

DECISÃO TOMADA SOB RISCO (DTSR): DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA PAYOFF MATRIX

¹Marcos dos Santos; ¹marcosdossantos_doutorado_uff@yahoo.com.br; ¹Instituto Militar de Engenharia (IME)
²Angélica Rodrigues de Lima; ²angelicadelima.engprod@gmail.com; ²SENAI CETIQT

RESUMO: Atualmente, as demandas das organizações têm crescido em tamanho e em complexidade. Assim, o tomador de decisão precisa dispor de um amplo ferramental que lhe permita analisar a questão problemática sob múltiplas perspectivas, lançando mão de ferramentas qualitativas e quantitativas. Dentro deste escopo, este trabalho tem o propósito de apresentar uma ferramenta web de fácil utilização para o cálculo dos métodos de decisão sob risco. O usuário deve tão somente preencher os dados da matriz de decisão, com as alternativas, os estados da natureza e as suas respectivas probabilidades. Inseridos esses dados, o sistema calcula e apresenta o resultado segundo a Regra de Bayes e sua respectiva árvore de decisão. Esse sistema tem o potencial de trazer um significativo retorno para a sociedade, haja vista que pode ser utilizado tanto em âmbito acadêmico como ferramenta de ensino-aprendizagem, quanto em âmbito corporativo, permitindo que os tomadores de decisão possam avaliar múltiplos cenários de maneira simples e tempestiva.

PALAVRAS-CHAVE: Decisão Tomada sob Risco (DTSR); Sistema Web; Matriz de Payoff.

1. Introdução

Para Almeida (2013), a tomada de decisão nas organizações é sempre uma forte razão de apreensão de seus gerentes e executivos. Talvez por este motivo, a tomada de decisão seja considerada a atividade mais relevante de qualquer executivo. Ademais, o desempenho desses atores no processo decisório impacta diretamente na competitividade da organização e consequentemente na sua existência futura.

Segundo Turban (2005), uma decisão refere-se a uma escolha feita entre duas ou mais alternativas. As decisões são tomadas continuamente tanto por indivíduos quanto por grupos. As decisões geralmente são fundamentadas em duas vertentes: em situações de certeza e em situações de incerteza. As condições de certeza são aquelas em que se pode exercer o controle sobre as variáveis que influenciam na decisão, geralmente situações ligadas ao ambiente interno das organizações. Já as condições de incerteza, por sua vez, configuram-se pela ausência de controle sobre as variáveis, na maioria dos casos são situações associadas ao ambiente externo das organizações. As decisões tomadas sob condições de incerteza têm sido amplamente pesquisadas por autores como Hammond, Keeney e Raiffa (2004).

Para Simon (1997), o homem economista trabalha com o cenário de um mundo perfeito, onde as opções para a tomada de decisão são claras e previsíveis. Shimizu (2010) completa que esse

“homem economista”, minimiza a relevância de variáveis menos importantes, para tomar suas decisões considerando apenas aquilo que lhe parece relevante para dado caso, ou seja, este trabalha com um modelo simplificado da realidade, criando um cenário “satisfatório” para a tomada de decisão, eliminando ou minimizando variáveis julgadas irrelevantes.

A tecnologia de informação (TI) e as aplicações por elas geradas proporcionam vantagens competitivas no mercado e auxiliam na geração de um dos diferenciais competitivos mais importantes existentes atualmente para as organizações - a informação (BELLOQUIM, 1999; BARBOSA, 2003; HAMMOND *et al.*, 2004). Os Sistemas de Informação assumem papéis cada vez mais importantes nas organizações. Atualmente, os SI são representados por conjuntos integrados homem-máquina que fornecem informação para apoio à operação, administração e tomada de decisão, através de *hardware*, *software*, procedimentos, modelos de decisão e bancos de dados (BIDGOLI, 1989). Entre os vários tipos de sistemas de informação utilizados pelas organizações, encontram-se os Sistemas de Apoio a Decisão que são sistemas utilizados no processo decisório que proporcionam ao decisor acesso fácil ao banco de dados e ao banco modelos, apoiando à tomada de decisão semi-estruturada ou não estruturada (SPRAGUE e WATSON, 1989).

2. Problema

Santos *et al.* (2017) afirmam que um engenheiro é, antes de mais nada, um “resolvedor de problemas”. Ele tem a capacidade de compreender as condições de contorno de uma situação problemática e, a partir daí, propor soluções que agreguem valor não só para a organização da qual faz parte, mas também para a sociedade como um todo.

Santos (2013) diz que, de acordo com o tipo e com a complexidade do problema estudado, serão escolhidos os melhores modelos que aderem àquela realidade.

Poucas empresas têm uma cultura de realizar análises quantitativas, que dispõe dos dados necessários para julgar propostas claramente, elidindo riscos. Percebem-se situações em que dados primordiais não estão disponíveis ou não estão dispostos de maneira prática, fazendo com que os usuários não tenham clareza para utilização destes recursos (CASAROTTO FILHO e KOPITTKE, 2010). Desta forma, é necessário que as informações possam ser transformadas em conhecimento em prol da organização. Além disso, alguns dados são qualitativos e tornam-se mais difíceis de serem parametrizados, pois podem gerar diferentes interpretações

(ZOPOUNIDIS; PARDALOS, 2010). Muitas empresas ainda não utilizam métodos formais para o apoio a tomada de decisão por considerá-los demasiadamente complexos. Assim, limitam-se a análises superficiais sobre os problemas de decisão.

A partir do assunto em tela confeccionou-se um mapa mental, apresentado na Figura 1, a fim de facilitar a visualização das condições de contorno do problema.



FIGURA 1 – Mapa Mental. Fonte: Autores (2018).

3. Fundamentação Teórica

3.1. Pesquisa Operacional

Durante a II Guerra Mundial, devido aos esforços de guerra, existia uma necessidade urgente de alocar recursos escassos às várias operações militares e às atividades dentro de cada operação de uma maneira efetiva. Várias seções de Pesquisa Operacional foram estabelecidas nas forças armadas britânicas (MOREIRA, 2013).

Por meio do uso de técnicas como a modelagem matemática para analisar situações complexas, a Pesquisa Operacional dá aos executivos o poder de tomar decisões mais efetivas e de construir sistemas mais produtivos, baseados em dados mais completos, considera-se todas as alternativas possíveis, previsões cuidadosas de resultados e estimativas de risco e nas mais modernas ferramentas e técnicas de decisão (MOREIRA, 2013).

3.2. Processo de Tomada de Decisão e Teoria da Decisão

O processo de formular alternativas de decisão e escolher a melhor delas é quase sempre caótico e complexo. Caótico porque os indivíduos e as organizações não possuem visão clara e completa dos objetivos e dos meios que definem o problema de decisão. Complexo porque a

incerteza, a falta de estruturação e o problema podem inviabilizar a aplicação sistemática da maior parte das metodologias de decisão, as quais frequentemente utilizam julgamentos subjetivos (SHIMIZU, 2010).

Dependendo do tipo do problema e do nível de estruturação da decisão, os modelos e métodos de decisão devem ser alterados, na medida em que existe incompatibilidade entre os objetivos almejados e os resultados obtidos. Por exemplo, um problema local pode tornar-se global, um problema de objetivo único pode tornar-se um problema de objetivos múltiplos, um problema com incerteza que usa probabilidade clássica só poderia ser explicado por meio de novas regras da teoria difusa (SHIMIZU, 2010).

Para Moreira (2013), a Teoria da Decisão é um conjunto de técnicas quantitativas que tem por objetivo ajudar o tomador de decisão tanto a sistematizar o problema de decisão como a solucioná-lo. Não há solução de um problema sem um critério, logo, a Teoria da Decisão baseia-se em critérios preestabelecidos, havendo sempre espaço para novos critérios e novas contribuições. Há, entretanto, um corpo de conhecimentos reconhecidos como básicos.

Quando se consideram problemas de decisão, há sempre uma estrutura comum a todos eles: apresentam estratégias alternativas, estados da natureza e resultados (MOREIRA, 2013).

A seguir é detalhado cada um dos elementos.

- **Estratégias alternativas:** são as possíveis soluções para o problema, os cursos de ação alternativos que se pode seguir. Se não conseguir listar as alternativas, nem mesmo haverá um problema de decisão;
- **Estados da natureza:** são todos os acontecimentos futuros que poderão influir sobre as alternativas de decisão que o tomador de decisão possui. Cada alternativa de decisão, sob cada estado da natureza, conduzirá a um certo resultado;
- **Resultados:** chama-se de resultado á consequência de se escolher uma dada alternativa da decisão, quando ocorre certo estado da natureza. A cada combinação alternativa de decisão/estado da natureza, tem-se um resultado possível.

3.3. Classificação dos Problemas de Decisão

De acordo com Moreira (2013), tradicionalmente, os problemas de decisão são classificados com o maior ou menor conhecimento que temos acerca dos estados da natureza, podem ocorrer

três casos:

- a) **Decisão tomada sob certeza (DTSC):** sabe-se exatamente qual é o estado da natureza que vai ocorrer ou, de alguma forma, se conhece com certeza todos os dados do problema. Pode ocorrer ainda que se possa admitir como constantes ou muito pouco variáveis todos os dados numéricos do problema;
- b) **Decisão tomada sob risco (DTSR):** não se sabe exatamente qual estado da natureza irá ocorrer, mas pode-se associar a cada um dos estados uma probabilidade de ocorrência. Essa probabilidade pode ser atribuída tanto de forma objetiva como de forma subjetiva;
- c) **Decisão tomada sob incerteza (DTSI):** tem-se o caso em que nem se sabe exatamente qual estado da natureza irá ocorrer e, pior ainda, nem mesmo se consegue associar quaisquer probabilidades de ocorrências aos estados da natureza.

3.4. Decisão Tomada sob Risco

Nos problemas de Decisão Tomada Sob Risco (DSTR), consegue-se, de uma forma ou de outra, conhecer as probabilidades dos futuros estados da natureza. A solução de um problema de DTSR depende do conceito de Valor Esperado da Alternativa ou, simplesmente, VEA (MOREIRA, 2013).

Considere-se uma matriz de decisão genérica com p alternativas, sujeitas a k estados da natureza. Por hipótese, conhecem-se as probabilidades de ocorrência de cada um dos estados da natureza. Define-se Valor Esperado da Alternativa para qualquer uma das alternativas como a soma dos produtos resultados da alternativa pelas probabilidades de ocorrência de tais estados da natureza. Em outras palavras, o valor esperado para uma alternativa é a média ponderada dos resultados da alternativa tomando as probabilidades dos estados da natureza como pesos da ponderação (MOREIRA, 2013).

Para escolher uma das alternativas, ou seja, para dar solução ao problema, deve-se seguir estes procedimentos:

1. Calcula-se, para cada alternativa, o Valor Esperado da Alternativa (VEA);
2. Escolhe-se o melhor dos valores calculados.

3.4.1. Teoria da Decisão sob a ótica de Bayes

O melhor estimador, de acordo com o risco, é aquele que o minimiza. Na teoria *bayesiana* tem-

se uma informação a priori sobre o parâmetro desconhecido que é contemplado pela distribuição $\pi \equiv \pi(\theta)$. Assim, define-se o Risco de Bayes como sendo a perda média do risco frequentista, a priori, com relação à θ (CASELLA e BERGER, 2002).

$$r(\pi, \delta) = \int_{\Theta} R(\theta, \delta) \pi(\theta) d\theta$$

Denomina-se por estimador de Bayes o estimador *bayesiano* que minimiza $R_B(\pi, \delta)$.

$$R_B(\pi, \delta) = \int_{\Theta} l(\theta, \delta) \pi(\theta | x) d\theta = E_{\theta|x}[l(\theta, \delta)]$$

3.4.2. Critério da Máxima Verossimilhança (MAXVER)

Diz-se que θ é um estimador de máxima verossimilhança para o parâmetro θ sob a amostra $y = (y_1, \dots, y_n)$ se

$$\hat{\theta} = \arg \max_{\theta \in \Theta} L(\theta; y),$$

onde L é a verossimilhança dos dados y . Para dados provenientes de variáveis aleatórias, tem-se que

$$L(\theta; y) = \prod_{1 \leq i \leq n} f(\theta; y_i),$$

onde $f(\theta; y_i) = f_y(y_i; \theta)$ e $f_y(y_i; \theta)$ é a densidade da variável aleatória indexada pelo parâmetro θ . Em outras palavras, a verossimilhança é a função de densidade de probabilidade, só que com o argumento y fixo (visto que foi observado), e variando o parâmetro. Desta forma, a verossimilhança não é um produto de densidades. Um estimador de máxima verossimilhança maximiza a verossimilhança conjunta, isto é, é um valor do parâmetro que faz com que a amostra observada seja a mais verossímil. Na maioria das aplicações, não interessa o valor que a função de verossimilhança adota; só interessa os argumentos que a maximizam (FREY e NETO, 2005).

3.5. Árvore de Decisão

A árvore de decisão é uma representação esquemática, bastante útil para apresentar o processo de decisão com múltiplas variáveis, múltiplos objetivos e múltiplas etapas de decisão. Cada alternativa de decisão forma um ramo da árvore, que contém os cenários possíveis, as probabilidades, as variáveis, os objetivos e o ganho final.

A árvore de decisão pode efetuar a estruturação de qualquer problema de decisão de maneira bastante clara, pois identifica as alternativas, as variáveis e os cenários possíveis. Entretanto, sua visualização torna-se cada vez mais difícil, quando o tamanho e a complexidade do problema aumentam, mesmo usando o recurso de um software de computador. Todavia, esse tipo de restrição ocorre com qualquer outro tipo de representação do problema de decisão (SHIMIZU, 2010).

4. Desenvolvimento do *Software Payoff Matrix*

O *software Payoff Matrix* foi desenvolvido em PHP, JavaScript, HTML5 e CSS3 com técnica de programação AJAX.

Realizou-se em primeira instância um estudo sobre os métodos de apoio a tomada de decisão e a partir disso observou-se a necessidade de se desenvolver uma plataforma computacional para apoiar decisões em cenários de incerteza visto que, atualmente não há tal ferramenta disponível através de uma interface web.

Os cálculos foram realizados utilizando-se algoritmos computacionais na linguagem PHP que recebe como parâmetro as alternativas e os estados da natureza com suas respectivas pontuações através da entrada de dados, e o resultado apresentado em HTML5. Apresenta-se o funcionamento do sistema via AJAX na Figura 2.

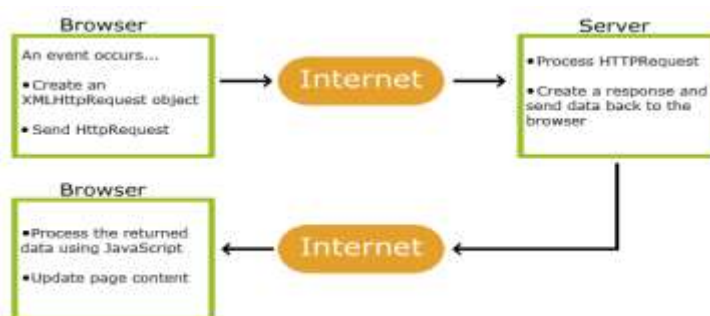


FIGURA 2 – Funcionamento do sistema via AJAX. Fonte: W3School (2018).

O sistema AJAX funciona de acordo com as seguintes etapas:

1. Um evento ocorre nos sistemas web (dados são inseridos);
2. Um objeto XMLHttpRequest é criado pelo JavaScript;
3. O objeto XMLHttpRequest envia uma solicitação para um servidor da web;
4. O servidor processa a solicitação;
5. O servidor envia uma resposta de volta para a página da web;
6. A resposta é lida por JavaScript; e
7. A ação apropriada (respostas) é executada pelo JavaScript.

O software *Payoff Matrix* pode ser acessado pelo endereço eletrônico www.payoffmatrix.com.br, por meio de qualquer sistema operacional com navegador como Internet Explorer, Mozilla, Chrome, Safari e outros.

A página apresenta uma matriz inicial com duas linhas (alternativas (i)) e uma coluna (estado da natureza (j)), representada na Figura 3.

Payoff Matrix - Tomada de Decisão sob Risco

Adicionar Estado da natureza Remover Estado da natureza Adicionar alternativa Remover alternativa

* ☒ Estado da natureza
1
p = 0 ☒

☒ Alternativa 1
☒ Alternativa 2

Gerar

FIGURA 3 – Tela inicial do Software *Payoff Matrix*. Fonte: Autores (2018).

5. *Payoff Matrix* – Exemplo de Aplicação

A partir das melhores estimativas disponíveis das probabilidades dos respectivos estados da natureza, deseja-se calcular o valor esperado do prêmio para cada uma das possíveis alternativas de decisão – dados apresentados na Tabela 1. (HILLIER e LIEBERMAN, 2013). A melhor alternativa será aquela que apresentar o maior valor esperado.

TABELA 1 – Aplicação do critério da Regra de Bayes

ALTERNATIVA	ESTADO DE NATUREZA	
	Petróleo	Seco
1. Perfurar para procurar petróleo	700	-100
2. Vender o terreno	90	90
Probabilidade prévia	0,25	0,75

Fonte: Adaptado de Hillier e Lieberman (2013).

Deve-se seguir os seguintes passos no sistema web *Payoff Matrix*:

Passo 1: Para inserir as alternativas clica-se no botão “Adicionar Alternativa”, Figura 4. Uma nova linha alternativa (i) aparecerá abaixo da última alternativa.



FIGURA 4 – Criação e Remoção das alternativas. Fonte: Autores (2018).

Caso o usuário desejar nomear as alternativas, basta clicar no ícone “editar” que se encontra ao lado da alternativa, Figura 5.

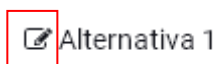


FIGURA 5 – Edição do nome da alternativa. Fonte: Autores (2018)

Uma caixa para edição será aberta para digitar o nome que o usuário deseja atribuir para a alternativa. Em seguida clica-se no botão “salvar”, Figura 6.



FIGURA 6 – Edição de alternativa. Fonte: Autores (2018)

Passo 2: Para inserir os Estados da Natureza clica-se no botão “Adicionar Estado da Natureza”, Figura 7. Uma nova coluna “estado da natureza” aparecerá ao lado da última.



FIGURA 7 – Criação e Remoção dos Estados da Natureza. Fonte: Autores (2018).

Para o usuário nomear os estados da natureza basta seguir os mesmos passos descritos na edição de alternativas.

Passo 3: Realizados os passos 1 e 2, deve-se então inserir os dados das alternativas e critérios preenchendo-se os campos da matriz de decisão. Deve-se também preencher os campos das probabilidades.

Na Figura 8, mostra-se a matriz preenchida com os dados da Tabela 1 usada como exemplo de aplicação.

Payoff Matrix - Tomada de Decisão sob Risco

Adicionar Estado da natureza Remover Estado da natureza Adicionar alternativa Remover alternativa

☐ Petróleo ☐ Seco
p = 0.25 ☐ p = 0.75 ☐

☐ Perfurar para procurar petróleo -700 -100
☐ Vender o terreno 90 90

Gerar

FIGURA 8 – Matriz preenchida com valores do exemplo. Fonte: Autores (2018).

Passo 4: Para gerar os resultados, o usuário deve clicar no botão “Gerar”. O programa irá gerar outra matriz, com a solução do problema segundo o critério da Regra de Bayes, Figura 9.

Resultado

#	Petróleo	Seco	Resultado
Perfurar para procurar petróleo	700	-100	100
Vender o terreno	90	90	90

FIGURA 9 – Resultado do Método de Bayes. Fonte: Autores (2018).

No caso do exemplo, os cálculos desenvolvem-se da seguinte forma:

$$E [\text{Prêmio (perfuração)}] = 0,25.(700) + 0,75.(-100) = 100$$

$$E [\text{Prêmio (venda)}] = 0,25.(90) + 0,75.(90) = 90$$

Já que 100 é maior que 90, a alternativa escolhida é perfurar para procurar petróleo.

A grande vantagem da regra de decisão de *Bayes* é que ela incorpora todas as informações disponíveis, inclusive todos os prêmios e as melhores estimativas disponíveis das probabilidades dos respectivos estados de natureza (HILLIER e LIEBERMAN, 2013).

Além da matriz com a solução do problema de acordo com a Regra de Bayes, o software Payoff Matrix também gera a árvore de decisão do problema – Figura 10, com os valores esperados para cada alternativa e seus respectivos estados da natureza.

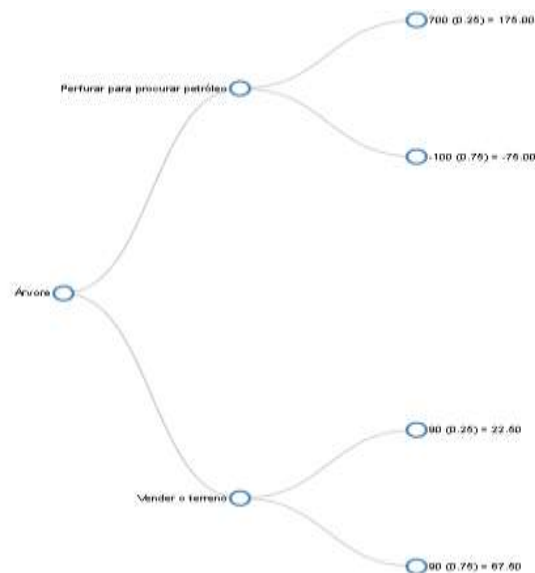


FIGURA 10 – Árvore de Decisão. Fonte: Autores (2018).

6. Considerações Finais

O sistema web *Payoff Matrix* mostrou-se uma ferramenta simples, de fácil acesso, intuitiva e sem custos para o usuário, atingindo assim o objetivo desse trabalho. A expectativa é que a ferramenta aqui apresentada possa ser utilizada tanto em âmbito acadêmico, quanto no meio organizacional.

Dando continuidade a essa pesquisa, pretende-se desenvolver um aplicativo para os sistemas

operacionais Android e IOS, para oferecer maior mobilidade ao *software Payoff Matrix* e propagar cada vez mais dentro das organizações os modelos de apoio a tomada de decisão.

Referências

- ALMEIDA, A. T. **Processo de decisão nas organizações: Construindo modelos de decisão multicritério**. São Paulo: Atlas, 2013.
- BARBOSA, G. R. **Sistemas de Apoio a Decisão sob o enfoque de Profissionais de Tecnologia da Informação e Decisores**. Dissertação de Mestrado, PPGEP, UFPE, 2003.
- BELLOQUIM, A. **Porque o software não faz o que eu pedi?** Developers, n. 35, ano 3, p. 54, jul, 1999.
- BIDGOLI, H. **Decision Support System - Principles and Practice**. New York: West Publishing Company, 1989.
- CASELLA, G., and BERGER, R. L. (2002). **“Statistical inference”**. Duxbury Press.
- CASAROTTO FILHO, N; KOPITKE, H. B. (2010). **Análise de Investimentos**. São Paulo.
- FREY, A.; Cribari-NETO, F. **Elementos de Estatística Computacional usando Plataformas de Software Livre**. In: 25o. Colóquio Brasileiro de Matemática. IMPA, 2005.
- HILLIER, Frederick S.; LIEBERMAN, Gerald. J. **Introdução à Pesquisa Operacional**. 9º ed. São Paulo: Editora Bookman, 2013.
- HAMMOND, J.S.; KEENEY, R. L.; RAIFFA, H. **Decisões inteligentes: somos movidos a decisões – como avaliar alternativas e tomar a melhor decisão**. Tradução de Marcelo Filardi Ferreira. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004. 11ª reimpressão.
- MOREIRA, Daniel Augusto. **Pesquisa Operacional**. 2 ed. Revisado e atualizado- São Paulo: Cengage Learning, 2013.
- SANTOS, Marcos dos. **Simulação da Operação de um Sistema Integrado de Informações para o atendimento pré-hospitalar de emergência no município do Rio de Janeiro**. Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 2013.
- SANTOS, Marcos dos; RAMOS, Matheus Falcão; REIS, Marcone Freitas dos; WALKER, Rubens Aguiar. **Estratégia de redução do custo de transporte dos centros de distribuição da Marinha do Brasil a partir de métodos heurísticos**. Anais do IX Simpósio de Engenharia de Produção de Sergipe – SIMPROD. São Cristóvão/SE, 2017. ISSN 2447-0635. DOI: 10.13140/RG.2.2.32792.29444/1
- SIMON, H. **Administrative behavior: a study of decision-making processes in administrative organizations** (4th edition), Simon & Schuster Inc. 1997
- SHIMIZU, Tamio. **Decisão nas organizações**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- SPRAGUE, Jr.; WATSON, H. **Decision support systems: putting theory into practice**. USA: Prentice-Hall, 1989.
- TURBAN, Efraim. **Administração de tecnologia da informação: teoria e prática**. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.