planejamento estratégico da organização.

O processo de planejamento de SI pode ser apresentado através do modelo de três estágios proposto por Bowmam, Davis & Wetherb (Davis, 1974), o qual identifica atividades genéricas do processo de planejamento, ordena essas atividades e apresenta alternativas de metodologias para o desenvolvimento destas. A Figura 3.1 ilustra tal modelo.

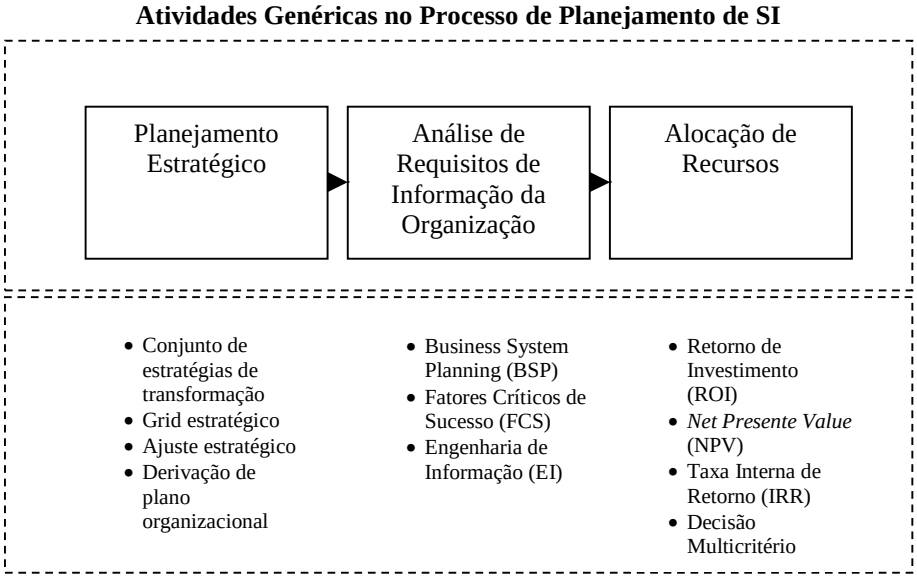

Figura 3.1 – Modelo de três estágios (adaptado de Davis, 1974)

O objetivo do estágio de planejamento estratégico no processo de planejamento de SI é estabelecer os objetivos, metas e estratégias de SI, alinhados com os objetivos, metas e estratégias da organização. No estágio seguinte, análise de requisitos de informação da organização, os requisitos são levantados em três níveis: organizacionais, no nível das aplicações e de banco de dados. No último estágio do modelo é realizada a priorização dos projetos e são alocados os recursos. Toda organização tem um grande número de potenciais projetos de SI e, como os recursos da organização são limitados, é impossível desenvolver e implantar todos os projetos simultaneamente, criando a necessidade de escolha entre os projetos. Portanto são sugeridas algumas técnicas de avaliação dos investimentos em TI (ROI, NPV, IRR, Modelagem Multicritério) e, conseqüentemente, de priorização dessas tecnologias na etapa de Alocação de Recursos no modelo de três estágios (ALMEIDA & RAMOS, 2002).

Uma consideração a se fazer sobre o modelo de Davis (1974) é que o mesmo foi concebido numa época em que a área de Gestão da Informação era vista, dentro das organizações, como uma área de suporte às demais. Portanto, esse modelo apresenta as duas primeiras etapas de forma separada. Atualmente, o ideal é que se trabalhe o Planejamento Estratégico de forma integrada com Análise de Requisitos de Informação da organização de forma a evitar retrabalho e a obter resultados mais eficazes.

Ballatine & Stray (1998) comentam que são duas as principais razões que tornam a avaliação do investimento em SI/TI importante. A primeira é que as organizações têm devotado altos níveis de recursos para os investimentos em SI/TI. A segunda é que, com o aumento dos níveis gastos com SI/TI e o clima competitivo que as empresas enfrentam, preocupa cada vez mais a efetividade dos SI. Esses autores sugerem que os principais objetivos para avaliação de SI/TI são:

- Justificar o investimento.
- Tornar as organizações aptas a decidir entre projetos, especialmente para o racionamento de capital.
- Atuar como mecanismo de controle sobre despesas, benefícios, desenvolvimento e implantação de projetos.
- Atuar como um dispositivo de aprendizado, promovendo melhorias na avaliação e desenvolvimento de sistemas no futuro.

Na literatura, é possível encontrar constantemente o uso de técnicas financeiras tradicionais como ferramentas de apoio à tomada decisão no processo de priorização de SI. Nesse sentido, o uso de técnicas de avaliação de investimento de capital tem sido largamente discutido na literatura financeira e de contabilidade. Duas das mais sofisticadas dessas técnicas são a NPV (*Net Present Value*) e IRR (*Internal Rate of Return*). No entanto, os investimentos em SI/TI não têm a mesma natureza dos investimentos considerados quando são utilizadas essas técnicas. Ballatine & Stray (1998) apresentam alguns argumentos contra o uso dessas técnicas na decisão de investimento em SI/TI.

Um dos argumentos diz respeito às diferenças inerentes aos investimentos em SI/TI e a outros investimentos de capital. Assim, técnicas financeiras, historicamente utilizadas para a avaliação de investimentos de capital, para esse tipo de investimento não seriam adequadas. Um exemplo dessas diferenças é que as organizações sabem antecipadamente que existirão benefícios com o investimento, mas não são capazes de estimar precisamente esses benefícios. As técnicas financeiras tradicionais de avaliação não permitem a inclusão de importantes e intangíveis custos e benefícios do investimento em SI/TI. Outros argumentos são que a análise convencional de custo/benefício cada vez menos relevante para medir o desempenho de SI/TI, e ainda que a teoria de orçamento de capital na qual essas técnicas são baseadas apresentam limitações, dentre as quais a suposição de que fluxos de caixas e taxas de desconto são conhecidos com certeza (BALLATINE & STRAY, 1998).

Uma vez que o investimento em SI/TI pode representar um grande impacto no desempenho de uma organização e que esse impacto muitas vezes não é apenas

financeiramente mensurado, o processo de avaliação desses investimentos deve ser conduzido de forma muito criteriosa. Um estudo realizado por Li & Ye (1999) *apud* Costa (2003) discute e empiricamente testa os efeitos do ambiente dinâmico, da estratégia da firma e da organização de CEO (*Chief Executive Officer*)/CIO (*Chief Information Officer*) sobre o impacto do investimento em TI, e este último sobre o desempenho de uma organização. Como resultado, o investimento em TI aparece como tendo um forte e positivo impacto sobre o desempenho financeiro de organizações que estão inseridas em ambientes de muitas mudanças, com estratégias mais proativas, e nas quais existe um *link* estreito entre CEOS e CIOS. Eles concluem também que as organizações que investem em TI devem conhecer o contexto do ambiente onde estão inseridas, suas direções estratégicas, e a alta gerência devem permitir aos CIOS desempenharem um papel mais estratégico. Jiang & Klein (1999) *apud* Costa (2003), reforçam essa idéia afirmando que a seleção de SI/TI envolve vários passos, incluindo a seleção e ponderação das alternativas, escolha e ponderação de critérios cruciais na seleção dos projetos, e não simplesmente a aplicação de uma técnica financeira tradicional.

Na literatura, são descritos vários métodos para a avaliação e posterior seleção de projetos na área de TI, em geral divididos em quatro subcategorias (JIANG & KLEIN, 1999 *apud* COSTA, 2003):

- Abordagem comparativa;
- Modelo de *scoring*;
- Modelo Econômico;
- Métodos de Otimização.

O trabalho desses autores é um, dentre os poucos na literatura, que mostra a importância de se considerar na decisão de investimento em SI/TI outros aspectos que não os financeiros.

Irani (2002), Jiang & Klein (1999) *apud* Costa (2003) sugerem que o desempenho de uma organização está mais relacionado com os recursos de SI que são gerenciados do que com os investimentos feitos pela organização em novas tecnologias, ou seja, o investimento apenas em novos equipamentos (*hardware*, tecnologias de rede e outros) não resultará nos retornos esperados se não houver também uma preocupação com a gestão dessa tecnologia e da informação que está sendo processada. Dessa forma, surgem questões de como os investimentos em SI são avaliados, gerenciados e controlados, e ainda a complexidade de gerir os benefícios intangíveis e custos indiretos. Essas questões têm sido largamente reportadas na literatura. Como resultado, temas comuns que têm implicações na avaliação de SI têm sido discutidos, tais como (IRANI, 2002):

- entender o mecanismo humano e o organizacional e o processo de tomada de decisão de investimento dentro das organizações;
- disponibilizar a melhor tecnologia e integração de sistemas de negócio;
- entender o conceito de valor e suas multidimensionais facetas;
- descobrir as políticas associadas a orçamento e tomada de decisão;
- identificar os diferentes tipos de benefícios resultantes do investimento;
- conhecer a natureza dos benefícios de SI/TI (intangíveis, tangíveis, financeiros e não financeiros);
- identificar, gerir e controlar o custo do investimento (direto e indireto);
- avaliar o portfólio de investimentos por meio de técnicas adequadas;
- conhecer os riscos associados às diferentes estratégias de investimento;
- entender o escopo e o impacto do desenvolvimento de uma infra-estrutura de TI;
- entender a complexidade da avaliação incremental do desenvolvimento, integração e melhoria de sistemas;
- definição dos *Stakeholders*, análise e envolvimento (inclusive cultura);
- prover adequada tecnologia para a gestão dos recursos.

Irani (2002) explica que, quando o propósito do investimento em SI é melhorar a eficiência operacional, muitas técnicas tradicionais de avaliação podem ser consideradas apropriadas. Contudo, muitos gerentes buscam no investimento o suporte para as estratégias do negócio, então surge o problema: como calcular, quantificar e acomodar as implicações de um investimento em SI dentro dos métodos de avaliação tradicionais? O autor conclui que a tomada de decisão de investimento é um complexo processo gerencial, especialmente devido ao escopo e magnitude da interação sociotécnica das variáveis, que nem sempre podem ser quantificadas em termos financeiros. Como resultado desse trabalho, o autor afirma que:

- Custos indiretos dos projetos de SI são freqüentemente mais significativos que seus custos diretos e podem ser classificados como tendo as dimensões humana e organizacional.
- Os benefícios podem ser classificados como estratégico, tático e operacional, com natureza financeira, não-financeira e intangível.
- Existe uma grande variedade de interação de fatores sociais e técnicos que complicam o processo de avaliação.

Portanto, chega-se a conclusão que além de alinhar a estratégia de SI com a estratégia do negócio, o investimento em SI deve ser decidido considerando-se vários aspectos e um

desses aspectos consiste nas pessoas, ou seja, os usuários. Esses podem fazer a diferença entre o sucesso e o fracasso do investimento. Existem vários ganhos que a organização pode obter com a utilização de SI tais como: habilidade em responder ao mercado, aumento da qualidade de produtos e serviços, aumento de produtividade, redução de custos, oportunidade de desenvolvimento de novos negócios, compartilhamento de informações, melhorias na comunicação empresarial, em fim aspectos que garantem a organização eficiência e flexibilidade (KIM *et al.*, 2000 *apud* COSTA, 2003).

Canedo & Almeida (2008) apresentam uma contribuição bastante relevante com relação à priorização de projetos de TI e, conseqüentemente, com relação à avaliação dos benefícios dos mesmos para a organização. Esses autores afirmam que o alinhamento da TI com as estratégias do negócio é um dos principais fatores que contribuem para o sucesso da TI nas organizações. Esse processo de alinhamento, todavia, é complexo e, para tanto, é proposto um modelo para priorização de projetos de TI que utiliza o BSC no contexto do apoio multicritério a decisão, mais especificamente na fase de estruturação do problema. O BSC contribui para o processo de tomada de decisão ao definir os fatores críticos para o sucesso da estratégia da organização, bem como as conseqüências de uma decisão podem afetar os resultados esperados, através do seu impacto sobre as medidas de desempenho.

O trabalho de Canedo & Almeida (2008) considera, assim, o uso do BSC para avaliação de SI/TI de forma integrada com metodologias de apoio multicritério a decisão. Tal integração requer algumas adaptações, visto que (CANEDO & ALMEIDA, 2008):

- as relações de causa e efeito são intrínsecas a metodologia BSC, e incorporam uma forte interdependência entre as perspectivas dessa metodologia;
- o BSC não incorpora as preferências dos decisores com relação às conseqüências de suas ações;
- os métodos de apoio multicritério a decisão incorporam as preferências dos decisores com relação às conseqüências de suas ações, com o objetivo de de atingir vários objetivos, muitas vezes conflitantes, mas isso requer independência nos critérios quando um método de agregação aditiva é usado.

A utilização integrada do BSC e com métodos de apoio multicritério a decisão no modelo proposto para priorização de projetos de TI, tem a vantagem de reforçar as estruturas sociais que contribuam para o bom desempenho da função de TI, permitindo, assim, fomentar a cooperação e uma estratégia integrada entre TI e o negócio a ser estabelecido (CANEDO, 2008).

3.4 Avaliação de SI utilizando o modelo DEA

Brynjolfsson (1993) *apud* Shafer & Byrd (2000) argumenta que a falta de formas adequadas para mensuração dos *output* e do valor criado pela TI tem tornado a tarefa dos executivos da área de TI de justificar os investimentos em TI particularmente difícil. Esse autor apresenta quatro explicações para a aparente inabilidade em documentar a contribuição da TI para o aumento da produtividade: falta de formas efetivas de mensuração dos *input* e *output*; lacunas existentes entre custos e benefícios; redistribuição e dissipação dos lucros e a própria falta de gestão da TI.

Nesse sentido, Shafer & Byrd (2000) propõem o uso da técnica de Programação Matemática DEA para avaliar os investimentos em TI. Com relação ao problema associado à falta de formas efetivas de mensuração dos *input* e *output*, os *input* incluídos no modelo foram obtidos a partir de uma publicação importante da área de TI – *Computer's world's* que apresenta o *ranking* dos melhores usuários da TI – e os *output* foram obtidos do banco de dados da *Stock Investor*, que apresenta informações auditadas sobre o desempenho das organizações. Para contornar o problema das lacunas de tempo existentes entre os investimentos em TI e os benefícios associados a esses investimentos, nesse trabalho é considerado um período de três anos para os *input* e taxas de crescimento anual dos *output* de aproximadamente cinco anos. Os autores definiram os *input* e *output* dessa forma em função do fato dos investimentos em TI tipicamente implicarem em benefícios ao longo dos anos que se seguem aos investimentos. A metodologia também se preocupa com a redistribuição dos lucros uma vez que adota a performance da organização relativa a performance do grupo industrial ao qual a organização pertence. O DEA compara a empresa com seu grupo de referência com relação a todos os *input* e *output*, portanto, reduz o efeito da redistribuição e dissipação dos lucros. Finalmente, com relação ao problema da falta de gestão da TI, a metodologia proposta por Shafer & Byrd (2000) ajuda a discriminar os usuários que possuem uma boa gestão sobre a TI e os que não possuem. Por exemplo, o DEA fornece informações aos usuários a respeito de quais firmas são eficientes e quais são ineficientes, baseado nos *input* e *output* de interesse dos usuários.

Brynjolfsson (1993) *apud* Shafer & Byrd (2000) define que a produtividade é uma medida econômica da contribuição da tecnologia. Portanto, a produtividade e, conseqüentemente, a eficiência são medidas de performance relevantes e apropriadas para avaliar os investimentos em TI. Segundo esses autores, pesquisas anteriores tinham utilizado o DEA para mensurar a eficiência de investimentos em TI em uma organização particular.

Como exemplo, Banker *et al.* (1990) *apud* Shafer & Byrd (2000) utilizou o DEA para determinar se existiam diferenças no desempenho entre os restaurantes de uma rede que tinham implantado um novo sistema de registro de compras e de gestão de pedidos e os restaurantes dessa mesma rede que não tinham. Como outro exemplo, Paradi *et al.* (1997) *apud* Shafer & Byrd (2000) fazem uso do DEA para avaliar um grupo de projetos de desenvolvimento de *software* em um banco canadense. Na realidade, o modelo de Shafer & Byrd (2000) trabalha de forma mais extensiva que esses estudos anteriores uma vez que permite aplicar o DEA e forma mais macro através da consideração de múltiplas organizações.

A metodologia de Shafer & Byrd (2000) compreendeu ainda a normalização dos *input* em função das diferenças nos tamanhos das organizações. As duas medidas de *output* também foram normalizadas em virtude das diferenças de performance encontradas nas diferentes indústrias. Com relação às limitações dos resultados obtidos com essa proposta, podem-se citar:

- os resultados só podem ser interpretados à luz dos *input* e *output* incluídos no exemplo, ou seja, outros *input* e *output* fornecerão *scores* de eficiência diferentes dos obtidos inicialmente;
- os resultados obtidos com o modelo DEA dependem da precisão dos dados utilizados.

Uma vez que o principal objetivo da pesquisa de Shafer & Byrd (2000) era iniciar a construção de um modelo de avaliação dos investimentos em TI ao nível organizacional e não desenvolver um *ranking* definitivo das eficiências das organizações com relação aos investimentos em TI, as limitações citadas acima não são críticas e servem mais como pontos de atenção no desenvolvimento de trabalhos futuros.

Shafer & Byrd (2000) sugerem ainda que para validar os resultados, deve-se comparar as eficiências calculadas a partir do DEA com outras medidas de eficiência. Outra forma de proceder a essa validação é identificando se as organizações definidas como melhores usuárias da TI aparecem como as DMUs mais eficientes do modelo proposto.

A partir do trabalho de Shafer & Byrd (2000), se conclui que o DEA pode ser utilizado para comparar os investimentos organizacionais em TI, permitindo a inclusão somente de *input* e *output* considerados relevantes pelo usuário. Os resultados obtidos com o DEA também provêem informações sobre como os *input* e *output* de DMUs ineficientes podem ser ajustados de forma a torná-las eficientes e, ainda, podem ser analisados usando-se técnicas estatísticas tradicionais tais como análise de regressão e teste de hipótese. Como sugestão para

trabalhos futuros, os autores propõem a identificação de fatores (*input* e *output*) apropriados e relevantes além da relação entre estes.

Sowlati *et al*. (2005) também apresentam um modelo de priorização de SI que utiliza o DEA. Os critérios usados para julgar a importância dos projetos consistem nos *input* e *output* do modelo. Um conjunto de projetos artificiais de SI é criado e para cada um são definidos critérios e *scores* de priorização pelos decisores. Cada projeto real é, então, comparado ao conjunto de critérios definidos e recebem um *score*. Segundo esses autores, os problemas de priorização envolvem ordenar entidades baseado em alguns critérios previamente definidos. Decisores estabelecem uma prioridade para um projeto baseado na sua própria experiência e intuição ou adota um método que aproxima o valor relativo de cada critério sendo que esse valor, muitas vezes, não corresponde à realidade. Examinando o processo de priorização de projetos de SI, observa-se que vários fatores contribuem para a complexidade desse tipo de problema:

- a típica escassez de recursos;
- demandas conflitantes de diferentes usuários;
- projetos com requisitos conflitantes;
- imprecisão de estimativas quando do planejamento de projetos;
- planos conflitantes de longo e curto prazos;
- restrições orçamentárias.

Para Sowlati *et al*. (2005), os decisores utilizam os critérios e o senso intuitivo sobre os valores relativos de cada, de forma a determinar como eles podem impactar na priorização dos projetos. O objetivo do estudo desses autores foi desenvolver um método de priorização de SI que é mais bem alinhado com a forma como os decisores realmente trabalham e resolvem as questões complexas do problema de priorização. Uma vez que é fácil para os decisores fornecer exemplos de projetos que eles consideram ser representativos de um projeto realmente bom e de outro realmente ruim, em vez de definir pesos para cada critério, utilizou-se a comparação dos projetos com alguns projetos artificiais (definidos previamente) para os quais os critérios e os *scores* de prioridade foram fornecidos. No exemplo apresentado nesse trabalho, os decisores forneceram um conjunto de 18 projetos artificiais ao qual se referiam como projetos definidos pelos decisores (DMDP – *Decision Makers Defined Projects*). Assim, as prioridades dos quarenta e um projetos reais foram avaliadas através da comparação destes com o conjunto de DMDP. Uma vez que cada projeto é comparado com o conjunto de DMDPs, ao se adicionar um novo projeto real as prioridades já definidas para os outros projetos reais não são alteradas. No entanto, ao se modificar o conjunto de DMDPs, a

prioridade de cada projeto real necessita ser avaliada novamente. É possível também incluir as opiniões dos decisores sobre a importância relativa dos critérios no modelo através da adição de restrições aos pesos dos *input* e *output* para se obter *scores* mais realísticos.

Outro trabalho relevante com relação ao uso do DEA para avaliação de investimentos em TI é o de Bernroider & Stix (2006). Esses autores propõem, para solução de um problema de ordenação de SI, a adição de uma função de penalidade ao modelo DEA original. Eles são motivados: pelo fato de os problemas de decisão em SI apresentarem um grande número de critérios (atributos) de avaliação e um pequeno conjunto de alternativas (SI); e pelo baixo poder discriminatório da metodologia DEA com relação às alternativas definidas como mais eficientes. Essa limitação dos modelos DEA em distinguir alternativas eficientes ocorre em função da liberdade que cada alternativa possui em poder se apresentar da melhor forma ao decisor a partir da escolha de um esquema próprio de pesos para os critérios, obtido através da resolução do PPL.

Algumas modificações, no entanto, nas restrições dos pesos podem tornar o PPL do DEA sem solução. Bernroider & Stix (2006) procuram, portanto, evitar fazer modificações nas restrições do problema, utilizando as funções de penalidade como forma de levar em consideração as preferências dos decisores na definição dos pesos.

O modelo desenvolvido por Bernroider & Stix (2006) – PDM (*Profile Distance Method*) – consiste em combinar o modelo DEA com o método multicritério de tomada de decisão URM (*Utility Ranking Method*) de forma a calcular as distâncias entre os pesos desejados para os critérios (obtidos a partir do URM) e os pesos dos critérios para cada alternativa obtidos ao se resolver o modelo DEA. Esse modelo já se apresenta como uma evolução no sentido de não se restringir apenas em comparar os resultados obtidos com uso de métodos de apoio multicritério a decisão com os obtidos pelo DEA, mas de combinar os méritos dessas duas abordagens para se obter um modelo de decisão mais eficaz. Os objetivos do trabalho desses autores é superar as seguintes limitações no que diz respeito a tomada de decisão em SI:

- A dificuldade de definir, compreender e comparar todas as alternativas a serem avaliadas.
- O problema de identificar os critérios de seleção que exercem papel fundamental na seleção de SI.
- O problema de alcançar uma ordenação que distingue claramente as alternativas a partir das suas ordenações.

- A falta de técnicas simples, amigáveis e comunicativas para tratar com decisões complexas.
- O problema da complexidade computacional e, conseqüentemente, as dificuldades de implementação de sistemas computacionais.

Segundo Bernroider & Stix (2006), estudos organizacionais têm mostrado que na prática a gestão dos negócios tem falhado ao julgar os investimentos em TI a partir de certas técnicas disponíveis. Muitas empresas justificam seus gastos em SI somente com base em critérios financeiros. Na realidade, esses critérios financeiros, que os autores apresentam como métodos de contabilidade, podem ser aplicados a qualquer proposta de investimento corporativo e são amplamente compreendidos pelos executivos seniores, mas não capturam precisamente todas as conseqüências resultantes dos investimentos em TI. As técnicas de definir *scores* para as alternativas e ordená-las são exemplos de técnicas formais e não financeiras para avaliação de SI que apóiam/justificam os investimentos em SI. Essas técnicas são interessantes para os executivos devido a sua aplicação ser simples, intuitiva e custo baixo. Elas são relativamente transparentes, permitindo a visualização da lógica dos resultados e permitindo a inclusão de critérios intangíveis de avaliação. Esses autores identificam quatro metodologias básicas nos métodos de avaliação disponíveis: a financeira, a de proporção, a de portifólio e as metodologias multicritério. No trabalho de Bernroider & Stix (2006), o URM corresponde a uma metodologia multicritério, ou mais precisamente, uma metodologia multiatributo de tomada de decisão (MADM – *Multiple Attribute Decision Making*). Os métodos MADM auxiliam a tomada de decisões a partir de um número finito de alternativas que são caracterizadas por múltiplos, usualmente conflitantes, atributos.

O DEA, que juntamente com o URM constituem o método PDM proposto pelos autores, é usado originalmente para avaliar a eficiência relativa de DMUs. No contexto de análise de decisão, o uso do DEA como uma alternativa discreta de MADM tem ganhado atenção considerável na literatura acadêmica. Assim, o DEA pode ser utilizado para: ordenar alternativas num problema de decisão, prover os decisores de informações a respeito dos pontos fortes e fracos de cada alternativa, etc. O modelo de Análise de Envoltória de Dados é visto por alguns pesquisadores (Sarkis, 2000) como um método de apoio multicritério a decisão que apresenta algumas vantagens em relação aos demais métodos. Essas vantagens são: requer menos informações dos decisores; avalia as distâncias entre as alternativas após definição do *ranking*; exige menos esforço dos analistas de decisão, etc.

O trabalho de Bernroider & Stix (2006) utiliza o método URM como uma ferramenta de tomada de decisão multiatributo, o qual fornece aos decisores os meios para identificar e

mensurar um conjunto de atributos de avaliação do problema de decisão de SI. Os pesos e os valores de utilidade são definidos pelos decisores, de forma que o URM fornece um valor de utilidade final para cada alternativa através de uma função aditiva que agrega o valor da utilidade de uma determinada alternativa para cada critério e o respectivo peso desse critério. O URM é, então, utilizado como uma ferramenta de apoio a decisão que ordena as alternativas de acordo com os valores desejados para os pesos dos critérios. Os resultados desse trabalho mostram que o método URM não é muito eficaz na ordenação de alternativas, podendo-se obter alternativas com a mesma avaliação. O modelo DEA é, em um segundo momento, resolvido de forma a se obter um esquema de pesos dos critérios/atributos para as alternativas (SI). Em seguida, é incorporada à função objetivo do problema de PL do DEA uma função de penalidade, a qual mede a distância entre os valores dos pesos desejados e os obtidos a partir do modelo DEA. Assim, o modelo DEA é definido da seguinte forma:

$$\text{Max } Eff_k = \sum_{r-1}^{S} u_r y_{rk} - \alpha \sum_{i=1}^{S} d_i (u_i - w_i u_1) \tag{3.1}$$

sujeito a

$$\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ik} = 1 \tag{3.2}$$

$$\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ik} - \sum_{r-1}^{s} u_r y_{rk} \geq 0, \forall k \tag{3.3}$$

$$\alpha d_i (u_i - w_i u_1) \geq 0 \text{ para } i = 1,...,s \tag{3.4}$$

$$v_i,\ u_r \geq 0 \text{ para todo } i, j \tag{3.5}$$

O valor w_i, presente nas equações (3.1) e (3.4), é calculado, a partir da aplicação do método URM, para cada critério da seguinte forma: seja P_i o peso de um critério i qualquer e P_1 o peso do critério 1 (ambos definidos a partir do URM), define-se, então, $w_i = P_i/P_1$. Dessa forma, w_1 é sempre igual a 1.

Nesse modelo, $\sum_{i=1}^{S} d_i (u_i - w_i u_1)$ representa a função de penalidade que consiste na soma das distâncias entre os pesos u_i e os pesos w_i u_1 desejados para os *output* e calculados a partir do método URM. A restrição (3.4) assegura que a medida de distância do lado direito da equação (3.1) é sempre positiva, resultando assim em uma penalidade positiva. Quando $\alpha = 0$, o modelo proposto se transforma no modelo original do DEA, de forma que o problema de PL pode ser resolvido sem restrições para os valores dos pesos dos critérios. No entanto, quando o valor de α é muito grande, a única forma de maximizar a função objetivo é reduzindo a

influência da função penalidade, ou seja, calculando pesos para os critérios que não são muito divergentes dos pesos obtidos com o método URM. Dessa forma, α é um fator de controle que permite ao decisor fazer uma análise de sensibilidade dos resultados obtidos, ao intercambiar entre o método DEA puro e o URM puro, com o objetivo de definir as alternativas mais eficientes e aderentes às necessidades dos usuários. Esse parâmetro reflete também o nível de exigência do decisor com relação aos pesos dos critérios (*output*). Quanto maior for α, maior a necessidade do decisor de que os pesos dos *output* calculados pelo DEA reflitam as reais preferências e importâncias dadas pelos usuários a esses atributos.

A proposta de Bernroider & Stix (2006) considera apenas os valores de pesos para os *output*, pois se parte do pressuposto de que os valores dos *input* são iguais a um para todas as DMUs. Essa é uma grande limitação do modelo, uma vez que muitas vezes os recursos de entrada variam bastante entre as diversas DMUs, exercendo forte influência sobre os valores de seus pesos e, conseqüentemente, sobre a avaliação final das alternativas. Ao se trabalhar com o modelo DEA orientado a *output*, no qual o objetivo é maximizar os resultados (*output*) conservando-se os *input*, a função objetivo (no Modelo dos Multiplicadores) é de minimização da soma ponderada dos *input*. Nesse caso, se torna possível utilizar funções de penalidade que forcem a aderência dos pesos dos *input* (calculados pelo DEA) aos pesos desejados. Assim, essas funções de penalidade são utilizadas de acordo como tipo de orientação (a *input* ou a *output*) do modelo DEA. Há que se estudar, no entanto, uma forma de alcançar a aderência dos pesos simultaneamente tanto para *input* como para *output*.

O modelo apresentado foi testado em um caso real referente ao problema de seleção de *softwares* ERP em uma empresa da Áustria. Os pesos e os valores de utilidade foram definidos por um comitê de decisão composto por usuários chaves de todos os departamentos funcionais. O URM forneceu um *score* final de utilidade para cada alternativa resultando em uma ordenação em termos de requerimentos de *softwares*. No entanto, o comitê de decisão não utilizou nenhuma outra metodologia específica para avaliar a aderência organizacional de forma a cumprir o objetivo primário de alinhamento da nova estrutura de SI com o foco estratégico. A aplicação do URM, nesse caso, resultou em valores de utilidade que são difíceis de serem interpretados e que não permitem distinguir claramente as alternativas.

A análise de sensibilidade, que pode ser feita a partir desse modelo, apresenta grandes vantagens com relação à definição de alternativas eficientes ou ordenação das mesmas, principalmente com relação à distinção de alternativas 100% eficientes no DEA ou que possuem avaliações similares obtidas pelo URM.

3.5 Atribuição de pesos no DEA

Segundo Lins *et al.* (2007), a flexibilidade na definição dos pesos de *input* e *output* é um aspecto chave da modelagem DEA. No entanto, uma grande variabilidade dos pesos e valores implausíveis dos mesmos têm levado aos desenvolvimentos de modelos DEA que incorporam restrições aos valores dos pesos, refletindo os julgamentos de *experts*.

A maioria das extensões metodológicas do DEA resulta de aplicações do método em problemas reais. O desejo de incorporar restrições aos pesos para os *input* e *output* de DMUs é uma dessas áreas de desenvolvimento do DEA. Atualmente, restrições de pesos e julgamentos de valor cobrem uma considerável parte da literatura voltada ao DEA, como exemplo tem-se os trabalhos de Angulo Meza & Lins (2002), Bernroider & Stix (2007), Lins *et al.* (2007), Llamazares & Peña *et al.* (2009). A intenção de incorporar julgamentos de valor consiste em incorporar informações *a priori* com relação à avaliação de eficiência de DMUs. Essa informação *a priori* pode ser incorporada através de diferentes caminhos, cada uma com diferentes implicações sobre a avaliação relativa de eficiência das DMUs (ALLEN *et al.*, 1997).

No trabalho apresentado por Allen *et al.* (1997), é feita uma revisão da evolução das metodologias de restrições dos pesos.

3.5.1 Motivação e propósito para incorporação de restrições de pesos ao DEA

A eficiência nos modelos DEA é baseada no conceito de engenharia de fator total de produtividade e é calculada através da razão da soma ponderada dos *output* pela soma ponderada dos *input* de uma DMU. Um modelo de programação linear é, então, resolvido, para cada DMU com o objetivo de determinar os pesos para os *input* e *output* de forma a maximizar sua eficiência. Os pesos representam um sistema de valores relativos para cada DMU e fornece a maior taxa possível para a DMU de forma consistente com a noção de que o sistema de valores resultante é viável para todas as outras DMUs de acordo com a idéia de nenhuma alcança uma taxa de eficiência acima da fronteira superior (ALLEN *et al.*, 1997).

O modelo DEA original permite total flexibilidade com relação à seleção de pesos, de forma que cada DMU irá alcançar a máxima taxa de eficiência possível para os seus níveis de *input* e *output*. Essa flexibilidade na seleção de pesos é importante na identificação das DMUs ineficientes, ou seja, que estão abaixo da performance esperada mesmo após a definição de um conjunto adequado de pesos para maximização das eficiências das mesmas.

Os pesos estimados pelo DEA podem, todavia, ser inconsistentes com o conhecimento *a priori* ou visões já aceitas a cerca dos valores relativos dos *input* e *output*. O desenvolvimento inicial do DEA por Charnes *et al.* (1978) foi seguido por uma rápida expansão da teoria e aplicações sem, no entanto, haver uma contestação da base fundamental do DEA com relação à flexibilidade na escolha dos pesos. A evolução dos modelos DEA, no sentido de incorporar os julgamentos de valor na definição da eficiência, pode ser entendida como conseqüência das aplicações do DEA em problemas reais.

Uma das maiores limitações dos modelos DEA convencionais é a excessiva flexibilidade dos pesos, permitindo a DMU alcançar a máxima eficiência através de um conjunto de pesos que é tanto implausível, pois ignora uma ou mais variáveis, quanto inaceitável porque é inconsistente com os julgamentos de valor do decisor (LINS *et al.*, 2007).

Segundo Allen *et al.* (1997), julgamentos de valor correspondem aos "construtos lógicos, incorporados dentro de um estudo de definição de eficiência, que refletem as preferências dos decisores no processo de avaliação das eficiências".

Na realidade, os julgamentos de valor estão presentes mesmo no modelo original do DEA, no momento em que são selecionadas as variáveis de *input* e *output*. Isso ocorre, por exemplo, nas variáveis omitidas da avaliação, as quais recebem implicitamente um peso de valor zero. O tipo de julgamento de valor considerado afeta a seleção dos pesos ótimos para os *input* e *output* na avaliação da eficiência das DMUs. De acordo com Allen *et al.* (1997), as razões que motivam o uso dos julgamentos de valor no DEA são:

- Incorporar visões *a priori* com relação aos valores individuais dos *input* e *output*.
- Relacionar os valores de certos *input* e/ou *output*.
- Incorporar visões *a priori* com relação às DMUs eficientes e ineficientes.
- A eficiência calculada deve respeitar a noção econômica da taxa marginal de substituição *input*/*output*.
- Permitir a distinção entre unidades eficientes.

3.5.2 Formas de incorporação dos julgamentos de valor no DEA

Allen *et al.* (1997) afirma que existe uma diversidade de métodos para incorporação dos julgamentos de valor no DEA. A Figura 3.2, apresentada a seguir, classifica os métodos de acordo com três abordagens e identifica aplicações que utilizam cada abordagem:

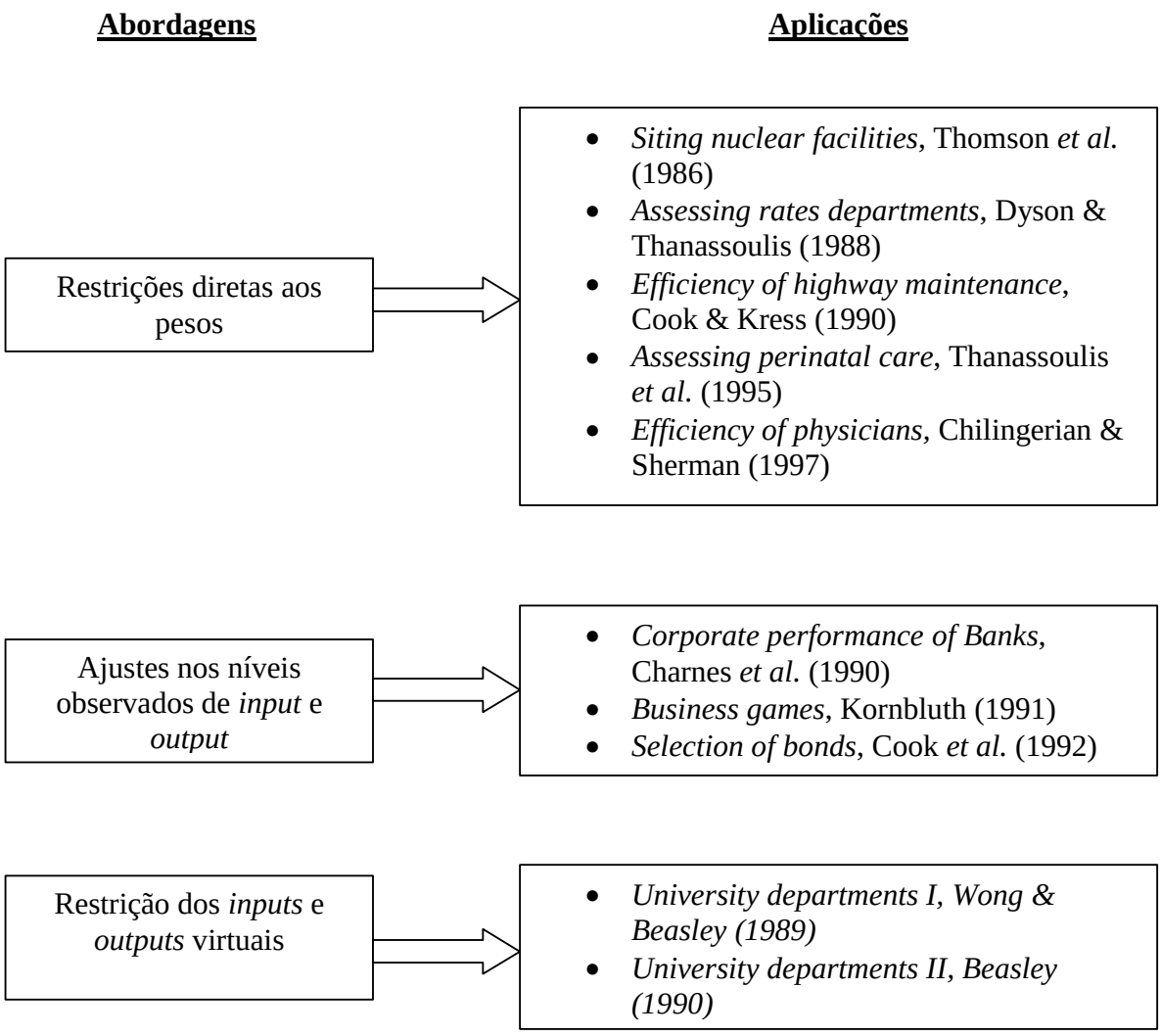

Figura 3.2 – Abordagens para incorporação de julgamentos de valor no DEA (adaptado de Allen et al., 1997)

Dessa forma, a Figura 3.2 identifica as seguintes abordagens para incorporação dos julgamentos de valor no DEA:

- Restrições diretas aos pesos.
- Modificação nos níveis observados de *input* e *output* para capturar os julgamentos de valor.
- Restrição dos *input* e *output* virtuais.

3.5.2.1 Restrições diretas aos pesos

De acordo com Mello *et al.* (2005), nesse enfoque desenvolvido por Dyson & Thanassoulis (1988) e generalizados por Roll *et al.* (1991), são impostos limites numéricos aos multiplicadores com o objetivo de superestimar ou ignorar *input* e *output* na análise. Assim, seja $I_o = \sum_i v_i x_{io}$ o numerador da função objetivo na formulação original do DEA, isto

é, a soma ponderada dos *input* consumidos pela DMU *o*. Os limites impostos aos multiplicadores (pesos) dos *input*, v_i, e dos *output*, u_j, são dados pelas relações apresentadas nas equações (3.6) e (3.7), onde *II*, *SI*, *IO* e *SO* são os limites inferior e superior para *input* e *output* respectivamente:

$$II_i \leq v_i \leq SI_i \tag{3.6}$$

$$IO_j \leq u_j \leq SO_j \tag{3.7}$$

Esse tipo de restrição pode implicar na inviabilidade do problema de programação linear, uma vez que estabelecer um limite superior ao peso de um *input* implica em um limite inferior no *input* virtual do restante das variáveis (MELLO *et al.*, 2005).

3.5.2.2 Modificação nos níveis observados de *input* e *output* para capturar os julgamentos de valor

O método mais utilizado dentro dessa abordagem é o das Regiões de Segurança – *Assurance Region Method* (AR) – desenvolvido por Thompson *et al*. (1990) *apud* Mello *et al.* (2005). Ele recebe esse nome pela adição de restrições, que possuem limites superior e inferior para cada multiplicador, aos modelos DEA clássicos. Dessa forma, ele limita a variação dos pesos a uma determinada região. Essas restrições são de dois tipos:

- Regiões de Segurança do Tipo I (ARI): método *Cone Ratio*

As restrições desse método, desenvolvido por Charnes *et al*. (1990), incorporam na análise a ordenação relativa ou valores relativos de *input* e *output*. Essas restrições são do tipo:

$$\kappa_i v_i + \kappa_{i+1} v_{i+1} \leq v_{i+2} \tag{3.8}$$

$$\alpha_i \leq \frac{v_i}{v_{i+1}} \leq \beta i \tag{3.9}$$

κ_i, α_i e βi – são constantes especificadas pelos usuários que refletem os julgamentos de valor com relação a importância relativa de *input* e *output*.

A restrição do tipo (3.9) é mais utilizada e reflete a taxa marginal de substituição apesar de o limite inferior α_i, ou alternativamente o limite inferior βi, ser sempre omitido. Os valores limites para ARI dependem da escala de medida dos *input* e *output*, ou seja, eles são sensíveis às unidades de medida dos fatores relacionados.

Charnes *et al*. (1990) e Thompson *et al*. (1990) *apud* Allen *et al.* (1997) esclarecem que quando se utiliza a restrição do tipo ARI sempre existirá pelo menos uma DMU eficiente.

Além do mais, se é utilizada a orientação a *input* ou *output*, o modelo DEA ao incorporar o ARI produz os mesmos *scores* de eficiência.

No método *Cone Ratio* é gerado um conjunto artificial de dados que produz os mesmos *scores* de eficiência relativa obtidos no ARI (3.9). Pode-se com o método *Cone Ratio* selecionar DMUs como padrão e utilizar seus pesos como limites para o intervalo de variação dos pesos das demais DMUs.

- Regiões de Segurança do Tipo II (ARII)

Essas restrições relacionam os pesos dos *input* e *output*. Foram apresentadas por Thompson *et al*. (1990) *apud* Allen *et al.* (1997) da seguinte forma:

$$\gamma_i v_i \geq u_r \tag{3.10}$$

Em muitas aplicações de DEA são requeridas as relações entre os pesos dos *input* e dos *output*, uma vez que a medida de eficiência reflete a combinação dessas variáveis. Assim como nos modelos AR do tipo I (ARI), os modelos do tipo II produzem os mesmos índices de eficiência relativa, independente da orientação do modelo (orientado a *input* ou a *output*), e são igualmente influenciados pela escala de medida das variáveis de *input* e *output* (MELLO *et al.*, 2005).

Segundo Sarrico & Dyson (2004) *apud* Lins *et al.* (2007), uma desvantagem dessas duas primeiras abordagens é que as varáveis, podem apresentar diferentes unidades de medida e ordens de magnitude, o que dificulta a definição de limites significativos que não tornem o modelo de PL do DEA inviável.

3.5.2.3 Restrição aos *input* e *output* virtuais

Wong & Beasley (1989) exploraram o uso de tais restrições no DEA. Em vez de restringir os valores reais dos pesos, restringe-se a proporção do *output* virtual total da DMU *j* utilizada pelo *output r*, isto é, a importância atribuída ao *output r* pela DMU *j*, ao intervalo $[\phi_r, \psi_r]$, onde ϕ_r e ψ_r são determinados a partir das opiniões de *experts* (decisores). Assim, a restrição ao output virtual *r* tem a seguinte forma:

$$\phi_r \leq \frac{u_r y_{rj}}{\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}} \leq \psi_r \tag{3.11}$$

onde $\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}$ representa o *output* virtual total da DMU *j*. Resultado semelhante pode ser obtido para os *input* (MELLO *et al.*, 2005).

Esse tipo de restrição aos pesos dos multiplicadores considera os níveis de *input* e *output* das DMUs, ao incluir somente os *input* e *output* que contribuem significativamente aos custos totais ou benefícios de uma unidade.

Essa abordagem apresenta como vantagem o fato de que as variáveis virtuais independem das unidades de medida e das ordens de magnitude, de forma que provê medidas de importância que facilitam a interação entre o decisor e um analista do DEA. No entanto, essa abordagem resulta em um grande número de restrições que devem ser impostas ao problema de programação linear do DEA, o que aumenta a possibilidade deste se tornar inviável (LINS *et al.*, 2007).

Lins *et al.* (2007) apresentam três soluções para a resolução do problema de inviabilidade nos modelos DEA com restrições aos pesos. Primeiramente, esses autores discutem o Teorema da Viabilidade das Restrições aos Pesos (*Weight Restrictions Feasibility Theorem*). Este teorema define condições sobre a análise envoltória que garante existência de um modelo DEA dos multiplicadores viável (ou um inviável) e apóia o desenvolvimento dos dois modelos posteriores. A segunda contribuição, em seguida, consiste em um Modelo de Teste da Viabilidade, um problema de programação linear capaz de testar a viabilidade e identificação da(s) fonte(s) que inviabilizam o modelo DEA dos multiplicadores. A terceira contribuição denominada *Hyperplane Adjusting Model for Bounds on the Weights* se refere a uma programação não-linear que identifica um conjunto de ajustes mínimos para os pesos de forma a tornar o modelo DEA viável. Uma importante característica deste modelo é a sua flexibilidade, pois permite uma grande variedade de definições de ajustes mínimos, dependendo da natureza da interação entre o decisor e o analista.

3.5.3 Conclusões com relação às restrições aos pesos

A incorporação de julgamentos de valor nos modelos DEA é uma área motivada pelas aplicações em casos reais nas empresas. Tal incorporação visa, principalmente, melhorar a contribuição desse método na avaliação de eficiência. Fazendo um balanço das fases evolutivas dos métodos de restrição dos pesos, pode-se dizer que (ALLEN *et al.*, 1997):

- As restrições aos pesos baseiam-se em modificações matemáticas ao modelo original do DEA (Charnes *et al.*, 1978) e procuram sintetizar os julgamentos de valor na avaliação de desempenho.
- As restrições aos pesos não pretendem eliminar o princípio fundamental do modelo DEA original de que a avaliação da eficiência produtiva deverá conferir às DMUs liberdade sobre o valor atribuído às variáveis de *input* e *output*.

- Não existe nenhum método para todos os propósitos de tradução dos julgamentos de valor em restrições aos pesos do DEA.
- As implicações matemática e gerencial da introdução dos julgamentos de valor nos modelos DEA têm ainda de ser exploradas na totalidade.

Para ressaltar a importância da consideração das preferências e conhecimentos *a priori* dos decisores com relação à avaliação de eficiência de alternativas, Sarkis (2000) aplica o DEA como uma ferramenta de tomada de decisão multicritério (MCDM – *Multicriteria Decision Making*) e compara-o analiticamente a outros modelos MCDM, especialmente aqueles que são baseados em abordagens de programação linear multiobjetivo. Nesse trabalho, se faz uma avaliação empírica dos vários métodos de ordenação utilizando o DEA e das técnicas MCDM. Ao aplicá-los a casos reais para comparação dos resultados, conclui-se que a incorporação do julgamento de valor dos decisores na metodologia DEA fornece resultados similares aos encontrados quando são utilizadas as abordagens MCDM tradicionais. No entanto, o DEA parece ser mais vantajoso aos usuários por requerer menos informações dos decisores e analistas e por prover avaliações das alternativas que podem ser úteis para alguns decisores.

Segundo Sarkis (2000), a metodologia DEA é utilizada em situações em que o objetivo é determinar a eficiência de um sistema ou de uma DMU comparando a forma como essas unidades convertem *input* em *output*. Os métodos MCDM, por outro lado, são utilizados em problemas de ordenação ou de seleção a partir de um conjunto de alternativas que apresentam critérios conflitantes. Essas duas abordagens se conectam, ao se definir os critérios a serem maximizados (benefícios) como *output* e os critérios a serem minimizados (custos) como *input*. Assim, a identificação de que um determinado critério é de minimização ou de maximização, o que ocorre na prática na maioria das técnicas de sobreclassificação, auxilia a determinar se o critério pode ser considerado como um *input* ou como um *output* no modelo DEA.

Doyle (1995) *apud* Sarkis (2000) afirma que a forma como o DEA é aplicado como ferramenta MCDM é muito reativa, isto é, o decisor, ou suas preferências, desempenha um papel insignificante na ordenação das alternativas. Essa reatividade no DEA pode ser vista como uma abordagem objetiva para avaliação de diferentes alternativas. Extensões, que incorporam os julgamentos de valor (preferências) dos decisores com relação aos critérios ao modelo DEA através de restrições aos pesos, permitem ao decisor maior proatividade no processo de tomada de decisão multicritério utilizando o DEA. Na realidade, o trabalho de Sarkis (2000) não foca na avaliação de SI, utiliza alternativas gerais para exemplificação do

modelo proposto. Seu propósito é ressaltar a importância de se considerar as preferências dos decisores quando da utilização do DEA.

O DEA pode incorporar os julgamentos de valor do decisor ao menos de duas formas (Sarkis, 2000):

- Construindo julgamentos de valor dentro dos dados dos critérios reais através da elicitação das utilidades para os vários níveis de valores dos critérios. Essa forma foca mais nos dados dos critérios e não muito nas formulações do DEA.
- Adicionando restrições ao modelo DEA a partir da estrutura de preferências o decisor.

Há que se considerar, todavia, que a inviabilidade é um problema potencial na maioria das abordagens de imposição de restrições aos pesos. Além de ocorrer em diferentes abordagens e por diferentes razões, não é fácil para o decisor antecipar o fato de que os problemas se tornarão inviáveis. Nesse sentido, o trabalho de Lins *et al.* (2007) tem por objetivo estudar esses problemas através da criação de uma metodologia que identifique a ocorrência de inviabilidade nos modelos e que guie o decisor com relação a como proceder para ajustar os limites propostos aos pesos de forma a tornar o problema viável.

3.6 Evoluções na utilização dos modelos DEA

Nessa seção serão abordados trabalhos que, apesar de não serem voltados para avaliação de SI, propõem melhorias quanto à utilização dos modelos DEA, que podem ser também implementadas dentro do contexto de avaliação da eficiência de SI.

Um desses trabalhos é o de Eilat *et al.* (2008). Esses autores apresentam uma metodologia multicritério para avaliação de projetos de P&D (Pesquisa e Desenvolvimento) que integra o BSC e o DEA. As medidas de *input* e *output* são agrupadas em *cards* que são associados com a aplicação do BSC aos projetos de P&D.

Similarmente ao problema de priorização de SI, o problema de avaliação de projetos de P&D consiste num problema de tomada de decisão enfrentado por decisores que trabalham com a gestão de P&D. A avaliação envolve: medidas multicritério, a relevância dos projetos para a missão e os objetivos organizacionais, o sucesso comercial e a lucratividade, etc. Uma vez determinados os critérios, eles devem ser ponderados para refletir as preferências da organização. O foco em eventos futuros e em oportunidades em um ambiente dinâmico faz com que a maioria das informações seja incerta ou não esteja disponível. Opiniões e julgamentos devem ser sempre substituídos por dados e as medidas devem ser estimadas quantitativamente.

Os objetivos do trabalho de Eilat *et al.* (2008), os quais resumem os objetivos da maioria das empresas, são: a obtenção de objetivos estratégicos; o uso otimizado de recursos para geração de *output* desejados; a obtenção do equilíbrio dos objetivos. O modelo proposto, que integra o DEA com o BSC, se aplica tanto a empresas privadas que visam o lucro como as que não visam o lucro ou agências governamentais.

A restrição aos pesos no trabalho de Eilat *et al.* (2008) não é feita de forma direta, mas através do balanceamento da importância atribuída aos grupos de medidas (*cards*).

Segundo esses autores, nas últimas décadas, o problema de avaliação de projetos de P&D tem atraído significativa atenção, o que tem levado a uma variedade de métodos. Esses métodos, na realidade, procuram desenvolver medidas quantitativas para avaliar o desempenho desses sistemas através da obtenção e integração sistemática de dados subjetivos e objetivos. Os métodos vão desde os simples procedimentos de apresentação até procedimentos matemáticos mais sofisticados e são usualmente subdivididos nas seguintes categorias: modelos de *score*, modelos MCDM, métodos comparativos e modelos econômicos.

Recentemente, alguns pesquisadores têm proposto o DEA como uma ferramenta para avaliar o desempenho de projetos de P&D. Eles categorizam as medidas relevantes da avaliação como *input* e *output* do modelo DEA e usam a eficiência, calculada para cada DMU, para ordenar os projetos. As técnicas de restrição de peso, todavia, nunca haviam sido aplicadas à avaliação de projetos de P&D. O método proposto restringe os pesos dos critérios de avaliação baseado no uso de proporções do total de *output* por *input* de uma DMU específica que é atribuído a uma medida simples de *output* por *input* (EILAT *et al.*, 2008).

Por entender a importância da escolha de critérios apropriados para avaliação de propostas de projetos e da necessidade de alinhamento desses critérios com os objetivos de curto e longo prazo da organização, Eilat *et al.* (2008) utilizam um modelo baseado na abordagem do BSC para determinar os conjuntos de critérios. O BSC permite, dessa forma, o alinhamento da organização com suas estratégias através da derivação dos objetivos e das medidas para unidades organizacionais específicas, sendo essa derivação feita através de um processo *top-down* orientado pela missão e estratégia de toda organização.

São utilizadas no trabalho de Eilat *et al.* (2008) as quatro perspectivas originais do DEA (Finanças, Aprendizado e Crescimento, Processos Internos e Cliente) e uma perspectiva de incerteza, adicionada para enfatizar o seu papel nos projetos de P&D. A partir da definição dessas perspectivas, o modelo BSC é construído e consiste de dois níveis hierárquicos: os *cards* (perspectivas) e as medidas. Aos *cards* estão associadas 24 medidas de *output* e *input*,

cujas unidades de medidas são diversas: valores monetários, escalas arbitrárias (subjetivas), valores de probabilidade, etc. O modelo BSC desse trabalho, para as perspectivas Financeira, do Consumidor e Interna do negócio, é apresentado na Figura 3.3:

Rótulo	Titulo	Medidas	Unidades
1	Perspectiva financeira	Desconto do fluxo de caixa	5 anos de fluxo de caixa acumulativo em milhões de dolares
		Valor adquirido	em dolares (milhões)
2	Perspectiva do consumidor	*Feedback* de grupos de pesquisa	01 - Somente necessidades insignificantes
			04 - Necessidades pouco significantes
			07 - Necessidades significantes
			10 - Necessidades muito significantes
		Métricas de Incremento de Performances	Escala de 0 a 100
		Índice de satisfação do consumidor	1 - Baixa satisfação
			4 - Média satisfação
			7 - Alta satisfação
			10 - Satisfação muito alta
		Reclamações	1 - Número muito alto de reclamações
			4 - Número alto de reclamações
			7 - Número médio de reclamações
			10 - Número pequeno de reclamações
		Estatísticas de entrega	% de Superações
3	Perspectiva interna do negócio	Congruência	01 - Somente ajustes periféricos com a estratégia
			04 - Poucos ajustes, sem modificar os elementos-chaves da estratégia
			07 - Alguns ajustes nos elementos-chaves da estratégia
			10 - Muitos ajustes nos elementos-chaves da estratégia
		Importância	01 - Impacto mínimo, sem alardes se o programa for mal sucedido
			04 - Impacto financeiro, competitividade moderada
			07 - Impacto significativo, dificuldade de recuperação se o programa não for bem sucedido
			10 - O sucesso da estratégia depende do programa
		Sinergia com outras operações	01 - Limitada
			04 - Com trabalho, pode ser aplicado para outras finalidades
			07 - Pode ser adaptado em poucas operações
			10 - Pode ser aplicado largamente para muitas operações
		Índice de satisfação das equipes	01 - Baixa satisfação
			04 - Satisfação mediana
			07 - Alta satisfação
			10 - Satisfação muito alta

Figura 3.3 – Três perspectivas do modelo BSC para projetos de P&D (adaptado de Eilat, Golany e Shtub, 2008)

Os *input* e *output* incluídos no modelo DEA para cada projeto específico representam as medidas de sua avaliação BSC. O modelo DEA aplicado nesse estudo foi o CCR, uma vez que os projetos são homogêneos, ou seja, apresentam recursos semelhantes e geram resultados também similares.

A idéia da pesquisa de Eilat *et al.* (2008) é balancear a importância relativa que cada projeto atribui a uma perspectiva (*card*) específica. Para tanto, sejam O_1,..., O_k a partição do conjunto de output em *K cards*. Dessa forma, a equação (3.12) é verdadeira.

$$\sum_{k=1}^{k}\left(\sum_{r\in O_k} u_r y_{rj} \Big/ \sum_{r} u_r y_{rj}\right) = 1, \forall j \tag{3.12}$$

O valor $S_k = \sum_{r\in O_k} u_r y_{r0} \Big/ \sum_{r} u_r y_{r0}$ representa a proporção do total de *output* do projeto P_0 atribuído ao *card* O_k. Assim S_k é a importância atribuída ao *card* O_k pelo projeto P_0. Para alcançar o equilíbrio desejado um decisor pode estabelecer limites através da definição de um limite inferior e superior para importância relativa atribuída em cada critério. Assim são

construídas restrições para cada projeto que está sob avaliação. Para um projeto específico P_0, essa restrição é exemplificada na equação (3.13):

$$L_k \leq \sum_{r \in O_k} u_r y_{r0} \Big/ \sum_r u_r y_{r0} \leq U_k, \forall k \tag{3.13}$$

onde L_k e U_k representam os limites inferior e superior respectivamente.

Dessa forma, as restrições de balanceamento refletem dois tipos de julgamentos de valores sobre os pesos. Primeiramente, a importância relativa mínima para cada *card* é representada pelo limite inferior. Secundariamente, o espaço de variação de cada *card* é dado pela diferença entre os limites inferior e superior (EILAT *et al.*, 2008).

Os limites superior e inferior podem servir de insumo para simulações de resultados e análises de sensibilidade. As mesmas considerações com relação ao balanceamento dos pesos dos *output*, através de restrições do tipo (3.13), podem ser feitas para os *input*.

Apesar de apresentar uma evolução importante com relação à utilização da abordagem DEA, o trabalho de Eilat *et al.* (2008) não trata a questão da interação entre *input* e *output* e, mais especificamente no contexto de P&D, a própria interação entre os projetos.

Propostas similares, com o objetivo de agregar medidas de avaliação (*outpus* e *input*) alinhadas aos objetivos estratégicos da organização ao modelo DEA, também são encontradas no trabalho de Valderrama *et al.* (2009). Esse trabalho também propõe um modelo que integra a abordagem BSC com o modelo DEA. O objetivo é estudar os relacionamentos entre as perspectivas do BSC e as atividades de P&D. Para analisar os relacionamentos entre as razões de eficiência dadas pelos vários modelos DEA, é utilizado o coeficiente de correlação de Pearson. A análise fatorial também é realizada para obter uma interpretação geral das correlações.

Dentro do contexto de SI, o DEA também tem sido utilizado não apenas como ferramenta de apoio ao problema de seleção de SI, mas também para calcular uma medida do uso eficiente da informação gerada por esses sistemas. Assim, Bendoly *et al.* (2008) utilizando dados coletados de usuários de ERP, exploram empiricamente a relação entre o uso eficiente de informações empresariais na busca por uma performance estratégica e a lucratividade das empresas.

Bendoly *et al.*, 2008 argumentam que o acesso a uma grande quantidade de informações gerenciais não implica, por se só, em vantagem competitiva. Uma vez que o tempo gerencial é um recurso finito, deve-se definir que informações serão acessadas e utilizadas nas tomadas de decisão. Assim, utilizando o DEA, esses autores avaliam as formas como as organizações enfatizam o uso dos vários tipos de informações empresariais de forma a melhorar a

performance empresarial. O modelo DEA é utilizado para mensurar eficiência do uso da informação. Eles definem eficiência do uso da informação como a eficiência com a qual o desempenho estratégico é alcançado através de uma ênfase em informação empresarial.

O uso da informação está diretamente associado à tecnologia que provê o acesso a tal informação. As limitações técnicas dos sistemas empresariais, bem como as restrições de tempo gerencial dedicado à utilização da informação (acesso, compreensão, transformação e consolidação da informação), estabelecem limites com relação à forma como o uso eficiente da informação pode gerar resultados estratégicos.

Muitas vezes, as empresas ineficientes possuem o mesmo nível de performance estratégica que as eficientes, mas para alcançar tal resultado elas despendem muito mais recursos no uso de informações empresariais, ou seja, as empresas ineficientes trabalham com uma grande quantidade de informações (geradas pelos sistemas empresarias), mas que têm um custo alto e que muitas vezes não são informativas no sentido de apoiarem decisões estratégicas. Para alcançar vantagens competitivas, as empresas, paralelamente à implantação de SI, devem realizar mudanças na infra-estrutura para o uso da informação (BENDOLY *et al.*, 2008).

Bendoly *et al.* (2008), assim, estabelecem as seguintes hipóteses:

- H1: O uso eficiente de informação está associado com a lucratividade.
- H2a: São as diferenças no uso dos vários tipos de informação – e não o quão forte uma empresa é numa dimensão particular da performance estratégica – que define primeiramente a eficiência, ou seja, uma única dimensão do desempenho estratégico não determina o posicionamento da empresa na fronteira de desempenho.
- H2b: A ênfase na informação relacionada à excelência operacional determina a performance empresarial.
- H3: Relativamente às empresas ineficientes, empresas eficientes exibem uma melhor interação entre o tipo de informação enfatizado e a dimensão da performance estratégica correspondente.

Para testar essas hipóteses, foram definidas como *input* as freqüências do uso de informações relevantes para: a excelência operacional; o estabelecimento de relacionamento com o cliente e a liderança de produto. Já os *output* trabalhados por Bendoly *et al.* (2008) foram: performance estratégica com relação à excelência operacional, performance estratégica com relação ao estabelecimento de relacionamento com o cliente, performance estratégica com relação a liderança de produto.

Para realização dessa pesquisa foram coletados dados de 63 empresas dos mais diversos ramos. No entanto, o modelo DEA escolhido na avaliação foi o CCR, pois os sistemas (ERP) dessas diferentes organizações essencialmente trabalham com as mesmas economias de escala relacionadas ao uso da informação. Os ERP dessas empresas provêem acessos e processamento de dados idênticos para as mesmas.

Os resultados da pesquisa Bendoly *et al.* (2008) mostram que, na média as empresas eficientes dão mais ênfase às informações relativas à excelência operacional do que às demais informações. As empresas eficientes também possuem um desempenho estratégico superior na dimensão correspondente à informação à qual é dada ênfase. Assim, se uma empresa eficiente direciona mais atenção ao uso de informações referentes à excelência operacional, provavelmente, essa empresa terá um bom desempenho estratégico na área operacional.

Essa pesquisa provê *insights* sobre como as organizações podem usar mais eficientemente os dados dos seus sistemas empresariais. Os resultados apóiam a noção de que as políticas de operação com respeito ao uso das informações empresariais são importantes para o sucesso de um ERP. Também é reforçado o fato de que, apesar da literatura focar bastante nas melhorias de desempenho possíveis de se alcançar a partir de tecnologias específicas, é necessário haver uma reformulação organizacional e a implementação da infra-estrutura correspondente para se captar todo o potencial da adoção de novas tecnologias. As implicações desse trabalho são claras. Não importa o quão sofisticado seja o SI, ele não pode ser visto como uma solução milagrosa. O sucesso de um SI está bastante associado à forma como se tira proveito dele: uso eficiente das informações disponibilizadas por ele, investimento na infra-estrutura correspondente, reorganização dos processos, foco nas informações que estão alinhadas aos objetivos estratégicos, etc.

3.7 Considerações sobre a Revisão da Literatura

A literatura sobre o impacto dos SI nas organizações é bastante rica. Há algum tempo os pesquisadores se preocupam em desenvolver modelos que justifiquem os investimentos cada vez maiores em tecnologias de processamento de informação. Inicialmente, muitos autores e empresários chegaram a duvidar que os SI levassem às empresas a alcançarem maior produtividade, melhores produtos e serviços, etc. Mais tarde, chega-se à conclusão de que a questão não é mais se a TI implica em retornos financeiros e de produtividade para a organização e sim como melhor usá-la para maximizar esses benefícios, pois já se conseguia mensurar e provar os benefícios obtidos por algumas empresas usuárias de SI. Refuta-se, assim, o paradoxo da produtividade. Nessa linha, muitos sugerem que as formas de avaliação

dos SI é que é inadequada. Os benefícios de longo prazo provenientes da implantação de SI não se resumem apenas aos retornos da TI, mas aos retornos de um sistema composto por novas tecnologias e por mudanças organizacionais. Esses benefícios também não podem ser avaliados apenas monetariamente. Dessa forma, são desenvolvidas várias propostas para uma avaliação adequada dos investimentos em SI. As propostas que fazem uso do modelo DEA surgem como uma solução bastante promissora nessa área de pesquisa, pois utilizam o conceito de eficiência e permitem abordar o problema através de critérios estratégicos, operacionais, financeiros, etc. Modificações são incorporadas a essas propostas, e mais especificamente aos modelos DEA, com o objetivo de captar na avaliação de sistemas as preferências dos decisores.

O método BSC também é visto na Revisão da Literatura como uma excelente alternativa para alinhamento das estratégias de TI com as estratégias de negócio, possibilitando a derivação de critérios de decisão/avaliação a partir das perspectivas do BSC (CANEDO, 2008).

A partir desse contexto, no próximo capítulo serão apresentados alguns modelos que tratam a avaliação dos impactos dos SI nas organizações. Na realidade, busca-se, a partir de uma avaliação da eficiência de empresas usuárias de SI, definir quais SI são eficiente, ou seja, quais de fato implicam em retornos para as empresas, ou como melhor fazer uso desses sistemas de forma a obter vantagem competitiva. As duas propostas iniciais, que serão discutidas no próximo capítulo, permitiram a construção do modelo apresentado no capítulo 5, que consiste na proposta desse trabalho.

4 PROPOSTAS DE MODELOS DEA COM RESTRIÇÕES AOS PESOS

Nesse capítulo, serão apresentadas duas propostas de utilização dos modelos DEA para avaliação de alternativas, que agregam as preferências dos decisores com o objetivo de se obter resultados mais condizentes com a estratégia da organização. Apesar de não abordarem em sua concepção a problemática de avaliação de SI, essas propostas proporcionam grande contribuição para esse trabalho e uma aplicação de um dos modelos é realizada contextualizando-se tal problemática.

Primeiramente, será apresentado um modelo que define restrições diretas aos pesos dos *input* e *output*, baseado no método SMARTS. Em seguida, com o objetivo de não impor pesos diretamente aos critérios de avaliação, tornando algumas vezes o problema de programação linear do DEA sem solução, será apresentado um modelo que agrega os julgamentos de valor do decisor, obtidos através do SMARTS, ao problema de avaliação de eficiência a partir do uso de funções de penalidade.

4.1 Modelo DEA com restrições diretas aos pesos baseadas nas preferências do decisor

Esse modelo consiste em acrescentar ao modelo de programação linear definido pelo DEA, os julgamentos dos decisores com relação à ordenação dos critérios e aos limites de valores para cada faixa, ambos obtidos através do método SMARTS (passos 6 e 7). Esse modelo consitiria, então, das seguintes etapas:

- julgamento de valores a partir do método SMARTS;
- utilização do modelo DEA para definição das alternativas eficientes.

Na etapa de julgamento de valores, utilizando o método SMARTS, inicialmente, deve-se definir o problema e identificar as pessoas cujos julgamentos de valores devem ser considerados. Em seguida, são definidas: as questões a serem tratadas, contextualizando o problema; as alternativas (DMUs) cujas eficiências serão avaliadas e os critérios/atributos que são considerados relevantes na avaliação das alternativas.

O próximo passo é obter a avaliação das alternativas em relação aos critérios. Com essa avaliação é possível realizar a etapa de troca (*Swing Weights*) do método SMARTS de forma a se obter uma ordenação dos critérios, ou seja, chega-se a uma conclusão, que determinado

critério deve ter um peso maior que outro. A partir da ordenação, são feitos questionamentos aos envolvidos no processo (decisores) para se obter os valores dos pesos para cada critério.

Como já foi comentado no capítulo 2, uma das vantagens do SMARTS é a simplicidade tanto das respostas exigidas pelo decisor como da análise que é feita sobre estas respostas Outra vantagem é que esse método permite definir o peso de um critério analisando as avaliações das alternativas para esse critério e não apenas a importância do mesmo para o decisor. Esses fatores motivaram a utilização desse método nessa proposta.

A ordenação dos critérios obtida no método SMARTS será utilizada como restrição no modelo DEA. Uma vez, inserida essa restrição, o problema de programação linear é resolvido fazendo-se os devidos ajustes. Após a resolução do problema, os decisores irão avaliar se o número de alternativas identificadas como eficientes é adequado.

Se o número for grande, não permitindo aos envolvidos no processo priorizar, por exemplo, suas ações a partir da definição das alternativas eficientes, outro aspecto deve ser considerado no problema de forma a restringir as alternativas eficientes. Nesse sentido, pode-se utilizar os valores definidos como pesos no SMARTS para restringir ainda mais as alternativas eficientes. Deve ficar claro, no entanto, que esses valores não devem ser inseridos como restrição do PPL, mesmo quando são adotadas faixas de valores ao invés de um valor único, pois podem tornar o problema inviável, sem solução. O modelo proposto é apresentado na Figura 4.1.

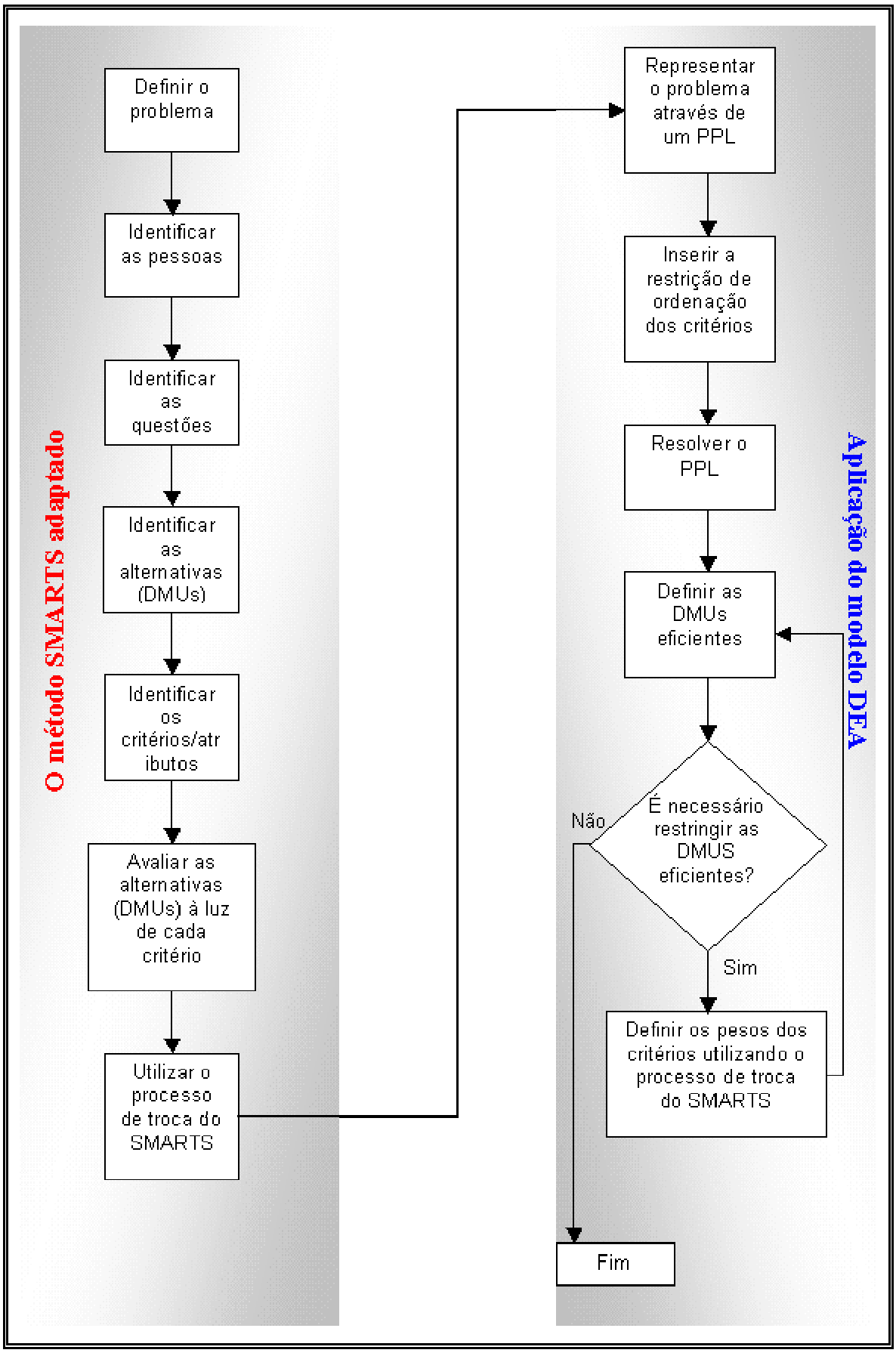

Figura 4.1 – Modelo DEA com restrições aos pesos baseado no SMARTS

Segundo Angulo Meza & Lins (2002), os limites dos valores dos pesos devem ser utilizados depois de análises dos resultados obtidos para os pesos com o problema DEA original, ou seja, o problema deve ser resolvido sem esse tipo de restrição. É importante notar que esses modelos produzem diferentes alternativas eficientes dependendo da orientação (a *input* ou a *output*), mesmo quando se utiliza o modelo DEA CCR. Para aplicar esse tipo de restrição aos pesos, então, deve-se primeiramente resolver o modelo clássico do DEA, considerando apenas a restrição de ordenação dos valores dos critérios, de forma a determinar os pesos para cada variável. Somente após as análises dos pesos para todos os critérios e para todas DMUs e verificação de que a quantidade de DMUs definidas como eficientes é superior a esperada, é que as restrições dos valores dos pesos são introduzidas. Se os resultados do modelo são inviáveis, pode-se relaxar as restrições até que se consiga obter uma solução possível.

Com esse modelo, por tanto, é possível não só incluir julgamentos de valores das partes interessadas na definição das eficiências das DMUs, como também, a partir desses julgamentos, distinguir que alternativas são efetivamente eficientes.

4.1.1 Aplicação do modelo

Para validar o modelo proposto, foi utilizado um exemplo apresentado em Mello *et al.* (2005), o qual será contextualizado nessa seção de forma fictícia, para permitir melhor entendimento do problema.

O exemplo numérico contextualizado aqui é o seguinte: considere um problema em que se quer definir o melhor Sistema de Informação a ser implantado em uma empresa. A escolha do SI, que implique melhores resultados para a empresa com menos recursos, ou seja, do SI que resulta em maior eficiência para a empresa, irá se basear nos resultados alcançados por empresas similares que utilizam cinco SI diferentes (A, B, C, D e E), bem como nos recursos (financeiros e de tempo) que elas empregaram na implantação dos sistemas. Avalia-se, assim, a eficiência dos investimentos em SI no sentido de verificar se todo esforço financeiro e de horas de trabalho para implantação de um SI serviram para a organização obter melhores resultados, maior eficiência e, conseqüentemente, maior lucro.

O resultado (O*utput*) pode significar o Lucro e os *Input* 1 e 2 Tempo gasto para treinamento e gerenciamento de mudanças/impactos e Investimento (em R$), respectivamente.

Dessa forma, o problema é resolvido, inicialmente, utilizando o método SMARTS. Para tanto, define-se:

- As pessoas envolvidas nesse problema são os membros do conselho administrativo da empresa.
- O problema se refere à decisão de em que SI investir, dentre cinco sistemas disponíveis no mercado para atender as demandas do segmento em que a empresa atua.
- As DMUs são empresas usuárias desses cinco sistemas : A, B, C, D e E.
- Os *input* são: Tempo gasto para treinamento e gerenciamento de mudanças/impactos em meses (*Input* 1) e Investimento em R$ (*Input* 2).
- A matriz de avaliação das alternativas em relação aos seus *Input* e *Output* é obtida a partir de informações das empresas que implantaram esses sistemas. Utiliza-se aqui como exemplo os dados apresentados em Mello *et al.* (2005):

Tabela 4.1 – Matriz de Avaliação (Fonte: Mello et al., 2005).

DMU	*Input* 1	*Input* 2	*Output*
A	4	3	2
B	1	6	5
C	2	3	4
D	1	2	1
E	10	5	8

- No processo de troca do método SMARTS, é apresentada aos membros do conselho administrativo uma alternativa fictícia X que apresenta o valor 10 (pior valor apresentado pelas alternativas) para o *Input* 1 (considerando que quanto menor o Tempo gasto para treinamento e gerenciamento de mudanças/impactos melhor) e 6 (também maior ou pior valor apresentado pelas alternativas) para o *Input* 2. Pergunta-se, então, para as pessoas envolvidas, qual *Input* eles escolheriam para melhorar a performance, alocando para esse *Input* o melhor valor (no caso, o menor valor apresentado pelas alternativas). Os decisores – membros do conselho administrativo – definem que, apesar do investimento ser um fator extremamente relevante na definição do SI mais eficiente, pelo fato de todas as alternativas atenderem o valor limite de investimento disponibilizado pela empresa, o *input* que eles desejariam melhorar a performance seria o Tempo. Essa escolha também pode ser justificada pelo fato de que a variabilidade dos *input* do tipo 1 para as alternativas é maior do que a variabilidade dos *input* 2 para essas alternativas. Assim, o *Input* 1 deve apresentar um peso maior do que o *Input* 2.

Como só existe um *Output* para esse problema, é necessário determinar apenas os pesos para os input.

Utilizando o método DEA CCR orientado a *input*, apresentado anteirormente, sem impor a restrição de que o *Input* 1 é mais relevante do que o *Input* 2, obtêm-se o seguinte resultado (Tabela 4.2) apresentado em Mello *et al.* (2005), onde são identificados os SI B, C e E como eficientes.

Tabela 4.2 – Valores obtidos a partir do DEA (Fonte: Mello et al., 2005).

				Pesos			
DMU	*Input* 1	*Input* 2	*Output*	*Input* 1	*Input* 2	*Output*	Eficiência (%)
A	4	3	2	0,045	0,273	0,227	45,45
B	1	6	5	0,200	0,133	0,200	100,00
C	2	3	4	0,050	0,300	0,250	100,00
D	1	2	1	0,429	0,286	0,429	42,85
E	10	5	8	0,025	0,150	0,125	100,00

Na realidade, os SI C e E não atendem as preferências dos decisores com relação ao fato de que o valor do peso para o *Input* 1 deve ser maior do que o valor do peso para o *Input* 2. Assim, à formulação CCR do DEA para esse problema, deve ser acrescentada a restrição de que $v_1 > v_2$, ou $v_2 - v_1 < 0$. É necessário, nesse caso, utilizar uma variável de folga de forma que a restrição fique da forma: $v_2 - v_1 + v_3 = 0$, onde $v_3 > 0$.

Acrescentado essa restrição ao modelo chega-se ao resultado apresentado na Tabela 4.3:

Tabela 4.3 – Valores obtidos a partir do modelo proposto (DEA com julgamento de valores do SMARTS).

				Pesos			
DMU	*Input* 1	*Input* 2	*Output*	*Input* 1	*Input* 2	*Output*	Eficiência (%)
A	4	3	2	0,143	0,142	0,178	35,67
B	1	6	5	0,200	0,133	0,200	100,00
C	2	3	4	0,250	0,167	0,250	100,00
D	1	2	1	0,429	0,286	0,429	42,86
E	10	5	8	0,067	0,066	0,083	66,40

Dessa forma, verifica-se que, com o acréscimo da restrição de que o peso do *Input* 1 deve ser maior que o peso do *Input* 2, apenas as alternativas B e C são eficientes, e a alternativa E, antes definida como eficiente, apresenta-se agora com uma eficiência de 66,40%, que é inferior a anteriormente obtida. A alternativa C é ainda uma DMU extremo-

eficiente, ou seja, que apresenta mais de um conjunto de pesos que garantem a eficiência de 100%.

Para restringir ainda mais as alternativas eficientes (B e C), pode-se, a partir do passo 7 do SMARTS, criar faixas para os valores dos pesos de cada critério (*input*). Essas faixas de valores, baseadas no julgamento de valores dos decisores, não entram como restrição do problema, mas após a análise DEA, de forma a não inviabilizar a solução. Se os decisores estabelecem, por exemplo, que o peso do *Input* 1 deve estar compreendido entre 0,210 e 0,300, ou ainda que esse peso não deve ser inferior a 0,230, então a alternativa C é definida como a mais eficiente de acordo com o julgamento de valores dos decisores. Esses números são obtidos no penúltimo passo do SMARTS, onde se definem pesos para os critérios.

Esse exemplo tem o intuito de apresentar a aplicabilidade do modelo de forma simples, sem restringir suas aplicações à determinação de pesos para os *output* ou mesmo utilizando outros modelos DEA (orientado a *output*, por exemplo).

Portanto, pode-se concluir que o modelo proposto nessa seção apresenta-se como uma evolução da aplicação do DEA ao problema de avaliação da eficiência de alternativas eficientes. Sua larga aplicação em problemas do cotidiano empresarial impõe ao DEA, a consideração das preferências dos decisores, pois as pessoas envolvidas no processo de avaliação da eficiência sentem a necessidade de que suas considerações, conhecimentos *a priori* sobre determinadas alternativas e atributos sejam levados em conta. Dessa forma, a solução apresentada pelo modelo proposto possui credibilidade perante os envolvidos, refletindo seus objetivos e estratégias, e não apenas definindo parâmetros de forma arbitrária.

O método SMARTS é utilizado nesse modelo como uma alternativa de captar as preferências dos decisores, através da ordenação de critérios e da definição de pesos, ou faixas de pesos, para os mesmos. Os critérios são, na realidade, os *input* e *output* do modelo.

Ao restringir, então, os pesos de *input* e *output*, o modelo, apresenta, por conseguinte, a vantagem de facilitar a distinção entre alternativas julgadas como eficientes. Essa distinção é muito requerida ao se aplicar o método DEA que, pela suas características, geralmente defini mais de uma alternativa como eficiente. As empresas, na maioria das vezes, não têm recursos para investir em mais de uma alternativa.

Essa proposta dá, assim, continuidade às várias pesquisas que têm por objetivo restringir os pesos dos *input* e *output* do método DEA e melhor diferenciar alternativas eficientes, considerando o julgamento de valor de pessoas importantes para o processo.

4.2 Modelo DEA com restrições aos pesos utilizando funções de penalidade

Conforme foi apresentado anteriormente, alguns trabalhos têm abordado o uso do DEA para avaliação e seleção de alternativas e sugere sua aplicação como uma técnica de apoio multicritério a decisão. Existem ainda trabalhos, como o de Bernroider & Stix (2006), que combinam os modelos DEA com métodos MCDM (*Multicriteria Decision Making*) de forma a construir um modelo de apoio multicritério a decisão mais eficaz.

Dentro desse contexto, é apresentado nessa seção um modelo de decisão que utiliza a abordagem DEA e o método SMARTS para definição da eficiência das alternativas. Os pesos dos critérios, obtidos com o SMARTS, são utilizados para a construção de uma função de penalidade, que será adicionada a função objetivo do problema de PL do DEA. Essa função de penalidade tem o papel de limitar a escolha de pesos para os critérios ao se utilizar o modelo DEA. Assim, o problema de programação linear, que será resolvido para cada DMU, não pode fornecer valores arbitrários para os pesos dos critérios de forma a maximizar a eficiência da DMU.

Dessa forma, o modelo proposto permite agregar os julgamentos de valores dos decisores, com relação às importâncias atribuídas aos critérios de decisão (*input* e *output*), ao modelo DEA. Como conseqüência, através de uma análise de sensibilidade, fornece aos decisores mecanismos para distinguir as alternativas verdadeiramente eficientes das alternativas que só se apresentam como eficientes a partir da utilização de um esquema próprio de pesos para critérios.

O modelo DEA CCR, conforme já abordado, subdivide-se em: orientado a *input* e orientado a *output*. No modelo orientado a *input*, o objetivo é minimizar as entradas (*input*), mantendo-se as saídas (*output*) inalteradas (Mello *et al*., 2005). Nesse caso, é apresentado um problema de programação fracionária em que se otimiza a soma ponderada dos *output* pela soma ponderada dos *input* e onde os pesos são as variáveis de decisão. O problema de programação fracionária é então convertido em um problema de programação linear, adicionando a restrição (4.2), apresentada a seguir, em que a soma ponderada dos *input* deve ser igual a um. O problema se torna, então, um problema de maximização da soma ponderada dos *output* (maximização dos resultados).

Suponha n DMUs, cada uma com m atributos de *input* e s atributos de *output*. Considere, ainda, os vetores v e u dos pesos dos *input* e *output*, respectivamente. Assim, é construído, para cada DMU, um PPL que pode resultar em uma solução ótima diferente. O parâmetro k representa a DMU para a qual a otimização deve ser feita. O modelo DEA

original, composto pela função objetivo de maximização da soma ponderada dos *output* (4.1) e pelas restrições (4.2), (4.3) e (4.4), é apresentado abaixo:

$$\text{Max } Eff_k = \sum_{j-1}^{S} u_j y_{jk} \tag{4.1}$$

sujeito a

$$\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ik} = 1 \tag{4.2}$$

$$\sum_{j-1}^{s} u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ik} \leq 0, \forall k \tag{4.3}$$

$$v_i, u_j \geq 0, \forall i, j \tag{4.4}$$

onde,

x_{ik} são os *input i* da DMU *k*

y_{jk} são os *output j* da DMU *k*

Ao adicionar uma função de penalidade, que mede a distância entre os pesos calculados utilizando o modelo DEA puro e os pesos fornecidos pelo método SMARTS, à função objetivo (4.1) do problema de PL do DEA, obtém-se:

$$\text{Max } Eff_k = \sum_{j-1}^{S} u_j y_{jk} - \alpha \sum_{j=1}^{S} |u_i - w_i u_1| \tag{4.5}$$

sujeito a

$$\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ik} = 1 \tag{4.6}$$

$$\sum_{j-1}^{s} u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ik} \leq 0, \forall k \tag{4.7}$$

$$v_i, u_j \geq 0, \forall i, j \tag{4.8}$$

O valor w_i, presente na equação (4.5), é calculado, a partir da aplicação do método SMARTS, para cada critério da seguinte forma: seja P_i o peso de um critério *i* qualquer e P_1 o peso do critério 1 (ambos definidos pelo SMARTS), defini-se, então, $w_i = P_i/P_1$. Dessa forma, w_1 é sempre igual a 1.

Nesse modelo, $\sum_{j=1}^{S} |u_i - w_i u_1|$ representa a função de penalidade que consiste na soma absoluta das distâncias entre os pesos u_i e os pesos w_i u_1 desejados para os *output* e calculados

a partir do método SMARTS. Quando α=0, o modelo proposto se transforma no modelo original do DEA, de forma que o problema de PL pode ser resolvido sem restrições para os valores dos pesos dos critérios. No entanto, quando o valor de α é muito grande, a única forma de maximizar a função objetivo é reduzindo a influência da função penalidade, ou seja, calculando pesos para os critérios que não são muito divergentes dos pesos obtidos com o método SMARTS. Dessa forma, α é um fator de controle que permite ao decisor fazer uma análise de sensibilidade dos resultados obtidos, ao se intercambiar entre o método DEA puro e o SMARTS puro, com o objetivo de definir as alternativas mais eficientes e aderentes às necessidades dos usuários. Esse parâmetro reflete também o nível de exigência do decisor com relação aos pesos dos critérios (*output*). Quanto maior for α, maior a necessidade do decisor de que os pesos dos *output* calculados pelo DEA reflitam as reais preferências e importâncias dadas pelos usuários a esses atributos.

As restrições (4.6), (4.7) e (4.8) do modelo proposto são iguais às restrições (2.8), (2.9) e (2.10) do modelo DEA original.

Esse modelo utiliza a proposta de Bernroider & Stix (2006), a qual considera apenas os valores de pesos para os *output*, pois se parte do pressuposto de que os valores dos *input* são iguais a um para todas as DMUs. Essa é uma grande limitação do modelo, uma vez que muitas vezes os recursos de entrada variam bastante entre as diversas DMUs, exercendo forte influência sobre os valores de seus pesos e, conseqüentemente, sobre a avaliação final das alternativas. Ao se trabalhar com o modelo DEA orientado a *output*, no qual o objetivo é maximizar os resultados (*output*) conservando-se os *input*, a função objetivo (no Modelo dos Multiplicadores) é de minimização da soma ponderada dos *input*. Nesse caso, se torna possível utilizar funções de penalidade que forcem a aderência dos pesos dos *input* (calculados pelo DEA) aos pesos desejados. Assim, essas funções de penalidade são utilizadas de acordo como tipo de orientação (a *input* ou a *output*) do modelo DEA. Quando o modelo é orientado a *input*, as funções de penalidade servem para reduzir o valor da função objetivo, reduzir a maximização. Mas quando a orientação é a *output* e se trabalha com um PPL de minimização, a função de penalidade tem o objetivo de aumentar o valor da função objetivo, não contribuindo assim para a minimização. Há que se estudar, no entanto, uma forma única de alcançar a aderência dos pesos simultaneamente tanto para *input* como para *output*.

A aplicação de todo esse processo, na utilização do DEA como ferramenta de apoio a decisão, pode ser resumida considerando as seguintes etapas:

1. Aplicação do método SMARTS.
2. Resolução do modelo DEA para cada DMU.

3. Definição das funções de penalidade para cada DMU.
4. Resolução do modelo DEA proposto para cada DMU.
5. Realização de análise de sensibilidade através de variações do fator α.
6. Definição das alternativas eficientes e escolha da mais aderente.

Na primeira etapa, em que é utilizado o modelo SMARTS, o problema de decisão é estruturado, definindo-se:

- os decisores: cujos julgamentos devem ser considerados;
- as alternativas de decisão: que representam as DMUs;
- os critérios de avaliação: os atributos de *input* e *output* considerados relevantes para o problema.

Segundo Mello *et al*. (2005), na definição das alternativas, deve-se adotar DMUs que utilizam as mesmas entradas e geram as mesmas saídas, variando apenas a intensidade. Assim, o conjunto de DMUs deve ser homogêneo, isto é, realizar as mesmas tarefas, com os mesmos objetivos, trabalhar nas mesmas condições de mercado e ter autonomia na tomada de decisões.

Em seguida, dentro ainda da etapa de aplicação do método SMARTS, é obtida a avaliação das alternativas em relação aos critérios. Com essa avaliação, é possível realizar a etapa de troca (*Swing Weights*) do método SMARTS de forma a se obter uma ordenação dos critérios, ou seja, chega-se a uma conclusão, que determinado critério deve ter um peso maior que outro. A partir da ordenação, são feitos questionamentos aos envolvidos no processo (decisores) para se obter os valores dos pesos para cada critério. Assim, são definidos os valores w_i das funções de penalidade do modelo DEA.

Na segunda etapa, o modelo DEA orientado a *input* é resolvido para cada DMU, de forma a se obter os pesos u_i dos *output*. De posse desses valores e dos valores w_i, são definidas as funções de penalidade para cada DMU. Essas funções, adicionadas à função objetivo do modelo DEA original, permitem resolver o modelo proposto. Os resultados obtidos são analisados e possíveis alterações do parâmetro α podem ser feitas objetivando uma maior aderência dos pesos dos *output* e, por conseguinte, maior alinhamento das alternativas às necessidades dos decisores.

4.2.1 Exemplo numérico

Com o objetivo de validar o modelo proposto, será apresentado um exemplo numérico. Esse exemplo possibilita realizar uma série de análises com relação aos resultados obtidos, as quais apóiam a decisão dos usuários.

Considere o problema de escolher, entre três alternativas (DMUs) A, B e C, a mais eficiente. Considera-se, para esse exemplo, que todas alternativas apresentam um único *input* (com valor igual a 1) e três *output*. A Tabela 4.4 apresenta os valores de cada DMU para o *Input* 1 e os *Output* 1, 2 e 3. Esses dados são fornecidos.

Tabela 4.4 – Matriz de Avaliação das DMUs

DMU	*Input 1*	*Output 1*	*Output 2*	*Output 3*
A	1	12	4	8
B	1	7	10	7
C	1	6	2	9

Ao resolver o PPL do modelo DEA CCR, são obtidos os seguintes pesos para os *Output* 1, 2 e 3 e as avaliações de eficiência para cada DMU:

Tabela 4.5 – Valores dos pesos dos Output e cálculo das Eficiências utilizando o DEA CCR

					Pesos				
DMU	*Input 1*	*Output 1*	*Output 2*	*Output 3*	*Input 1*	*Output 1*	*Output 2*	*Output 3*	Eficiência (%)
A	1	12	4	8	1,0000	0,0270	0,0338	0,0676	100,00%
B	1	7	10	7	1,0000	0,0652	0,0543	-	100,00%
C	1	6	2	9	1,0000	0,0087	0,0239	0,1000	100,00%

Utilizando apenas esse resultado, não é possível tomar uma decisão em relação a qual alternativa (DMU) escolher, visto que todas, a partir dos pesos escolhidos para os *Output* 1, 2 e 3, obtiveram 100% de eficiência na avaliação.

Utilizando o modelo proposto, inicialmente, aplica-se o método SMARTS para definição dos pesos dos *output*. Supondo que esse método forneça os valores de 30%, 25% e 45% para os pesos dos *Output* 1, 2 e 3 respectivamente, é possível definir as funções de penalidade que serão adicionadas às funções objetivo do modelo DEA para cada DMU. Assim, ao aplicar modelo DEA proposto, equações (4.5), (4.6), (4.7) e (4.8), para α=0, obtêm-se o seguinte resultado:

Tabela 4.6 – Valores dos pesos dos Output e cálculo das Eficiências utilizando o modelo proposto (α =0)

					Pesos				
DMU	*Input 1*	*Output 1*	*Output 2*	*Output 3*	*Input 1*	*Output 1*	*Output 2*	*Output 3*	Eficiência (%)
A	1	12	4	8	1,0000	0,0270	0,0338	0,0676	100,00%
B	1	7	10	7	1,0000	0,0652	0,0543	-	100,00%
C	1	6	2	9	1,0000	0,0087	0,0239	0,1000	100,00%

Para se calcular, por exemplo, os valores dos pesos dos *output* e a eficiência da DMU A, apresentados na Tabela 3, utilizou-se o seguinte modelo:

$$\text{Max } Eff_A = 12u_1 + 4u_2 + 8u_3 - 0(|u_1 - 1u_1| + |u_2 - 0{,}83u_1| + |u3 - 1{,}50u_1|) \quad (4.9)$$

sujeito a

$$1v_1 = 1 \quad (4.10)$$

$$12u_1 + 4u_2 + 8u_3 - 1v_1 \leq 0 \quad (4.11)$$

$$7u_1 + 10u_2 + 7u_3 - 1v_1 \leq 0 \quad (4.12)$$

$$6u_1 + 2u_2 + 9u_3 - 1v_1 \leq 0 \quad (4.13)$$

$$u_1, u_2, u_3, v_1 \geq 0 \quad (4.14)$$

Os valores 1; 0,83 e 1,50 presentes na função de penalidade em (4.9) representam os valores w_1, w_2 e w_3, respectivamente, os quais foram calculados pelas razões: 0,30/0,30; 0,25/0,30 e 0,45/0,30.

Para α=0, obtém-se os mesmos resultados apresentados pelo modelo DEA original. Isso ocorre porque as funções de penalidades não estão exercendo influência sobre a escolha dos pesos. À medida que o valor de α aumenta, no entanto, os pesos dos *output* são ajustados pelo modelo DEA de forma a não comprometer a maximização da eficiência. Assim, para α=0,002, obtém-se, os valores apresentados na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 – Valores dos pesos dos Output e cálculo das Eficiências utilizando o modelo proposto (α =0,002)

					Pesos				
DMU	*Input 1*	*Output 1*	*Output 2*	*Output 3*	*Input 1*	*Output 1*	*Output 2*	*Output 3*	Eficiência (%)
A	1	12	4	8	1,0000	0,0383	0,0225	0,0563	99,99%
B	1	7	10	7	1,0000	0,0099	0,0246	0,0978	99,98%
C	1	6	2	9	1,0000	0,0140	0,0079	0,1000	99,98%

Com esse último resultado, já é possível diferenciar um pouco as alternativas. Observa-se que os valores dos pesos mudaram. O modelo DEA original, por exemplo, forneceu um valor igual a 0 para o peso do *Output* 3 no caso da DMU B (Tabela 4.5). No entanto, pelo método SMARTS, os decisores definiram que o *Output* 3 era o mais importante (peso igual a 45%). Dessa forma, o modelo DEA proposto teve que alterar o valor do peso do *Output* 3 para a DMU B com o objetivo de não penalizar a eficiência da mesma, pois caso permanecesse com o valor de 0 o valor da função penalidade seria muito alto, reduzindo bastante a sua eficiência.

Conclui-se ainda, que as DMUs, cujos pesos dos *output* foram definidos de forma arbitrária, sem considerar os julgamentos dos decisores, mas apenas para se obter a máxima eficiência, são as mais penalizadas. Portanto, o modelo proposto fornece as eficiências reais das alternativas, quando são considerados os julgamentos de valores dos decisores a respeito dos pesos dos critérios.

Quando o valor de α é muito alto, se coloca a prova a flexibilidade das DMUs manterem a máxima eficiência ao mesmo tempo em que minimizam as distâncias entre os valores dos pesos obtidos com o modelo DEA original e os valores desejados (obtidos através do método SMARTS). Fica, por conseguinte, mais fácil distinguir as alternativas mais eficientes. Para α =0,7, tem-se:

Tabela 4.8 – Valores dos pesos dos Output e cálculo das Eficiências utilizando o modelo proposto (α =0,7)

					Pesos				
DMU	*Input 1*	*Output 1*	*Output 2*	*Output 3*	*Input 1*	*Output 1*	*Output 2*	*Output 3*	Eficiência (%)
A	1	12	4	8	1,0000	0,0488	0,0225	0,0405	98,48%
B	1	7	10	7	1,0000	0,0099	0,0246	0,978	94,05%
C	1	6	2	9	1,0000	0,0142	0,0073	0,1000	93,53%

De acordo com os valores apresentados na Tabela 4.8, conclui-se que a alternativa (DMU) A apresenta-se como mais eficiente quando são adicionadas as funções penalidade, ou seja, quando existe a exigência de que os pesos fornecidos pelo modelo DEA não se distanciem muito dos pesos obtidos a partir das preferências dos decisores.

O modelo proposto, então, serve como uma ferramenta de apoio a decisão na medida em que fornece uma avaliação para cada alternativa (eficiência calculada pelo DEA) baseada nas preferências dos decisores e permite que estes priorizem a implantação tais alternativas. Ao mesmo tempo, pode ser visto como um melhoramento do modelo DEA uma vez que possibilita, através do uso de funções de penalidade, fazer uma maior distinção entre as DMUs eficientes.

Pode-se concluir que o modelo proposto visa não somente distinguir melhor as alternativas eficientes das ineficientes, como levar em consideração a importância dada pelos decisores aos atributos de avaliação das alternativas. Para tanto, foi levando em consideração o modelo PDM, proposto por Bernroider & Stix (2006), o qual combina o método URM com o DEA. O SMARTS é proposto em substituição ao URM pela simplicidade, rapidez de aplicação e por estruturar melhor a etapa de definição dos pesos dos critérios.

A partir da definição dos pesos dos critérios pelo SMARTS, são definidas as função de penalidade para cada DMU, cujo objetivo é associar a eficiência de uma determinada alternativa à aderência dos pesos escolhidos em relação aos pesos definidos pelo SMARTS. Tanto o modelo PDM quanto o modelo proposto nessa seção têm a vantagem de não modificaram as restrições do PPL do DEA. Evitando impor condições para os valores dos pesos, diminui-se a chance de tornar o problema sem solução. A análise de sensibilidade que pode ser conduzida com a aplicação do modelo proposto serve de suporte para a tomada de

decisão. Dessa forma, o modelo proposto não é simplesmente um método de tomada de decisão, mas de apoio a decisão pois não decide pelo usuário mas fornece uma avaliação das alternativas, que auxilia sua decisão. Ele estrutura a solução a partir de definições dos decisores e, embora, forneça avaliações diretas com relação às alternativas, provê o decisor de ricas análises e conclusões com relação ao alinhamento das alternativas aos seus objetivos.

Os resultados alcançados com a utilização de um exemplo numérico mostram a facilidade de aplicação do modelo proposto e a riqueza da análise que pode ser obtida ao variar o parâmetro α.

Quando se utiliza o modelo DEA CCR orientado a *input*, as funções de penalidade são definidas apenas para os *output*, o que consiste numa limitação do modelo, pois muitas vezes tanto os atributos de entrada como os de saída são de extrema relevância na definição da eficiência de alternativas. Portanto, o estudo de uma forma de contemplar funções de penalidade para *output* e *input* num mesmo problema de decisão, ou seja, formas de avaliar as alternativas considerando as preferências dos decisores através de uma perda de eficiência ao se definir pesos arbitrariamente para atributos de entrada e saída, constitui um desafio para futuros trabalhos.

4.3 Conclusões sobre as propostas iniciais

As propostas apresentadas nos itens 4.1 e 4.2 apresentam vantagens e desvantagens com relação ao processo de avaliação de eficiência de alternativas. Enquanto a primeira não requer, de imediato, que a parte interessada (decisores na maioria dos casos) forneça valores para os pesos dos critérios de avaliação, a segunda proposta necessita que esses valores sejam definidos para que possam ser construídas as funções de penalidade. Mesmo que para essa definição se utilize o método SMARTS, que tem por objetivo justamente facilitar a identificação desses graus de importância para os critérios, essa tarefa ainda requer tempo e esforço por parte do usuário. Por outro lado, o segundo modelo apresentado é mais rico com relação às análises que podem ser realizadas através de variações nos valores do parâmetro α, o que permite distinguir as alternativas de fato eficientes das não eficientes de forma mais precisa e estruturada. Ambos os modelos também não apresentam uma etapa mais estruturada na definição dos atributos de avaliação, os quais são extremamente importantes para que se faça uma avaliação coerente.

Partindo-se dessa análise das propostas prévias, irá se discutir no próximo capítulo um modelo que procurar estruturar melhor as etapas precedentes aos cálculos do modelo DEA, agregando também os julgamentos de valores dos decisores e propondo, em determinadas

situações, o uso de ferramentas estatísticas para validação dos resultados. O modelo proposto, apresentado no próximo capítulo, também pode ser utilizado em duas situações: como ferramenta de apoio a decisão e como ferramenta de melhoria dos processos organizacionais através de um *benchmarking* que permite uma avaliação comparativa entre diferentes organizações.

5 MODELO DE AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DOS INVESTIMENTOS EM TI

As propostas apresentadas no capítulo anterior representam uma grande contribuição na busca por uma sistemática de avaliação de investimentos em SI. No entanto, a aplicação direta de tais propostas no contexto de SI não permite a consideração de certas especificidades dessa área.

Dessa forma, a partir da análise das propostas apresentadas no capítulo anterior, irá se propor neste capítulo um modelo para avaliação de investimentos em SI, que utiliza conceitos de DEA, BSC e SMARTS. Esse modelo permite comparar o desempenho de diferentes empresas usuárias de um mesmo SI ou de SI diferentes voltados para atender uma área específica dentro da organização. Nesse capítulo, portanto, diferentemente do capítulo anterior, irá se contextualizar o problema na área de SI e será sugerida a utilização de abordagens do tipo BSC, de forma a tornar o modelo de avaliação ainda mais aderente à realidade.

O modelo DEA tem sido bastante empregado na avaliação de SI. Nesse contexto, é necessário analisar os resultados/benefícios (*output*) que foram obtidos por determinada organização após a implantação de SI. Essa análise é realizada avaliando-se os investimentos (*input*) que foram feitos para implantação da respectiva tecnologia de informação e, de forma mais ampla, comparando-se diferentes empresas que, similarmente, investiram em SI também com o objetivo de ganhos estratégicos.

O objetivo, então, de se utilizar o modelo DEA para avaliação dos investimentos em SI é calcular a eficiência de diferentes organizações que implantaram diferentes ou os mesmos SI, mas que apresentam os mesmos propósitos. Tal análise pode ser feita em dois momentos diferentes:

- Quando a empresa está avaliando os SI disponíveis no mercado para definir qual irá implantar. Nesse caso, são comparados os investimentos feitos por diferentes empresas em diferentes SI e os retornos obtidos por cada uma. É importante que a empresa utilize como referência empresas do mesmo segmento nesse estudo. Essa avaliação serve para justificar os investimentos que são realizados em TI e para auxiliar na tomada de decisão com relação à seleção de SI.
- Quando a empresa já faz uso de um SI e quer comparar o seu desempenho com empresas similares que fazem uso do mesmo sistema. Isso permite às empresas

identificarem formas de obter maior eficiência a partir da utilização dos Sistemas e de Tecnologias da Informação.

Uma das maiores limitações ao se utilizar o modelo DEA é que os resultados só podem ser interpretados com relação aos *input* e *output* incluídos no modelo. Diferentes *output* e *input* implicam em valores diferentes para as eficiências dos SI avaliados. Dessa forma, devem-se utilizar, no modelo, *input* e *output* apropriados, ou seja, que de fato permitam mensurar a eficiência de uma organização. Para tanto, esses atributos devem refletir e estarem alinhados com os objetivos estratégicos da organização. Também é importante que exista uma relação entre os *output* e *input* considerados, ou seja, que os *output* resultem do uso dos *input* incluídos no modelo. Essa etapa torna-se, assim, um desafio, pois os próprios resultados/benefícios proveniente de SI não são facilmente quantificáveis, de forma que não é possível definir uma relação direta com os *input*. Além disso, os benefícios de tais investimentos não são percebidos de imediato, mas se estendem por um longo período.

Também já foi comentado que os modelos DEA tradicionais permitem total liberdade em relação à seleção dos pesos que fornecerão o máximo valor de eficiência para cada DMU. Essa flexibilidade, apesar de importante na identificação de unidades ineficientes, faz com que não sejam levados em consideração os julgamentos de valor dos decisores na definição dos pesos para *input* e *output*. O decisor, ao perceber que suas preferências não estão sendo consideradas, julga os resultados (medidas das eficiências de SI) como incoerentes. Para contornar tal situação, nessa etapa, deve-se procurar definir os pesos dos atributos de avaliação, ou pelo menos definir uma ordenação dos mesmos, possibilitando, assim, restringir a escolha arbitrária dos pesos pelo modelo DEA e, obtendo, conseqüentemente, resultados mais aderentes às necessidades dos usuários.

Portanto, nesse trabalho propõe-se o uso do modelo DEA para avaliação da eficiência de SI, conjuntamente com a utilização de metodologias mais estruturadas nas etapas de definição de *input* e *output* e dos pesos para os mesmos.

O modelo proposto nesse trabalho é apresentado na Figura 5.1:

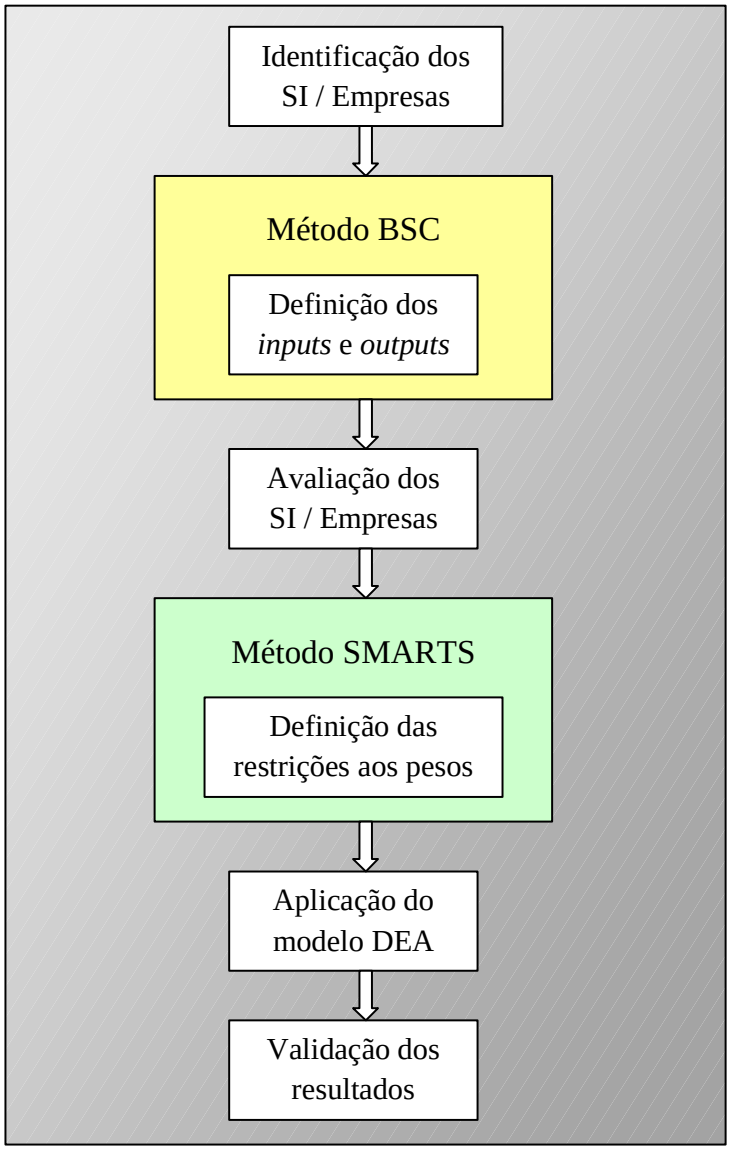

Figura 5.1 – Modelo proposto para avaliação de SI

As etapas desse modelo são descritas a seguir:

- Identificação dos SI / Empresas: primeiramente, deve-se identificar quais os SI que se deseja avaliar. Algumas organizações podem estar interessadas em analisar os resultados que foram obtidos por empresas do mesmo segmento ao implementarem diferentes sistemas com os mesmos propósitos, para tomarem a decisão de em qual investir. Geralmente existem diferentes sistemas, por exemplo: financeiros; de controle de estoques; de Recursos Humanos e outros que são implantados em diferentes departamentos da empresa com objetivos e particularidades específicos. Quando se fala em sistemas implantados com o mesmo propósito quer se passar a idéia de que irá se comparar e avaliar sistemas que possuem o mesmo objetivo (podendo ser desenvolvidos por diferentes fornecedores): de suporte à área financeira ou à área de logística, etc. Nessa situação, os SI são identificados conjuntamente com as

empresas que fazem uso dele e as DMUs correspondem às empresas que fazem uso dos diferentes sistemas. Podem existir ainda, empresas que desejam avaliar os resultados obtidos por outra(s) que implantou(aram) o mesmo sistema, realizando um *benchmarking* das melhores práticas utilizadas por cada empresa, de forma a tornar o seu sistema mais eficiente. Nesse caso, as empresas devem identificar organizações que fazem uso do mesmo sistema que elas e as DMUs também representam as empresas. Assim, o propósito de se avaliar um SI pode ser tanto devido ao problema de decisão de em qual sistema investir, como de melhorar a eficiência de um sistema ao se comparar a utilização do mesmo por diferentes empresas. Em ambos os casos, é importante identificar os sistemas que deverão ter as eficiências estimadas, balizando-se pelos requisitos de que os mesmos devem ser utilizados em empresas do mesmo segmento e com o mesmo objetivo. Esses requisitos são necessários para que o DEA possa realizar análises comparativas de forma coerente.

- Definição dos *input* e *output*: conforme já foi abordado, essa etapa é muito importante. Nesse momento são definidos os atributos de avaliação dos SI. Devem ser considerados os mesmos *input* e *output* para todos os sistemas. Se essa avaliação for feita considerando empresas do mesmo setor de atuação e sistemas com as mesmas funcionalidades, essa etapa se torna simples, por ser mais fácil se chegar a um fator comum de avaliação. Empresas do mesmo segmento investem grandes somas de recursos (financeiros, materiais e humanos) visando objetivos comuns tais como: redução de custos, otimização dos processos e, conseqüentemente, maior lucro. Esses atributos servem como parâmetros de decisão para empresas que desejam investir em SI e para empresas interessadas em comparar o seu desempenho com outras empresas usuárias de sistemas similares. Para tanto, sugere-se que, nessa etapa, utilize-se o BSC de forma a levantar os objetivos estratégicos dos SI a serem avaliados e quais *input* e *output* estão relacionados com esses objetivos. A seguir será apresentada mais detalhadamente a forma como o BSC pode auxiliar essa etapa para se obter resultados mais coerentes.

- Avaliação dos SI / Empresas: a partir das etapas anteriores, é possível avaliar cada DMU em relação aos atributos considerados relevantes. Essa é uma das etapas mais complexas, pois nem sempre é fácil quantificar os resultados alcançados com o uso dos sistemas em relação a alguns atributos considerados relevantes. Muitas vezes, os benefícios são avaliados apenas considerando os retornos financeiros (lucros), no entanto, existem resultados extremamente relevantes para empresa que não necessariamente implicam em lucratividade em curto prazo de tempo. Existem também benefícios que só são percebidos após algum tempo de utilização dos SI. Essa etapa se torna mais simples a partir da definição

das métricas, definidas pelo BSC, para avaliar os *input* e *output*. Em verdade, o BSC utilizado na etapa anterior serve tanto para definir os objetivos/resultados esperados dos SI quanto para estabelecer as medidas e as respectivas unidades que serão utilizadas para avaliar tais resultados.

- Definição das restrições aos pesos: para a definição das restrições aos pesos no modelo proposto, é utilizada a primeira etapa do processo de troca do método SMARTS. Dessa forma, é possível inserir restrições, baseadas nos julgamento de valores dos usuários, no modelo DEA com o objetivo de se realizar avaliações mais coerentes das DMUs. Essa etapa também será aprofundada mais adiante e se baseia nas propostas do capítulo 4.

- Aplicação do modelo DEA: o modelo DEA é aplicado sem levar em consideração as restrições, definidas na etapa anterior, com relação aos pesos dos *input* e *output*. Essa etapa, embora simples, necessita, primeiramente, da escolha da formulação do DEA que mais se adequa ao contexto em que se está avaliando as alternativas. Por exemplo, quando está se avaliando um conjunto de projetos diversos que requerem recursos significativamente diferentes e que competem em algumas ocasiões pelos mesmos recursos, o modelo BCC é mais apropriado. Por outro lado, quando as alternativas são mais homogêneas, o modelo CCR se torna mais adequado. Assim, pelo fato de o modelo proposto nesse trabalho estar direcionado a avaliação de sistemas semelhantes, seja para definição de qual sistema investir ou para uma avaliação do uso eficiente dos sistemas, o modelo CCR se apresenta como mais apropriado. Os resultados de um exemplo de aplicação do modelo proposto, apresentado a seguir, sugerem, no entanto, que ainda sim existem situações onde a utilização do modelo BCC é mais coerente.

- Validação dos resultados: os resultados (medidas de eficiência) obtidos com modelo DEA podem ser, por fim, analisados usando técnicas estatísticas tradicionais, tais como testes de hipótese e análises de regressão. Também é possível realizar uma comparação com outras medidas de eficiência de forma a validar os valores obtidos para cada DMU.

5.1 A utilização do BSC para definição dos atributos de avaliação

Para se tomar a decisão sobre qual Sistema de Informação investir ou para avaliar o sucesso de sistemas já em uso, critérios apropriados de avaliação devem ser determinados. No mínimo, devem ser contemplados os critérios que os executivos acham mais relevantes e para esses eles devem fornecer dados ou opiniões. Segundo Gomes (2009) para que um conjunto de critérios possa desempenhar adequadamente sua função de apoiar um processo decisório, três axiomas básicos de coerência precisam ser respeitados:

- Axioma da exaustividade: determina que os critérios escolhidos representam todos os atributos que devem realmente ser considerados no problema.
- Axioma da coesão: garante que, dadas duas alternativas *a* e *b*, para as quais o decisor se mostre indiferente, por exemplo, entre a escolha de uma das duas, se houver uma melhora na performance da alternativa *a* para um critério específico (mantendo-se inalterada a performance de *a* com relação aos demais critérios), então a alternativa *a* passa a ser tal que sua relação com *b* se processa pelo menos no mesmo nível de intensidade anteriormente existente.
- Axioma da não-redundância: um conjunto de critérios atende esse axioma, quando não existe um critério para o qual sua retirada desse conjunto faz com que o novo conjunto de critérios continue a atender às exigências de exaustividade e coesão.

Os critérios devem estar relacionados aos objetivos de curto e longo prazo da organização. Nesse trabalho, para determinar o conjunto de critérios que será utilizado na avaliação dos sistemas, será usado um modelo baseado na abordagem BSC. Sistemas de Informação, nesse sentido, podem ser considerados mini-organizações que requerem as mesmas definições de medidas estratégicas quando se trabalha ao nível organizacional.

A motivação para se utilizar o BSC decorre do reconhecimento de que medidas financeiras tradicionais por si só são inadequadas para prover uma visão geral completa e útil sobre o desempenho da organização. Muitas organizações têm adotado a metodologia BCS para: acompanhar processos gerenciais críticos; esclarecer e traduzir suas visões e estratégias; comunicar e interligar objetivos estratégicos e medidas; planejar e alinhar iniciativas estratégicas e, por conseguinte, construir o aprendizado e o *feedback* estratégico (Eilat *et al.*, 2008).

Da mesma forma que no trabalho de Eilat *et al.* (2008), o objetivo aqui é integrar a abordagem do BSC com o modelo DEA de formar a definir os objetivos estratégicos de uma organização que serão utilizados na avaliação de sua eficiência, bem como prover a forma de mensuração dos mesmos. Apesar de Eilat *et al.* (2008) terem focado na avaliação de projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), a idéia de se combinar essas duas abordagens pode ser estendida ao caso de avaliação de SI. O BSC, dessa forma, é utilizado para esclarecer e traduzir a visão e estratégia da organização, e, por conseguinte, definir critérios apropriados para mensuração da atratividade dos SI. As medidas, nesse caso, representam a forma de avaliação dos *input* e *output*.

O componente chave de qualquer BSC é o referencial, ou *benchmark*, em relação ao qual o desempenho é avaliado. Sem um padrão ou referencial, a avaliação é impossível. Uma

vez determinado o referencial, a avaliação das alternativas é feita em relação ao mesmo. No entanto, padrões são difíceis de determinar. Uma vez que o DEA é baseado em análises relativas, os SI são avaliados um em relação aos outros. Portanto, através da combinação do DEA com o BSC, é possível superar um dos maiores obstáculos do BSC: a necessidade de se determinar padrões. Após a obtenção da avaliação final dos SI, utilizando essa metodologia de cominação do DEA com o BSC, é possível estabelecer padrões a partir das melhores práticas (EILAT *et al.*, 2008).

Por entender que a TI deve prover a tecnologia e os Sistemas de Informação necessários para suportar todas as áreas da organização no alcance dos objetivos estratégicos, os critérios de avaliação dos SI serão definidos a partir das quatro perspectivas originais do BSC: Finanças, Aprendizado e Crescimento, Processos Internos e Cliente. Todas as expectativas dos executivos em relação aos SI podem ser categorizadas de acordo com essas perspectivas. Outros atributos, não compreendidos nessas quatro perspectivas, podem ser considerados para avaliação de SI. O importante é não deixar de contemplar critérios não financeiros e ao mesmo tempo definir critérios de avaliação alinhados com a estratégia organizacional.

Portanto, o BSC é utilizado para orientar a escolha dos atributos que serão utilizados na definição das eficiências de cada DMU. Ele promove a escolha de critérios alinhados à visão estratégica organizacional e, por conseguinte, a obtenção de resultados mais coerentes com as expectativas gerenciais. Para tanto, as empresas devem apresentar formalmente a declaração de sua visão e missão corporativas, facilitando, assim, a derivação das mesmas para as áreas táticas e operacionais, que fazem uso de ferramentas de TI.

Uma vez definidos os objetivos estratégicos da organização, pode-se derivar os objetivos da área de TI e, conseqüentemente, os critérios para avaliação do desempenho dos SI. Da mesma forma que no nível organizacional se estabelecem medidas para cada perspectiva no BSC, para o cálculo da eficiência dos SI são definidas medidas para essas mesmas perspectivas considerando-se os objetivos da área de TI. Por ventura, medidas que não se enquadram nessas quatro perspectivas podem ser agregadas à avaliação.

Na realidade, o modelo proposto aqui, se propõe a trabalhar com organizações que fazem uso de diferentes SI, mas voltados para atender uma área específica (por exemplo: sistema comercial, sistema financeiro, sistema de controle de estoques, etc) e com os mesmos objetivos: aumentar os lucros, melhorar os processos internos, melhorar o tempo de resposta às necessidades dos clientes, etc. Também pode ser aplicado em empresas que fazem uso do mesmo SI, com o objetivo de avaliar as diferentes formas de aproveitamento desses sistemas por cada uma. Assim, o BSC é aplicado na empresa que está avaliando os diferentes SI

disponíveis no mercado com o objetivo de decidir em qual investir ou naquela que está avaliando o uso do mesmo SI por diferentes empresas no intuito de melhorar a eficiência do seu próprio sistema baseada nas melhores práticas de outras empresas. O BSC é aplicado considerando as visões estratégicas dessa empresa de forma a se obter medidas para as quatro perspectivas (Finanças, Aprendizado e Crescimento, Processos Internos e Cliente) com relação à estratégia de TI. É importante que todos os sistemas avaliados estejam implantados em empresas pertencentes ao mesmo ramo de atividade, pois isso facilita as análises comparativas.

Ao se utilizar o BSC, procura-se definir critérios mais efetivos de avaliação da eficiência dos SI, os quais são interpretados como os *output* do modelo DEA. Pelo fato desses *output* estarem alinhados de fato com as estratégias, ou seja, com os resultados esperados pela organização, obtêm-se uma avaliação mais coerente desses sistemas.

Para definição dos *input* a serem considerados no modelo, são levantados inicialmente todos os recursos (materiais, humanos, financeiros, etc) que foram investidos em todas as organizações para implantação dos SI. O ideal é se trabalhar com um conjunto que compreenda os *input* utilizados em todas as organizações. Em seguida, esses *input* são confrontados com os *output* já definidos pelo BSC de forma a se avaliar se realmente existe alguma associação entre esses. Para essa etapa, pode-se utilizar a técnica estatística de análise de regressão. Podem existir casos em que os *output*, estabelecidos pela empresa decisora, não encontram relação com *input* utilizados por alguma empresa para a implantação dos SI. Nessas situações, os respectivos *input* não são considerados no modelo de avaliação da eficiência. Assim procura-se trabalhar com *input* que fato influenciam os resultados estratégicos da empresa. Essa etapa do modelo pode ser estruturada conforme ilustra a Figura 5.2.

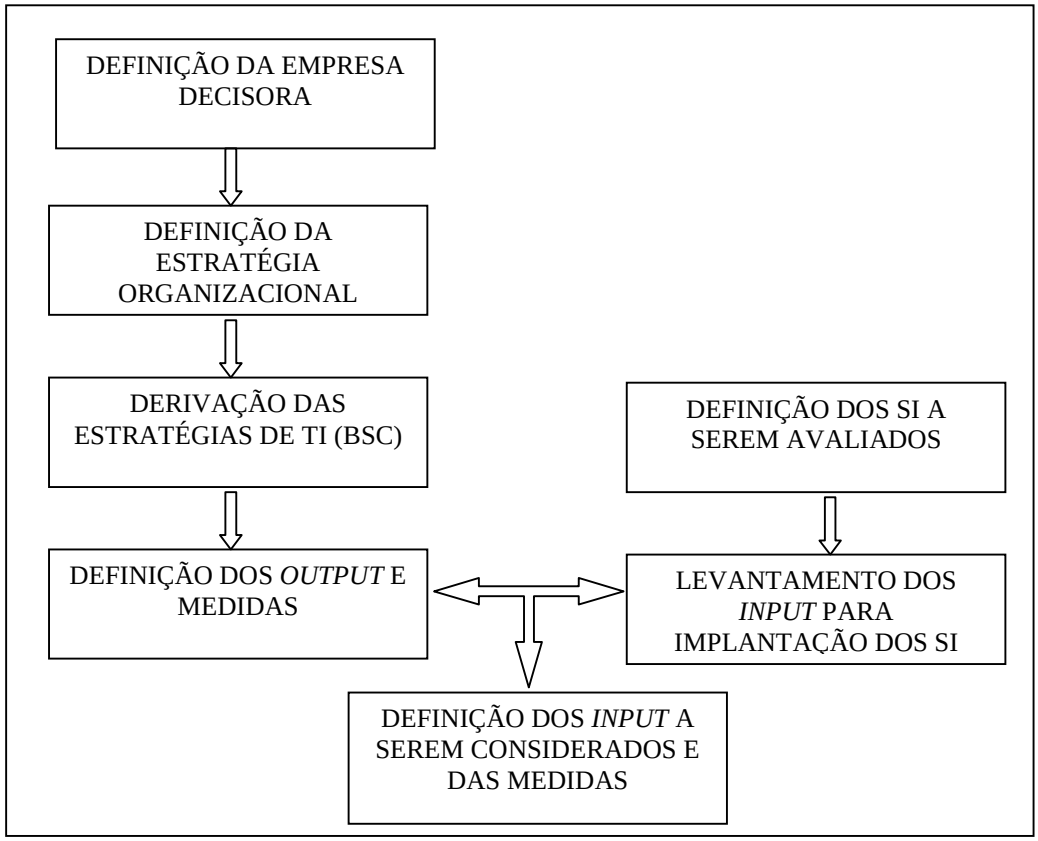

Figura 5.2 – Etapa para definição dos atributos de avaliação (input e output) no modelo proposto utilizando o BSC

A utilização do BSC é sugerida nesse modelo pelos motivos já expostos acima. No entanto, em certas situações não se avaliam sistemas apenas de organizações pertencentes a um mesmo ramo de atividade econômica ou que disputam o mesmo mercado consumidor.

Apesar dessa proposta apresentar limitações, os resultados obtidos ao se utilizar *output* alinhados aos objetivos estratégicos da empresa, quando os requisitos são atendidos para utilização do BSC, são mais eficazes, trabalhando-se de fato com os resultados esperados pela organização.

A utilização do BSC na identificação dos atributos de avaliação do modelo DEA pode resultar no uso de algumas variáveis categóricas, ou seja, variáveis cujos valores não estão numa escala de razão e sim representam categorias, por exemplo: muito, bom, regular, etc. Nessa situação, a formulação do modelo DEA será a desenvolvida por Banker & Morey (1986), a qual modifica o modelo original do DEA de forma a se trabalhar com tais variáveis.

5.2 A utilização do processo de troca do SMARTS para definição de restrições aos pesos

O SMARTS, como já foi abordado, constitui em um mecanismo de *ranking* de alternativas, baseado no cálculo das utilidades multiatributo para cada uma delas. Seu diferencial, no entanto, consiste no procedimento adotado para elicitação dos pesos dos critérios conhecido como *Swing Weights* ou processo de troca.

No processo de troca do SMARTS, o peso de um determinado critério é definido analisando-se as avaliações de todas alternativas à luz desse critério e não apenas a importância do mesmo para o decisor. Assim, mesmo quando um critério é de extrema relevância para os decisores, o peso definido para o mesmo, no processo de decisão em questão, pode não apresentar um valor alto, caso todas as alternativas possuam avaliações semelhantes para esse critério. Essa é uma vantagem desse método, pois a importância de um atributo não deve ser definida de forma isolada, mas considerando-se o contexto do problema de decisão.

A partir da avaliação das alternativas, em relação aos *input* e *output*, é possível realizar a primeira etapa do processo de troca (*Swing Weights*) do método SMARTS de forma a se obter uma ordenação dos critérios, ou seja, chega-se a uma conclusão, que determinado critério deve ter um peso maior que outro. Essa ordenação deve ser feita separadamente, considerando-se de um lado os critérios de entrada (*input*) e de outro os de saída (*output*).

Nesse modelo proposto, irá se utilizar apenas a primeira etapa do processo de troca. Não irá se definir valores para os pesos, pois, muitas vezes, tais valores além de serem de difícil mensuração e de não captarem totalmente as preferências dos decisores podem tornar o problema de programação linear do DEA inviável (sem solução). A idéia aqui é se trabalhar apenas com os julgamentos dos decisores com relação a que critérios (atributos de avaliação) são mais importantes que os outros. Tal julgamento, portanto, serve como um referencial na avaliação das alternativas. Esse processo é feito separadamente para *input* e *output*. Constrói-se, então, uma ordenação para os critérios com relação ao grau de importância dos mesmos para o decisor.

Esses julgamentos não são inseridos como restrições diretas no modelo DEA. Primeiramente, o modelo DEA é aplicado e, em seguida, os resultados obtidos são avaliados considerando tais requisitos definidos pelos decisores.

Como resultado dessa etapa, são obtidas duas ordenações para os pesos dos atributos: uma para os *input* e outra para os *output*. Essas ordenações são baseadas na primeira etapa do processo de troca do método SMARTS.

5.3 Análises dos resultados do modelo proposto

Embora, no modelo proposto, as etapas de escolha de *input* e *output* relevantes para o problema de avaliação e de definição das restrições aos pesos tenham destaque, requerendo dos usuários atenção especial, é importante que ao final do processo de avaliação sejam realizadas algumas validações dos resultados obtidos. Essa validação permite não só avaliar o quão significativos são os resultados, como também fornecem informações úteis para uma melhor compreensão do desempenho das alternativas e de futuras tomadas de decisão.

Shafer & Byrd (2000) sugerem, como forma de validação, a comparação dos *scores* de eficiência (gerados pelo DEA) com outras medidas de eficiência ou com *rakings* subjetivos dos usuários. Assim, para validar se uma DMU é realmente eficiente frente às demais alternativas, julgamentos dos usuários/decisores e outros estudos de eficiência devem ser levados em consideração.

Ao se utilizar o DEA na avaliação da eficiência de diferentes indústrias (bancos, de alimentos, metalúrgicas e outras), a validação pode ser feita analisando as indústrias que são representadas pelas DMUs eficientes. Se várias empresas pertencentes a indústrias, que foram identificadas previamente como indústrias que obtêm grandes vantagens com o uso da TI, são consideradas eficientes, tais resultados conferem credibilidade aos resultados do DEA e ajudam a distinguir usuários eficientes de TI. Como exemplo, no trabalho de Shafer & Byrd (2000), a partir da análise do DEA cinco empresas do setor bancário são definidas como eficientes. Em muitos outros estudos, o setor bancário e companhias financeiras relacionadas têm sido identificados como os mais eficientes usuários de TI.

Existe ainda a possibilidade de os resultados obtidos com o DEA serem analisados utilizando ferramentas estatísticas tradicionais tais como Testes de Hipóteses e Análises de Regressão. Utilizando a Análise de Regressão pode-se testar a associação entre as eficiências calculadas pelo DEA e os lucros obtidos pelas empresas (correlação positiva) ou os investimentos em TI realizados por estas (correlação negativa).

Dessa forma, várias são as possibilidades de validar os resultados obtidos com o modelo proposto. A escolha das técnicas a serem utilizadas nessa validação irá depender do contexto do problema, das informações disponíveis e dos objetivos e expectativas dos usuários (grau de aprofundamento desejado e habilidade com as ferramentas estatísticas, por exemplo).

5.4 Exemplo da aplicação do modelo

Com o objetivo de exemplificar a aplicação do modelo proposto nesse trabalho para avaliação da eficiência de SI, será apresentado, nessa seção, um exemplo numérico. Os dados utilizados nesse exemplo não se referem a nenhuma empresa específica, servem apenas para simular uma aplicação do modelo proposto.

O problema consiste em avaliar a eficiência de cinco empresas (A, B, C, D e E) com relação ao uso de SI, mais especificamente de um mesmo ERP. Todas as empresas pertencem ao mesmo segmento industrial, disputando, algumas vezes, o mesmo mercado consumidor. Esse estudo é motivado pelo fato de uma das empresas (C) ter identificado um baixo aproveitamento com relação ao seu investimento em TI e querer comparar seus resultado com os das outras empresas de forma a verificar oportunidades de melhorias e ações que podem ser implementadas paralelamente a esses investimentos de forma a se tirar melhor proveito do ERP implantado.

Seguindo as etapas do modelo proposto, tem-se:

- Identificação dos SI / Empresas: o Sistema de Informação cuja contribuição para as empresas será avaliada se refere a um ERP. São identificadas cinco empresas similares (A, B, C, D e E) que fazem uso desse sistema durante o mesmo período de tempo. O propósito dessa avaliação, nesse exemplo, como já foi descrito, é o de melhorar a eficiência de uma empresa a partir do uso de um sistema, ao se comparar a utilização do mesmo por diferentes empresas. As DMUs, portanto, não são os SI e sim as empresas.

- Definição dos *input* e *output*: os *input* e *output* que serão considerados no modelo DEA são definidos a partir do uso do BSC para a empresa C. Primeiramente, a partir do planejamento estratégico dessa empresa, são derivados os objetivos da área de TI com relação às quatro perspectivas do BSC (Financeira, Processos Internos, do Cliente e Aprendizado e Crescimento). A partir de então, são levantados os atributos que um SI (ERP) deve apresentar, os quais estão associados aos objetivos estratégicos da empresa. Assim, foram definidos como atributos (medidas na linguagem do BSC) de avaliação para a empresa C: o crescimento dos lucros empresariais (*Output*1), o crescimento de participação do mercado (*Output*2), o crescimento da quantidade de processos internos integrados a partir do ERP (*Output*3) e o crescimento da quantidade de pessoas qualificadas (*Output*4). Todos esses atributos são mensurados após dois anos de implantação do ERP e são medidos percentualmente. Por exemplo, o crescimento dos lucros corresponde ao crescimento percentual dos lucros obtidos pela empresa nesses dois anos; o crescimento da quantidade de processos internos mede a

quantidade de processos que foram integrados nesses dois anos relativamente à quantidade de processos integrados que existia há dois anos. Da mesma forma, também são mensurados o percentual de aumento do *market-share* dessas empresas e crescimento percentual de pessoas qualificadas em relação ao total de pessoas que interagem com esse ERP, nos últimos dois anos. Trabalhar com atributos mensurados por percentuais apresenta a vantagem de normalizar os dados de empresas de diferentes portes. Não se pode comparar empresas a partir de valores de desempenho absolutos e sim relativos. Shafer & Byrd (2000) destacam que quando várias organizações, que apresentam diferenças com relação ao montante de vendas, à quantidade de empregados e outros, estão sendo estudadas com relação ao uso da TI, tanto as variáveis de *input* como as de *output* devem ser normalizadas de forma a facilitar a comparação entre as mesmas. Variáveis categóricas poderiam ser obtidas ao se utilizar o BSC. Nesses casos, o modelo DEA a ser utilizado seria o proposto por Banker & Morey (1986). As variáveis de *input* são determinadas a partir dos output, identificando que fatores influenciam diretamente a performance dos *output*. Nesse estudo foram identificados como *input* de avaliação de eficiência: o crescimento percentual do investimento feito em treinamentos (*Input*1) e em reestruturação organizacional (*Input*2) nos últimos dois anos (durante e após implantação do ERP). Parte-se do princípio, então, que o investimento realizado para aquisição do ERP foi o mesmo para as cinco empresas.

- Avaliação dos SI / das Empresas: a partir das unidades de medidas definidas pelo BSC na etapa anterior, é realizada uma avaliação das cinco empresas (DMUs) com relação às variáveis de *input* e *output*. O objetivo aqui, não é avaliar os diferentes benefícios provenientes da implantação de diferentes SI, até porque o SI (ERP) é o mesmo para todas as empresas, mas avaliar as diferenças de performance das empresas com relação ao uso do mesmo ERP, pois sabe-se que o uso do ERP, por si só, não garante a eficiência organizacional. A matriz de avaliação das DMUs por atributos é apresentada na Tabela 5.1:

Tabela 5.1 – Matriz de avaliação das DMUs (valores em %)

Empresas (DMU)	*Input*1	*Input*2	*Output*1	*Output*2	*Output*3	*Output*4
A	0,30	-	0,10	0,15	0,30	0,20
B	0,80	0,20	0,50	0,60	0,40	0,30
C	0,40	0,30	0,60	0,70	0,30	0,50
D	0,60	0,50	0,80	0,80	0,70	0,60
E	0,20	0,10	0,10	0,15	0,20	0,30

- Definição das restrições aos pesos: a partir da matriz de avaliação das DMUs apresentada na Tabela 5.1, é possível aplicar o processo de troca do método SMARTS de forma a construir restrições aos pesos dos atributos, condizentes com os julgamentos de valor dos usuários. Os usuários, nesse exemplo, também chamados de decisores, são executivos da empresa C que estão interessados em avaliar a eficiência de empresas que fizeram os mesmos investimentos que a C em um ERP de forma a avaliar se estão tirando proveito e obtendo vantagens competitivas desse sistema. Utilizando o processo de troca (*Swing Weights*) do SMARTS, primeiramente é definida uma alternativa (empresa) que possui a pior avaliação com relação a todos os atributos. Essa alternativa, denominada de X, por exemplo, teria então a seguinte avaliação (Tabela 5.2):

Tabela 5.2 – Matriz de avaliação da empresa X definida no processo de troca do SMARTS

Empresa (DMU)	*Input*1	*Input*2	*Output*1	*Output*2	*Output*3	*Output*4
X	0,80	0,5	0,10	0,15	0,20	0,20

Essa empresa X é a pior alternativa em termos de eficiência, pois existe um investimento alto com relação a treinamentos e reestruturação organizacional, mas os retornos (*output*) são baixos. Os decisores são, então, questionados a respeito de que atributo de *input* da empresa X eles gostariam melhorar da pior avaliação para a melhor se pudessem. Nesse momento, os usuários avaliam não só a importância de um determinado atributo para esse processo de avaliação, mas também os valores apresentados no problema. Um atributo pode ser muito importante para os decisores, mas no problema em questão a distância entre a pior avaliação e a melhor pode não ser significativa, sendo mais importante melhorar a avaliação da alternativa em relação a outro atributo. Supõe-se que os decisores optem por melhorar a avaliação do *Input*1 de 0,8 para 0,2 primeiro. Dessa forma, o peso do *Input*1 deve ser maior do que o peso do *Input*2, ou seja, apresenta uma importância maior para os decisores. O mesmo é feito para os *output*, obtendo-se: peso do *Output*1 > peso do *Output*3 > peso do *Output*2 ≥ peso do *Output*4.

Esses são os julgamentos de valores dos decisores que devem ser considerados na aplicação do modelo DEA.

- Aplicação do modelo DEA: o modelo DEA CCR orientado a *input* é aplicado sem considerar as restrições, definidas na etapa anterior, com relação aos pesos dos *input* e *output*. Ao resolver o problema de programação linear, obtêm-se as eficiências das DMUs (empresas) apresentadas na Tabela 5.3:

Tabela 5.3 – Eficiências das empresas calculadas a partir do DEA CCR

Empresa	Eficiência
A	100,00%
B	86,54%
C	100,00%
D	100,00%
E	100,00%

Na Tabela 5.3, observa-se que das cinco empresas apenas uma não foi avaliada como 100% eficiente. Os pesos obtidos para cada *input* e *output* em relação a cada DMU são apresentados na Tabela 5.4:

Tabela 5.4 – Matriz dos pesos de input e output

Empresa (DMU)	*Input*1	*Input*2	*Output*1	*Output*2	*Output*3	*Output*4
A	0,0333	0,0067	-	-	0,0333	-
B	0,0058	0,0269	0,0173	-	-	-
C	0,0250	-	-	0,0143	-	-
D	0,0167	-	0,0093	-	0,0037	-
E	0,0500	-	-	-	-	0,0333

Levando em consideração as preferências dos decisores com relação aos pesos dos atributos *input*, verifica-se que as alternativas A, C, D e E atendem a restrição de que o peso do *Input*1 deve ser maior que o peso do *Input*2. No entanto, apenas a empresa D, das empresas avaliadas como eficientes anteriormente, atende ao requisito de que peso do *Output*1 deve ser maior que peso do *Output*3, o qual, por sua vez, deve ser maior que peso do *Output*2 e este maior ou igual ao peso do *Output*4.

Assim, a consideração dos julgamentos de valores dos decisores na aplicação do modelo DEA, além de permitir que as preferências dos decisores sejam levadas em conta na avaliação da eficiência das alternativas, resulta, por conseqüência, em maior distinção entre estas.

A empresa C, que é a parte interessada nesse processo de avaliação de eficiência e que definiu tanto os atributos de avaliação como o grau de importância dos mesmos, pode com esses resultados verificar quais práticas realizadas pela empresa D estão fazendo com que essa empresa esteja tirando maior proveito desse sistema que a empresa C. Não e difícil perceber, que os investimentos realizados pela empresa D tanto em treinamentos como em modificações organizacionais foram maiores que os investimentos realizados por C. Esse fato

comprova que existe uma relação entre *output* e *input*, pois aumentando os investimentos em treinamento e em reestruturação, obtém-se melhores resultados (melhores *output*).

Os resultados obtidos com esse exemplo também permitem o questionamento com relação à aplicação do modelo CCR em lugar do BCC. Conclui-se que, se todos os aspectos que de fato contribuem para a eficiência de uma empresa são considerados no modelo DEA, o CCR é mais adequado. No entanto, quando não se tem conhecimento a respeito de todos os fatores que influenciam o desempenho de uma empresa a partir do uso da TI, a utilização do BCC se torna mais interessante, pois não existe proporcionalidade entre os *input* e *output*; aumentando os *input* não existem ganhos proporcionais em *output* pelo fato de existirem outros fatores relevantes que contribuem para a melhoria dos *output* que não estão sendo considerados no modelo.

A empresa C, no entanto, deve analisar a viabilidade de se investir em novos treinamentos e na reestruturação organizacional com o ERP já em utilização. Muitas vezes, o uso de novos sistemas implica, por si só, em uma reorganização dos processos e numa adaptação dos usuários, mesmo que estas não sejam planejadas e promovidas por quem está responsável pela implantação. O fato é que com o planejamento e uma reestruturação adequada e prévia, o impacto é menor e os resultados chegam mais rapidamente.

Concluindo, percebe-se que a aplicação exemplificada nesse item ilustra os casos em que o modelo proposto tem por objetivo avaliar comparativamente o desempenho de diferentes empresas, mas de preferência do mesmo segmento, que fazem uso do mesmo sistema. No entanto, esse modelo também pode ser utilizado em situações em que uma ou mais empresas estão decidindo em que SI investir e, para tanto, avaliam a eficiência de diferentes sistemas em organizações similares.

Procura-se destacar com esse exemplo, a importância de se definir, de forma estruturada e alinhada à estratégia da empresa, os atributos de avaliação dos sistemas, o que é feito utilizando o BSC, bem como de se considerar as preferências e julgamentos da parte interessada com relação a esses atributos.

Como forma de validação dos resultados obtidos nesse exemplo, pode-se utilizar a Análise de Regressão para verificar a associação entre as eficiências calculadas para cada uma dessas alternativas e os valores dos *input* ou *output*.

6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

6.1 Conclusões

Este trabalho apresentou um modelo de avaliação dos investimentos em SI, a partir da análise de desempenho de diferentes organizações usuárias da TI. O modelo proposto atende ao problema de decisão referente à seleção de SI a serem implantados numa organização e também aos estudos que são motivados por algumas organizações com o intuito de se realizar um *benchmarking* de empresas usuárias de um mesmo SI. Essa análise comparativa tem por objetivo prover as organizações de informações com relação a que outras ações uma empresa deve desenvolver internamente de forma a obter maior aproveitamento dos investimentos em tecnologias de informação.

Já é consenso na literatura acadêmica que os benefícios, oriundos de investimentos na área de novas tecnologias de informações, não consistem apenas em retornos financeiros para as organizações. Antes de tudo, essas tecnologias são responsáveis por: uma otimização dos processos empresariais; maior integração dos vários departamentos da empresa; tempo mais curto de resposta às necessidades dos clientes; maior interação com fornecedores e clientes, etc. Logicamente, no longo prazo, tais benefícios resultam em ganhos financeiros para organização, mas isso não ocorre de imediato e, principalmente, implica em alterações na organização dos trabalhos, em treinamentos para colaboradores envolvidos, e outros investimentos que nem sempre as empresas reconhecem a necessidade e estão dispostas a realizar.

Nesse sentido, é proposto um modelo que procura sanar os principais problemas identificados na maioria dos métodos utilizados para avaliação de investimentos em TI: a falta de alinhamento dos critérios de avaliação com os objetivos estratégicos; a não consideração de um período maior na avaliação dos benefícios; a consideração apenas de critérios financeiros, etc.

Muitos trabalhos têm apresentado a utilização de abordagens baseadas nos modelos DEA como forma de análise da eficiência das organizações, as quais têm direcionado recursos para a implantação de novos sistemas. Esses modelos apresentam algumas vantagens em relação a alguns métodos de apoio multicritério a decisão que também são sugeridos para essas situações. Além de serem de fácil aplicação, os modelos DEA requerem menos

informações dos decisores/usuários, avaliam as distâncias entre as alternativas após definição do *ranking* e exigem menos esforço dos analistas de decisão.

No entanto, o DEA como uma ferramenta de apoio a decisão é vista como um método reativo, pois não leva em consideração as preferências e julgamentos de valores com relação às alternativas e aos atributos de avaliação das mesmas. Várias aplicações empresariais têm motivado evoluções no sentido de incorporar restrições aos pesos no problema de programação linear dos modelos DEA. Dentro desse contexto, no modelo de avaliação proposto neste trabalho, os julgamentos de valor dos decisores são obtidos a partir de uma ordenação dos atributos de avaliação com relação ao grau de importância destes. Essa ordenação é feita utilizando-se o processo de troca do método SMARTS, o qual, através de um procedimento simples e de fácil entendimento pelo decisor, consegue captar as preferências da parte interessada.

Também com o objetivo de que a avaliação seja feita considerando-se fatores que de fato influenciam o desempenho e os resultados estratégicos da organização, na etapa de definição dos *input* e *output* do modelo DEA é utilizada a abordagem BSC, a qual deriva os objetivos estratégicos da organização em objetivos táticos para os SI.

Assim, o modelo de avaliação dos investimentos em SI, a partir da consideração de critérios de avaliação alinhados aos objetivos estratégicos da organização e dos julgamentos de valores dos decisores, analisa os benefícios que diferentes empresas têm alcançado com a implantação de SI frente aos recursos investidos em treinamento, na reestruturação, em *software*, e outros.

Uma aplicação do modelo, a título de exemplo, é apresentada com o objetivo de esclarecer as etapas do modelo e de demonstrar a facilidade de sua utilização.

O modelo desenvolvido apresenta grandes vantagens com relação ao problema de decisão de escolha de em que SI investir e permite às organizações conhecerem as práticas que estão sendo adotadas em outras empresas de forma a se tirar o melhor proveito desses investimentos.

6.2 Sugestões para trabalhos futuros

Acredita-se que esse trabalho, além de representar uma contribuição à literatura da avaliação dos investimentos em SI, abre espaço para outras propostas. Algumas sugestões para futuros trabalhos, dentro desse contexto, são:

- A utilização de outras formas de definição dos atributos (*input* e *output*) de avaliação da eficiência como o método dos Fatores Críticos de Sucesso (FCS).

- O estudo de outras técnicas de determinação dos julgamentos de valores dos decisores.
- A incorporação ao modelo de ferramentas de Decisão em Grupo para obtenção dos julgamentos de valores de vários decisores.
- O desenvolvimento de formas de incorporação dos julgamentos do decisores nos Problemas de Programação Linear dos modelos DEA. O uso de funções de penalidade é uma alternativa a ser considerada nessas situações. No entanto, deve-se estudar formas de restringir, num mesmo problema, as importâncias atribuídas tanto aos *input* como aos *output*.
- A utilização de diferentes modelos DEA, desde que atendendo os requisitos necessários, de forma a analisar os resultados e verificar as vantagens e desvantagens de cada um dentro do contexto da avaliação da eficiência dos investimentos em SI.
- A aplicação desse modelo não apenas para avaliação da eficiência de diferentes empresas usuários de um mesmo SI (com o objetivo de realização de *benchmarking*), mas para avaliação da utilização de diferentes sistemas por diferentes empresas (com objetivo de suportar o processo decisório de escolha de SI).
- Estudar formas de, além de ordenar os atributos em grau de importância, se estabelecer restrições aos valores dos pesos de *input* e *output* de forma a não tornar o problema inviável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A difícil contabilização dos investimentos em TI. *Gazeta Mercantil*, Brasil, 20 out. 2008. P03.

ALLEN, R.; ATHANASSOPOULOS, A.; DYSON, R.G. & THANASSOULIS, E. Weights restrictions and value judgments in data envelopment analysis: evolution, development and future directions. *Annals of Operations Research*, 73: 13-34, 1997.

ALMEIDA, A.T. de & COSTA, A.P.C.S. Sistemas de Informação e Gestão do Conhecimento. In: Mario Otávio Batalha. (Org.). *Introdução a Engenharia de Produção*. 1 ed. Elsevier Editora Ltda, 2007, (1): 227-247.

ALMEIDA, A.T. de & RAMOS, F.S., org. *Gestão da Informação na competitividade das organizações*. 3.ª ed. Recife, Editora Universitária UFPE, 2002.

ANGULO MEZA, L. & LINS, M.P.E. Review of Methods for Increasing Discrimination in Data Envelopment Analysis. *Annals of Operations Research*, 116: 225-242, 2002.

BALLATINE, J. & STRAY, S. Financial appraisal and the SI/TI investment decision making process. *Journal of Information Technology*, 13: 3-14, 1998.

BANKER, R.D. & MOREY, R.C. The use of categorical variables in data envelopment analysis. *Management Science*, 32(12): 1613-1627, 1986.

BEASLEY, J.E. Comparing university departments. *Omega, International Journal of Management Science*, 18: 171-183, 1990.

BECKER, J.L.; LUNARDI, G.L & MAÇADA, A.C.G. Análise de eficiência dos Bancos Brasileiros: um enfoque nos investimentos realizados em Tecnologia de Informação (TI). *Revista Produção – ABEPRO*, São Paulo, 13 (2) Edição Especial: 70-81, 2003.

BENDOLY, E.; ROSENZWEIG E.D, & STRATMAN J.K. The efficient use of enterprise information for strategic advantage: A data development analysis. *Journal of Operations Management*, 2008, doi: 10.1016/j.jom.2008.11.001.

BERNROIDER, E.W.N. & STIX, V. A method using weight restrictions in data envelopment analysis for ranking and validity issues in decision making. *Computers & Operations Research*, 34: 2637 – 2647, 2007.

BERNROIDER, E.W.N. & STIX, V. Profile distance method – a multi-attribute decision making approach for information system investments. *Decision Support Systems*, 42(2): 988- 998, 2006.

BIDGOLI, H. *Decision support systems – principle and practice*. West Publishing Company, 1989.

BIRUEL JUNIOR, J. Análise comparativa das tecnologias embarcadas de aproveitamento de gás natural. Rio de Janeiro, 2008. 166p. (Mestrado - Programa de Pós-graduação em Planejamento Energético, COPPE / UFRJ).

BRYNJOLFSSON, E. & HITT, L.M. Beyond the Productivity Paradox: Computers are the Catalyst for Bigger Changes. *Commun*. ACM 41(8): 49-55, 1998.

CANEDO, M.M.L. Governo Eletrônico: abordagem multicritério para priorização de projetos integrando indicadores da Metodologia BSC / Mônica Maria Leal Canedo. Recife, 2008. 86p. (Mestrado – Escola de Engenharia / UFPE).

CANEDO, M.M.L & ALMEIDA, A.T. Electronic government: a multi-criterion approach to prioritizing projects by integrating balanced scorecard methodology indicators. *Brazilian Journal of Operations and Production Management*, 5: 1-20, 2008.

CHARNES, A.; COOPER, W.; HUANG, Z. & SUN, D. Polyhedral cone-ratio DEA models with an illustrative application to large commercial banks. *Journal of Econometrics,* 46: 73 – 91, 1990.

CHARNES, A.; COOPER, W.W. & RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operation Research*, 2(6): 429-444, 1978.

CHEN, Y., LIANG, L., YANG, F. & ZHU, J. Evaluation of information technology investment: a data envelopment analysis approach. *Computers & Operations Research*, 33: 1368–1379, 2006.

CHEN, Y. & ZHU, J. Measuring Information Technology's Indirect Impact on Firm Performance. *Information Technology and Management*, 5: 9-22, 2004.

CHILINGERIAN, J. & SHERMAN, D. DEA and physician report cards: using assurance regions to benchmark clinical best practices in an HMO. *Annals of Operations Research, this volume*, 1997.

COOK, W.D.; KRESS, M. & SEIFORD, L. Prioritisation models for frontier Decision Making Units in DEA. *European Journal of Operational Research*, 59: 319-323, 1992.

COOK, W.D. & KRESS, M. A Data Envelopment Analysis model for aggregating preference rankings. *Management Science*, 36: 1302 – 1310, 1990.

COSTA A.P.C.S. Planejamento de Sistema de Informação e modelos de decisão multicritério para seleção de alternativas. Recife, 2003. 222p. (Doutorado – Escola de Engenharia / UFPE).

DAVIS, C.B. & OLSON, M.H. *Management Information Systems - Conceptual Foundations, Structure and Development*. McGraw-Hill, 1985.

DAVIS, G.B. *Management Information Systems*. McGraw-Hill, 1974.

DYSON, R.G. & THANASSOULIS, E. Reducing weight flexibility in DEA. *Journal of the Operations Research Society*, 39: 563-576, 1988.

EDWARDS, W. & BARRON, F.H. Smarts and Smarter: Improved Simple Methods for Multiattribute Utility Measurement. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 60: 306-325, dez. 1994.

EILAT, H.; GOLANY, B. & SHTUB, A. R&D project evaluation: An integrated DEA and balanced scorecard approach. *Omega*, 36: 895-912, 2008.

FIM da Lei de Moore será em 2014? *INFO Online*, Brasil, 16 jun. 2009.

GOMES, L.F.A.M.; GOMES, C.F.S. & ALMEIDA, A.T.de. *Tomada de decisão gerencial: o enfoque multicritério*. Rio de Janeiro, Ed. Atlas, 3.ª ed, 2009.

GUSMÃO, A.P.H.; COSTA, A.P.C.S. & ALMEIDA, A.T. Sistema de apoio a decisão para seleção direta de projetos de sistemas de informação. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 24., Florianópolis, 2004. Anais. p. 4541-4548.

IRANI ZAHIR. Information systems evaluation: navigating through the problem domain. *Information & Management* 40: 11-24, 2002.

KEENEY, R.L. & RAIFFA, H. *Decision with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade-offs*. John Wiley & Sons, 1976.

KAPLAN, R.S. & NORTON, D.P. The balanced scorecard - measures that drive performance. *Harvard Business Review*, p. 71-79, jan./fev. 1992.

KORNBLUTH, J. Analysing policy effectiveness using cone restricted Data Envelopment Analysis. *Journal of the Operational Research Society*, 42: 1097-1104, 1991.

LLAMAZARES, B. & PEÑA, T. Preference aggregation and DEA: An analysis of the methods proposed to discriminate efficient candidates. *European Journal of Operational Research*, 197: 714-721, 2009.

LINS, M.P.E.; MOREIRA DA SILVA, A.C. & LOVELL, C.A.K. Avoiding infeasibility in DEA models with weight restrictions. *European Journal of Operational Research*, 181: 956-966, 2007.

LUCAS, H.C.JR. *Information Systems Concepts for Management*. McGraw-Hill International, 1990.

MACHLINE, C. & AMARAL JÚNIOR, J.B.C. Avanços logísticos no varejo nacional: o caso das redes de farmácias. *RAE – Revista de Administração de Empresas*, São Paulo, 38(4): 63-71, out/dez 1998.

MALCZEWSKI, J. *GIS and multicriteria decision analysis*. NewYork, John Wiley, 1999.

MELLO, J.C.C.B.S.; ANGULO MEZA, L.; GOMES, E.G. & BIONDI NETO, L. *Curso de análise envoltória de dados*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 37., Gramado, 2005. Anais. p. 2521-2547.

MOORE, G.E. Cramming more components onto integrated circuits. *Eletronics*, 38(8), abr. 1965.

MOSSEAU V. & SLOWINSKI R. Inferring an ELECTRE TRI Model from Assignment Examples, *Journal of Global Optimization*, 12: 157-174, 1998.

O'BRIEN, J.A. *Sistemas de Informação e as Decisões Gerenciais na Era da Internet*. São Paulo, Editora Saraiva, 2001.

PARREIRAS, R.O. Algoritmos Evolucionários e Técnicas de Tomada de Decisão em Análise Multicritério. Belo Horizonte, 2006. 166p. (Doutorado – Escola de Engenharia / UFMG).

PIMENTA, H.L.N.; MACEDO, M.A. & MELLO, J.C.C.B.S. Decisão da Realização de Investimentos em TI com Análise Envoltória de Dados. *Revista Produção Online*, Florianópolis, 4(2), mai. 2003.

ROLL, Y.; COOK, W.D. & GOLANY, B. Controlling factor weights in DEA. *IIE Transactions*. 23: 2-9, 1991.

SALMELA, H.; LDERER, A.L. & REPONENE, T. Information systems planning in a turbulent environment. *European Journal of Information Systems* 9(2): 3-15, 2000.

SARKIS, J. A comparative analysis of DEA as a discrete alternative multiple criteria decison tool. *European Journal of Operation Research*, 123: 543-557, 2000.

SHAFER, S.M. & BYRD, T.A. A framework for measuring the efficiency of organizational investments in information technology using data envelopment analysis. *Omega*, 28: 125-141, 2000.

SOWLATI, T.; PARADI, J.C. & SULD, C. Information Systems Project Prioritization using Data Envelopment analysis. *Mathematical and Computer Modelling*, 41: 1279-1298, 2005.

SPRAGUE JR, R.H. & WATSON, H.J. *Decision Support Systems - Putting Theory into Practice*, Prentice-Hall, Inc; 1989.

STAIR, R.M. *Princípios de Sistemas de Informação – Uma Abordagem Gerencial*. 2 ed. Rio de Janeiro, LTC Editora s/a, 1996.

SUA empresa ainda não investe em TI verde? *Gazeta Mercantil*, Brasil, 26 mar. 2009.

THANASSOULIS, E.; BOUSSOFIANE, A. & DYSON, R.G. Exploring output quality targets in the provision of perinatal care in England using DEA. *European Journal of Operational Research*, 60: 588-608, 1995.

THOMPSON, R.G.; SINGLETON, F.; THRALL, R. & SMITH B. Comparative site evaluations for locating a high-energy physics lab in Texas. *Interfaces*, 16: 35-49, 1986.

TOM, P.L. *Managein information as a corporate resource. Harper* Collings Publishers, 1991.

TURBAN, E.; RAINER JR, K.L. & POTTER, R.E. *Administração de TI*. Rio de Janeiro, Campus, 2003.

VALDERRAMA, T.G.; MENDIGORRI; E.M. & BORDOY, D.R. Relating the perspective of the balanced scorecard for R&D by means of DEA. *European Journal of Operation Research*, 196: 1177-1189, 2009.

VINCKE, P. *Multicriteria decision-aid*. John Wiley & Sons. 1992.

WATSON, H.J.; RAINER, R.K. & HOUDESHEL, G. *Executive Information Systems*, John Wiley & Sons, 1992.

WONG, Y.H.B. & BEASLEY, J.E. Restricting weight flexibility in DEA. *Journal of the Operational Research Society*, 41: 829-835, 1989.