

Denis Rasquin Rabenschlag

**Um modelo probabilístico para abordar o risco com ilustrações em jogos de empresas**

Tese apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia de Produção da  
Universidade Federal de Santa Catarina  
como requisito para obtenção  
do grau de Doutor em  
Engenharia de Produção

Orientador: Prof. Dr. Bruno Hartmut Kopittke

Florianópolis  
2005

Denis Rasquin Rabenschlag

**Um modelo probabilístico para abordar o risco com ilustrações em jogos de empresas**

Esta tese foi julgada e aprovada para a obtenção do grau de **Doutor em Engenharia de Produção** no **Programa de Engenharia de Produção** da Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, 21 de dezembro de 2005

---

Prof. Edson Pacheco Paladini, Dr.  
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

---

Prof. Bruno Hartmut Kopittke, Dr. (Orientador)

---

Prof. Wilhelm Rödder, Dr. (Co-Orientador)

---

Prof. Jorge Ninow, Dr. (Moderador)

---

Prof. Nelson Casarotto Filho, Dr.

---

Prof. Oscar Claudino Galli, Dr.

À minha esposa Janice  
pelo apoio incondicional

## Agradecimentos

Aos meus pais Vera e Elvio por terem me ensinado os verdadeiros valores humanos e que propiciaram a minha chegada até aqui.

Ao professor Bruno Hartmut Kopittke pela orientação dedicada e minuciosa e pelo apoio pessoal.

Ao professor Wilhelm Rödder pela acolhida na Alemanha e valorosa orientação.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina pela oportunidade.

À Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, pelo apoio institucional.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo apoio financeiro.

Ao Deutscher Akademischer Austausch Dienst – DAAD, pela oportunidade de realizar uma parte dos meus estudos na Alemanha e por todo o apoio dado.

Aos colegas do Laboratório de Jogos de Empresas – LJE, Juliano Zafallon Gerber, Pedro Von Mecheln e Armando Luiz Dettmer pela troca de idéias e pelos momentos de descontração.

A todos os colegas da FernUniversität de Hagen, em especial Friedhelm Kulhmann, Elmar Reucher, André Ahuja e Abdelali Lakdar pelo apoio acadêmico e por terem me ensinado tantas coisas sobre a Alemanha.

Aos colegas do Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas da UFSM pela confiança.

Aos amigos pela compreensão, em especial ao Anselmo Portella Dias.

## RESUMO

Ao longo das últimas três décadas pode-se verificar um crescente número de trabalhos científicos que enfatizam as abordagens probabilísticas como uma maneira de aproximar a engenharia econômica dos problemas reais de decisão de investimentos, haja vista que muitos autores têm criticado a abordagem determinística por esta não refletir a realidade do processo de decisão econômica, cuja característica inerente é a incerteza. Baseada em um sistema especialista, esta tese tem por objetivo a sistematização de um modelo probabilístico para a tomada de decisão em jogos de empresas como forma de abordagem da análise de investimentos sob condições de risco. Inicialmente foi apresentada uma revisão bibliográfica que abordou desde as técnicas determinísticas até as técnicas que enfatizam o risco. Em seguida, a abordagem dos sistemas especialistas probabilísticos foi destacada com enfoque para a *Shell SPIRIT*, utilizada no desenvolvimento do modelo proposto. Os jogos de empresas são mostrados na seqüência, e o GI-EPS é utilizado como o universo de aplicação deste trabalho. Após a apresentação do arcabouço teórico foi desenvolvida a caracterização do modelo, a sua integração ao sistema do jogo utilizado, a formulação matemática do módulo GI-EPS-AR e a sua dinâmica de aplicação. A metodologia de decisão foi estruturada a partir da *Shell SPIRIT* e aplicada a quatro situações propostas. Com base nos resultados obtidos, finalmente foram elaboradas conclusões e sugeridas recomendações para trabalhos futuros.

Palavras-chave: engenharia econômica, sistemas especialistas probabilísticos, jogos de empresas, análise de risco.

## **ABSTRACT**

Throughout the last three decades it was possible to notice an increasing number of scientific works that emphasized the probability approaches as a manner to merge the engineering economy to the real decision investment problems, having in mind that many authors have criticized the determination approach once it did not reflect the reality of the economical decision process, whose inherent characteristic is the uncertainty. Based on a expert system, this thesis has the objective the systemizing of a probability model of the decision taking in business game as a way to approach the investment analysis under risk circumstances. Initially a bibliographical review was presented which approached from determining techniques to the techniques that emphasize the risk. Then, it was the approach to the probability expert systems that was highlighted with a focus to the Shell SPIRIT, used in the development of the proposed model. The business game are shown in the sequence, and the GI-EPS-AR is used as the application universe of this work. After the presentation of the theoretical structure was developed the characterization of the model, its integration to the system of the used setting, the mathematical formulation of the GI-EPS-AR module and its application dynamics. The decision methodology was structured from the Shell SPIRIT and applied to four proposed situations. Based on the obtained results, finally conclusions and suggested recommendations for further works were elaborated.

Key words: engineering economy, expert systems, business game, risk analysis.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	V
ABSTRACT .....	VI
LISTA DE FIGURAS .....	IX
LISTA DE QUADROS .....	X
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS .....	XII
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1. Problema e hipótese de pesquisa .....	4
1.2. Objetivo .....	5
1.3. Relevância e Contribuição .....	5
1.4. Limitações do Trabalho .....	6
1.5. Metodologia .....	6
1.6. Estrutura da Tese .....	7
<b>2. MÉTODOS E TÉCNICAS PARA ANÁLISE DE INVESTIMENTOS: DO DETERMINISMO AO RISCO .....</b>	<b>8</b>
2.1. Aspectos Gerais das Decisões Econômicas sob Incerteza .....	8
2.1.1. Um Critério para Distinguir Risco e Incerteza .....	11
2.1.2. Os Fatores de Incerteza na Análise Econômica .....	12
2.2. Análise de Investimentos em Situações de Risco .....	14
2.2.1. Critério da Função Utilidade .....	20
2.2.2. Análise de Sensibilidade .....	25
2.2.3. O Método de Avaliação para Projetos Seqüenciais .....	26
2.3. Considerações Finais .....	30
<b>3. A ABORDAGEM DOS SISTEMAS ESPECIALISTAS PROBABILÍSTICOS PARA TRATAR AS DECISÕES SOB RISCO .....</b>	<b>32</b>
3.1. Considerações Gerais sobre Probabilidade .....	32
3.2. A Representação Gráfica do Conhecimento Probabilístico .....	35
3.2.1. Redes Bayesianas .....	35
3.2.2. Estruturas Gerais .....	36
3.2.3. Modelagem de uma Rede Bayesiana .....	37
3.2.4. Redes de Markov .....	39
3.3. O Valor da Informação .....	40
3.4. Entropia .....	44
3.5. Sistemas Especialistas e o Apoio à Decisão .....	47
3.6. Componentes Básicos de um SEP .....	49
3.7. O Processo de Inferência .....	50
3.8. A <i>Shell</i> SPIRIT .....	50
3.9. Considerações Finais .....	53
<b>4. UMA REPRESENTAÇÃO SIMPLIFICADA DO MUNDO EMPRESARIAL ATRAVÉS DOS JOGOS DE EMPRESAS .....</b>	<b>54</b>
4.1. Fundamentos Básicos .....	54
4.2. O que está em jogo? .....	57
4.3. Aplicações .....	58
4.4. A Dinâmica do Jogo de Empresas GI-EPS .....	60
4.5. Considerações Finais .....	62
<b>5. MODELADO O RISCO EM JOGOS DE EMPRESAS .....</b>	<b>63</b>
5.1. Caracterização do Módulo .....	63

<b>5.2. A Integração do Sistema .....</b>	<b>66</b>
<b>5.3. Formulação Matemática do Módulo GI-EPS-AR .....</b>	<b>68</b>
5.3.1. Valor Total do Imobilizado .....	69
5.3.2. Valor por Tipo de Imobilizado .....	70
5.3.3. Depreciação por Tipo de Imobilizado .....	71
5.3.4. Depreciação Total do Imobilizado .....	72
5.3.5. Capacidade Produtiva Total do Imobilizado .....	733
5.3.6. Consumo Médio de Insumo .....	74
5.3.7. Consumo Total de Insumo .....	75
<b>5.4. Formulação Matemática do Modelo de Tomada de Decisão.....</b>	<b>75</b>
<b>5.5. Metodologia Proposta para a Solução .....</b>	<b>78</b>
5.5.1. Cálculo do VPL .....	78
5.5.2. Apoio Computacional através do SAD-VPL.....	82
5.5.3. Árvore de Decisão .....	83
5.5.4. Apoio Computacional através da <i>Shell</i> SPIRIT .....	86
5.5.5. Esquema de Aplicação da Metodologia.....	88
<b>5.6. Considerações Finais .....</b>	<b>91</b>
<b>6. APLICAÇÃO DO MÓDULO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>92</b>
<b>6.1. Obtenção dos Dados.....</b>	<b>92</b>
<b>6.2. Aplicação do Módulo e Análise dos Resultados .....</b>	<b>93</b>
<b>6.3. Outras Aplicações da <i>Shell</i> SPIRIT para o GI-EPS .....</b>	<b>105</b>
6.3.1. Apoio à Decisão .....	105
6.3.2. O Caso da Greve no Porto .....	107
6.3.3 Pesquisa de Mercado .....	110
<b>6.4 Considerações Finais.....</b>	<b>114</b>
<b>7. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>115</b>
7.1. Conclusão .....	115
7.2. Recomendações.....	116
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>118</b>
<b>Apêndice I – A notícia do jornal.....</b>	<b>124</b>
<b>Apêndice II – SAD-VPL .....</b>	<b>126</b>
<b>Apêndice III – SEP desenvolvido na <i>Shell</i> SPIRIT .....</b>	<b>127</b>
<b>Apêndice IV – Regras no SPIRIT .....</b>	<b>128</b>
<b>Apêndice V – A DECISÃO DE INVESTIR COM PROGRAMAÇÃO DINÂMICA ESTOCÁSTICA.....</b>	<b>129</b>
<b>Anexo I – Demonstração do Teorema de Bayes .....</b>	<b>143</b>
<b>Anexo II – Manual do SPIRIT versão 3 .....</b>	<b>146</b>



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Representação da função utilidade para aversão ao risco .....	24
Figura 2	–	Representação para risco neutro e preferência ao risco .....	24
Figura 3	–	Representação de uma árvore de decisão .....	27
Figura 4	–	Árvore de decisão estocástica .....	30
Figura 5	–	Representação das 3 estruturas gerais de uma RB .....	36
Figura 6	–	DAG dos exemplos das variáveis médicas .....	38
Figura 7	–	Exemplo de Rede de Markov .....	40
Figura 8	–	Intersecção A e B, representado por $P(A B)$ .....	41
Figura 9	–	Estrutura funcional de um jogo de empresas .....	56
Figura 10	–	Esquema de integração do módulo GI-EPS-AR .....	68
Figura 11	–	Modelo de árvore de decisão para situação novas máquinas.....	85
Figura 12	–	Fluxo geral de aplicação da metodologia proposta .....	90
Figura 13	–	Instanciamento do atributo “sem_inf_adicional” para a variável “Como é_a_informação” (situação 1) .....	95
Figura 14	–	Instanciamento de atributos para as variáveis “Como é_a_informação” e “Compra_informação” (situação 1) .....	96
Figura 15	–	Instanciamento do atributo “perfeita” para a variável “Como é_a_informação” (situação 1) .....	98
Figura 16	–	Instanciamento do SEP de apoio à decisão para o jogo GI-EPS ...	107
Figura 17	–	Instanciamento do SEP “caso greve no porto” para o jogo GI-EPS, sem a compra da informação .....	109
Figura 18	–	Instanciamento do SEP “caso greve no porto” para o jogo GI-EPS, com a compra da informação .....	110
Figura 19	–	Instanciamento do SEP “pesquisa de mercado” para o jogo GI-EPS .....	112
Figura 20	–	Instanciamento do SEP “pesquisa de mercado” para o jogo GI-EPS, com a compra da informação .....	113
Figura 21	–	Partição do espaço amostral “E” .....	143
Figura 22	–	Partição do espaço amostral “E” para um evento “B” .....	143

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1	– Algoritmos de finanças e contabilidade para jogos de empresas ...	60
Quadro 2	– Funções dos diretores no GI-EPS .....	62
Quadro 3	– Probabilidade de ocorrência do custo de investimento .....	76
Quadro 4	– Probabilidade das previsões e respectivos resultados reais .....	77
Quadro 5	– VPL para cada combinação do custo de investimento em novas máquinas e as alternativas propostas .....	79
Quadro 6	– VPL para cada combinação do custo de investimento em novas máquinas e as alternativas propostas. SAD-VPL .....	94
Quadro 7	– Probabilidade de ocorrência do custo de investimento em novas máquinas (situação 1) .....	94
Quadro 8	– Probabilidade das previsões e dos respectivos resultados reais (situação 1) .....	94
Quadro 9	– VPL para instanciamento das variáveis “Como_é_a_informação”, “Compra_da_informação”, “Qual_é_o_investimento” e “Qual_é_o_prognóstico” (situação 1) .....	96
Quadro 10	– Probabilidade do “Resultado_esperado” para o instanciamento da variável “Qual_é_o_prognóstico” (situação 1) .....	97
Quadro 11	– “VPL_esperado” para a combinação do “Resultado_esperado” e “Compra_informação” (situação 1) .....	98
Quadro 12	– Probabilidade de ocorrência do custo de investimento em novas máquinas (situação 2) .....	99
Quadro 13	– Probabilidade das previsões e dos respectivos resultados reais (situação 2) .....	99
Quadro 14	– VPL para instanciamento das variáveis “Como_é_a_informação”, “Compra_da_informação”, “Qual_é_o_investimento” e “Qual_é_o_prognóstico” (situação 2) .....	100
Quadro 15	– Probabilidade do “Resultado_esperado” para o instanciamento da variável “Qual_é_o_prognóstico” (situação 2) .....	100
Quadro 16	– Probabilidade de ocorrência do custo de investimento em novas máquinas (situação 3) .....	101
Quadro 17	– Probabilidade das previsões e dos respectivos resultados reais (situação 3) .....	101
Quadro 18	– VPL para instanciamento das variáveis “Como_é_a_informação”, “Compra_da_informação”, “Qual_é_o_investimento” e “Qual_é_o_prognóstico” (situação 3) .....	102
Quadro 19	– Probabilidade do “Resultado_esperado” para o instanciamento da variável “Qual_é_o_prognóstico” (situação 3) .....	102
Quadro 20	– VPL para cada combinação do custo de investimento em novas máquinas e as alternativas propostas (situação 4) .....	103
Quadro 21	– VPL para instanciamento das variáveis “Como_é_a_informação”, “Compra_da_informação”, “Qual_é_o_investimento” e “Qual_é_o_prognóstico” (situação 4) .....	103

Quadro 22	– Probabilidade do “Resultado_esperado” para o instanciamento da variável “Qual_é_o_prognóstico” (situação 4) .....	104
Quadro 23	– “VPL_esperado” para a combinação do “Resultado_esperado” e “Compra_informação” (situação 4) .....	104
Quadro 24	– Variáveis e atributos do SEP de apoio à decisão com a descrição de cada uma delas .....	106
Quadro 25	– Prejuízo ou lucro em função de ocorrência ou não da greve para cada alternativa da quantidade de compra de insumos .....	108
Quadro 26	– Variáveis e atributos do SEP “caso greve no porto” com a descrição de cada uma delas .....	108
Quadro 27	– Situação no período para a decisão de compra de pesquisa de mercado .....	111
Quadro 28	– Valores de lucro esperado para a combinação de 9 valores de preço e propaganda .....	111
Quadro 29	– Variáveis e atributos do SEP “pesquisa de mercado” .....	112

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

- CPM – Capacidade Produtiva do Imobilizado
- DAG – *Directed Acyclic Graphs* (Gráficos Acíclicos Diretos)
- FC – Fluxo de Caixa
- GI-EPS – Nome do jogo de empresas desenvolvido pelo LJE
- GI-EPS-AR – Nome do Módulo Proposto
- H(W) – Entropia Absoluta
- IR – Imposto de Renda
- LEG – *Local Event Group* (Grupo de Evento Local)
- LJE – Laboratório de Jogos de Empresas
- P – Produtividade da Máquina
- $P(A|B)$  – Probabilidade Condicional “se B (causa) então A (efeito)”
- PA – Produto Acabado
- PPGEP – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção
- $R(W, P)$  – Entropia Mínima Relativa
- RB – Rede Bayesiana
- SAC – Sistema de Amortização Constante
- SAD – Sistema de Apoio à Decisão
- SE – Sistema Especialista
- SEP – Sistema Especialista Probabilístico
- SPIRIT – *Shell* de Sistema Especialista Probabilístico (S*ymmetrical*, P*robabilistic*, I*ntensional*, R*easoaning*, I*nferene Networks*, T*ransition*)
- TIR – Taxa Interna de Retorno
- TMA – Taxa Mínima Atrativa
- UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina
- UFSM – Universidade Federal de Santa Maria
- UM – Unidade Monetária
- VE – Valor Esperado
- VI – Valor do Investimento em Imobilizado
- VPL – Valor Presente Líquido

# 1. INTRODUÇÃO

A Engenharia Econômica tem por objetivo a análise econômica de investimentos através da comparação entre alternativas cujas diferenças estão expressas em termos monetários. Baseia-se na aplicação prática de princípios econômicos para a avaliação das alternativas tecnicamente viáveis, e seu uso passa pelos indivíduos, empresas e entidades do governo.

No final da década de 60, Horowitz já afirmava que em princípio este problema pode ser trivial ou insolúvel. Trivial quando envolve a seleção de alternativas mutuamente exclusivas em um mundo livre de risco. Usam-se métodos determinísticos para a solução do problema, sendo o mais conhecido o Método do Valor Presente Líquido (VPL). Insolúvel quando envolve a escolha de investimentos em um mundo com incertezas, pois neste caso, como afirma o autor, “para resolver o insolúvel, simplesmente aceita-se uma taxa de desconto ausente de uma justificativa teórica”, permitindo que decisores avaliem as conseqüências econômicas de investimentos de capital em produtos, processos e serviços.

Existem ainda dificuldades para o cálculo do próprio VPL que, segundo o autor, inclui a determinação de alguns fatores como: o período e magnitude do fluxo de caixa, incluindo (a) o valor do investimento inicial; (b) benefícios e custos para cada período de tempo - que significa benefícios qualitativos e custos que devem ser quantificados e/ou introduzidos na medida quantitativa dos benefícios líquidos; (c) o horizonte de tempo, e (d) a recuperação ou diminuição dos custos.

Horowitz afirma que estes problemas de risco e incerteza, inerentes ao processo de decisão, “são tratados de forma elementar” e “questões práticas de introdução atual desses fatores dentro de um mundo real de decisões de investimento de capital são raramente colocadas”. Previsão probabilística de futuros custos de produção, oportunidades de investimentos e custo marginal do capital são algumas das questões que, na opinião do autor, poderiam ser melhor abordadas pela engenharia econômica.

Passados 30 anos, a abordagem tradicional para o ensino de engenharia econômica ainda está focada em problemas determinísticos e, segundo Goyal, Tien e Voss (1997), os estudantes geralmente têm pouco contato com problemas que

envolvem incerteza, situação que também é observada em livros texto, conforme artigo de Smith (1999), pois os mesmos tratam de maneira superficial o assunto, sendo que muitos não apresentam conceitos além da análise de sensibilidade, valor esperado e simulação.

Na visão de Goyal, Tien e Voss a consideração de dados determinísticos nos problemas de engenharia econômica está fundamentada em três pontos chave. Primeiro, esta abordagem condiciona os estudantes a aceitar os dados de entrada como certos e então os métodos de solução podem ser enfatizados. Segundo, somente recentemente o currículo de engenharia incluiu ferramentas para modelar e analisar incertezas, tais como probabilidade e estatísticas. Terceiro, análise de risco e incerteza requerem muito tempo de cálculo, seja à mão ou com calculadora, o que requer uma significativa quantidade de trabalho, tirando assim o foco dos métodos de solução dos problemas de análise de investimentos.

Em resposta às três questões, pode-se argumentar o seguinte. Primeiro, aceitar os dados de entrada como certos não reflete os problemas de decisão do mundo real. Segundo, probabilidade e estatística podem ser revisados no início do curso de engenharia econômica, o que é sugerido pelos autores em um novo modelo de currículo. Terceiro, o tempo de cálculo pode ser reduzido com o uso de computador e programas específicos.

Goyal, Tien e Voss (1997) propõem uma grade curricular que integre considerações probabilísticas durante todo o aprendizado, pois, na verdade, “os conceitos de risco e incerteza deveriam ser a motivação para o estudo de engenharia econômica”. Complementando esta idéia, Hartman (1999) escreve sobre a produção efetiva de decisores em áreas críticas da análise de investimento de capital, o que traz em seu contexto a análise de risco.

A idéia de desenvolver uma tese envolvendo a análise de investimentos sob condições de risco parte não somente das questões levantadas acima como também da verificação da necessidade de desenvolver ferramentas que possam auxiliar no aprendizado prático da engenharia econômica. Esta motivação encontra fundamentação no artigo *“An Empirical Analysis of Engineering Economy Pedagogy”* de Nachtmann, Lavelle e Eschenbach (2000) onde os autores divulgam uma pesquisa realizada em faculdades americanas de engenharia industrial e que mostra, entre outras conclusões, que 82% das pesquisadas incorporam novos métodos de ensino na engenharia econômica. Não há notícia de semelhante

pesquisa em cursos de engenharia de produção no Brasil, mas partindo da conclusão exposta acima, complementada pelos autores que afirmam que “muitos instrutores estão usando novos métodos de educação em sala de aula”, pode-se intuir que este poderia ser um bom caminho a ser seguido.

O contato com os jogos de empresas desenvolvidos pelo Laboratório de Jogos de Empresas (LJE) do Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas da UFSC, proporcionou os recursos teórico e prático necessários para o delineamento do trabalho proposto, inspirando a idéia de integrar o estudo de engenharia econômica em condições de risco.

Os jogos de empresas são uma ferramenta eficiente para o treinamento e aprendizado de profissionais, alunos de graduação e pós-graduação nas diversas áreas relacionadas com a gestão de organizações.

Observa-se que nos últimos anos esta técnica de ensino ganhou força em função dos avanços da computação, o que proporcionou maior rapidez nos cálculos e permitiu que a modelagem matemática para a representação deste mundo simulado pudesse ser mais complexa.

Atualmente encontram-se várias aplicações dos mais diferentes tipos de áreas de negócios, todas com o objetivo de ampliar as habilidades gerenciais dos jogadores através da vivência de um ambiente empresarial simulado, apresentando as diferentes situações de uma organização.

Nas aplicações didáticas dos jogos os modelos determinísticos são preferidos em detrimento dos modelos probabilísticos, pois permitem uma ordenação única das decisões e dos resultados, deixando o decisor totalmente informado acerca das dimensões do que decidir, sem prováveis efeitos da sorte ou azar.

Por outro lado, os modelos probabilísticos têm incorporado a sua estrutura elementos aleatórios com uma determinada probabilidade de ocorrência, que trazem insegurança na tomada de decisão, pois os resultados não são determinados de forma única. Desta maneira, em geral, estes modelos são preteridos em favor dos modelos determinísticos.

Contudo, no mundo real observa-se que as variáveis de decisão na maioria das situações apresentam um comportamento caótico que usualmente é representado por uma probabilidade de ocorrência, o que torna a modelagem probabilística uma aproximação desta realidade aos jogos empresariais. Além disso, o que se pretende é criar uma metodologia através da modelagem matemática em que o decisor siga

um caminho coerente na solução deste tipo de problema, haja visto que, como afirmam Brealey e Myers (1992) “os homens de negócios agem freqüentemente de uma forma mais inteligente do que falam (entre os estudiosos e acadêmicos acontece o inverso). Tomam decisões certas, mas podem não ser capazes de as explicar em linguagem financeira e econômica. Muitas decisões são essencialmente intuitivas”.

Novos sistemas têm sido criados para a solução destes problemas. Entre eles existem os Sistemas Especialistas Probabilísticos (SEP) que através de uma abordagem Bayesiana tratam o problema a fim de achar soluções baseadas em inferência probabilística. Esta moderna abordagem traz uma nova perspectiva para a engenharia econômica, pois assim é possível tratar problemas de análise de investimentos de forma probabilística.

Neste contexto, as situações de decisão sob risco e incerteza quando propostas e solucionadas através de uma metodologia que envolve SEP proporcionam um campo rico para o aprendizado das aptidões necessárias a abordagem de um mundo não trivial. Além do mais, no ambiente controlado dos jogos de empresas é possível que o jogador observe os efeitos de uma determinada decisão de investimento nos períodos após a realização da mesma, sem correr o risco de comprometer o futuro de uma empresa real caso a sua decisão tenha sido errada.

### **1.1. Problema e hipótese de pesquisa**

O problema pode ser resumido com a seguinte pergunta:

Como pode ser operacionalizada a análise de investimentos sob condições de risco em jogos de empresas?

Para responder o problema de pesquisa procura-se comprovar a seguinte hipótese: *a análise de investimentos sob condições de risco poderá ser operacionalizada em jogos de empresas através da sistematização de uma abordagem probabilística para a tomada de decisão, possibilitando o alcance de resultados válidos e interessantes com a utilização de SEP.*



## 1.2. Objetivo

O objetivo geral da tese é:

*Ilustrar a Engenharia Econômica através de Jogos de Empresas enfatizando a sistematização de uma abordagem probabilística para a tomada de decisão sob condições de risco.*

Os objetivos específicos são:

- realizar modelagem matemática da situação proposta para um jogo de empresas;
- propor uma metodologia para a solução do problema de decisão;
- estruturar Sistemas de Apoio à Decisão (SAD) e Sistemas Especialistas Probabilísticos (SEP) para o apoio computacional da metodologia proposta.

## 1.3. Relevância e Contribuição

A análise econômica de investimentos é um assunto de importância no dia-a-dia dos dirigentes de empresas, pois como os recursos financeiros são limitados, é necessário que sejam aplicados de maneira que tragam o retorno satisfatório dentro dos parâmetros estabelecidos pelos decisores. Contudo, o risco faz com que muitas vezes as expectativas não se realizem, causando diversos prejuízos que de uma forma ou de outra representam perda de recursos financeiros.

Por esse motivo, acredita-se que o trabalho proposto é de relevância para a engenharia econômica em função da criação de uma ferramenta que proporciona ao jogador, que pode ser desde um estudante de graduação até um dirigente empresarial, a possibilidade de ter contato com situações simuladas que posteriormente poderão ser utilizadas como parâmetros para a solução de problemas reais.

As contribuições são para o ensino e para a pesquisa. No ensino contribui com o aprendizado prático do jogador, que pode verificar seus erros e acertos em uma decisão de investimento. Outras situações de análise de investimento sob condições

de risco podem ser desenvolvidas a partir da abordagem probabilística proposta, com isso propiciando um amplo campo para pesquisas futuras.

#### **1.4. Limitações do Trabalho**

O desenvolvimento desta tese foi limitado a análise de investimentos sob condições de risco de bens de capital, pois o jogo para o qual foi desenvolvido o modelo simula uma empresa industrial.

#### **1.5. Metodologia**

A participação como jogador em uma aplicação do jogo de empresas GI-EPS, desenvolvido pelo LJE, na disciplina de Gestão Industrial durante a fase de realização dos créditos, permitiu um contato com esta ferramenta de aprendizado para o ensino de temas relacionados com a gestão de negócios.

Na seqüência seguiu-se levantamento e consulta de material bibliográfico nas bibliotecas universitárias. Também foi realizada pesquisa de artigos na internet, através dos *sítes* de procura, bem como visitas a páginas eletrônicas relacionadas ao assunto e contato por e-mail para obtenção de material.

Uma valiosa pesquisa com modelagem de problemas probabilísticos foi feita na FernUniversität em Hagen na Alemanha com a *Shell SPIRIT*, desenvolvida pelo *Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre insb. Operations Research* (Departamento de Administração, área de Pesquisa Operacional) com o objetivo de construir sistemas especialistas que são utilizados na abordagem proposta.

O próximo passo foi a escolha das variáveis e modelagem das mesmas em outra planilha eletrônica com o objetivo de obter os resultados necessários, segundo critérios estabelecidos, para a tomada de decisão segundo os métodos de análise de investimentos sob condições de risco. Esta planilha foi chamada de SAD-VPL – Sistema de Apoio à Decisão para o Cálculo do Valor Presente Líquido.

O último passo foi a construção de um modelo de SEP através da *Shell SPIRIT*, com as variáveis e valores obtidos da etapa anterior além de outras

variáveis selecionadas para a situação proposta, cujo objetivo é a análise probabilística do problema.

### **1.6. Estrutura da Tese**

O capítulo 1 apresenta a introdução, com todos os aspectos metodológicos de um trabalho de tese, tais como a justificativa e motivação, problema, hipótese de pesquisa, objetivos, relevância e contribuição, limitações e metodologia de trabalho.

No capítulo 2 foi apresentada uma fundamentação teórica, onde é realizada uma análise crítica dos métodos e técnicas desenvolvidas para a análise de investimentos e que são aplicáveis ao funcionamento do módulo proposto.

No capítulo 3 foram abordados os sistemas especialistas probabilísticos para tratar decisões sob risco, onde a *Shell* SPIRIT foi apresentada.

No capítulo 4 são tratadas as questões que envolvem os jogos de empresas, desde os fundamentos básicos até a dinâmica do jogo G-EPS que será utilizado na tese.

O capítulo 5 define a estrutura do módulo de análise de risco. É feita a caracterização do módulo, a integração do sistema, a formulação matemática para o G-EPS, a formulação matemática do modelo de tomada de decisão e por fim foi desenvolvida a metodologia para a solução do problema proposto.

No capítulo 6 é realizada a aplicação e analisados os resultados desta aplicação do módulo proposto.

O capítulo 7 abrange as conclusões da tese e sugestões para trabalhos futuros.

## **2. MÉTODOS E TÉCNICAS PARA ANÁLISE DE INVESTIMENTOS: DO DETERMINISMO AO RISCO**

Neste capítulo se pretende apresentar uma síntese dos métodos e técnicas mais conhecidos e utilizados pela engenharia econômica para a análise de investimentos de capital, realizando uma fundamentação teórica bem como uma análise crítica.

Para isso, serão apresentados os aspectos gerais das decisões econômicas sob incerteza, que incluem os fatores de incerteza na análise e uma apresentação resumida de critérios tradicionais utilizados. Segue-se uma apresentação dos métodos quantitativos, modelos probabilísticos e abordagens da análise de investimentos sob condições de incerteza e risco.

### **2.1. Aspectos Gerais das Decisões Econômicas sob Incerteza**

Quando uma empresa compra uma nova máquina para a fabricação de um determinado produto, ou expande suas instalações, ou substitui equipamentos para obter maior produtividade, ou ainda aplica no mercado financeiro, entre outras inúmeras possibilidades, diz-se, genericamente, que a mesma está realizando um investimento.

Como são inúmeros os motivos para se realizar um dispêndio monetário, é necessário que se defina com clareza o que significa investimento, pois nem sempre este dispêndio representará retorno na forma de lucro para a empresa ou pessoa que o realizou.

Para Downes e Goodman (1993, p. 246) investimento é o uso do capital para gerar mais recursos, seja por meio de negócios geradores de renda ou de empreendimentos mais arriscados destinados a ganhos de capital. O investimento pode ser financeiro, na forma de um produto de um banco comercial ou ações de uma empresa, ou pode ser um investimento de esforço e tempo por parte de um indivíduo que deseja colher lucros pelo sucesso de seu trabalho.

Para uma empresa, conforme Gaslene et alii (1999, p.15), fazer um investimento é comprometer capital de maneira durável, o que para Gitman (1997, p.288) significa “após um ano”, sob diversas formas, na esperança de manter ou melhorar a situação econômica, o que representa para Kassai et alli (1999, p.14) “retorno satisfatório de investimento”.

O caráter durável do comprometimento de recursos e o caráter de aposta sobre o futuro que representa são as características da noção de investimento de capital refletidas pela definição acima.

Levi e Sarnat apresentam três características que distinguem investimentos financeiros de investimentos de capital. (1) em orçamento de capital os problemas surgidos de investimentos em alternativas mutuamente exclusivas são mais freqüentemente a regra do que a exceção, por isso requerem tratamento especial; (2) os gastos de capital típicos ocupam-se com compromissos de recursos nos vários períodos que são irrevogáveis economicamente; e (3) os investimentos de capital, em contraste com os financeiros, são usualmente não divisíveis.

Pelos conceitos colocados, observa-se que a decisão de investir de uma empresa é uma aposta no futuro, significando que o decisor estará sempre fazendo uma escolha sob risco e o melhor que poderá fazer é reduzi-lo mas nunca conseguirá elimina-lo. Por isso, é necessário que a decisão de investir não deva ser tomada de forma precipitada e sim deve ser a etapa final de uma série de estudos, envolvendo técnicas de análise, ao longo dos quais o projeto é “constantemente colocado em questão”.

As decisões devem considerar não somente os aspectos econômicos, que se traduzem na rentabilidade do investimento, mas também os aspectos financeiros, que são a disponibilidade de recursos, e os aspectos imponderáveis, que são os fatores não conversíveis em dinheiro (Casarotto e Kopittke, 2000).

Isso significa que a análise de investimentos envolve muitas etapas além da decisão econômica realizada através das várias técnicas existentes. O processo de um projeto de investimento envolve basicamente, conforme Gitman (1997, p.290), cinco etapas, que são: (1) geração de propostas; (2) avaliação e análise; (3) tomada de decisão; (4) implementação; e (5) acompanhamento.

Na geração de propostas sempre existe “uma idéia a investir” (Gaslene, 1999, p.18) e parte “das pessoas em todos os níveis da organização” (Gitman, 1997, p.290). Vários podem ser os estímulos utilizados para gerar estas sugestões que vão

desde o uso de “caixas de sugestões” até a recompensa financeira ao “dono” da sugestão adotada. Todas têm o objetivo de manter o fluxo de idéias dentro da empresa.

A fase de avaliação e análise é uma das mais importantes dentro de todo o esquema, pois envolve basicamente a avaliação econômica do investimento. Os custos e receitas do projeto são estimados e elabora-se o fluxo de caixa, prevendo o mérito do mesmo através de várias técnicas de análise (Gitman, 1997). É nesta fase que o risco do projeto é avaliado e considerado nos valores econômicos.

Na fase de tomada de decisão o principal aspecto é a disponibilidade de recursos financeiros por parte da empresa. Para Gitman (1997, p.290) “a magnitude do desembolso, em valores monetários, e a importância dos dispêndios de capital determinam em qual nível hierárquico da organização a decisão será tomada”. Em geral a alta administração decide, quando os valores envolverem cifras elevadas, cujo limite é determinado pela empresa.

Aprovada a realização do investimento, passa-se à fase de implementação, que também depende da magnitude dos valores envolvidos. Para pequenos valores é uma questão de rotina, ou seja, o pagamento é feito tão logo a implementação seja realizada. Para valores maiores o controle é naturalmente maior, e muitas vezes respeitam um cronograma desembolso, exigindo a aprovação da diretoria (Gitman, 1997).

A última fase, o acompanhamento, refere-se a monitoração dos resultados. Realiza-se a comparação dos resultados obtidos com os resultados estimados e se necessário ações devem ser tomadas para que o retorno esperado se realize. Nesta etapa são observadas as entradas e saídas do fluxo de caixa do projeto.

Resumidamente e em termos gerais, estas são as etapas da análise de investimento. O trabalho proposto por esta tese está centrado na segunda etapa, cujo desenrolar necessita do uso de métodos matemáticos para a avaliação econômica.

Dentre os métodos tradicionais de análise econômica de investimentos os mais utilizados são o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR). Eles são baseados nos fluxos de caixa descontados, cujo princípio é a consideração do valor do dinheiro no tempo. Por serem aplicados desconsiderando os riscos dos investimentos e tendo em conta que os dados de entrada são perfeitamente conhecidos, estes métodos são chamados de determinísticos.

Apesar de receberem críticas quanto as suas aplicações, principalmente pelo fato de apresentarem dificuldades de determinação do período e magnitude do fluxo de caixa, e no caso da TIR pela complexidade dos cálculos, são métodos bastante abrangentes e têm sido usados para analisar alternativas de investimento tanto de capital como financeiras.

Contudo, Horowitz (1976) já afirmava que a engenharia econômica trata de problemas de incerteza de forma elementar. Questões práticas de introdução desses fatores dentro de um mundo real de decisões de investimentos de capital são raramente colocadas, completava o autor. Esta afirmação ainda hoje é verdadeira face aos freqüentes artigos publicados sugerindo que a engenharia econômica foque o seu conteúdo aos problemas que envolvem incerteza, estes sim refletindo com maior realismo o mundo de decisões econômicas. A fim de maiores esclarecimentos os artigos de Smith (1999), Hartman (1999), Goyal, Tien e Voss (1997) podem ser analisados mais profundamente.

Apesar disso, os métodos apresentados têm sido muito utilizados na análise econômica de investimentos, a despeito de desconsiderar os riscos envolvidos nos projetos. Esta realidade mostra que apesar das críticas sofridas, os métodos determinísticos são ferramentas que proporcionam bases matemáticas para a etapa seguinte da análise, a consideração da incerteza do mundo real.

### **2.1.1. Um Critério para Distinguir Risco e Incerteza**

Com freqüência, na prática da decisão de investimentos, os decisores se deparam com situações onde a determinação dos dados futuros de um projeto é incerta. Alguns exemplos da incerteza do universo econômico são os acontecimentos políticos e sociais que compõem o cenário macroeconômico, os avanços da tecnologia através das descobertas científicas, as mudanças aleatórias do clima. A incerteza é inerente não somente para os negócios como para a própria vida particular de cada ser humano. Não há como fugir do futuro incerto, no entanto várias técnicas têm sido utilizadas e aperfeiçoadas para tentar minimizar esta incerteza.

O ser humano, intuitivamente, associa a possibilidade de perda, seja ela financeira, material ou emocional, à noção de risco, por isso Pyndick e Rubinfeld

(1994, p.187) afirmam que “a aversão a riscos é uma das atitudes mais comuns”, quando se trata de valores monetários, mas não há dificuldade de observar no cotidiano que em geral as pessoas dão preferência às situações em que os riscos sejam os menores possíveis.

Na prática da análise econômica de investimentos, apesar da distinção teórica entre risco e incerteza realizada por muitos autores, estes termos são considerados muitas vezes de mesmo significado.

F. Knight define risco como uma situação na qual uma distribuição de probabilidades objetivas, que são estabelecidas com base em observações anteriores, ou seja, *a priori*, pode ser associada aos resultados esperados. Por outro lado, uma situação incerta, é aquela na qual não se pode associar nenhuma distribuição de probabilidades ou somente se pode associar uma distribuição de probabilidades subjetivas, no sentido de probabilidades obtidas com base no julgamento de especialistas, na ausência de elementos anteriores de referência.

Na análise de investimentos o risco é associado com a probabilidade de ganhar abaixo do esperado, tornando-se necessário medi-lo de forma consistente (Samanez, 1999). Para este autor, os investimentos são em geral avaliados pelas taxas de retorno esperadas, e na medida em que não se pode determinar o retorno esperado, a situação é de incerteza. Ela será de risco se quando se conhece algo sobre os possíveis retornos.

Uma tendência de definição entre os autores é de que situação de risco é aquela em que uma distribuição de probabilidades pode ser associada aos resultados, e situação de incerteza é aquela em que nenhum tipo de distribuição de probabilidades pode ser associada aos resultados.

### **2.1.2. Os Fatores de Incerteza na Análise Econômica**

Quando o Valor Presente começou a ser utilizado para a análise econômica de investimentos, as dificuldades para o seu cálculo já eram apontadas (Horowitz, 1976), e que enfocavam a incerteza com relação ao futuro. Tais questões estavam basicamente relacionadas à determinação (1) do período e magnitude do fluxo de caixa, o que inclui, respectivamente, o horizonte de tempo, as receitas e os custos; e (2) da taxa de desconto utilizada para o cálculo.



A vida econômica é definida como “o intervalo ótimo entre duas substituições de equipamentos” (Casarotto e Kopittke, 2000, p.170), o que significa que “um equipamento pode ser conservado enquanto o custo marginal do mesmo em relação ao tempo não atinja a receita marginal proporcionada no mesmo período” (Gaslene et alli, 1999, p.133).

Quando se conhece a evolução das receitas e custos, pode-se determinar com precisão o período exato para substituir o equipamento. Contudo, em um mercado de concorrência esta situação não ocorre de maneira determinística. Uma série de fatores influencia aleatoriamente estas variáveis. Além da deterioração natural, que é conhecida pelo termo depreciação, há o progresso tecnológico e suas conseqüências. Custos menores de produção de um equipamento mais aperfeiçoado que proporciona melhor desempenho, muitas vezes força o dirigente a baixar os seus preços, sob pena de perder percentuais importantes do mercado.

Nestas circunstâncias, é necessário analisar com cuidado a opção de manter ou substituir um equipamento. Mantendo o mesmo equipamento e sua estrutura de custos, a baixa de preços significará uma redução no lucro. Por outro lado, a substituição permite manter a margem de lucro unitária e seus lucros brutos, contudo, se o equipamento não estiver amortizado em sua totalidade sofrerá uma perda de capital decorrente desta substituição.

Uma das principais preocupações da direção de uma empresa é, por motivos óbvios, a geração de receitas. Esta, por sua vez, está associada à demanda dos produtos fabricados pelos equipamentos. “O sucesso ou o fracasso de um investimento depende, antes de mais nada, da maneira como este produto responde às aspirações dos consumidores” (Gaslene et alli, 1999, p.132). Os autores concluem dizendo que o investimento depende ainda do “tipo de organização do mercado para o produto considerado”.

É necessário que se faça a previsão de demanda para o período considerado a vida útil do equipamento em questão. Todavia, ao longo do tempo, os consumidores mudam os seus hábitos e as suas necessidades, o que acarreta uma mudança nos valores de demanda por um produto, causando incerteza quanto à realização das projeções iniciais. Em geral, a incerteza quanto as receitas proporcionadas por um novo projeto está diretamente associada ao pouco conhecimento de um novo produto e a sua aceitação pelo consumidor. Para um mercado monopolista esta incerteza se reduz bastante, ficando reduzida à magnitude da demanda total, o que

pode ser solucionado por pesquisa de mercado, avaliação de vendas passadas ou pesquisa de motivação junto aos clientes.

Esta situação privilegiada é menos freqüente, sendo o mais comum a concorrência, cujo princípio é o crescimento próprio em detrimento das demais empresas. Para que isso se torne verdadeiro, os concorrentes lançam mão de estratégias diferenciada, cujo sucesso depende da reação dos demais concorrentes. Dessa forma, a incerteza que afeta o mercado de um produto é somada à incerteza relativa à intensidade da reação dos concorrentes.

Os custos relacionados diretamente com a fabricação do produto, chamados variáveis, são os mais fáceis de prever. Em geral, os fatores de produção utilizados no passado para se fabricar uma unidade de produto é um ponto de partida, fazendo-se então uma previsão do comportamento provável dos custos para o futuro. No caso de um investimento totalmente novo o leque de incertezas naturalmente aumenta, exigindo assim um maior controle sobre os custos e seus sistemas de apuração.

Outro importante fator de incerteza na análise é a determinação da taxa de juros da empresa. Uma boa aproximação é a análise histórica da rentabilidade média, corrigindo para cima ou para baixo em função da conjuntura econômica prevista, sendo que a incerteza nesta previsão, que indica as taxas de retorno setoriais, por si só já é elevada.

Conforme Casarotto e Kopittke, “a nova proposta para ser atrativa deve render, no mínimo, a taxa de juros equivalente à rentabilidade das aplicações correntes e de pouco risco” (2000, p.108), indicando que o investidor pode aplicar em produtos do mercado financeiro, ou seja, quando o dinheiro não está investido, por exemplo, em um equipamento para a produção, ele pode estar rendendo juros em investimentos financeiros, que vão desde o menos arriscado como a caderneta de poupança até o mercado de capitais, onde o risco de perda é, por vezes, bastante elevado.

## **2.2. Análise de Investimentos em Situações de Risco**

Kassai et alli (1999, p.100) afirmam que “apesar de algumas decisões serem tomadas de forma não racional e envolverem aspectos subjetivos, á natural que haja uma “quantificação” mesmo de eventos qualitativos ou considerados não

quantificáveis”. Isso se explica talvez porque a mente humana esteja acostumada a realizar comparações através de quantificações, o que, por sua vez, ameniza a dificuldade de uma decisão. Todavia, o “uso de avaliações quantitativas”, citadas por Kassai et alli, nem sempre é “baseada em modelos e técnicas sofisticadas” e sim em “simples cálculos que esclarecem e confortam as tomadas de decisão”.

As “estimativas mais cuidadosas”, propostas por Kassai et alli (1999), sugerem um cuidado especial na elaboração das projeções futuras, de maneira que elas sejam realmente confiáveis, afirmando que “doses de prudência e conservadorismo” é uma maneira saudável para a realização da análise. Os autores sugerem que a obtenção e uso de informações são muito importantes quando se deseja a elaboração de um bom projeto, contudo alertam que a análise “custo versus benefício da obtenção da informação” deve ser cuidadosa.

No contexto das estimativas futuras, Gaslene et alli (1999, p.153) propõem a “redução sistemática nas estimativas dos parâmetros de cálculo do investimento”, que tanto pode ser a redução na vida útil prevista para o projeto, o que é mais usual, ou pela redução das entradas líquidas de caixa esperadas. O resultado destas reduções é a imediata subavaliação da rentabilidade do projeto. Com isso os analistas de investimentos buscam uma margem de segurança no caso de erro de um fator determinante da rentabilidade do projeto.

O método de adicionar um prêmio de risco a taxa mínima atrativa da empresa é o mais utilizado. Consiste em escolher uma taxa de desconto  $k' = i + p$ , onde “i” corresponde à taxa de desconto para um projeto sem risco e “p” é uma taxa que corresponde ao prêmio de risco. Este prêmio de risco é variável conforme o nível de risco presumido pela empresa ou para a classe de risco à qual estima-se que o projeto pertença.

Gaslene et alli (1999, p.154) apontam dificuldades no método, afirmando que ele “supõe, basicamente, a designação de cada projeto a uma classe de risco e a cada classe um prêmio de risco, com toda a arbitrariedade que isso implica”. Robichek e Myers (1966) observam que o método implica “uma relação estreita entre o grau de risco das entradas líquidas de caixa do projeto e seu distanciamento no tempo”, em geral representado por uma curva ascendente. Como nem sempre esta relação acontece, caso do lançamento de um produto onde o maior risco está na sua introdução no mercado, os autores sugerem a separação dos problemas da

incerteza das entradas líquidas de caixa dos de seu distanciamento no tempo, “adotando de preferência o método do equivalente-certeza”.

O método do equivalente-certeza é uma das abordagens mais diretas para ajustar o risco de um projeto e são os fatores que refletem a porcentagem de certa entrada de caixa que o tomador de decisão aceitaria em troca das entradas de caixa esperadas (Kassai et alli, 1999). Segundo este método, se tem a seguinte fórmula para o VPL:

$$VPL = \sum_{t=1}^T \frac{FC_t^{\bullet}}{(1+i)^t} - I_0$$

Com  $FC_t^{\bullet} = \alpha_t \cdot FC_t$ ,  $0 \leq \alpha_t \leq 1$

Sendo:

$FC_t^{\bullet}$  - é o equivalente-certeza associado ao fluxo de caixa incerto esperado do projeto no ano t;

$FC_t$  - é o fluxo de caixa esperado do projeto no ano t;

$i$  - é a taxa de retorno que a empresa exigiria de um projeto sem risco;

$I_0$  - o investimento inicial associado ao projeto.

Através da fórmula pode-se observar que quanto maior o risco estimado para o fluxo de caixa de um dado projeto menor será o valor de  $\alpha_t$  utilizado, significando com isso que as chances do mesmo não ser aceito serão maiores. Os valores referentes a  $\alpha_t$  são fixados pela função utilidade do decisor, que será apresentada adiante.

As medidas preliminares abordadas tratam o problema do risco de forma simplificada e considera que os dirigentes das empresas tenham uma idéia bastante precisa a respeito da variação da rentabilidade de um projeto, o que depende muito da sua experiência. Apesar das limitações e dificuldades são os mais utilizados pelos decisores pois tentam ajustar o a análise ao nível de risco do projetos.

Como regra para a tomada de decisão sob incerteza critérios há muitos anos desenvolvidos, mas que ainda são abordados nos livros de engenharia econômica e na prática do dia-a-dia empresarial, mesmo que de uma maneira intuitiva (Smith, 1999). Os quatro critérios apresentados a seguir representam critérios de decisão habituais da teoria dos jogos.

O critério de Laplace-Bayes ou Princípio da Razão Insuficiente é definido como um princípio baseado na filosofia de que a natureza é supostamente indiferente, significando que um estado não é mais provável de ocorrer do que outro (Thuesen e Fabrycky, 1993). A vantagem deste critério de escolha é a sua simplicidade, contudo, ser pouco realista é o seu maior inconveniente. Por atribuir implicitamente uma probabilidade de ocorrência aos estados futuros, e que é igual para cada um deles, “este critério corresponde a um tipo de comportamento particular dos dirigentes da empresa, caracterizado por uma total neutralidade em relação ao risco”.

O critério Maximin ou de Wald, quando adotado, corresponde a uma atitude prudente do tomador de decisão, que procurará identificar o estado da natureza, em função da estratégia adotada, que conduzirá ao resultado mais desfavorável. É também chamado de regra do pessimista, pois a sua aplicação irá escolher uma alternativa que assegura o melhor entre os piores resultados possíveis.

Ao contrário do anterior, o critério do Maximax é a chamada regra do otimista (Thuesen e Fabrycky, 1993), pois escolhe a alternativa que assegura o melhor entre os melhores resultados possíveis.

Os critérios apresentados acima são de natureza extrema, pois considera que o decisor é totalmente pessimista ou totalmente otimista. O que se observa é que o comportamento dos decisores está entre estes dois extremos. Uma terceira abordagem envolve um índice relativo de otimismo e pessimismo, o critério de Hurwicz, “pois considera que cada pessoa tenha um grau de otimismo (ou pessimismo) e a decisão será ponderada em função deste grau” (Casarotto e Kopittke, 2000, p.339).

Também chamado de Regra do Arrependimento Mínimo, o critério de Savage indica uma atitude de prudência por parte do dirigente da empresa, consistindo na identificação da estratégia mais favorável para cada um dos estados da natureza e o quanto se deixaria de ganhar, em relação a esta estratégia, pela escolha de uma das demais estratégias. A que conduz ao menor dos arrependimentos máximos, é a escolhida.

Além dos critérios e métodos quantitativos, o processo de decisão de investimentos envolve também critérios e métodos qualitativos, que, segundo Kassai et alli (1999), são aqueles “não mensuráveis e até subjetivos”. Como forma complementar à análise, algumas técnicas são passíveis de serem utilizadas.

A “pesquisa de mercado”, um clássico na tentativa de reduzir o risco principalmente no lançamento de um novo produto, é uma técnica que por meio de questionários e entrevistas direcionadas recolhe informações relevantes cujo objetivo é levantar os fatores relevantes na preferência do consumidor ou das pessoas envolvidas.

Na “técnica Delphi” o objetivo é obter consenso por parte de um grupo de especialistas, sem que haja interação entre os mesmos, procurando assim eliminar alguns problemas, tais como a maior capacidade de liderança de alguns, o efeito do prestígio e a dificuldade em se abandonar opiniões conhecidas. O procedimento consiste em um coordenador passar um questionário a um grupo previamente escolhido sobre um determinado assunto. As respostas são processadas e um novo questionário é elaborado incorporando as informações levantadas. São realizadas então várias rodadas até se chegar a um consenso que expressa a opinião explícita e razoável.

O “painel de especialistas” é um trabalho em conjunto de especialistas cujo objetivo é obter um consenso. Neste caso a comunicação se dá direta e pessoalmente, o que reflete mais a própria dinâmica do grupo do que um verdadeiro consenso.

Na “dramatização e criação de cenários” se estabelece uma seqüência lógica de eventos. Isso propicia a observação do desenvolvimento do processo, a inter-relação entre os diversos fatores envolvidos e para onde o processo poderá conduzir no futuro. O objetivo principal é responder como certas situações hipotéticas podem ocorrer e quais as alternativas existem para se atuar. A grande contribuição desta técnica está no fato de forçar os decisores a pensarem em aspectos não rotineiros do meio empresarial através da dramatização dos fatores mais relevantes.

A técnica das “analogias históricas e de fenômenos naturais” consiste em fazer uma análise comparativa de uma nova situação com outra similar acontecida no passado. O objetivo é a elaboração de uma analogia histórica onde se verifica o grau de semelhança entre as duas situações e determinar em que medida o padrão básico seria alterado pela falta de semelhança com a nova situação. Um exemplo típico é a projeção orçamentária, onde se toma por base os dados ocorridos no passado.

Na “análise de impactos cruzados” procura-se determinar qual o possível impacto de um determinado evento sobre os eventos com os quais ele se relaciona.

O primeiro passo é uma análise dos eventos que podem ocorrer. Em seguida, verifica-se a interdependência dos eventos eliminando eventuais inconsistências. Esta técnica pode ser incrementada através da construção de uma matriz com as probabilidades de ocorrência dos eventos para cada situação, assumindo que eles podem ser incluídos, excluídos ou mesmo considerados como evento certo.

Nos últimos anos foram desenvolvidos novos métodos e abordagens destinadas a auxiliar na redução dos riscos associados aos projetos de investimentos, e se por um lado os métodos tornaram-se mais complexos, por outro contribuíram para a identificação mais precisa das variantes de um projeto.

Gaslene et alli (1999, p.156) afirmam que para se avaliar o risco de um projeto de maneira ideal, é necessário saber a distribuição de probabilidade dos resultados possíveis do investimento, ou seja, “a distribuição de probabilidade de sua rentabilidade”, além de acrescentar uma probabilidade de ocorrência para cada projeto quando se tratar de múltiplas alternativas (Mannarino, p. 1991). Mais recentemente a abordagem Bayesiana está sendo utilizada com mais freqüência como mostra o artigo de Herath e Park (2001), onde os autores exploram o relacionamento desta abordagem com o uso das opções reais para tratar problemas envolvendo risco.

As opções reais também têm sido bastante exploradas nos últimos anos, e por se tratar de uma técnica do mercado de ações aplicada a análise de investimentos de capital, tem despertado interesse por parte dos pesquisadores. Maiores informações podem ser extraídas dos artigos de Raynor (2002), Miller e Park (2002) e Park e Herath (2000).

Apesar de todo o cuidado, conclui Buarque (1984, p.179), o decisor deve “reconhecer a incerteza intrínseca ao projeto” e fazer uso de métodos que diminuam o grau de risco na análise. No artigo de Ho e Pike (1998) são relacionadas as características organizacionais que influenciam o uso de análise de risco em investimentos estratégicos de capital, mostrando que a empresa possui papel decisivo na análise.

Outros métodos, técnicas e abordagens têm sido desenvolvidas ou exploradas como um novo caminho para tratar problemas que envolvem risco dentro da engenharia econômica, mais especificamente na análise de investimentos de capital. Kira, Kusy e Rakita (2000) desenvolveram um modelo de programação linear, assim como Cahime (2000) também o fez. No entanto, observa-se um crescente

direcionamento para abordagens Bayesianas e dentre os métodos utilizados os sistemas especialistas probabilísticos apresentam um potencial excelente para tratar problemas de análise de risco. Em 1993, Foote e Peters apresentavam um artigo no periódico *The Engineering Economist* onde os autores faziam uso de um sistema especialista para análise econômica de operações de manutenção.

O que se pretende é mostrar que o uso da probabilidade para a análise de investimento sob risco tem crescido, e que o desenvolvimento de novas abordagens de sua aplicação apontam para um futuro promissor dentro da engenharia econômica. Haja vista que os sistemas especialistas probabilísticos se prestam para o uso dentro desta área do conhecimento, tem-se uma conjugação perfeita entre problema e solução.

O capítulo 3 é dedicado aos sistemas especialistas. A seguir são apresentados os métodos que serão utilizados na metodologia proposta.

### **2.2.1. Critério da Função Utilidade**

Pindyck e Rubinfeld (1994) definem utilidade como o “nível de satisfação que uma pessoa tem ao consumir um bem ou ao exercer uma atividade” (p. 106), e acrescentam que ela possui um importante componente psicológico, pois as pessoas preferem coisas que lhes dêem prazer em detrimento as que lhes causem dor.

A definição de utilidade evoluiu a partir da doutrina utilitarista exposta por Jeremy Bentham em 1789 em seu artigo *An Introduction to the Principles of Morals and Legislation*<sup>1</sup>, que considera que apenas o egoísmo e a busca da felicidade motivam a conduta humana, defendendo um sistema de governo que harmonizasse os interesses, garantindo a maior satisfação possível ao maior número de pessoas.

Em 1854 o economista alemão Herman Heinrich Gossen, que apesar de não ter exercido nenhuma influência durante sua vida, antecedeu com seus teoremas a teoria da utilidade marginal. Na sua obra intitulada *Entwicklung der Gesetze des menschlichen Verkehrs und der daraus Fließenden regeln für menschliches*

---

<sup>1</sup> Uma Introdução aos Princípios da Moral e da Legislação.



*handeln*<sup>2</sup>, procura analisar as leis da conduta humana por meio do utilitarismo e do uso do método matemático. A partir do pressuposto de que toda conduta humana tem por objetivo um máximo de satisfação, ele desenvolveu algumas leis, das quais suas são conhecidas como Leis de Gossen. A primeira apresenta o princípio da utilidade decrescente: “a quantidade de uma mesma satisfação diminui constantemente à medida que a realizamos sem interrupção, até obter saciedade”. A segunda lei decorre da primeira e do postulado de que é impossível obter satisfação completa de todas as necessidades, expõe o princípio de que se pode obter o máximo de prazer com um nível uniforme de satisfação de cada necessidade.

A teoria da utilidade continuou evoluindo e em 1871 o economista inglês William Stanley Jevons publicou sua obra *The Theory of Political Economy*<sup>3</sup>, onde reuniu todas as análises anteriores baseadas na utilidade para formular uma teoria mais abrangente do valor, da troca e da distribuição. O ponto central de sua teoria foi o desenvolvimento de uma exposição matemática das leis do mercado e da teoria do valor-utilidade. O ponto de partida foi o indivíduo e suas necessidades e, baseando-se nos princípios da filosofia hedonista de Bentham, definiu utilidade como a capacidade que um objeto tem de provocar prazer ou impedir a dor. A explicação de Jevons para a formação do valor de troca e do preço baseia-se numa adaptação da Segunda Lei de Gossen e afirma que, quando uma mercadoria é capaz de satisfazer necessidades em vários usos diferentes, ela fica entre eles distribuída de tal modo que seu grau de utilidade será o mesmo em todos os usos.

Em 1954, Bernoulli publica um artigo intitulado *Exposition of a new theory on the measurement of risk*, onde propõe uma nova abordagem para a teoria da utilidade desenvolvida até então. O postulado básico é que o valor de um projeto de investimento não está ligado ao conjunto de suas rentabilidades possíveis, mas ao conjunto dos níveis de utilidade que lhe são associados. Resumidamente, a utilidade nada mais é do que um número utilizado pelo decisor para medir o valor dos ganhos em função de vários graus de incerteza.

Será utilizado um exemplo, extraído de Pindyck e Rubinfeld (1994), relacionado com empregos para descrever o modo pelo qual as pessoas poderiam avaliar resultados de risco. No entanto, este princípio se aplica igualmente bem a outros

---

<sup>2</sup> Desenvolvimento das Leis do Intercâmbio Humano e Regras Decorrentes para a Atuação do Homem.

<sup>3</sup> A Teoria da Economia Política.

tipos de escolhas, tal como propôs Bernoulli na escolha de projetos de investimentos.

O modo pelo qual se pode descrever as preferências de um consumidor em termos de risco está apresentado na figura 1. Neste exemplo, uma pessoa está avaliando entre ter uma renda garantida de UM 20.000 a uma tentativa com probabilidade igual a 0,5 em uma renda de UM 10.000 ou então em uma renda de UM 30.000 também com probabilidade de 0,5. A curva OB representa a função utilidade do consumidor, e informa qual o nível de utilidade, no eixo vertical medido em *útils*, que ele pode obter para cada nível de rendimento, no eixo horizontal chamado “montante do ganho” e que pode ser medido em unidades monetárias (UM). O nível de utilidade aumenta de 10 para 16, e depois para 18, à medida que a renda aumenta de UM 10.000 para UM 20.000, e depois para UM 30.000. Entretanto, é possível observar que a utilidade marginal é decrescente, passando de 10, quando a renda aumenta de 0 para UM 10.000, para 6, quando a renda aumenta de UM 10.000 para UM 20.000, e depois para 2, quando a renda aumenta de UM 20.000 para UM 30.000.

Supondo que este consumidor possua uma renda de UM 15.000, e esteja considerando a possibilidade de mudar de emprego, porém para um emprego de risco, que poderia possibilitar uma renda duplicada de UM 30.000, ou cair para UM 10.000. A probabilidade para ambas as rendas é igual a 50%. Observando a figura 1 é possível verificar que o nível de utilidade associado com uma renda de UM 10.000 é 10, e a utilidade associada com um nível de renda de UM 30.000 é 18. O emprego do risco deve ser comparado com o atual emprego, para o qual o nível de utilidade é 13.

O novo emprego poderá ser avaliado através do cálculo do valor esperado da renda resultante, ou seja, a utilidade esperada que o consumidor poderia obter, dada pela soma das utilidades associadas com todos os possíveis resultados, ponderada mediante a probabilidade da ocorrência de cada resultado. Neste caso se tem:  $E(u) = 0,5 \times (10) + 0,5 \times (18) = 14$ . Através da análise do gráfico da figura 1 é possível deduzir que o novo emprego de risco seria preferível ao emprego original, visto que a utilidade esperada é maior.

Todavia, a preferência pelo risco não é uma atitude comum para a maioria das pessoas. Pindyck e Rubinfeld (1994, p. 187) afirmam que “é possível observar este comportamento de forma bastante clara observando o grande número de riscos

contra os quais as pessoas adquirem seguros”. E para complementar esta afirmação os autores acrescentam que “a maioria não adquire seguro de vida como também seguro-saúde e seguro de automóveis, procurando também ocupações que ofereçam salários relativamente estáveis”. Através destas colocações se faz um paralelo com a análise de investimentos e poderia se explicar a razão pela qual a maioria dos gestores de empresas preferem investimentos de menor risco aos de maior, mesmo abrindo mão de um possível ganho monetário mais elevado, justificando desta maneira o raciocínio em termos de equivalente-certeza no âmbito da avaliação de investimentos.

A figura 1 refere-se a uma pessoa avessa ao risco, pois supondo que ela pudesse optar entre uma renda garantida de UM 20.000 e um outro emprego com probabilidade 0,5 para uma renda de UM 30.000 e igual probabilidade para uma renda de UM 10.000, de tal modo que a renda esperada fosse de UM 20.000, pode-se efetuar uma comparação de utilidade esperada, associada com o emprego de risco, com a utilidade gerada caso os UM 20.000 fossem recebidos sem qualquer risco. A comparação mostra que a utilidade da renda certa de UM 20.000 é de 16 e que a utilidade associada à renda incerta é de 14, ou seja, o nível de utilidade é claramente mais elevado do que o nível da utilidade esperada associada com o emprego de risco.

Quando a pessoa é neutra a riscos, ela mostra-se indiferente entre o recebimento de uma renda garantida e o recebimento de uma renda incerta que apresente o mesmo valor de renda esperada, e neste caso a utilidade marginal é constante, de tal modo que a renda que recebem pode ser utilizada como indicador de seu nível de bem-estar. A figura 2a mostra esta situação, pois a utilidade associada ao emprego com iguais probabilidades de gerar uma renda de UM 10.000 ou de UM 30.000 é 12, da mesma forma que também é 12 o nível de utilidade associado ao recebimento de uma renda garantida de UM 20.000.

A figura 2b apresenta o terceiro tipo de comportamento com relação ao risco, aquele em que a pessoa aprecia riscos. Neste caso, a utilidade esperada de uma renda incerta de UM 10.000 com probabilidade 0,5 ou então de UM 30.000 com probabilidade de 0,5 é mais elevada do que o nível de utilidade associado com a renda garantida de UM 20.000.

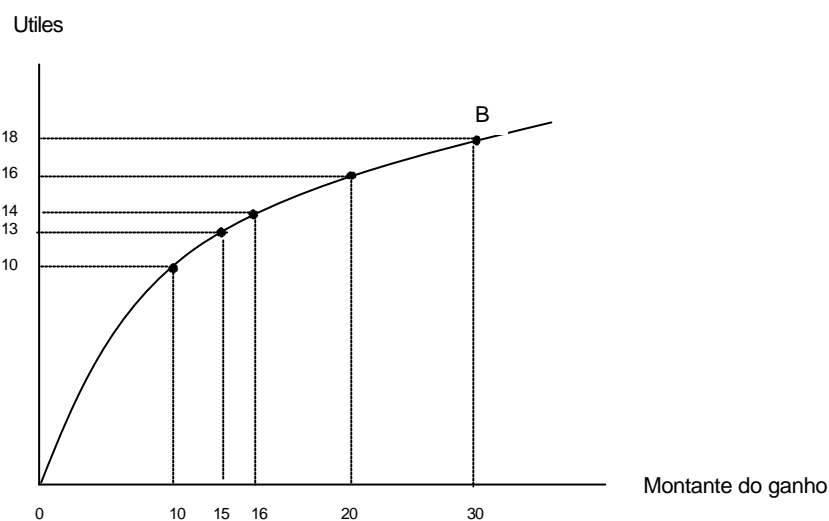
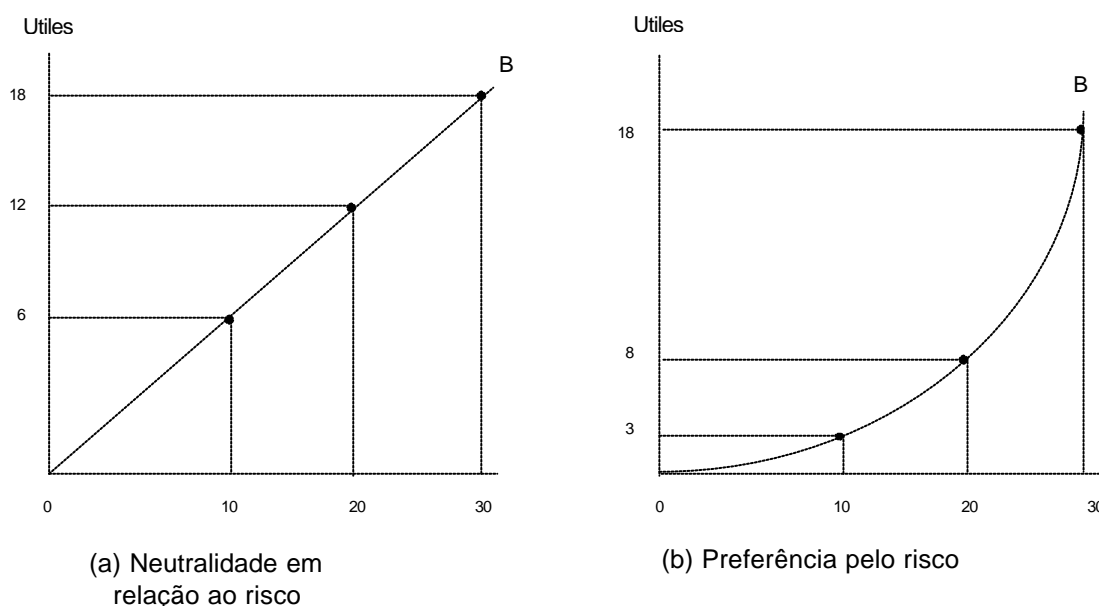


Figura 1 – Representação da função utilidade para aversão ao risco. Fonte: adaptado de Pindyck e Rubinfeld, 1994, p.188.



(a) Neutralidade em relação ao risco

(b) Preferência pelo risco

Figura 2 – Representação para risco neutro e preferência ao risco. Fonte: adaptado de Pindyck e Rubinfeld, 1994, p.188.

A importância da Teoria da Utilidade consiste em atribuir uma utilidade apropriada à cada possível evento e calcular o valor esperado para cada alternativa, e, a partir disso, escolher o melhor projeto com base no maior valor esperado da utilidade. Um modelo usando utilidade para incorporar o risco em análise de investimento de capital é apresentado em Ouederni e Sullivan (1991).

A utilidade desempenha um papel importante na análise do risco de um negócio pois mapeia um estado ou uma seqüência de estados e transforma em um número real que descreve o grau de felicidade associado. A especificação completa da utilidade permite decisões racionais em dois tipos de casos nos quais os objetivos são inadequados. Primeiro, quando existem objetivos contraditórios, dos quais apenas um pode ser atingido, a utilidade especifica o compromisso adequando. Segundo, quando existem vários objetivos que o decisor deseja alcançar e nenhum deles pode ser atingido com certeza, a utilidade fornece um meio pelo qual a probabilidade de sucesso pode ser ponderada em relação à importância dos objetivos.

O segundo caso descrito no parágrafo anterior é adequado a este trabalho, pois, conforme será descrito nos próximos capítulos, o modelo proposto é orientado para a utilidade, o que levará o decisor a escolha de uma ação, no caso uma decisão de investimento, que mede a sua preferência entre os estados de um mundo, no caso um mundo simulado representado por um jogo de empresas.

### **2.2.2. Análise de Sensibilidade**

Decisores são tipicamente interessados na ampla gama de resultados que poderiam ocorrer em função das variações nas estimativas dos dados do investimento (Thuesen e Fabrycky, 1993). A “análise de sensibilidade” permite a obtenção destes números, pois estuda o efeito que a variação de um dado de entrada pode ocasionar nos resultados (Casarotto e Kopittke, 2000), embora não leve à obtenção de uma distribuição de probabilidade para estes, sendo uma maneira simples e rápida de se ter uma idéia da variabilidade da rentabilidade.

Esta técnica pode ser utilizada para problemas que envolvam uma única alternativa, e neste caso aceita-se ou rejeita-se a mesma, ou para problemas que envolvam múltiplas alternativas de escolha.

No primeiro caso, conforme Casarotto e Kopittke (2000, p.341), tem-se, por exemplo, o investimento em “equipamentos e treinamento de pessoal para lançar um calçado de verão”. Dentre as variáveis de análise estão a previsão de vendas, o investimento inicial, a receita mensal, os custos variáveis, os custos fixos e o valor residual. De posse dos valores para cada variável calcula-se a TIR para cada

variação percentual nas vendas esperadas. Com a TMA da empresa é possível determinar o ponto de equilíbrio, o qual indica até que ponto a variação da demanda pode chegar sem comprometer a rentabilidade esperada da empresa. As variáveis envolvidas dependerão do interesse do decisor, gerando tantas comparações quantas achar necessárias para a análise do investimento em questão.

Nos problemas que envolvem múltiplas alternativas a utilização da técnica é um pouco mais complexa, contudo, o princípio é o mesmo (Thuesen e Fabrycky, 1993). Neste caso, o decisor, após fazer a análise de sensibilidade para cada alternativa individual, pode ter tantas escolhas quanto o número de alternativas, pois pode escolher uma alternativa para uma determinada faixa de valores de uma variável e escolher outra alternativa para outra faixa de valores da mesma variável. Com isso se tem uma análise mais complexa, contudo, o decisor terá um entendimento melhor dos efeitos das estimativas futuras de cada alternativa.

Tradicionalmente esta técnica ignora dados probabilísticos sobre as variáveis. Contudo, Eschenbach e Gimpel (1990) apresentaram um artigo que trata da análise de sensibilidade estocástica, onde, segundo os autores, é apresentado um caminho dos efeitos da variação estocástica para as variáveis do problema em questão. Neste trabalho, a análise de sensibilidade não será tratada conforme a abordagem proposta por estes autores, pois a mesma envolve um grau de complexidade que não faz parte do escopo desta tese.

### **2.2.3. O Método de Avaliação para Projetos Seqüenciais**

Em muitas situações as decisões do futuro são afetadas pelas ações tomadas no presente, e freqüentemente decisões são feitas sem a consideração dos seus efeitos a longo prazo (Thuesen e Fabrycky, 1993). Considerando que um investimento raramente é reversível e que a empresa deverá suportar as suas conseqüências quer ele se mostre uma decisão acertada ou não, é compreensível que ela procure diminuir os riscos e a extensão dos fracassos, procurando substituir um comprometimento único e total dos recursos em um determinado momento, por uma série de comprometimentos limitados.

Neste tipo de análise, cuja consideração de uma seqüência de decisões é importante, usa-se o Método da Árvore de Decisão, pois, para Casarotto e Kopittke

(2000), o diagrama representativo de um investimento feito sob esta forma é um instrumento de análise que propicia as melhores condições ao decisor de visualizar os riscos, as opções e as vantagens financeiras das diversas alternativas de ação.

O nome do método provém da forma gráfica que análise assume pois mostra em ramificações em forma de galhos cada possível alternativa (Ensslin, 1977). É uma maneira de visualizar as conseqüências de decisões atuais e futuras bem como os eventos aleatórios relacionados (Casarotto e Kopittke, 2000). Em sua forma geral a estrutura da árvore de decisão é representada conforme a figura 3.

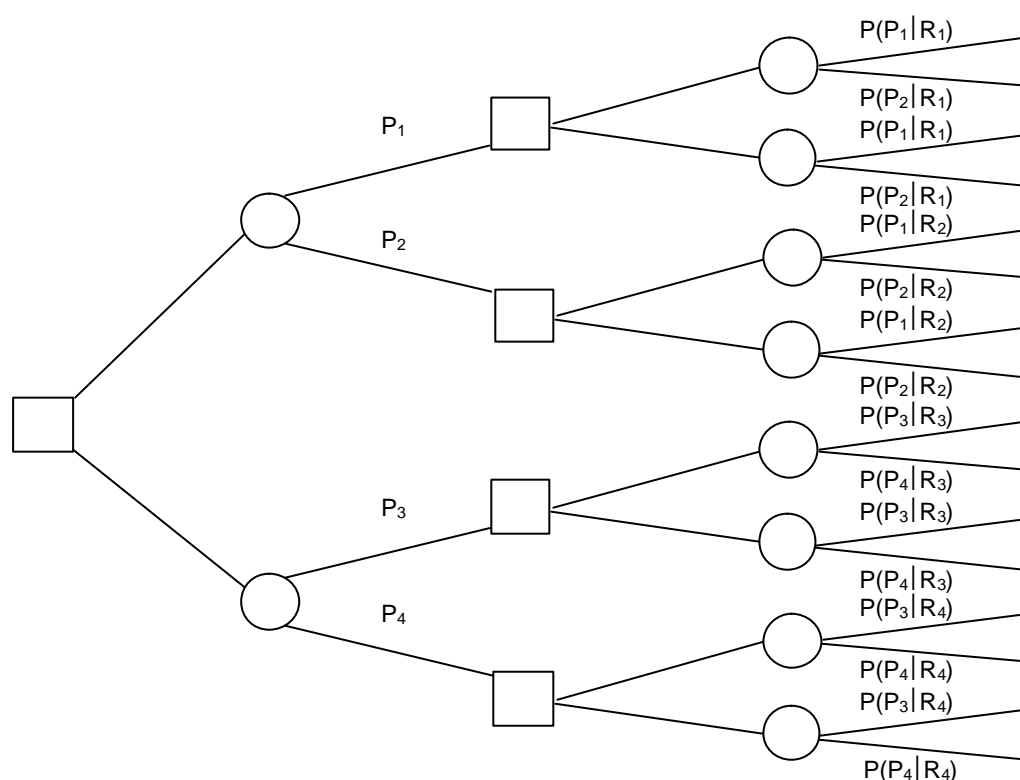


Figura 3 – Representação de uma árvore de decisão. Fonte: adaptado de Gaslene et alli, 1997, p.181.

Na figura 3 os nós quadrados representam as decisões a serem tomadas ( $A_1, A_2, \dots$  e  $B_1, B_2, \dots$ ), os nós redondos representam os eventos aleatórios, ou seja, as incertezas envolvidas no processo que possuem as probabilidades *a priori* de realização  $P_1, P_2, P_3, P_4, \dots$ ; as probabilidades condicionais  $P(P_x|R_x)$ , com  $x = 1, 2, \dots n$ , representam a probabilidade de ocorrência da previsão dado o resultado real.

O processo de construção da árvore envolve três etapas. A primeira é a geração de alternativas, onde é elaborado o diagrama com todas as escolhas possíveis para o problema em questão. Essa etapa não é indispensável para uma

boa análise do problema, porém o traçado do diagrama ajuda a prever todas as alternativas possíveis sendo por isso importante.

O próximo passo envolve a atribuição das probabilidades às diferentes alternativas relacionadas anteriormente, são as probabilidades condicionais representadas na figura 3. Elas são subjetivas e obtidas através da opinião que pode vir de múltiplas fontes, tanto internas quanto externas à empresa, são as chamadas probabilidades *a priori*.

A terceira etapa envolve a avaliação dos resultados associados às diferentes alternativas e o procedimento “rolar para trás”. As probabilidades *a priori* obtidas subjetivamente são retroativas, mas o que se deseja em análise de investimentos é trabalhar prospectivamente, significando pois, conforme Casarotto e Kopittke (2000), partir da previsão e determinar a probabilidade de acontecimento do resultado real. Para isso deve-se inverter as probabilidades através da aplicação do Teorema de Bayes<sup>4</sup> obtendo-se então todos os valores de  $P(R_X|P_X)$ .

No procedimento “rolar para trás” calcula-se o valor esperado de cada uma das decisões e escolhe-se aquela que apresentar o maior valor. Obtêm-se os valores iniciando o processo no final das ramificações, no lado direito, e retornando-se ao início sempre com as melhores alternativas em cada nó de decisão (Ensslin, 1977), determinando através desta seqüência qual será a escolhida pelo decisor. O valor esperado é dado pela fórmula:

$$E(A_i, B_i, \dots) = \sum_{i=1}^n p_i \cdot x_i$$

onde:

- $E(A_i, B_i, \dots)$  - valor esperado dos ganhos associados ao evento aleatório posterior a cada decisão;
- $p_i$  - probabilidade condicional  $P(R_X|P_X)$  relacionada a cada alternativa;
- $x_i$  - rendimento associado a cada alternativa.

---

<sup>4</sup> Dado pela fórmula:  $P(A_k|B) = \frac{P(A_k) \cdot P(B|A_k)}{\sum_{i=1}^n P(A_i) \cdot P(B|A_i)}$



O método clássico de árvore de decisão representa um importante passo para a racionalidade de decisões dos dirigentes de empresas frente a problemas que envolvem risco, pois, como afirmam Casarotto e Kopittke (2000), este método permite a concepção e o controle de um bom número de problemas de investimentos sujeitos a risco.

A despeito da utilidade e elegância, vários autores têm criticado o método ao longo do tempo, em função da complexidade da árvore quando se adicionam nós, dificultando com isso a análise de problemas que reflitam a realidade. O uso de computadores compensa parcialmente esta deficiência.

A principal crítica ao método diz respeito à maneira como é tratada a incerteza relativa aos parâmetros do modelo, visto que alguns são considerados como certos apesar de seus aspectos incertos. O caráter determinístico, apontado como uma deficiência, motivou o uso de abordagens estocásticas associadas à árvore de decisão.

O método de Herz foi integrado ao método da árvore de decisão por Hespos e Strassmann e desta forma, conforme Ensslin (1977), as quantidades determinísticas passaram a ter uma distribuição de probabilidades para cada período de tempo. O assim chamado Método da Árvore de Decisão Estocástica permite então que se incorpore informações completas à análise, ou seja, sua inteira distribuição de probabilidades, pois os resultados são obtidos através de simulação e assim as estimativas *a priori* assume outra dimensão. O diagrama assume a forma apresentada na figura 4.

Este método simplifica bastante a estrutura da árvore, pois basta reduzir a um ramo o número de ramos do nodo de chance ao qual será associada posteriormente a distribuição de rendimentos possíveis obtida pela simulação. Com isso, complementa Ensslin (1977, p.127), “é freqüentemente possível realizar a avaliação através de uma enumeração completa de todas as possíveis alternativas de ocorrência, pois via de regra elas são em número reduzido”.

Na avaliação dos resultados associados às diversas decisões em potencial o valor esperado é substituído por uma distribuição de probabilidades, e no processo de “rolar para trás” procede-se uma série de comparações entre as diversas distribuições associadas às variações do investimento. É nesta etapa que se faz uso da noção da função utilidade por parte do decisor, sendo a escolhida a opção que apresentar o maior valor.

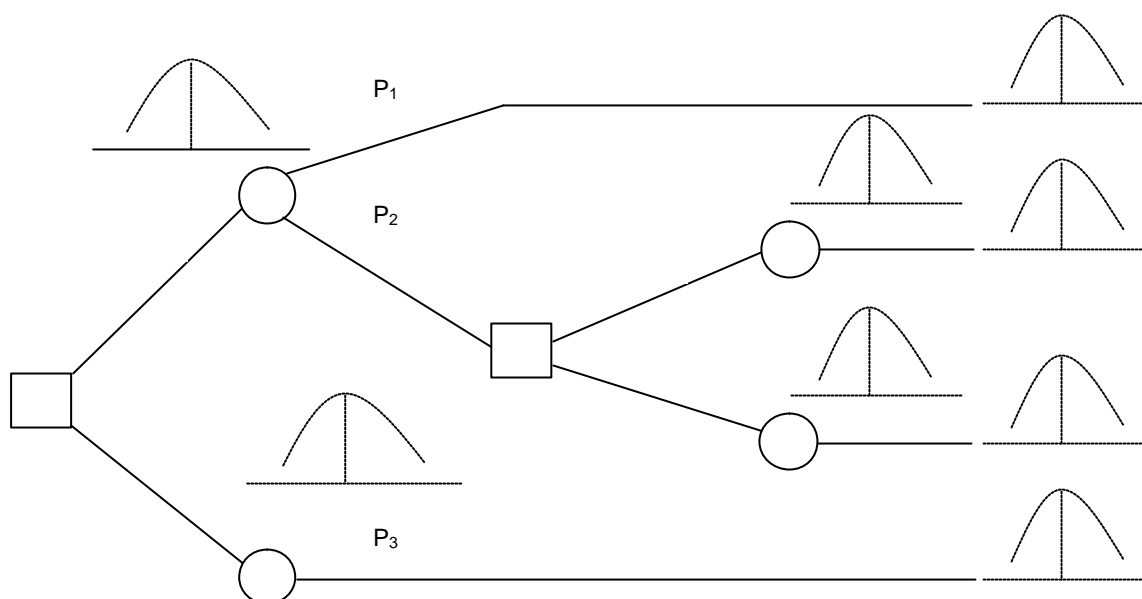


Figura 4 – Árvore de decisão estocástica. Fonte: adaptado de Ensslin, 1977, p.126.

Este método tem sido utilizado com bastante freqüência em novas abordagens para o trato da análise de risco. Pode-se observar no trabalho de Park e Herath (2003) que trata do uso das opções reais e faz uma comparação com este método tradicional. Chen, Hsu e Chou (2003), no periódico *Expert Systems with Applications*, apresentam uma árvore de decisão cujos atributos são apresentados como multivalores e desenvolvem um algoritmo para solucionar o problema.

### 2.3. Considerações Finais

Este capítulo mostrou uma síntese da análise de investimentos em seus aspectos qualitativos e principalmente quantitativos, pois são estes últimos que serão utilizados na abordagem proposta.

Dentre os aspectos quantitativos, foram apresentados os métodos probabilísticos para tomada de decisão econômica entre alternativas de investimentos sob a perspectiva de vários autores, suas considerações e críticas a respeito de cada método.

As situações que envolvem decisões sob condições de risco e incerteza têm sido alvo de vários estudos que levam ao desenvolvimento de métodos e técnicas

para a solução do problema, cujo objetivo principal é do que transformar a incerteza em risco e com isso ter uma medida para a análise econômica.

A abordagem Bayesiana tem sido bastante explorada nas análises de investimentos de capital sujeitas a risco e a aplicação de sistemas especialistas probabilísticos para a solução deste tipo de problema é uma alternativa válida dentro deste contexto. O próximo capítulo enfatiza este aspecto e mostra como os SEP podem ser utilizados dentro da engenharia econômica e com isso solucionar problemas de análise de investimentos envolvendo risco.

### **3. A ABORDAGEM DOS SISTEMAS ESPECIALISTAS PROBABILÍSTICOS PARA TRATAR AS DECISÕES SOB RISCO**

Neste capítulo será apresentada a abordagem dos sistemas especialistas probabilísticos (SEP) para tratar os problemas que envolvem decisões a serem tomadas sob risco, realizando uma fundamentação teórica bem como uma análise crítica.

Para isso, serão apresentadas considerações gerais sobre probabilidade, a análise do apoio à decisão através do uso de sistemas especialistas, os componentes básicos, o processo de inferência, valor da informação e o conceito de entropia. Por fim é apresentada a *Shell* SPIRIT e aplicações de SEP.

#### **3.1. Considerações Gerais sobre Probabilidade**

Fenômenos aleatórios ou probabilísticos são aqueles em que não se pode prever com certeza o resultado de um experimento, porém é possível, em geral, relacionar todos os resultados possíveis de acontecer. Neste contexto, Soares et alii (1991, p.42) afirmam que “o conceito de probabilidade é fundamental para o estudo de situações onde os resultados são variáveis, mesmo quando mantidas inalteradas as condições de sua realização”, sendo que segundo Bekman e Neto (1980, p.5) “o cálculo de probabilidades é um ferramental matemático que se presta ao estudo de fenômenos aleatórios ou probabilísticos”.

Antes de definir probabilidade é necessário fixar alguns conceitos fundamentais, relacionados a seguir.

Por experimento aleatório entenda-se “o processo de coleta de dados relativos a um fenômeno que acusa variabilidade em seus resultados” (Soares et alii, 1991, p.42).

Um espaço amostral ou espaço de possibilidades é denominado “o conjunto de todos os possíveis resultados de um experimento aleatório” (Bekman e Neto, 1980, p.5), neste trabalho denotado por “E”. No caso do lançamento de um dado honesto,  $E = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ , ou para o lançamento de 3 moedas, também honestas,  $E =$

{CCC, CCK, CKC, KCC, KKC, KCK, CKK, KKK}, onde “C” representa “coroa” e “K” representa “cara”, em cada moeda lançada. Sendo o espaço amostral um número finito ou infinito numerável de eventos, ele é denominado discreto. Por outro lado, se consiste em todos os números reais de determinado intervalo, ele é então dito contínuo.

Quando é dado um experimento aleatório, por exemplo “lançamento de um dado”, pode haver o interesse por eventos constituídos por um resultado elementar, {1}, {2}, {3}, {4}, {5} e {6}, ou então vários resultados elementares do espaço amostral “E”, {1,4}, {3, 4, 5}, {2, 4, 6}, etc, no caso do exemplo citado acima. Assim, Soares et alii (1991, p.42) definem evento como “um subconjunto de um espaço amostral”, e é chamado espaço amostral simples quando constituído de um evento simples, como mostrado.

A definição clássica é a que diz que a probabilidade é a relação entre o número de resultados para os quais um evento qualquer “A” se verifica para o número de todos os resultados possíveis do espaço amostral “E”. Logo, sendo “A” o evento de interesse, P(A) a probabilidade de acontecimento deste evento e é dada por:

$$P(A) = \frac{\text{Número de resultados favoráveis ao evento "A"}}{\text{Número dos resultados possíveis do espaço amostral "E"}}$$

No entanto, observou-se que a definição clássica limitava-se a espaços amostrais onde os eventos elementares eram igualmente possíveis, caso da maioria dos jogos de azar, justamente onde se deram as primeiras soluções através da teoria das probabilidades para problemas práticos.

Surge então a definição freqüencialista para a probabilidade, “na qual esta é considerada como o limite para o qual tende a freqüência relativa, quando o experimento é repetido indefinidamente nas mesmas condições” (Bekman e Neto, 1980, p.7). É importante ressaltar que esta definição só se aplica aos casos em que o experimento pode ser repetido, sob condições idênticas, em uma série suficientemente grande de realizações. Neste caso, a definição citada desautoriza afirmações probabilísticas a respeito do evento “chover amanhã”, pois o dia de amanhã não se repetirá novamente.

Sendo o evento “A”, a probabilidade de “A” para a definição freqüencialista é dada pela seguinte expressão:

$$P(A) = \frac{\text{Número de vezes que "A" ocorreu}}{\text{Número total de repetição do experimento}}$$

É importante ressaltar que o “número total de repetição do experimento” deve ser grande.

Soares et alii (1991, p. 44) diz que “embora nenhuma destas afirmações – clássica e freqüencialista – seja completamente rigorosa, sendo, portanto, ambas insatisfatórias do ponto de vista teórico, elas servem para que se avance bastante no conhecimento das principais idéias da Teoria das Probabilidades”.

Avançando ainda mais no conhecimento destas idéias, Bekman e Neto (1980, p.7) afirmam que “modernamente, adota-se uma definição axiomática para a probabilidade, deixando aberto o problema de sua atribuição numérica, a qual poderá ser feita inclusive subjetivamente, de acordo com a opinião de cada analista”. Com isso o campo de aplicação dos métodos probabilísticos é ampliado, sem excluir a atribuição de probabilidades objetivas.

O teologista e matemático Thomas Bayes foi o primeiro a usar a probabilidade indutiva e que estabeleceu uma base matemática para a inferência probabilística.

O seu trabalho intitulado “Ensaio para resolver um problema na doutrina das probabilidades” foi publicado por Richard Price em 1763, e transformou-se na base da técnica estatística chamada de estimação Bayesiana que visa calcular a validade da probabilidade de uma proporção na base de uma estimativa prévia de sua probabilidade e nova evidência relevante. Os estatísticos mais conservadores indicam como desvantagens do método as maneiras diferentes de atribuir distribuições prévias dos parâmetros e possíveis sensibilidades das conclusões à escolha das distribuições.

Contudo, apesar da polêmica, o chamado Teorema de Bayes, elaborado a partir do método enunciado pelo matemático de mesmo nome, foi o ponto de partida básico para resolver problemas de inferência usando a teoria da probabilidade como lógica, e portanto observa-se que desde o século XVII, principalmente com Thomas Bayes, entre outros estudiosos, a Teoria da Probabilidade tem sido desenvolvida e aplicada nos mais variados campos científicos.

Segue uma apresentação formal do teorema no anexo II.

## **3.2. A Representação Gráfica do Conhecimento Probabilístico**

A principal idéia por trás da representação gráfica para descrever acontecimentos do mundo real é de que não é necessário usar uma grande tabela de probabilidades conjuntas na qual são listadas as probabilidades de todas as combinações possíveis de um evento observado. Isso significa que a maioria dos eventos é condicionalmente independente da maioria dos outros, ou seja, as interações não precisam ser consideradas.

No lugar de uma grande tabela de probabilidades pode-se usar uma representação mais local, em que são descritos agrupamentos de eventos que interagem.

Segundo Jensen et alli (1990) a característica principal das redes probabilísticas é a habilidade para explorar a estrutura do grafo e reduzir o cálculo (da probabilidade condicional de um evento, dada a evidência disponível) a uma série de cálculos locais, usando somente variáveis obtidas de um nó e seus vizinhos em uma estrutura de grafo, evitando calcular a função de distribuição de probabilidades conjunta global. A representação gráfica também explicita relações de dependências e constitui uma ferramenta poderosa na aquisição de conhecimentos e no processo de verificação.

Sucar e Martinez-Arroyo (1998) propõem um desenvolvimento híbrido para a estruturação da rede Bayesiana, onde o sistema desenvolvido proporciona a interação do especialista com a rede e este pode modificá-la conforme o domínio de seu conhecimento.

### **3.2.1. Redes Bayesianas**

Uma Rede Bayesiana (RB) é uma técnica gráfica para a modelagem do conhecimento probabilístico, que utiliza nós para representar as variáveis aleatórias de um determinado modelo e arcos, ligando dois nós, para representar as dependências probabilísticas entre as variáveis relacionadas. Cada nó possui a função de distribuição de probabilidades condicional dos vabres que podem ser

assumidos pela variável aleatória associada, dado os valores de probabilidade dos nós que estão diretamente ligados ao nó em questão, chamados nós pais.

Nas palavras de Pearl (1988, p.117) “Redes Bayesianas são DAGs<sup>5</sup> nos quais os nós representam variáveis, os arcos significam a existência influências causais diretas entre as variáveis ligadas, e a força destas influências é expressa pelas probabilidades condicionais presumidas”.

O nome Rede Bayesiana origina-se do fato de que a mesma utiliza o Teorema de Bayes para o cálculo da propagação das probabilidades na rede.

### 3.2.2. Estruturas Gerais

As redes bayesianas podem ser representadas por três estruturas gerais que são chamadas: ligação divergente, ligação convergente e ligação em série, e estão representadas na figura 5.

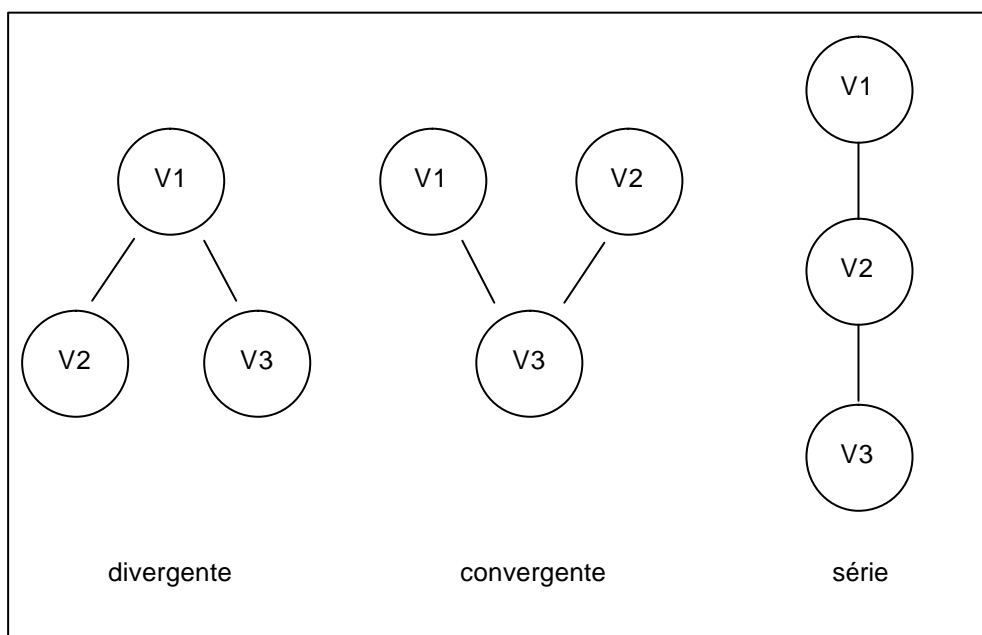


Figura 5 – representação das 3 estruturas gerais de uma RB.

A ligação divergente descreve o caso em que V1 é um indício de causa para V2 e V3, os quais por sua vez são ligados somente através de V1. Com isso V2 e V3

---

<sup>5</sup> Directed Acyclic Graphs (Gáficos Acíclicos Diretos), representam as relações de causalidade entre variáveis.



são condicionais independentes dado  $V_1$ . A distribuição total pode ser calculada através de:

$$P(V_1 = v_1, V_2 = v_2, V_3 = v_3) = p(v_1) \cdot p(v_2|v_1) \cdot p(v_3|v_1)$$

Na ligação convergente se nada é conhecido sobre  $V_3$  exceto o que pode ser inferido do conhecimento de  $V_1$  ou  $V_2$ , então estes são ditos independentes, ou seja, a evidência de um deles não influencia a certeza de outros. Neste caso a distribuição total pode ser calculada pela fórmula:

$$P(V_1 = v_1, V_2 = v_2, V_3 = v_3) = p(v_1) \cdot p(v_2) \cdot p(v_3|v_1, v_2)$$

O caso da ligação em série representa a situação em que  $V_1$  tem influência em  $V_2$  que por sua vez tem influência em  $V_3$ . Óbvio que a evidência em  $V_1$  influencia a certeza em  $V_2$  a qual tem a influência em  $V_3$ . De maneira similar pode-se dizer que uma evidência em  $V_3$  influencia a certeza de  $V_1$  através de  $V_2$ . Então a distribuição total de probabilidade neste caso é dada pela fórmula:

$$P(V_1 = v_1, V_2 = v_2, V_3 = v_3) = p(v_1) \cdot p(v_2|v_1) \cdot p(v_3|v_2)$$

### 3.2.3. Modelagem de uma Rede Bayesiana

Este tipo de rede causal é elaborada a partir de um especialista na área pesquisada, o qual transfere seus conhecimentos do domínio de aplicação para o responsável pela modelagem da Rede Bayesiana. Este por sua vez elabora o diagrama da rede através de um mapeamento correto entre causas e efeitos.

É importante ressaltar que há duas maneiras pelas quais proposições podem influenciar na possibilidade umas das outras, e a idéia da estrutura da Rede Bayesiana é fazer uma distinção entre os dois tipos de influência. O primeiro tipo é

que as causas influenciam a possibilidade de seus efeitos e o segundo tipo é que a observação de um efeito afeta a possibilidade de todas as suas causas possíveis.

Considerando as seguintes variáveis médicas como exemplo (Beirle e Kern Insbern, 2000, p.306):

A: metástase de câncer

B: altos valores de cálcio sérico

C: tumor cerebral

D: coma

E: forte dor-de-cabeça

A figura 6 representa as dependências probabilísticas entre as variáveis, e é a parte qualitativa da rede, onde as variáveis são os nós e as regras, que são as relações de dependência condicional entre as variáveis, são os arcos direcionados.

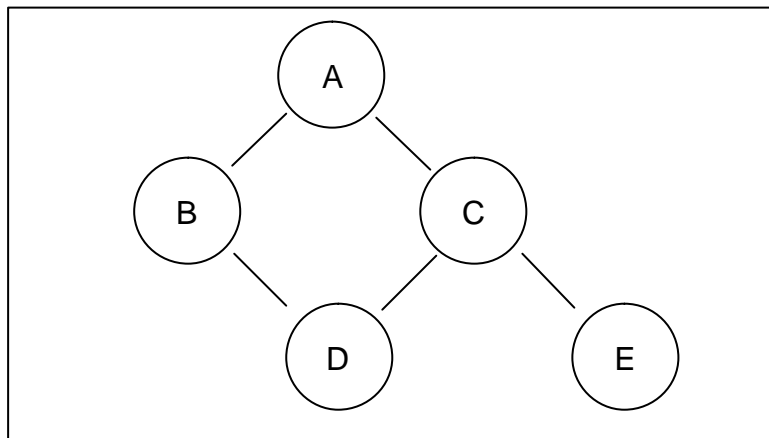


Figura 6 – DAG do exemplo das variáveis médicas. Fonte: adaptado de Beierle e Kern-Insbern, 2000, p.306.

“A” representa uma possível causa direta para “B” e “C”, uma confirmação de “A” aumenta a probabilidade de serem verdadeiras tanto “B” quanto “C”. “B” e “C” serão vistas como possíveis causas diretas de “D”, e somente “C” pode também provocar “E”. As variáveis que não possuem arcos ligando-as, são ditas variáveis independentes.

A outra parte da modelagem da Rede Bayesiana é a chamada parte quantitativa, e é o conjunto de probabilidades condicionais associadas aos arcos existentes no modelo gráfico e as probabilidades estimadas a priori das hipóteses.

No exemplo citado tem-se para a distribuição total a seguinte expressão:

$$P(A,B,C,D,E) = P(A).P(B | A).P(C | AB).P(D | ABC).P(E | ABCD)$$

Contudo, para Pearl (1988) “muitos eventos reais são condicionalmente independentes de outros eventos”, ou seja, para o exemplo, “A” é irrelevante para a crença sobre “E” se for conhecido “C”. Com isso é possível desprezar combinações irrelevantes e acelerar o cálculo levando em conta somente as dependências funcionais.

Logo, considerando a independência condicional, a distribuição “P” pode ser expressa por:

$$P(A,B,C,D,E) = P(A).P(B | A).P(C | A).P(D | BC).P(E | C)$$

Com isso “P” pode ser totalmente fixado através das seguintes probabilidades condicionais, que para o exemplo são:

$$P(a) = 0,20$$

$$P(b | a) = 0,80$$

$$P(b | \bar{a}) = 0,80$$

$$P(c | a) = 0,20$$

$$P(e | c) = 0,80$$

$$P(d | bc) = 0,80$$

$$P(d | \bar{b}\bar{c}) = 0,70$$

$$P(b | \bar{a}) = 0,20$$

$$P(b | a) = 0,20$$

$$P(c | \bar{a}) = 0,05$$

$$P(e | \bar{c}) = 0,60$$

$$P(d | b\bar{c}) = 0,90$$

$$P(d | \bar{b}c) = 0,05$$

A título de explicação,  $P(c | a) = 0,20$  significa que a probabilidade de um paciente ter tumor no cérebro, variável “C”, dado que tenha metástase de câncer, variável “A”, é 20%.

### 3.2.4. Redes de Markov

Fernandes (1999) define Redes de Markov como “um formalismo de modelagem de sistemas que descrevem o sistema como um processo estocástico. Deste ponto de vista o sistema modelado é caracterizado pelos seus estados e a forma pela qual eles se alternam”.

Müller-Merbach (1993, p. 432) afirma que neste tipo de rede “o passado influencia o futuro somente através do presente. Isso significa que os

acontecimentos do passado são derrubados pelos processos de estados do presente, e que o futuro somente é construído através dos estados do presente”.

As Redes de Markov podem ser compreendidas a exemplo de uma máquina de estados, que caracteriza o funcionamento de um sistema pelos estados que ele pode assumir e das transições que ele pode assumir, independente das relações causais entre as variáveis, ou seja, ao contrário das Redes Bayesianas, são gráficos não direcionados.

O exemplo apresentado por Fernandes (1999) ilustra uma rede deste tipo.

Suponha-se um computador conectado a uma rede. Suponha-se que os estados observáveis deste computador como desligado, ligado e ocioso, ligado e transmitindo, ligado e recebendo. Suponha-se ainda que após ser ligado um computador estará sempre no estado ocioso.

Uma representação da Rede de Markov que descreve este sistema seria, conforme a figura 7.

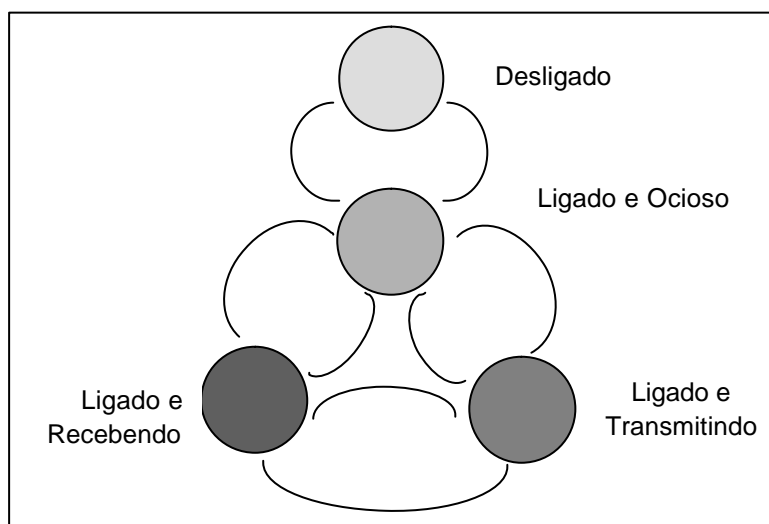


Figura 7 – Exemplo de Rede de Markov. Fonte: Fernandes, 1999.

### 3.3. O Valor da Informação

Segundo Bekman & Neto (1980, p.8), “o estabelecimento de uma probabilidade está, em geral, diretamente relacionado com o estado da informação disponível”, ou seja, a probabilidade de um evento qualquer “A” modifica-se quando se tem a informação sobre a ocorrência de um outro evento qualquer associado, sendo freqüente esta situação.

Designando por  $P(A)$  a probabilidade de ocorrência de um evento qualquer “A”, é possível atribuir um valor para esta apenas pelo conhecimento da mecânica do experimento correspondente.

No entanto se a informação da ocorrência de um evento “B” afetar o valor da probabilidade do evento “A”, é dito que a probabilidade de “A” está condicionada ao acontecimento do evento “B”, e então se tem a probabilidade condicional  $P(A|B)$ .

Soares et alii (1991, p.51) define-a como “a probabilidade do evento A, quando se sabe que o evento B ocorreu”, e pode ser calculada pela seguinte fórmula:

$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)}, \text{ sendo } P(B) > 0 \quad (3.3.1)$$

Para melhor entendimento da fórmula 3.2.1 basta verificar que o espaço amostral “E” ficou reduzido ao evento “B”.

A figura 8 mostra que a presença da intersecção no numerador é justificada considerando que a ocorrência de “A”, quando se sabe que “B” ocorreu, corresponde à ocorrência de “A” e “B”, ou seja, da sua intersecção.

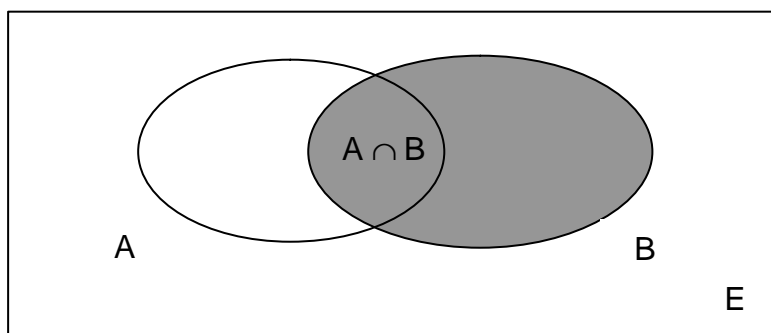


Figura 8 – intersecção A e B, representado por  $P(A|B)$ . Fonte: Soares et alii, 1991, p.52.

Analogamente a fórmula 3.2.1 pode ser escrita como:

$$P(B|A) = \frac{P(A \cap B)}{P(A)}, \text{ sendo } P(A) > 0 \quad (3.3.2)$$

E então da expressão acima resulta imediatamente a “Regra da Multiplicação” ou “Regra do Produto”, que é de ampla aplicação no cálculo de probabilidades:

$$P(A \cap B) = P(B \cap A) = P(B) \cdot P(A|B) = P(A) \cdot P(B|A) \quad (3.3.3)$$

Esta regra pode ser generalizada por indução para o caso de mais de dois eventos, por exemplo, três eventos:

$$P(A \cap B \cap C) = P(A) \cdot P(B|A) \cdot P(C|A \cap B) \quad (3.3.4)$$

Considerando o caso de dois eventos, de um dado espaço amostral, em que um deles não interfere na ocorrência do outro, ou seja, a informação de que um determinado evento “B” ocorreu é irrelevante para o estado da informação do ponto de vista da probabilidade do evento “A”, pode-se afirmar que eles são independentes.

O evento “A” é dito estatisticamente independente do evento “B” quando  $P(A|B) = P(A)$ , isso implica que também “B” será estatisticamente independente de “A” (Bekman & Neto, 1980, p.9), pois:

$$P(B|A) = \frac{P(A \cap B)}{P(A)} = \frac{P(B) \cdot P(A|B)}{P(A)} = P(B)$$

Observar que, sendo  $P(B|A) = P(B)$  implica também que  $P(A|B) = P(A)$ , a prova matemática é encontrada em Fahrmeir et alii (1997, p.204).

Nestas condições de independência estatística entre eventos, a “Regra da Multiplicação” ou “Regra do Produto” torna-se:

$$P(A \cap B) = P(A) \cdot P(B) \quad (3.3.5)$$

Generalizando para vários eventos,

$$P(A_1 \cap A_2 \cap \dots \cap A_k) = P(A_1) \cdot P(A_2) \dots P(A_k) \quad (3.3.6)$$

“Deve-se notar que a independência de eventos é função do estado de informação. Alterando-se o estado de informação, os eventos referidos poderão deixar de ser independentes. Em outras palavras, sendo  $P(A|B)$  e  $P(A)$  iguais, não

podemos concluir que  $P(A | B \cap C)$  e  $P(A | C)$  também o sejam” (Bekman & Neto, 1980, p.9-10).

Analisando do ponto de vista dos negócios, a informação é um ativo tal como o capital e o imobilizado da empresa. Contudo, ela representa uma classe particular dentre esses ativos, pois ela é, segundo McGee e Prusak (1994, p.23) infinitamente reutilizável e seu valor é determinado exclusivamente pelo usuário. A informação não se resume simplesmente a coleta de dados, ela é mais complexa e resulta além desta coleta, organização e atribuição de significado no contexto em que os dados extraídos estão inseridos.

Com a informação um curso de ação pode ser alterado para se adaptar à situação real, daí deriva o valor da informação, o quanto se está disposto a pagar por ela. Sem a informação a decisão tem de ser tomada avaliando-se a melhor opção em função da média sobre as situações possíveis, com a informação a decisão pode ser tomada de acordo com a situação que, probabilisticamente falando, apresenta a maior chance de ocorrência. Em geral, o valor de uma informação é dado como a diferença de valor esperado entre as ações antes e depois da obtenção da informação.

É importante não confundir investimentos em tecnologia da informação com a competição baseada no uso da informação, pois a primeira trata das tecnologias de informática e comunicação, representadas por máquinas que processam mais rapidamente uma quantidade maior de dados, e a segunda trata do uso inteligente da informação e exploração efetiva e eficiente das múltiplas possibilidades destas tecnologias disponíveis.

Com isso verifica-se que empresas cujos investimentos em tecnologias de informação somam elevados montantes, não necessariamente estarão capacitadas para concorrerem em termos de informação se não os utilizarem de forma a extrair dados que possam representar sucesso estratégico. As organizações que melhor conseguirem adquirir, tratar, interpretar e utilizar a informação de forma eficaz poderão tornar-se as líderes nesta competição, conseguindo grande vantagem sobre os concorrentes que não o fizerem.

Eschenbach e Gimpel (1990) utilizaram o valor esperado da informação perfeita no artigo sobre análise de sensibilidade estocástica. Mais recentemente o valor da informação também tem sido utilizado na abordagem das opções reais, como pode-se verificar em Herath e Park (2001) e Park e Herath (2000). Nestes

artigos os autores enfocam a informação perfeita e imperfeita para analisar um investimento sob a ótica das opções reais.

O assunto não se esgota nestes últimos estudos, muito pelo contrário, novas abordagens têm sido aplicadas a fim de explorar ainda mais o valor da informação e elas o uso de SEP é um novo campo para aprofundar o impacto que a informação desempenha na análise de investimentos sob risco. É esta nova abordagem que será explorada nos itens seguintes.

### **3.4. Entropia**

Os primeiros estudos sobre a teoria da informação tiveram início no final dos anos 20 com o objetivo de desenvolver uma medida quantitativa de informação para avaliar a capacidade de um sistema de comunicação. Contudo, o novo ramo da matemática, a Teoria da Informação, teve sua origem somente em 1967, com Shannon. Este pesquisador introduziu um modelo para sistemas de comunicação que utilizou o conceito de entropia, da química, como uma medida de informação, cujo objetivo é o estudo matemático do valor da informação.

Nas suas vidas as pessoas são confrontadas diariamente com transmissão de informação, processo este em crescimento constante em função dos avanços da tecnologia, tais como a internet, telefonia celular, televisão à cabo, entre outras possibilidades. A informação é percebida quando há dúvida, ou seja, existem várias alternativas e existe incerteza quanto à ocorrência dos eventos futuros. Procura-se então pesquisar informações a fim de remover as incertezas. Se, por outro lado, um evento pode ocorrer de uma única maneira, dita determinística, não há dúvida a respeito do futuro, e neste caso este evento não é objeto de informação.

Desta maneira, pode-se afirmar que aumentando a probabilidade de ocorrência de um evento, deve diminuir a informação. Se esta probabilidade for 1, ou seja, absoluta certeza, a informação contida é zero. A informação é a medida da improbabilidade de ocorrência de um evento causal. Um acontecimento raro, improvável, possui alta informação, ao passo que um acontecimento corriqueiro, com probabilidade alta de acontecimento, não é informativo. Em resumo, quanto maior a probabilidade, tanto menor é a informação e o contrário é verdadeiro. Quanto menor a probabilidade, tanto maior é a informação.



Então, várias medidas de informação têm sido definidas e estudadas, constituindo com isso a Teoria da Informação. Neste trabalho será abordada a entropia por ser a medida utilizada na *Shell* SPIRIT, que emprega os princípios da máxima entropia e mínima entropia relativa. O princípio da máxima entropia propõe que se deve escolher aquela distribuição que, respeitando certas restrições, não estabelece dependências desnecessárias entre as variáveis. Maiores informações a respeito de como o SPIRIT calcula estas probabilidades podem ser encontradas em Rödder e Meyer (1996).

A entropia absoluta  $H(W)$  de uma distribuição de probabilidade variável “W” é a informação média de uma fonte de mensagens e matematicamente, é a soma das informações médias de todos os elementos de um evento.

$$H(W) = - \sum_{i=1}^n w_i \cdot \log_2 w_i$$

onde:  $w_i$  é a probabilidade das realizações elementares sob a distribuição “W” e “ $\log_2$ ” é o logaritmo na base 2.

A unidade de informação medida pela entropia é o “bit”, que representa decisões binárias, do tipo sim/não, mais/menos, aberto/fechado, e assim por diante. Maiores detalhes podem ser encontrados em Siegfried (1975).

A entropia refere-se à fonte de informações como um todo e não somente às mensagens ou notícias individuais. Ela presta-se para medir a informação média de uma fonte de mensagens. A entropia caracteriza um valor médio de expectativa de informação de certa fonte e é medida para a indeterminação de uma fonte, para a improbabilidade, para a liberdade de escolha da fonte. Através dela, podem ser caracterizadas as fontes de informação, ou fontes de mensagens.

Quando todos os elementos de um evento qualquer comparecem com a mesma probabilidade de ocorrência, tem-se o “Princípio da Máxima Entropia” do sistema em questão. A entropia é a medida da improbabilidade de uma fonte de mensagens. Caso a distribuição de probabilidade de um evento se manifestasse com diferenças acentuadas, então se este evento fosse freqüente ele seria altamente previsível. A previsibilidade de uma fonte é mínima quando mínima a possibilidade de prever a ocorrência de cada uma de suas notícias.

Como já mencionado, quando o número de casos é fixo, então a informação terá maior valor quando mais aproximadamente idênticas possam ser as

probabilidades dos diversos casos. Contudo, há outra maneira de aumentar o valor da entropia, através do aumento do número de casos. Se todas as escolhas forem igualmente prováveis, quanto maior o número de escolhas possíveis, maior será o valor da entropia.

Tomando agora a modificação de uma distribuição de probabilidades, com várias evidências virtuais e condições virtuais de um sistema. O cálculo das novas distribuições de probabilidade torna-se bastante complexo. O “Princípio da Entropia Relativa Mínima” soluciona este problema de maneira mais simples do que o Teorema de Bayes, pois este princípio é mais geral e permite o tratamento de evidências virtuais, bem como restrições virtuais ou regras.

Seja “P” uma distribuição de probabilidade inicial e “P\*” a nova distribuição que respeita as regras  $r_i = (P^*) = x_i$ , onde  $x_i$  é a probabilidade de ocorrência, e  $i = 1, \dots, m$ . Deve-se escolher “P\*” de forma a resolver a tarefa:

$$\text{Min } R(W, P)$$

sujeita às restrições  $r_i(W) = x_i$ ,  $i = 1, \dots, m$

onde:  $R(W, P)$  é a entropia relativa entre a distribuição variável “W” e a distribuição inicial “P”. A distância entre “W” e “P” é a entropia relativa, e sua medida é definida pela seguinte fórmula:

$$R(W, P) = \sum_{i=1}^n w_i \cdot \text{ld} \frac{w_i}{p_i}$$

A solução da tarefa “Min  $R(W, P)$ ” fornece de forma ideal um “P\*” que modifica somente o valor necessário a distribuição “P”, fornece o mesmo resultado que o teorema de Bayes somente com uma evidência certa e quando se tem apenas uma evidência virtual, fornece o mesmo resultado que a generalização do teorema de Bayes.

O conceito de máxima entropia foi usado por Ahuja (2004) com o objetivo de informar preferências de decisores em linguagem probabilística. Kern-Isberner e Rödder (2004) definiram um modelo baseado em máxima entropia que simula o aprendizado humano. Outros trabalhos que aplicam o conceito de entropia são discutidos por Kern-Isberner e Rödder (2003), Rödder (2000) e Rödder e Xu (1999).

### 3.5. Sistemas Especialistas e o Apoio à Decisão

A idéia de reproduzir a capacidade humana em diversos sentidos é muito antiga. No século 17 surgem as primeiras idéias com o objetivo de converter um mecanismo inanimado num ser com características humanas. No entanto, somente a partir do século 20 investigações formais começaram a acontecer, sendo que na conferência de Dartmouth em 1956 surgiu um novo ramo da ciência denominado Inteligência Artificial (IA). Para Wilhelm et alli (1995) alguns desafios tem merecido especial atenção no desenvolvimento de sistemas capazes de reproduzir a capacidade humana, como por exemplo, (a) manipular conhecimento vago; e (b) apesar de dispor de conhecimentos vagos e incompletos, conseguir tomar decisões e resolver questões complexas sem contradições.

Na definição de Liebowitz (1988) um SE é um programa de computador que emula o comportamento de especialistas humanos em um domínio específico de conhecimento. Eles são particularmente relevantes para inferir e deduzir problemas envolvendo aspectos desestruturados. As principais características de um SE são: (1) a habilidade de interpretar o problema ao nível de um especialista; (2) representar um domínio de conhecimento da maneira como o especialista pensa; (3) incorpora o processo de explanação e os caminhos para lidar com a incerteza; e (4) tipicamente, pertinente a problemas que podem ser representados simbolicamente.

Na década de 70, afirmam Wilhelm et alli (1997), as pesquisas no campo da IA passaram a registrar os primeiros resultados relevantes, especialmente em relação aos Sistemas Especialistas (SE), não se repetindo o mesmo sucesso na década seguinte, em função da desilusão após a fase de euforia e o exagerado otimismo creditado aos SEs.

Este fato ocorreu porque as primeiras pesquisas de SE se concentravam em responder perguntas e não na tomada de decisões. Estes sistemas não forneciam opiniões sobre as questões relevantes e sim sugeriam ações em geral baseadas em regras de condição-ação, ao invés de fornecerem representações explícitas de resultados e preferências.

O surgimento das redes bayesianas no final da década de 1980 tornou possível a construção de sistemas em grande escala que geravam inferências probabilísticas consistentes a partir da evidência (Russel e Norvig, 2004). A adição de redes de decisão, que evoluíram entre as décadas de 1950 e 1960 a partir da aplicação da

teoria da decisão aplicada a problemas reais de decisão, significa que podem ser desenvolvidos sistemas especialistas que recomendem decisões ótimas, refletindo as preferências do usuário através da atribuição de valores de utilidade, bem como a evidência disponível. Turban e Trippi (1990) afirmaram que a tecnologia dos SE pode significar benefícios à tomada de decisão se integrada as aplicações de Pesquisa Operacional. A idéia evoluiu e Hollnagel (1991) publicou artigo onde demonstrou a idéia de que os SEs são uma solução prática para problemas práticos. Batarekh, Preece, Bennet e Grogono (1991) propuseram uma abordagem formal, através de uma metodologia, para o desenvolvimento e evolução dos SE.

A discussão continuou ao longo da década de 90 e Hillmer, Salle, Medsker e WeLSH (1992) apresentaram um artigo cujo objetivo foi o desenvolvimento de uma ferramenta para identificação dos riscos voltada para gerentes que pouco entendiam do assunto e necessitavam escolher um SE para uma aplicação específica. Uma investigação exploratória dos benefícios dos SE foi realizada por Martin, Subramanian e Yaverbaum (1996) cujas conclusões foram: tomada de decisão mais rápida, confiabilidade das decisões e qualidade nas decisões. Os desenvolvimentos prosseguiram e a probabilidade começa a desempenhar um papel fundamental para os SEs.

Para Rödder (1995) a tendência da utilização do conhecimento vago através de métodos puramente probabilísticos parecia limitada, mas prosperou na medida que foi possível estabelecer uma relação entre a probabilidade e a lógica matemática, ou seja, os estudos sobre estruturas de relações de dependência e independência em conjuntos de variáveis, operacionalizaram os modelos probabilísticos para manipular o conhecimento.

Assim sendo, um SEP é assim definido quando utiliza uma base de conhecimento que pode ser representada por uma distribuição de probabilidades formada por um conjunto de variáveis com atributos discretos (Wilhelm et alli, 1997). Entre as variáveis existem relações de dependências estocásticas formuladas a através de regras de produção do tipo “SE *premissa* ENTÃO *conclusão*”, que podem ser especificadas por meio de fatos e/ou regras. Para tratar a incerteza em SEP é necessário obter um conjunto de probabilidades *a priori*, cujo objetivo é descrever o conjunto de hipóteses e evidências que formam o universo analisado. Quando surgem evidências relacionadas às hipóteses há uma atualização das probabilidades iniciais, cujo resultado são as probabilidades *a posteriori*.

A principal vantagem de um SEP é o tratamento da incerteza sobre os conhecimentos, pois a lógica clássica dos SE considera uma regra apenas como verdadeira ou falsa, limitando assim o tratamento dos valores intermediários, muito comuns e necessários no trato do conhecimento subjetivo.

### **3.6. Componentes Básicos de um SEP**

Forsyth (1984, p.10) diz que um SEP contém basicamente uma máquina de inferência e uma base de conhecimento. No entanto, um SE completo possui quatro componentes essenciais, descritos a seguir.

O primeiro componente é a base de conhecimentos, que contém os fatos e regras. Os fatos são informações de curto prazo que podem mudar rapidamente e as regras são informações de longo prazo sobre como gerar novos fatos e hipóteses do que se sabe no presente. É o componente mais importante de um SE, pois é constituído do domínio de conhecimento.

O segundo componente, a máquina de inferência, é um programa que permite gerar hipóteses das informações da base de conhecimento através da busca das regras que são avaliadas e ordenadas de maneira lógica. Os dois principais métodos de inferência são o “encadeamento para frente” e o “encadeamento para trás”. Maiores detalhes serão explicados no item 3.7.

O módulo de aquisição do conhecimento é o terceiro componente e é usado para extrair o conhecimento do domínio do especialista e alimentar a base de conhecimento. A partir deste módulo é possível alterar, excluir ou introduzir regras.

O quarto componente é a interface explanatória e que nada mais é do que a “janela” entre o SE e o usuário, exibindo o que ocorre durante a consulta. Com o desenvolvimento das linguagens de programação é possível que esta interface apresente menus e botões que irão facilitar o acesso do usuário às perguntas, respostas e resultados das consultas.

### 3.7. O Processo de Inferência

Os dois tipos de máquina de inferência descritos anteriormente são metodologias que juntamente com regras são utilizadas para um paradigma de resolução de problemas (Chorafas, 1988). A metodologia organiza e controla os passos dados para alcançar-se uma conclusão, solução ou consulta. Um lugar comum, salienta Chorafas, mas um exemplo poderoso é o encadeamento de regras “se-então-senão” para formar uma linha de raciocínio.

O “encadeamento para frente” é o método que parte de uma série de condições e dirige-se a alguma conclusão remota. Ele é assim chamado porque a condição vem antes da conclusão (Levine et alli, 1988). O “encadeamento para frente” é a direção natural para a resolução de problemas quando os dados ou idéias são o ponto inicial. Portanto, “tem sido utilizado em sistemas especialistas para análise, projeto, diagnóstico, formação de conceitos e atividades similares” (Chorafas, 1988, p. 158).

Por outro lado, o método de “encadeamento para trás” é aquele onde a conclusão é conhecida, ou deseja-se alcançar uma meta sendo o caminho desconhecido, trabalha-se para trás, de maneira análoga à árvore de decisão quando inferência é baseada na teoria da probabilidade, mais especificamente no Teorema de Bayes, e então tem-se um SEP. Para Chorafas (1988, p.158) o “encadeamento para trás” é mais aplicável quando uma hipótese ou meta é o ponto inicial. Em situações de planejamento, por exemplo, o “encadeamento para trás” funciona a partir das metas para submetas, utilizando o lado de ação das regras para deduzir o lado de condição das regras. Uma forma diferente de fazer essas enunciações é aquela em que o método envolve o raciocínio dos dados até as hipóteses, ou seja, como sugere Levine et alli (1988, p.61), ajuda a diagnosticar problemas nos quais a conclusão é conhecida e as causas são procuradas.

### 3.8. A *Shell* SPIRIT

Uma *shell* de sistemas especialistas é um meio de programação que inclui uma série de componentes, os quais o usuário pode aplicar para construir um sistema especialista. É na essência uma ferramenta de protótipo. Embora deva haver um

banco de conhecimentos para cada aplicação, as *shells* são deficitárias a este respeito, pois não contêm nenhum conhecimento dependente do domínio. Todavia, têm todos outros componentes necessários, ou seja, a máquina de inferência, o acesso à base de dados, as interfaces de diálogo de linguagem natural, as interfaces procedimentais e as facilidades de explicação (Chorafas, 1988, p. 186).

A *Shell SPIRIT* (*Symmetrical, Probabilistic, Intensional, Reasoning, Inference Networks, Transition*) desenvolvida na FernUniversität de Hagen, na Alemanha, é um gerador de sistemas especialistas probabilísticos, e realiza uma conveniente representação do conhecimento sob incerteza (Rödder e Xu, 1992), sendo capaz de processar tanto as distribuições de frequência obtidas a partir de levantamentos estatísticos, como os conhecimentos subjetivos do especialista, manipulando as regras através de heurísticas (Wilhelm et alii, 1997). A partir da informação do especialista é possível realizar alterações na base de conhecimento, por isso o SPIRIT pertence à classe dos sistemas de aprendizagem ativa e indutiva. Relações não diretamente observadas são obtidas através da propagação, sendo que a principal aptidão do sistema é estabelecer conclusões lógicas a partir de uma dada distribuição de probabilidade conjunta.

Os principais elementos que caracterizam o SPIRIT são: a abordagem bayesiana de distribuição de probabilidade condicionais; a interpretação lógica das distribuições de probabilidades; a construção de uma variável marginal de probabilidade a partir de fatos e regras; o uso do conceito de variáveis com atributos discretos; o uso do conceito de agrupamento local de variáveis (LEG – *local event group*) que torna possível o cálculo local das distribuições globais; e o uso do princípio da máxima entropia, que serve como unidade de medida para avaliar o nível médio de informação de uma distribuição conjunta de probabilidades.

O SPIRIT é indicado para aplicações que visam diagnóstico e previsões, relações de causa e efeito e reconhecimento de padrões. Alguns exemplos de aplicações ilustram o seu potencial: (a) análise das condições de crédito bancário de clientes, baseado em dados de empréstimos passados para a formulação das regras e fatos do sistema (Rödder, 1999); (b) diagnóstico de medicina chinesa, que serviu como aplicação de um método para solucionar inconsistências e incompatibilidades do conhecimento de especialistas (Rödder e Xu, 1999); (c) apoio à decisão em empreendimentos econômicos com o objetivo de avaliar o risco em cada fase do processo decisório (Kuhlmann, 2001); (d) avaliação de concessões rodoviárias sob a

ótica do investidor privado, abordando variáveis econômicas, financeiras e políticas, proporcionando um sistema para auxílio na tomada de decisão de participar de concessões rodoviárias no Brasil (Arantes, 2003).

Seria possível relatar inúmeras páginas a respeito das várias aplicações de SE. O que se pretende aqui não é esgotar o assunto, até porque o trabalho seria imenso, uma outra tese, mas sim mostrar a amplitude de usos de SEs tanto para fins de pesquisa, na academia, quanto para fins comerciais e industriais.

Embora o planejamento e diagnóstico sejam freqüentemente pensados como sendo os melhores terrenos para a implementação de máquinas inteligentes, outros campos podem apresentar oportunidades para a obtenção de resultados realmente entusiasmantes pois duas vantagens importantes estão ao lado dos SEs: (1) representam riscos financeiros medidos, mas os benefícios podem ser altos; e (2) é uma abordagem nova que pode ser implementada em tempo reduzido e mostrar resultados (Chorafas, 1987).

As vantagens citadas pelo autor no parágrafo anterior podem ser muito bem observadas no presente trabalho pois os “riscos financeiros” são de fato medidos, por dois fatores: (1) a tomada de decisão com o sistema especialista probabilístico proposto é realizada dentro de um jogo de empresas, com isso não envolvendo riscos financeiros reais; e (2) a *Shell SPIRIT* é disponibilizada gratuitamente no endereço eletrônico <http://www.xspirit.de>. Além disso, como a abordagem será aplicada em um jogo de empresas que tem uma duração curta, os resultados obtidos podem facilmente ser analisados e corrigidos, se necessário, comprovando a implementação em “tempo reduzido” e mostrando os resultados gerados.

Stylianou e Madey (1996) desenvolveram um modelo empírico para a avaliação e seleção de *Shells* de SEs. Não foi usado qualquer tipo de modelo para a seleção da *Shell SPIRIT*. A escolha se baseou na proximidade que o autor tem com a equipe que desenvolveu o SPIRIT na FernUniversität na Alemanha, e com isso pode aprofundar os conhecimentos a respeito da *Shell*. Além disso, outros trabalhos já foram desenvolvidos em parceria com a equipe alemã e o Laboratório de Jogos de Empresas da UFSC, o que facilita a realização de novas aplicações.

O anexo 1 apresenta o manual do usuário traduzido da *Shell SPIRIT*. Este manual pode ser encontrado na sua versão original em inglês no menu “Help” – “User’s Guide” da *Shell* a partir da versão 3.



### 3.9. Considerações Finais

Neste capítulo foi abordado o apoio à decisão através de SEP. Aspectos gerais sobre probabilidade foram apresentados, aplicações e *Shell SPIRIT* que será usada na metodologia proposta para a resolução do problema proposto e modelado no próximo capítulo.

Desde o início da década de 90 Hertz (1990) já preocupava-se com o futuro dos SEs, e em seu artigo tratou sobre a base do conhecimento de engenharia que estes sistemas apresentavam. Em seguida, Wang, Porter e Cunningham (1991) publicaram um trabalho onde também avaliaram o futuro e propuseram um modelo para identificar as quatro maiores áreas que contribuem com os SEs. Baldwin-Morgan e Stone (1995) propuseram um modelo de matrix para analisar os impactos dos SEs. As conclusões dos autores seguiram uma linha mestra: os benefícios são muitas vezes menores do que são apregoados, os impactos não são muito bem conhecidos, mas eles são inegavelmente uma nova fronteira do estudo do processo de tomada de decisão.

No próximo capítulo será abordado o tema jogos de empresas, uma técnica para explorar a gestão dos negócios, onde o uso de SEP para a tomada de decisão sob risco é de grande utilidade.

## **4. UMA REPRESENTAÇÃO SIMPLIFICADA DO MUNDO EMPRESARIAL ATRAVÉS DOS JOGOS DE EMPRESAS**

Neste capítulo será apresentado o universo dos jogos de empresas como instrumentos para o aprendizado do processo de tomada de decisão. Este mundo controlado e obtido da realidade empresarial através da simplificação de algumas variáveis, sem contudo deixar de representar a situação de decisão cujo objetivo depende do tipo de jogo, será analisado criticamente através de fundamentação teórica.

No decorrer deste capítulo, serão abordados os fundamentos básicos de jogos de empresas, os objetivos a serem atingidos no âmbito das decisões empresariais, as aplicações desta ferramenta e a apresentação da dinâmica do jogo de empresas GIEPS.

### **4.1. Fundamentos Básicos**

O exercício das habilidades necessárias ao desenvolvimento integral das pessoas é realizado também através do jogo, que mostra-se como um importante instrumento na educação em geral (Gramigna, 1994). Quando se estende este conceito para a academia, mais especificamente para áreas de gestão de empresas tais como a engenharia de produção, administração, ciências contábeis e todas aquelas ligadas a esta linha, percebe-se que o jogo, agora denominado jogo de empresa, é um importante instrumento de ensino para o desenvolvimento das habilidades integrais de gestão.

Historicamente os jogos de empresas teriam sido o desenvolvimento natural dos jogos de estratégias, cuja origem seriam os jogos de guerra, que a partir do século XVIII começou a ser vista mais como ciência e não tanto como arte, como pode ser percebido até os dias de hoje em bibliografias conhecidas, tais com “Sun Tsu – A Arte da Guerra”. A partir da década de 1950 os jogos de empresas modernos começaram o seu desenvolvimento mais expressivo com o conhecido “Top Management Decision Game” desenvolvido pela *American Management*

*Association*, e saíram do exclusivo círculo militar para entrarem no mundo dos negócios e principalmente acadêmico, como instrumento de ensino.

Após este início no âmbito empresarial, o impulso foi crescente em direção ao desenvolvimento cada vez maior desta área. O advento dos computadores eletrônicos possibilitou a aplicação de técnicas matemáticas complexas que permitem a programação de jogos que simulam com maior precisão as variáveis envolvidas. Estes novos desenvolvimentos permitiram o processamento de um volume maior de dados sem contudo perder agilidade e rapidez na aplicação.

Os jogos de empresas têm os seus fundamentos baseados na simulação, que por sua vez é uma técnica que manipula modelos representativos e simplificados da realidade complexa das empresas e suas dependências, com o objetivo de obter determinados resultados que seriam técnica ou economicamente inviáveis de serem obtidos no âmbito da empresa real considerada. O jogo está baseado em um modelo específico que representa matematicamente características físicas, tecnológicas, financeiras, econômicas e até mesmo humanas a fim de representar o ambiente.

Bleicher apresenta a estrutura funcional de um jogo de empresas, figura 9, que, segundo este autor, apresenta dois campos de trabalho bem distintos: o processo de decisão a que os participantes estão submetidos, o campo das ações; e o processo de confrontação das decisões tomadas com o modelo de simulação, o campo das reações. O modelo de simulação recebe as decisões tomadas relativas ao campo das ações e havendo a confrontação destes dados no modelo matemático, se procede outro fluxo de informações, o dos reflexos das decisões, o qual pode ainda estar sujeito à perturbações provocadas pelo responsável pela animação do jogo.

Os jogos de empresas são desenvolvidos para tratarem de problemas de decisão específicos da gestão de uma empresa. Em linhas gerais os jogos possuem a seguinte sistemática de funcionamento: (a) as decisões vigoram por um intervalo de tempo estabelecido (por exemplo: mês, ano, trimestre,...); (b) no início as empresas possuem quantidades idênticas de recursos, tais como, caixa, estoque de insumos, equipamentos, número de funcionários,...; (c) os resultados obtidos pelos jogadores em cada período se constituem no ponto de partida para as decisões do período seguinte; (d) o objeto de disputa é o mercado consumidor dos bens produzidos pelas empresas, que é o mesmo para todas. Todavia, é importante

ressaltar que existem jogos em que a sistemática é diferente. Algumas aplicações serão descritas no item 4.3.

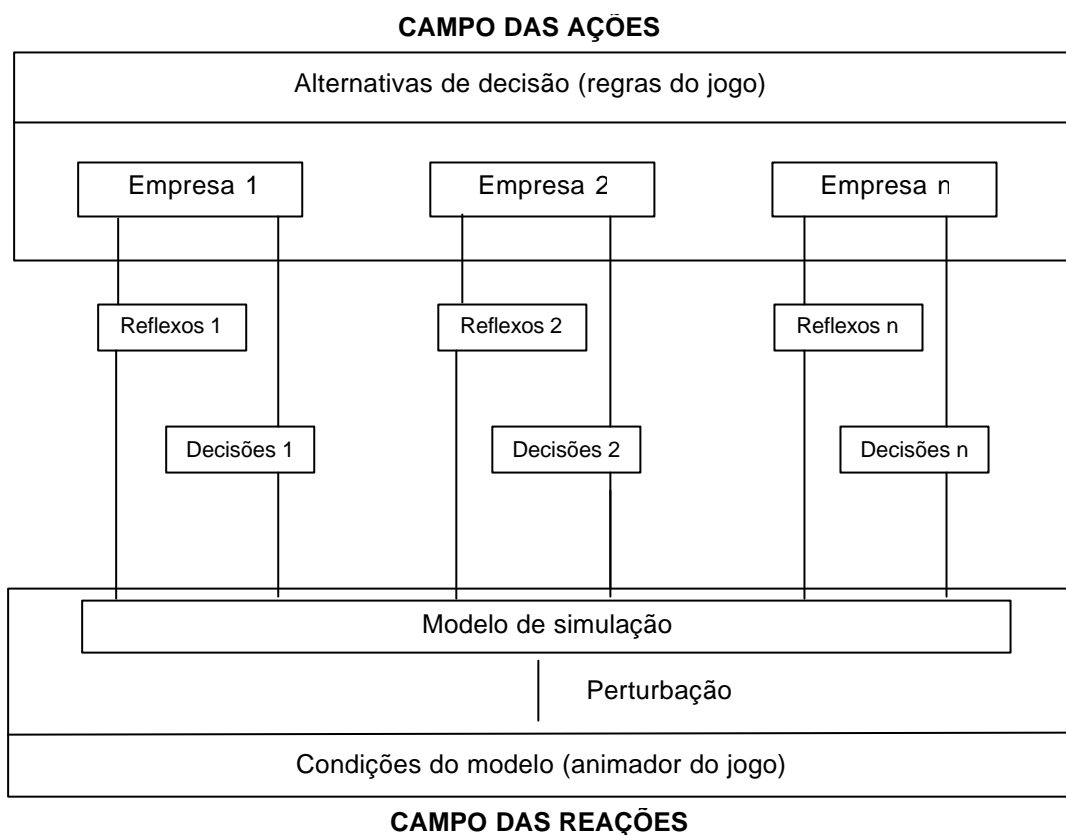


Figura 9 – estrutura funcional de um jogo de empresas. Fonte: adaptado de Bleicher, 1969, p.16.

Vários autores têm discutido e apresentado as implicações dos jogos no aprendizado. Goosen, Jensen e Wells (2001) analisaram os benefícios das simulações fazendo uma relação entre os temas fundamentais dos negócios e as técnicas alternativas, as teorias e os temas não resolvidos, enfatizando com isso os dilemas enfrentados pelos projetistas na formulação dos jogos. Garris, Ahlers e Driskell (2002) enfocaram as características essenciais e apesar do assunto tratar sobre *video games*, os autores propõem um modelo que pode ser utilizado nos jogos de empresas. A validação de modelos de simulação foi discutida por Feinstein e Cannon (2003), e estes afirmam que é a validação externa a mais importante ferramenta para a avaliação de um modelo de simulação.

A seguir será abordado o tema de gestão que o modelo proposto irá desenvolver.

## 4.2. O que está em jogo?

A possibilidade de aprendizagem do processo de tomada de decisão em nível acadêmico e, porque não, nos casos empresariais reais, faz com que os jogos de empresas tenham uma característica marcante frente as demais técnicas de simulação. Ruben (1999) realiza um estudo onde discute os impactos dos jogos e o novo paradigma para ensinar e aprender através deles. O autor conclui que os desafios para conectar a teoria e a prática com a experiência, o aprendizado e o ensino devem continuar. Este artigo vem de encontro ao que Nachtmann, Lavelle e Eschenbach (2000) publicaram sobre a pedagogia da engenharia econômica. Neste artigo os autores relatam que 82% das faculdades pesquisadas nos Estados Unidos incorporam algum novo método de ensino. O que se tem com isso, é uma justificativa plausível para o desenvolvimento de jogos voltados para o ensino de engenharia econômica.

A interatividade entre as várias empresas e o mundo simulado pelo modelo matemático gerenciado pelo animador e as várias perturbações passíveis de acontecimento, faz com que a tomada de decisão seja realizada em um ambiente muito próximo do mundo real.

Porém, para que esta afirmativa seja verdadeira, é importante que o modelo incorpore, no seu processo decisório, os fatores perturbadores mais influentes da realidade empresarial. Estes fatores incluem: (a) os objetivos e critérios de decisão; (b) as alternativas de decisão para cada período; (c) as perspectivas para os períodos subsequentes; (d) as decisões para o período corrente; e (e) um claro sistema de informações gerenciais com os resultados dos períodos já jogados.

Cabe aos jogadores o estabelecimento dos objetivos, que dependem de variáveis a serem otimizadas através de escolhas acertadas. Estas variáveis compreendem, entre outras, o lucro, a movimentação do caixa, as dívidas, os riscos envolvidos, o percentual de mercado desejado pela empresa, a liderança em algum aspecto específico, os índices econômicos e financeiros. As condições periféricas impostas a todas as empresas limitam as decisões, que são definidas de modo a atingirem o objetivo almejado.

À medida que o jogo se desenrola, a tomada de decisão é influenciada por dois fatores cruciais: (a) pelos resultados tomados em períodos anteriores e que se tornam conhecidos de todas as empresas; e (b) pelas perspectivas dos resultados

que por decisões próprias ou de outros jogadores, podem aparecer no modelo de simulação nos períodos futuros. Neste segundo fator a variável risco está presente, apesar de, na maioria das vezes, os jogadores não a perceberem com clareza e tomarem as decisões sem uma técnica ou metodologia adequada ao risco que estão expostos.

O risco envolvido pode apresentar-se em maior ou menor grau dependendo do tipo de decisão e do próprio objetivo do jogo, já que este pode ser um aspecto a ser enfatizado. Neste trabalho, pretende-se explorar a questão risco com mais intensidade e clareza, proporcionando aos jogadores um ambiente onde eles possam decidir sabendo das várias questões envolvidas em uma análise deste tipo, utilizando uma abordagem adequada e moderna que trará subsídios para a tomada de decisão racional frente ao aspecto em lançado como desafio. A proposta será apresentada no capítulo 5.

### **4.3. Aplicações**

Com a utilização cada vez mais intensa de computadores cujo processamento e armazenamento de informações atingiu níveis elevados de desempenho, as mais variadas áreas da gestão empresarial, somente para citar a área objeto deste estudo, estão se beneficiando do uso de jogos de empresas.

Os jogos são utilizados pela possibilidade de simular o desenrolar do processo econômico e observar o comportamento dos jogadores frente as diversas situações propostas, e que podem ser específicas para uma determinada situação que se queira trabalhar e treinar os envolvidos.

A aplicação desta técnica para a solução de problemas reais se deve ao fato de que hoje a empresa deve ser obrigatoriamente ágil na análise dos seus problemas, a fim de encontrar soluções que possibilitem a sua permanência em um mercado concorrido. Os jogos permitem que o jogador, e espera-se que este jogador seja ou será no futuro um gestor empresarial, submeter os seus planos a um teste com custos relativamente baixos e com uma possibilidade rápida de análise das suas decisões, já que a simulação permite abreviar o tempo. Também permite que ele analise várias possibilidades dentro de um determinado contexto, fazendo

comparações e escolhendo a melhor alternativa, sem contudo comprometer a empresa real.

Três campos são solicitados com a aplicação de um jogo de empresa (Bleicher, 1969). Eles estão descritos abaixo:

a) Relativo ao conhecimento teórico:

- a1) contato com terminologia econômica e gerencial;
- a2) aprendizagem das relações mútuas existentes entre as áreas operacionais e financeiras;
- a3) aprendizagem de métodos e técnicas gerenciais.

b) Relativo à prática geral:

- b1) análise de relações econômicas;
- b2) síntese de planos estratégicos;
- b3) tomada de decisão a nível gerencial: consciência e análise de problemas, obtenção de soluções e atividades de controle.

c) Relativo ao relacionamento humano:

- c1) organização de trabalhos em grupo;
- b2) gerência de grupos.

Gold e Pray (2001) realizaram uma revisão histórica dos algoritmos desenvolvidos para simulações de negócios. As áreas abordadas foram marketing, contabilidade, finanças, recursos humanos e produção/operações. Entre os modelos de finanças e contabilidade encontram-se aqueles relacionados com o tema ou problema da incerteza. O quadro 1 apresenta as aplicações relatadas pelos autores deste artigo.

Esta possibilidade de tomar decisão em um ambiente controlado é tanto mais importante quanto mais alterações a empresa está sujeita em seu mercado de atuação e quanto mais a conjuntura econômica estiver sujeita a alterações imprevistas, caso típico do Brasil. A constatação de que os jogos empresariais são importantes ferramentas para o planejamento estratégico empresarial tem ganhado força nos últimos tempos, e acredita-se que esta escalada continuará em função das possibilidades de desenvolvimentos futuros para esta área.

<b>Autor</b>	<b>Tema / Problema</b>
Frazer (1983)	Jogo para ilustrar o preço que maximiza o lucro sob incerteza
Sharda e Bolaki (1984)	Modelo para ensinar regras de negociação de <i>commodities</i>
Radosinski e Szczurowski (1985)	Simulação para ensinar gerenciamento de finanças
Kilpatrick e Watkins (1986)	Modelagem de impostos e função de custos em uma indústria extrativa
Teach (1990)	Identificação da precisão da projeção dos lucros
Pray e Gold (1991)	Modelo matemático para análise multicritério
Goosen (1991, 1993)	Modelagem de custos fixos
Wolfe (1993)	Lucratividade e precisão da projeção
Goosen, Foote e Terry (1994)	Modelo que incorpora decisões financeiras
Patz (1996)	Modelo de programação linear para análise de fluxo de caixa
Thorelli (1997)	Medida de desempenho multicritério
Neal (1997)	Modelo que relaciona lucratividade e posição inicial da empresa

Quadro 1 – algoritmos de finanças e contabilidade para jogos de empresas. Fonte: adaptado de Gold e Fray, 2001, p.71-72.

#### **4.4. A Dinâmica do Jogo de Empresas GI-EPS**

O GI-EPS é um jogo de empresas desenvolvido pelo LJE – Laboratório de Jogos de Empresas – ligado ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina. É este jogo que será utilizado para o desenvolvimento do módulo para análise do risco no processo de tomada de decisão<sup>6</sup>. Com o objetivo de proporcionar ao leitor o entendimento da dinâmica do jogo, serão descritos a seguir a como se realiza a sua aplicação bem como os itens que o constituem.

Conforme proposto pela figura 9, que representa a dinâmica dos jogos de empresas em geral, o GI-EPS segue este mesmo processo participativo e de

---

<sup>6</sup> Uma descrição detalhada deste módulo é realizada no capítulo 5.



comunicação entre os jogadores e o animador, tal como descreveu Bleicher, onde a informação circula entre os participantes período a período no decorrer da duração das jogadas.

O primeiro passo para o início do jogo é a distribuição do manual aos participantes, que devem lê-lo atenta e minuciosamente já que é neste manual que os modelos matemáticos e as regras são detalhadas. Como o processo de decisão está relacionado diretamente com itens descritos acima e com os objetivos e estratégias traçadas pelas empresas virtuais, é fundamental que os participantes estejam familiarizados com este material, pois as múltiplas decisões que ocorrem período a período estão interligadas. Isto quer dizer que uma decisão afeta a outra não somente no período em que foram tomadas, mas também durante o decorrer de todo o jogo. Então, é fácil perceber que o entendimento ou não do processo do jogo descrito no manual afeta o desempenho das empresas.

As jogadas iniciam com o fornecimento de um jornal pelo animador, o “GI-EPS Informações”, contendo informações relacionadas à conjuntura econômica do mundo simulado onde o jogo se desenrola. Juntamente com o jornal, o animador entrega aos jogadores um relatório específico<sup>7</sup> contendo as condições iniciais que são exatamente iguais para todas as empresas. Estes dois instrumentos são o ponto de partida para a tomada de decisões para o período seguinte.

A etapa seguinte envolve o recebimento das decisões tomadas, a digitação dos valores recebidos, o processamento no simulador e a impressão dos dados obtidos ou a gravação em meio eletrônico, no caso de uso do SAPIENS, para a entrega dos resultados aos jogadores. Esta etapa demanda tempo, assim como a tomada de decisão, por isso, em geral, observa-se no mínimo um dia de espera entre um conjunto de decisões e a devolução dos dados processados no formato de relatórios dos resultados conseguidos por cada empresa.

As empresas simuladas possuem três setores: (a) produção; (b) marketing; e (c) financeiro. Estes setores possuem uma diretoria cada cujas funções são típicas aos cargos e estão descritas no quadro 2. A gestão das empresas se completa com

---

<sup>7</sup> Este relatório pode ter o formato eletrônico quando as jogadas se processam através do Sistema de Apoio à Decisão (SAD) Sapiens que é um programa de computador utilizado para realizar os diversos cálculos necessários à tomada de decisão. Ou pode ter o formato físico, impresso em papel, quando os jogadores fazem os cálculos manualmente.

uma direção geral cujo objetivo principal é coordenar as ações das outras três direções.

	<b>Internas</b>	<b>Externas</b>
Diretor Geral	Assegurar que os demais diretores cumpram suas tarefas e coordenar as atividades.	Manter-se informado e/ou participar dos contatos com demais diretores.
Diretor de Produção	Assegurar a produção suficiente para atender a demanda e política para a sazonalidade.	Estruturar propostas para as negociações trabalhistas com foco na produtividade.
Diretor de Marketing	Descobrir a sensibilidade dos consumidores a fatores como: preço, propaganda, prazo,...	Troca de informações com outros diretores sobre eficiência de políticas.
Diretor Financeiro	Descobrir dinheiro barato, aplicá-lo e investi-lo da melhor maneira. Desenvolver uma política de custos.	Negociações com fornecedores e bancos, via de regra, com o banco central.

Quadro 2 – funções dos diretores no GI-EPS. Fonte: manual do jogador GI-EPS.

#### 4.5. Considerações Finais

Neste capítulo foram abordados os aspectos básicos dos jogos de empresas. No item “o que está em jogo?” foi apresentado o enfoque que será dado neste trabalho, e para isso foram pesquisadas aplicações relacionadas com o tema risco e incerteza. A dinâmica do jogo GI-EPS foi apresentada, pois o modelo será desenvolvido nesta base matemática.

Muitos pesquisadores têm estudado o desenvolvimento de temas para a aplicação em novos jogos e discutido os seus efeitos na efetiva abordagem de temas relacionados com a tomada de decisão. Clark, Gjerde e Skinner (2003) concluem que o uso de simulações poderá melhorar o desenvolvimento do conhecimento e experiência dos estudantes.

No próximo capítulo será apresentado o modelo de risco proposto para este trabalho. A formulação matemática do módulo e a metodologia de solução do problema proposto.

## 5. MODELADO O RISCO EM JOGOS DE EMPRESAS

Neste capítulo será apresentada a formulação matemática do modelo envolvido no problema de tomada de decisão.

A situação proposta altera a formulação matemática do investimento em imobilizado, por isso serão apresentadas somente as fórmulas que têm influência direta nos resultados que esta variável afetará. As demais poderão ser consultadas no Manual do Animador. Também serão apresentadas as variáveis probabilísticas de decisão bem como a formulação matemática que permite a inclusão destas no modelo. Por último é apresentada a metodologia de solução do problema, baseada na fundamentação teórica dos capítulos 2, 3 e 4.

### 5.1. Caracterização do Módulo

Foi apresentado e analisado no item 4.3 do capítulo anterior o nível atual de utilização de diversos tipos de jogos de gestão bem como os campos de conhecimento que são solicitados com a aplicação dos mesmos. Neste momento, serão definidas as características e os aspectos diferenciados que justificam o projeto do módulo GI-EPS-AR<sup>8</sup>.

Nos jogos tradicionais as simulações objetivam a tomada de decisão, e com isso estimulam o uso de uma ampla gama de técnicas de gestão para auxiliar o jogador e desenvolver habilidades específicas. As situações de risco estão presentes no decorrer de todos os jogos, em maior ou menor intensidade, já que o próprio processo de jogar envolve o risco de perder. Contudo, em se tratando de uma ferramenta que simula o mundo dos negócios, as situações de risco envolvem desde as questões operacionais, tal como decidir o quanto produzir para o período, até as questões estratégicas da empresa, sendo neste caso por exemplo o quanto investir em imobilizado em função de uma perspectiva de conquista de uma fatia maior de mercado e por conseqüência disso um aumento na produção.

---

<sup>8</sup> Esta sigla representa o módulo "Análise de Risco" do jogo de empresas GI-EPS, com isso justificando a abreviatura AR no final.

Atualmente o jogo propõe uma situação de “venda de informação” através de uma notícia no jornal. Esta situação é bastante simplificada e um rápido cálculo pode mostrar ao jogador a vantagem ou não da compra da informação. Contudo, o que se verifica é que em pouquíssimas vezes os jogadores utilizam uma técnica adequada para a verificação do valor desta informação e como ela pode afetar o desempenho de suas empresas. Desta maneira o módulo proposto visa melhorar ampliar a questão do risco no jogo.

A questão crucial é: como os jogadores percebem a situação de risco, se é que percebem, e como reagem a ela? No módulo G-EP-AR, ao contrário do que ocorre em outros jogos, a situação de risco é claramente definida e exige do jogador que ele tome decisões baseado em uma ferramenta específica que conduzirá o processo. Esta nova situação tem como objetivo a capacitação dos participantes em tomadas de decisão do ponto de vista estratégico, já que eles decidirão a respeito de investimentos que afetarão o lucro da empresa e uma decisão errada pode levar a ruína financeira da mesma, situação esta que é de difícil recuperação. Contudo vale ressaltar que os outros objetivos do jogo não são alterados, pelo contrário, eles são complementados com o uso de uma metodologia que pode ser extrapolada para outras situações nas quais a metodologia pode ser aplicada com sucesso em função das características que apresentam. Estas sugestões serão listadas na conclusão deste trabalho.

A situação proposta é o investimento em um novo tipo de máquina que proporciona um aumento da produtividade em função de um avanço tecnológico. Esta proposta aborda a análise de investimento sob risco em bens de capital, uma situação concreta e que com freqüência aparece dentro de uma empresa. O fato é que raramente os decisores percebem o risco envolvido nestas situações e com isso não conseguem avaliar, através de critérios e técnicas específicas, o quanto a empresa pode perder ou ganhar com as decisões que são tomadas. Na maioria das vezes, quando se fala em risco, a primeira idéia que vem a mente é o mercado financeiro, a bolsa de valores, seus agentes e a especulação. Nesta proposta o objetivo principal é mostrar aos jogadores que o risco está permanentemente rondando o dia-a-dia da empresa e não distante da realidade vivida. Com isso, questões que a princípio pode ser meramente operacionais podem adquirir uma nova conotação, e a partir do momento em que se percebe a quantidade de

informações que estas questões podem oferecer, elas passam a se tornar estratégicas para a atuação da empresa.

O primeiro passo é propor a situação de risco através da veiculação de uma notícia no jornal que é distribuído em cada período do jogo. Esta notícia está pode ser vista no apêndice I.

O segundo passo é fornecer aos jogadores as ferramentas necessárias para a tomada de decisão referente à situação proposta. Isto implica em explicar criteriosamente o uso deste aparato de gestão, no caso da aplicação pelo próprio animador, ou na intervenção do professor de engenharia econômica que neste momento já deve ter desenvolvido estes conceitos com os jogadores em sintonia com o jogo e com o animador. Maiores detalhes sobre a participação de dois professores na aplicação do jogo com o módulo GI-EPS-AR acionado serão analisados no próximo item deste capítulo, onde será tratada a integração do sistema proposto.

O terceiro passo envolve a tomada de decisão por parte dos jogadores e o envio das respostas ao animador.

No quarto passo ocorre o processamento do jogo, envolvendo todas as respostas elaboradas pelos jogadores. Para esta etapa o animador, sozinho ou em conjunto com o professor de engenharia econômica, já deve ter decidido no roteiro do jogo e o que ocorrerá com a situação proposta de investimento em novas máquinas. As várias possibilidades existentes serão explicadas posteriormente. Após o processamento são enviados os relatórios de respostas aos jogadores.

O quinto e último passo é o recebimento e interpretação dos resultados recebidos. Neste momento deve-se fazer uma análise pormenorizada do ocorrido com cada empresa simulada. Novamente o papel do animador ou do animador e do professor de engenharia econômica, é fundamental para explorar todas as possibilidades a partir das decisões tomadas. A análise do que foi decidido será importante para se verificar o impacto futuro.

O grande trunfo deste módulo, está no fato de que os jogadores podem perceber claramente uma situação de risco envolvendo bens de capital, aplicar uma metodologia que permite explorar vários aspectos que passam despercebidos na gestão empresarial e podem analisar o resultado das suas decisões, pois a escala de tempo do jogo permite que seja simulado um período de tempo longo, no caso específico do GI-EPS três meses, em um rápido espaço de tempo, também neste

caso variando de um dia até uma semana dependendo da situação. Com isso a decisão envolvendo risco pode ser analisada no longo prazo e seus efeitos verificados no resultado da empresa, permitindo assim que o aprendizado se consolide através das medidas corretivas que possam ser tomadas.

No entanto admite-se que as simplificações necessárias para a viabilização da modelagem de um sistema complexo como uma empresa real, produzem um ambiente bem controlado e estruturado, causando desta maneira um possível distanciamento da realidade que se pretende simular.

Esta situação que a princípio mostra-se como uma deficiência, é, quando bem explorada através da metodologia proposta, uma importante diferenciação. No mundo real dos negócios, e em outros jogos disponíveis no mercado, os empresários, ou jogadores, são tomados de surpresa por pessoas que possuem informações privilegiadas, portanto desconhecidas do restante do mercado. No módulo GI-EPS-AR os jogadores conhecem os planos futuros de suas próprias empresas enquanto que os decisores das empresas concorrentes somente conhecem os demonstrativos publicados nos relatórios gerais e disponíveis para todos os participantes do jogo. É possível ainda interferir ou projetar o comportamento dos concorrentes, pois as regras do jogo assim permitem e são conhecidas por todos.

Desta maneira, o importante na situação proposta é antecipar-se ao que poderá ocorrer no futuro e com isso determinar o melhor caminho a seguir em função das previsões. Sob o ponto de vista da realidade, esta é a abordagem a seguir conforme a boa técnica de gestão nos negócios. Contudo, sabe-se que poucos aplicam estas técnicas de antecipação frente a uma situação de risco. É justamente neste aspecto que o módulo GI-EPS-AR apresenta uma importante característica para a capacitação gerencial, pois instiga no jogador o uso da metodologia que proporcionará uma tomada de decisão racional frente a uma situação de risco.

## **5.2. A Integração do Sistema**

O módulo GI-EPS-AR tem a possibilidade de ser acionado ou não, conforme o objetivo do jogo, ou seja, caso se pretende explorar a questão risco aciona-se o

módulo, caso contrário o GIEPS permanece sendo aplicado com os recursos já existentes. A figura 10 ilustra a maneira como o módulo GI-EPS-AR se integra ao GI-EPS e como os diversos elementos se inter-relacionam. A seguir será discutido o esquema de integração.

Os quadros brancos representam os elementos existentes atualmente no jogo e os quadros cinzas são os elementos propostos para a aplicação de toda a metodologia. As setas cheias representam o novo fluxo de informações que ocorre em conjunto com o fluxo existente, representado pelas setas simples.

No início do jogo o manual do GIEPS é entregue e suas regras são explicadas pelo animador. A seqüência de jogadas é realizada e em cada período os jogadores recebem informações relativas a conjuntura econômica através do jornal. A partir das regras e das informações recebidas, os participantes tomam as suas decisões e enviam ao animador que as processa no simulador segundo um roteiro definido inicialmente. Após o processamento, os resultados são enviados as empresas e analisados tanto pelos jogadores quanto pelo animador. Até aqui, esta é a maneira que o jogo se realiza.

Quando o módulo estiver acionado o jogo poderá ser aplicado no âmbito de duas disciplinas, ficando o animador a cargo do tema gestão empresarial e um professor orientador para o tema engenharia econômica. O período em que o módulo será acionado é definido em comum acordo entre os dois. O animador também poderá aplicar o jogo com o módulo GIEPS-AR sozinho, sem a intervenção de um professor de engenharia econômica. Porém neste caso o acúmulo de conhecimentos é necessário e o animador deve explicar todo o processo de decisão envolvendo a variável risco. A aplicação com dois professores possibilita que o módulo, assim como o jogo em si, seja melhor explorado já que há um canal de comunicação entre ambos representado pelo recebimento e análise dos resultados das jogadas.

Cabe ao professor de engenharia econômica a elaboração da informação do jornal relativa a situação de risco e a distribuição e explicação do manual do módulo GIEPS-AR. Porém, o acionamento do modelo matemático dentro do GIEPS fica a cargo do animador. Maiores detalhes serão dados nos itens seguintes deste capítulo.

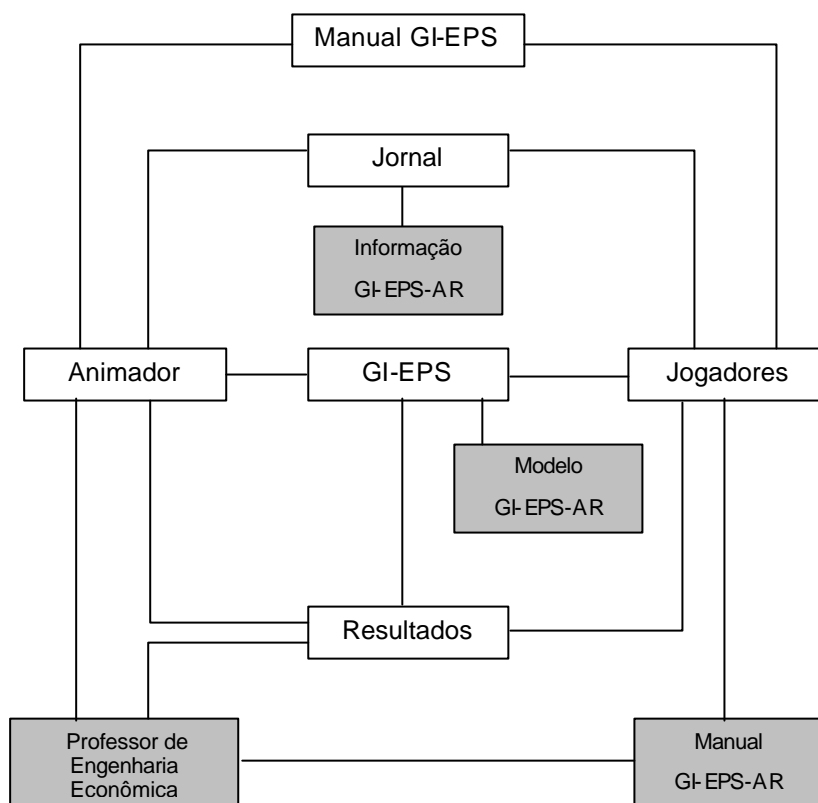


Figura 10 – esquema de integração do módulo GI-EPS-AR.  
Fonte: elaborada pelo autor.

### 5.3. Formulação Matemática do Módulo GI-EPS-AR

A formulação matemática do módulo é mostrada a partir deste sub-título, e inclui somente aquelas fórmulas e variáveis que afetam o modelo matemático original do jogo GI-EPS. Para detalhamento das outras que não foram modificadas, consultar o “Manual do Jogador” (Kopittke, Dettmer e Hermenegildo, 2000) e o “Manual do Animador” (Kopittke, Dettmer e Hermenegildo, 2002)

A proposta é introduzir uma inovação tecnológica nas máquinas que permita às mesmas a redução do custo de investimento para produzir uma unidade de produto acabado. Esta situação é probabilística e pode ocorrer a qualquer momento do jogo.

O consumo de matéria-prima é de 5 unidades por produto acabado mas diminui para 3 unidades conforme estabelecido na inicialização do jogo, o é justificado durante a simulação pelo avanço tecnológico. Esta situação não muda e



será independente da situação proposta ou seja, pode ocorrer a redução do consumo de matéria-prima sem a diminuição do custo das máquinas e vice-versa.

Na situação proposta as máquinas podem ter o custo de investimento reduzido para “60” ou “50” UM (unidades monetárias) para a produção de uma unidade de produto acabado (PA), dependendo da regra estabelecida na inicialização do jogo. Isso significa que podem acontecer 3 combinações de máquinas no decorrer dos períodos:

- 1 – máquina custo 80
- 2 – máquina custo 60
- 3 – máquina custo 50

A notícia da possibilidade de ocorrência deste fato é veiculada no jornal e a parceria no desenvolvimento das novas máquinas é oferecida às empresas a um determinado custo que deverá ser pago à vista. A empresa que não participar do desenvolvimento tecnológico permanece com o imobilizado sem as inovações de custo até que as novas máquinas comecem a ser vendidas independentemente da participação no desenvolvimento, situação que ocorre no segundo período após as máquinas atingirem o valor do custo ideal, que pode ser “60” ou “50”.

### **5.3.1. Valor Total do Imobilizado**

As empresas iniciam o jogo no período  $t = 1$  com o valor de UM 5.000.0000 em imobilizado cada uma. A cada período elas decidem o valor investido em máquinas.

A decisão do valor investido em máquinas para manter ou aumentar a capacidade produtiva da empresa depende do valor investido, pois existe depreciação das máquinas, conforme o índice de turno, fazendo com que a capacidade produtiva das mesmas decresça com o tempo. O começo da operação das máquinas se dá um período após a compra das mesmas.

A diminuição do imobilizado ocorre pela venda de máquinas, e a possibilidade desta venda é definida pelo animador do jogo conforme as regras estabelecidas por ele na inicialização, ou seja, em qual período e qual valor poderá ser vendido. Ocorre sempre a venda das máquinas mais antigas.

Seja:

$VIM_{e,t}$  - valor total do imobilizado da empresa **e** no final do período **t**  
(valores em UM);

$VIM_{m,e,t}$  - valor do imobilizado **m** da empresa **e** no final do período **t**  
(valores em UM).

sendo  $m = 1, 2$  ou  $3$ , onde

$m = 1$  – máquina custo 80

$m = 2$  – máquina custo 60

$m = 3$  – máquina custo 50

Então:

$$VIM_{e,t} = \sum_{m=1}^3 VIM_{m,e,t}$$

Com:

$$VIM_{m=1,e,t=1} = 5.000.000 \text{ UM}$$

### 5.3.2. Valor por Tipo de Imobilizado

Como existem 3 combinações distintas para o imobilizado, é necessário calcular o valor para cada uma das combinações separadamente.

A escolha do tipo de configuração de máquina disponível e do período em que a modificação poderá se realizar depende de decisão do animador na inicialização do jogo.

Seja:

- $VIM_{m,e,t}$  - valor do imobilizado  $m$  da empresa  $e$  no final do período  $t$  (valores em UM);
- $IN_{m,e,t}$  - investimento em imobilizado  $m$  da empresa  $e$  no período  $t$  devido à decisão de investir em máquinas (valores em UM);
- $VE_{m,e,t}$  - venda de imobilizado  $m$  da empresa  $e$  no período  $t$  devido à decisão de vender máquinas (valores em UM);
- $DE_{m,e,t}$  - depreciação do imobilizado  $m$  da empresa  $e$  no período  $t$  (valores em UM).

Então:

$$VIM_{m,e,t} = VIM_{m,e,t-1} + IN_{m,e,t} - VE_{m,e,t} - DE_{m,e,t}$$

### 5.3.3. Depreciação por Tipo de Imobilizado

Com o passar dos períodos o imobilizado perde a capacidade produtiva em função da depreciação, que depende do índice de turno empresa dado pela quantidade de horas trabalhadas. O índice de turno é igual para qualquer tipo de máquina.

Seja:

- $DE_{m,e,t}$  - depreciação do imobilizado  $m$  da empresa  $e$  no período  $t$  (valores em UM);
- $VIM_{m,e,t}$  - valor do imobilizado  $m$  da empresa  $e$  no final do período  $t$  (valores em UM);
- $VE_{m,e,t}$  - venda de imobilizado  $m$  da empresa  $e$  no período  $t$  devido à decisão de vender máquinas (valores em UM);
- $FD_{e,t}$  - fator de depreciação da empresa  $e$  no período  $t$  devido à decisão de produzir em turno normal, com horas-extras ou turno dobrado (valores em porcentagem).

Com:

$FD_{e,t} = 2,5\%; 2,75\%; 3\% \text{ ou } 5\%$

Onde:

- 2,5% - turno normal
- 2,75% - 10% de horas-extras
- 3% - 20 % de horas-extras
- 5% - turno dobrado

Então:

$$DE_{m,e,t} = (VIM_{m,e,t-1} - VE_{m,e,t}) \times FD_{m,e,t}$$

#### 5.3.4. Depreciação Total do Imobilizado

A depreciação total do imobilizado será dada pelo somatório da depreciação do imobilizado de cada empresa em determinado período.

Seja:

$DE_{e,t}$  - depreciação total do imobilizado da empresa **e** no período **t** (valores em UM);

$DE_{m,e,t}$  - depreciação do imobilizado **m** da empresa **e** no período **t** (valores em UM).

$$DE_{e,t} = \sum_{m=1}^3 DE_{m,e,t}$$

### 5.3.5. Capacidade Produtiva Total do Imobilizado

A capacidade produtiva das máquinas no período  $t = 1$  é igual para todas as empresas e é calculada pela fórmula:

$$\text{CPM} = (\text{Valor do Imobilizado} \times \text{Índice de turno}) / 80$$

Como:

$$\text{Valor do Imobilizado} = 5.000.000$$

$$\text{Índice de turno} = 1$$

Então:

$$\text{CPM} = 62.500 \text{ unidades de produtos acabados}$$

No decorrer do jogo outros tipos de máquinas podem surgir conforme as 6 combinações já mostradas. Logo, além dos valores distintos de novos investimentos em máquinas para cada empresa, ainda existe o fator das máquinas com inovação tecnológica o que exige um nova fórmula para o cálculo.

Seja:

$\text{CPM}_{e,t}$  - capacidade produtiva total do imobilizado da empresa **e** no período **t** (valores em unidades);

$\text{VIM}_{m,e,t}$  - valor do imobilizado **m** da empresa **e** no final do período **t** (valores em UM);

$\text{IT}_{e,t}$  - índice de turno da empresa **e** no período **t** devido à decisão de produzir em turno normal, com horas-extras ou turno dobrado (índice numérico).

Com:

$$\text{IT}_{e,t} = 1; 1,1; 1,2 \text{ ou } 1,95$$

Onde:

1 - turno normal

1,1 - 10% de horas-extras

1,2 - 20 % de horas-extras

1,95 - turno dobrado

Então:

$$CPM_{e,t} = \left( \frac{VIM_{m=1,e,t-1}}{80} + \frac{VIM_{m=2,e,t-1}}{60} + \frac{VIM_{m=3,e,t-1}}{50} \right) \times \Pi_{e,t}$$

### 5.3.6. Consumo Médio de Insumo

Para produzir uma unidade de produto acabado as máquinas iniciam consumindo 5 unidades de insumo. Com o passar do tempo existe a possibilidade de inovação tecnológica e então as máquinas consomem 3 unidades de insumo a partir do período de implantação até o final do jogo.

A escolha da ocorrência da inovação tecnológica neste quesito e do período em que a modificação poderá se realizar depende de decisão do animador na inicialização do jogo.

Seja:

$CMI_{e,t}$  - consumo médio de insumo do imobilizado da empresa **e** no período **t** para produzir uma unidade de produto acabado (valores em unidades de insumo);

$VIM_{m,e,t}$  - valor do imobilizado **m** da empresa **e** no final do período **t** (valores em UM);

$VE_{m,e,t}$  - venda de imobilizado **m** da empresa **e** no período **t** devido à decisão de vender máquinas (valores em UM).

Então:

$$CMI_{e,t} = \frac{(VIM_{m=1;2;3,e,t-1} - VE_{m=1;2;3,e,t}) \times 5 + (VIM_{m=1;2;3,e,t-1} - VE_{m=1;2;3,e,t-1}) \times 3}{\left( \sum_{m=1}^3 VIM_{m,e,t-1} - \sum_{m=1}^3 VE_{m,e,t} \right)}$$

### 5.3.7. Consumo Total de Insumo

Seja:

- $COI_{e,t}$  - consumo total de insumos da empresa **e** no período **t** para produzir produtos acabados (valores unidades).
- $PRO_{e,t}$  - produção total de produtos acabados da empresa **e** no período **t** (valores em unidades);
- $CMI_{e,t}$  - consumo médio de insumo do imobilizado da empresa **e** no período **t** para produzir uma unidade de produto acabado (valores em unidades de insumo);

Então:

$$COI_{e,t} = CMI_{e,t} \times PRO_{e,t}$$

### 5.4. Formulação Matemática do Modelo de Tomada de Decisão

Conforme o apêndice I, uma notícia no jornal propõe que novas máquinas podem produzir a mesma quantidade de produtos acabados porém a um custo unitário de investimento menor, gerando as configurações apresentadas no item 5.3. A situação não é determinística e para que a empresa saiba qual é este custo unitário ela deverá participar do desenvolvimento tecnológico proposto pelo fabricante das máquinas. Este desenvolvimento tecnológico tem um custo de participação, conforme informado na notícia.

O investimento em novas máquinas demora um período para se incorporar ao imobilizado da empresa. Isso significa que o investimento ocorre no período **t** mas as máquinas começam a produzir no período **t + 1**.

Na situação proposta os jogadores decidem os valores a serem investidos em máquinas no período **t**, enviam as decisões relativas a este período e tomam conhecimento do custo unitário do investimento no período **t + 1**.

Esta decisão ocorre sob condições de risco segundo os valores de probabilidade de acontecimento das configurações “50”, “60” ou “80” das novas máquinas. A quadro 3 demonstra a situação.

	50 UM / produto acabado	60 UM / produto acabado	80 UM / produto acabado
t + 1	$P_X$	$P_Y$	$P_Z$

Quadro 3 – Probabilidade de ocorrência do custo de investimento das novas máquinas para o período “t + 1”, sendo “t” o período de decisão.

Onde:

$P_X$  - probabilidade das máquinas produzirem com custo “50” no período t + 1.  $P_X = (1 - P_Z) / 2$ ;

$P_Y$  - probabilidade das máquinas produzirem com custo “60” no período t + 1.  $P_Y = (1 - P_Z) / 2$ ;

$P_Z$  - probabilidade das máquinas produzirem com custo “80” no período t + 1.  $30\% \leq P_Z \leq 40\%$ .

Sendo:  $P_X + P_Y + P_Z = 1$

A diminuição do custo do investimento ocorrerá, porém não se sabe qual será o valor, “60” ou “50”, e nem em qual período será atingido este valor. Porém, a empresa que participar do desenvolvimento tecnológico saberá qual o valor do custo unitário do investimento e em qual período ele ocorrerá. O objetivo é proporcionar uma situação em que o jogador perceba o risco e decida com base em parâmetros econômicos.

O quadro 3 mostra a probabilidade de acontecimento dos eventos com informação perfeita, o que significa que não há erro na previsão.

No entanto, na maioria dos casos reais há uma margem de erro da previsão dos valores  $P_X$ ,  $P_Y$  e  $P_Z$ , significando que estes valores também possuem uma probabilidade de ocorrência. Quando esta situação ocorre a informação é dita imperfeita.



O quadro 4 apresenta os valores adicionais da análise com informação imperfeita, sendo esta tabela retroativa ou seja, partindo de um resultado sabido para verificar a previsão dos especialistas.

A título de generalização da notícia que será veiculada no jornal para a situação proposta, será considerado: X = “50”; Y = “60”; Z = “80”.

Resultados previstos	Resultados reais		
	X	Y	Z
X	$P(P_X R_X)$	$P(P_X R_Y)$	$P(P_X R_Z)$
Y	$P(P_Y R_X)$	$P(P_Y R_Y)$	$P(P_Y R_Z)$
Z	$P(P_Z R_X)$	$P(P_Z R_Y)$	$P(P_Z R_Z)$

Quadro 4 – Probabilidade das previsões e dos respectivos resultados reais.

$P(P_X|R_X)$  - probabilidade que o resultado previsto seja “X” dado que o resultado real foi “X”.  $70\% \leq P(P_X|R_X) \leq 80\%$ ;

$P(P_Y|R_X)$  - probabilidade que o resultado previsto seja “Y” dado que o resultado real foi “X”.  $P(P_Y|R_X) = (1 - P(P_X|R_X)) / 2$ ;

$P(P_Z|R_X)$  - probabilidade que o resultado previsto seja “Z” dado que o resultado real foi “X”.  $P(P_Z|R_X) = (1 - P(P_X|R_X)) / 2$ ;

Sendo:  $P(P_X|R_X) + P(P_Y|R_X) + P(P_Z|R_X) = 1$

$P(P_X|R_Y)$  - probabilidade que o resultado previsto seja “X” dado que o resultado real foi “Y”.  $P(P_X|R_Y) = (1 - P(P_Y|R_Y)) / 2$ ;

$P(P_Y|R_Y)$  - probabilidade que o resultado previsto seja “Y” dado que o resultado real foi “Y”.  $80\% \leq P(P_Y|R_Y) \leq 90\%$ ;

$P(P_Z|R_Y)$  - probabilidade que o resultado previsto seja “Z” dado que o resultado real foi “Y”.  $P(P_Z|R_Y) = (1 - P(P_Y|R_Y)) / 2$ ;

Sendo:  $P(P_X|R_Y) + P(P_Y|R_Y) + P(P_Z|R_Y) = 1$

$P(P_X|R_Z)$  - probabilidade que o resultado previsto seja “X” dado que o resultado real foi “Z”.  $P(P_X|R_Z) = (1 - P(P_Z|R_Z)) / 2$ ;

$P(P_Y | R_Z)$  - probabilidade que o resultado previsto seja “Y” dado que o resultado real foi “Z”.  $P(P_Y | R_Z) = (1 - P(P_Z | R_Z)) / 2$ ;

$P(P_Z | R_Z)$  - probabilidade que o resultado previsto seja “Z” dado que o resultado real foi “Z”.  $60\% \leq P(P_Z | R_Z) \leq 70\%$ ;

Sendo:  $P(P_X | R_Z) + P(P_Y | R_Z) + P(P_Z | R_Z) = 1$

Os quadros 3 e 4 são elaboradas pelo animador, que define na inicialização do jogo a ocorrência ou não de inovação tecnológica que reduz o custo do investimento unitário em máquinas, assim como o período que será proposta a situação e o valor a ser cobrado pela participação no desenvolvimento tecnológico.

## 5.5. Metodologia Proposta para a Solução

Neste item é apresentada a metodologia para a solução do problema de análise de investimentos sob condições de risco, baseada nos métodos probabilísticos apresentados no capítulo 2. A metodologia envolve a utilização de Sistemas de Apoio à Decisão (SADs) desenvolvidos em planilha eletrônica e a *Shell* de sistemas especialistas probabilísticos SPIRIT, cujo embasamento teórico e apresentação encontram-se no capítulo 3.

### 5.5.1. Cálculo do VPL

O cálculo do VPL tem por objetivo a análise da viabilidade econômica das máquinas, proporcionando uma comparação direta entre as mesmas com o objetivo de verificar qual opção é a melhor em termos econômicos. Por isso considera somente as variáveis de decisão pertinentes a esta análise.

As empresas podem decidir, baseadas em suas estratégias de investimento, quantas alternativas serão avaliadas e o montante de investimento. Contudo, a título de simplificação para o entendimento da metodologia proposta, serão consideradas

duas alternativas para a análise econômica. Os montantes a serem investidos estão em uma faixa de valores, apresentados na seqüência.

- A - investir um valor “X” determinado por estratégia da empresa;
- B - investir um valor “Y” determinado por estratégia da empresa.

O quadro 5 mostra a forma de apresentação dos dados.

Alternativa	Resultados possíveis		
	50 UM / produto acabado	60 UM / produto acabado	80 UM / produto acabado
A	VPL <sub>11</sub>	VPL <sub>12</sub>	VPL <sub>13</sub>
B	VPL <sub>21</sub>	VPL <sub>22</sub>	VPL <sub>23</sub>

Quadro 5 – VPL para cada combinação do custo de investimento em novas máquinas e as alternativas propostas.

Seja:

- VPL - o valor presente líquido é dado pelo valor presente dos demais termos do fluxo de caixa somados ao investimento inicial (valores em UM);
- INV - valor do investimento inicial no período  $n = 0$ , neste caso o valor não financiado das máquinas (valores em UM);
- $F_n$  - valor das parcelas em cada período de tempo  $n$  (valores em UM);
- $(P; F; i; n)$  - fator de conversão que permite transformar um valor futuro “F” em um valor presente “P” em “n” períodos a uma taxa de juros “i”.

Então o Valor Presente Líquido (VPL) para cada combinação da tabela 2 é dado pela seguinte expressão:

$$VPL = INV + \sum_{n=0}^N F_n \times (P; F; i; n)$$

As variáveis utilizadas para a elaboração dos fluxos de caixa e o cálculo dos VPLs são:

- **Investimento**

Valor em UM definido é pela empresa para a alternativa “A” e alternativa “B”, conforme as estratégias traçadas.

O valor usado como investimento inicial para o cálculo do VPL, no período “0”, depende do valor permitido para financiamento das máquinas.

- **Turno de produção**

Conforme o manual do jogador podem ser convocadas horas-extras ou turno dobrado, cujos efeitos sobre a produção são os seguintes:

opção 1 - turno normal (índice de turno = 1);

opção 2 - aumento de 10% (índice de turno = 1,1);

opção 3 - aumento de 20% (índice de turno = 1,2);

opção 4 - turno dobrado (índice de turno = 1,95).

É uma decisão da empresa.

- **Tipo de máquina**

“80 UM / P.A.” para as máquinas atuais;

“60 UM / P.A.” ou “50 UM / P.A.” para as máquinas novas.

É uma variável usada para simular as três possibilidades.

- **Capacidade produtiva do imobilizado - CPM**

É dada pela fórmula:

$CPM = (\text{investimento} \times \text{índice de turno}) / (\text{constante "tipo de máquina"})$

A constante “tipo de máquina” pode assumir os valores “80”, “60” ou “50”.

- **Preço de venda**

O preço de venda será determinado conforme as projeções da empresa para o horizonte de planejamento da análise econômica da máquina.

É uma decisão.

- **Receita**

Dada pela fórmula:

$\text{Receita} = CPM \times \text{preço de venda}$

- **Depreciação**

Representa a perda de capacidade produtiva dos equipamentos e, conforme o manual do jogador, são as seguintes possibilidades por período:

turno normal = 2,5%; horas-extras 10% = 2,75%; horas-extras 20% = 3%; turno dobrado = 5%.

A depreciação causa a perda de receitas ao longo do período considerado.

É um valor que depende da decisão do turno de produção.

- **Valor financiado**

É o percentual do investimento que será financiado. Como regra, são financiados até 90% do montante total, mas o cenário pode-se alterar conforme as escolhas do animador.

- **Juro referencial**

É igual a taxa referencial do banco central que depende do cenário apresentado no jornal.

- **Taxa mínima de atratividade - TMA**

É a taxa mínima atrativa usada para o cálculo do VPL. Ela é a taxa de juros das aplicações financeiras, estas por sua vez determinadas pela taxa referencial do banco central mais 25%.

- **Imposto de renda - IR**

Alíquota de 35% sobre as receitas.

- **Amortização**

Valor da parcela das prestações do SAC. É calculada dividindo-se o saldo devedor pelo número de prestações.

- **Horizonte de planejamento**

Como o prazo de carência é de 4 períodos e o prazo para o pagamento do financiamento é de 5 períodos, foi utilizado como horizonte de planejamento 9 períodos, pois assim a empresa poderá avaliar se consegue pagar o financiamento e obter lucro com a produção dos equipamentos.

- **Prestações SAC (Sistema de Amortização Constante)**

É o número de prestações para o pagamento do financiamento. É uma regra e são 5 períodos.

- **Prazo de carência**

Representa o número de períodos onde somente são pagos os juros do financiamento. É uma regra e são 4 períodos.

Com estas variáveis é elaborado um fluxo de caixa (FC) para o cálculo do VPL das configurações de cada alternativa.

Os valores positivos são representados pelas receitas que começam a partir do período um e decrescem em função da depreciação do equipamento. Os valores negativos representam o pagamento do IR sobre as receitas, e as variáveis do financiamento, que incluem os juros pagos e a amortização. O valor do período “0” representa o valor não financiado e desembolsado à vista pela empresa, os juros pagos são os valores pagos durante o período de carência do financiamento e as amortizações são os valores pagos do principal devido.

Através destas variáveis calcula-se o VPL para as diferentes configurações das alternativas analisadas.

Estes cálculos podem ser realizados através do SAD-VPL – Sistema de Apoio à Decisão para o cálculo do VPL, proposto a seguir.

### **5.5.2. Apoio Computacional através do SAD-VPL**

A partir das variáveis selecionadas foi elaborado o Sistema de Apoio à Decisão para o Cálculo do VPL (SAD-VPL) em planilha eletrônica Excel (apêndice II).

Nesta planilha ocorre a entrada das variáveis de decisão e variáveis de cenário, dadas no jornal, que são necessárias para cálculo das variáveis que compõem o FC. As variáveis de decisão são: o “investimento”, o “turno de produção”, a “CPM”, o “preço de venda”, a “receita”, a “depreciação”, o “imposto de renda” e a “amortização”. As variáveis de cenário são: o “valor financiado”, o “juro referencial” e a “TMA”.

O FC é composto pelas colunas “horizonte de planejamento”, “receitas”, “IR”, “juros”, “saldo devedor”, “amortização” e “FC líquido”, sendo esta última coluna utilizada para o cálculo do VPL.

### 5.5.3. Árvore de Decisão

Após o preenchimento do quadro 5 e de posse das probabilidades de acontecimento dos eventos propostos veiculadas no jornal na forma de notícia, o jogador constrói uma árvore de decisão para realizar a análise probabilística da situação, conforme o modelo representado a seguir (figura 11).

As probabilidades conjuntas são obtidas da seguinte maneira:

$$P_{XX} = P_X \cdot P(P_X | R_X)$$

$$P_{XY} = P_X \cdot P(P_X | R_Y)$$

$$P_{XZ} = P_X \cdot P(P_X | R_Z)$$

$$P_{YX} = P_Y \cdot P(P_Y | R_X)$$

$$P_{YY} = P_Y \cdot P(P_Y | R_Y)$$

$$P_{YZ} = P_Y \cdot P(P_Y | R_Z)$$

$$P_{ZX} = P_Z \cdot P(P_Z | R_X)$$

$$P_{ZY} = P_Z \cdot P(P_Z | R_Y)$$

$$P_{ZZ} = P_Z \cdot P(P_Z | R_Z)$$

A partir das probabilidades conjuntas obtêm-se as probabilidades de previsão de resultados das alternativas:

$$P(P_X) = P_{XX} + P_{YX} + P_{ZX}$$

$$P(P_Y) = P_{XY} + P_{YY} + P_{ZY}$$

$$P(P_Z) = P_{XZ} + P_{YZ} + P_{ZZ}$$

$$\text{Sendo: } P(P_X) + P(P_Y) + P(P_Z) = 1$$

Agora é possível determinar a probabilidade do resultado ser “X”, “Y” ou “Z”, partindo-se da previsão. Neste caso, o decisor age prospectivamente. Para isso deve-se inverter as probabilidades condicionais do quadro 4 através do teorema de Bayes. As novas probabilidades condicionais são calculadas a partir das probabilidades conjuntas:

$$P(R_X|P_X) = P_{XX} / P_X$$

$$P(R_Y|P_X) = P_{YX} / P_X$$

$$P(R_Z|P_X) = P_{ZX} / P_X$$

$$P(R_X|P_Y) = P_{XY} / P_Y$$

$$P(R_Y|P_Y) = P_{YY} / P_Y$$

$$P(R_Z|P_Y) = P_{ZY} / P_Y$$

$$P(R_X|P_Z) = P_{XZ} / P_Z$$

$$P(R_Y|P_Z) = P_{YZ} / P_Z$$

$$P(R_Z|P_Z) = P_{ZZ} / P_Z$$

Então, o valor esperado (VE) para o VPL pode ser calculado a partir das probabilidades condicionais calculadas prospectivamente.

Para VPL:

$$VE_{XA} = VPL_{11} \cdot P(R_X|P_X) + VPL_{12} \cdot P(R_Y|P_X) + VPL_{13} \cdot P(R_Z|P_X)$$

$$VE_{XB} = VPL_{21} \cdot P(R_X|P_X) + VPL_{22} \cdot P(R_Y|P_X) + VPL_{23} \cdot P(R_Z|P_X)$$

$$VE_{YA} = VPL_{11} \cdot P(R_X|P_Y) + VPL_{12} \cdot P(R_Y|P_Y) + VPL_{13} \cdot P(R_Z|P_Y)$$

$$VE_{YB} = VPL_{21} \cdot P(R_X|P_Y) + VPL_{22} \cdot P(R_Y|P_Y) + VPL_{23} \cdot P(R_Z|P_Y)$$

$$VE_{ZA} = VPL_{11} \cdot P(R_X|P_Z) + VPL_{12} \cdot P(R_Y|P_Z) + VPL_{13} \cdot P(R_Z|P_Z)$$

$$VE_{ZB} = VPL_{21} \cdot P(R_X|P_Z) + VPL_{22} \cdot P(R_Y|P_Z) + VPL_{23} \cdot P(R_Z|P_Z)$$



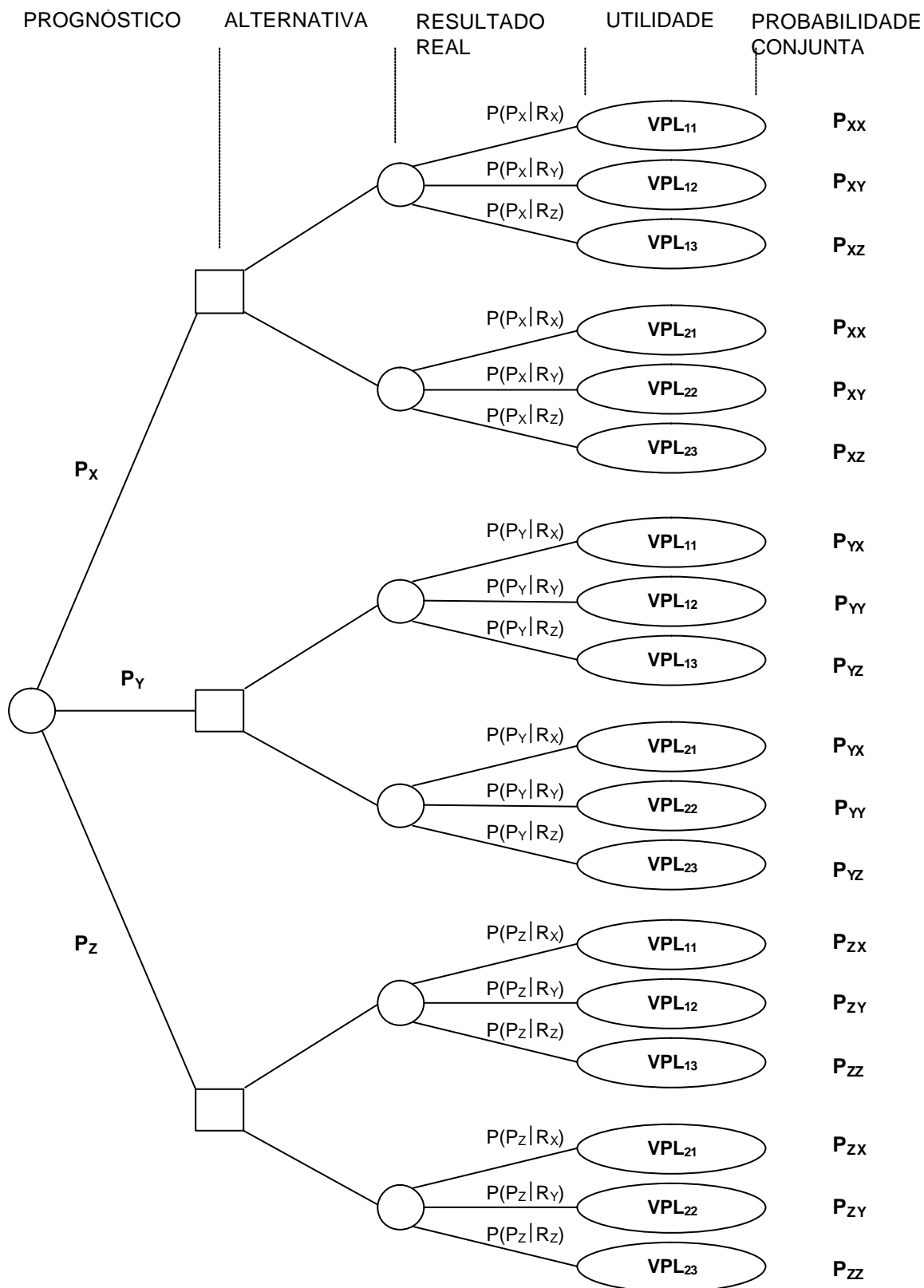


Figura 11 – modelo de árvore de decisão para situação novas máquinas. Fonte: elaborada pelo autor.

A decisão recai sobre o maior valor de VPL, pois trata-se de uma comparação que envolve a geração de receitas das máquinas, logo, os valores são positivos.

#### 5.5.4. Apoio Computacional através da *Shell SPIRIT*

Com a *Shell SPIRIT* foi elaborado um sistema especialista para a solução do problema proposto, eliminando os cálculos manuais realizados a partir da árvore de decisão. Desta maneira, o processo torna-se mais rápido e ágil proporcionando ao decisor uma ferramenta que permite uma ampla análise da situação em função das múltiplas possibilidades de combinação das variáveis.

A seguir são apresentadas as variáveis e regras necessárias para a modelagem do problema de decisão. O sistema especialista construído através da *Shell SPIRIT*, cujo desenvolvimento ocorreu a partir das variáveis obtidas pelo SAD-VPL, está no apêndice III. No apêndice IV são mostradas as regras, que estão descritas a seguir, com os respectivos valores da simulação proposta no apêndice I.

A variável “Resultado” informa se a nova máquina será “50”, “60” ou “80”. Estes valores são representados pelas letras “X”, “Y” e “Z”, respectivamente, e correspondem aos atributos da variável. As probabilidades a priori são extraídas do quadro 2 e são os valores para “ $P_X$ ”, “ $P_Y$ ” e “ $P_Z$ ”. Estes dados são declarados como fatos.

- 0. [ $P_X$ ]            Resultado = X
- 1. [ $P_Y$ ]            Resultado = Y

Como  $P_X + P_Y + P_Z = 1$ , não é necessário declarar o fato referente ao atributo “Z”, pois o SPIRIT assume automaticamente esta condição.

A variável “Previsão” corresponde aos valores atribuídos à informação imperfeita. Ela também possui os atributos “X”, “Y” e “Z” e está ligada à variável “Resultado” através das probabilidades condicionais extraídas do quadro 3. Estes dados são introduzidos como regras.

- 2. [ $P(P_X | R_X)$ ]    Previsão = X | Resultado = X
- 3. [ $P(P_Y | R_X)$ ]    Previsão = Y | Resultado = X

4.  $[P(P_X | R_Y)]$  Previsão = X | Resultado = Y
5.  $[P(P_Y | R_Y)]$  Previsão = Y | Resultado = Y
6.  $[P(P_X | R_Z)]$  Previsão = X | Resultado = Z
7.  $[P(P_Y | R_Z)]$  Previsão = Y | Resultado = Z

A variável “Alternativa” indica qual dos investimentos deve ser realizado. Os seus atributos são “A” e “B”.

A variável “VPL” é uma variável utilidade que assume valores, que estão no quadro 4, para as diferentes alternativas. Estes valores estão representados genericamente como  $VPL_{11}$ ,  $VPL_{12}$ ,  $VPL_{13}$ ,  $VPL_{21}$ ,  $VPL_{22}$ ,  $VPL_{23}$ .

Estas variáveis são relacionadas entre si através das seguintes regras:

8. [1]  $VPL = VPL_{11} \vee VPL = VPL_{21} | \text{Resultado} = X$
9. [1]  $VPL = VPL_{12} \vee VPL = VPL_{22} | \text{Resultado} = Y$
10. [1]  $VPL = VPL_{13} \vee VPL = VPL_{23} | \text{Resultado} = Z$
11. [1]  $VPL = VPL_{11} \vee VPL = VPL_{12} \vee VPL = VPL_{13} | \text{Alternativa} = A$
12. [1]  $VPL = VPL_{21} \vee VPL = VPL_{22} \vee VPL = VPL_{23} | \text{Alternativa} = B$
13. [1]  $VPL = VPL'_{11} \vee VPL = VPL'_{12} \vee VPL = VPL'_{13} \vee VPL = VPL'_{21} \vee VPL = VPL'_{22} \vee VPL = VPL'_{23} | \text{Informação} = \text{sim}$
14. [1]  $VPL = VPL_{11} \vee VPL = VPL_{12} \vee VPL = VPL_{13} \vee VPL = VPL_{21} \vee VPL = VPL_{22} \vee VPL = VPL_{23} | \text{Informação} = \text{não}$
15. [1]  $\text{Alternativa} = A | \text{Informação} = \text{perfeita}$

Aos valores de VPL da regra 13 deve ser diminuído o valor da informação, por isso eles são nomeados por  $VPL'$ .

Através do instanciamento das variáveis “Previsão” e “Alternativa” é possível determinar o valor esperado para a variável utilidade “VPL”, e então determina-se qual das duas alternativas, “A” ou “B”, será a escolhida.

Aplicações numéricas da metodologia proposta serão apresentadas e analisadas no capítulo 6.

### 5.5.5. Esquema de Aplicação da Metodologia

Com o objetivo de apresentar de forma clara a metodologia proposta, será apresentado a seguir um esquema geral de aplicação através de uma visualização gráfica dos passos a serem seguidos.

Na figura 12 as caixas indicam as informações disponibilizadas aos jogadores e os processos gerenciais realizados para a tomada de decisão. As setas indicam a direção do fluxo das etapas da metodologia. O fluxograma apresenta uma visão de passado e presente com o objetivo de tomar uma decisão futura baseada em aspectos probabilísticos, portanto sujeito ao risco de ocorrer ou não uma situação prevista.

Em (1) a situação de risco começa a ser percebida com clareza quando os jogadores recebem o jornal contendo a informação da possibilidade de aquisição de novas máquinas que podem trazer uma maior produtividade. É necessário então que haja a interpretação da notícia para dar-se o prosseguimento da metodologia. O entendimento correto da situação proposta é fundamental para o sucesso da aplicação, pois do contrário corre-se o risco de não seguir em frente pelo simples fato dos jogadores não perceberem o que deve ser feito.

Após perceberem a situação, os jogadores partem para a análise das variáveis relevantes (2), e é neste momento que começam a definir as estratégias da empresa relativas a aquisição do novo tipo de máquina. As informações do passado (3), decisões tomadas e disponibilizadas pelos relatórios geral e confidencial, são importantes para esta análise pois assim é possível elaborar cenários (4) onde as projeções futuras são realizadas. Neste ponto observa-se que possíveis alterações de cenário podem ser realizadas através de uma nova análise das variáveis, representada por uma ligação entre as caixas (2) e (4), e os jogadores poderão com isso reavaliar quantas vezes forem necessárias as suas projeções iniciais.

As estratégias que definem as duas alternativas de investimento são elaboradas no passo (5). É neste momento que se estabelece qual o valor investido em novas máquinas.

Em seguida é realizada a análise de sensibilidade (6). Calcula-se o VPL através do SAD, mostrado no apêndice II, para as alternativas A e B, ou seja para 2 diferentes valores de investimento em novas máquinas definidos pelas estratégias da empresa. Estas 2 alternativas terão valores diferenciais de VPL conforme as

opções 50, 60 e 80 que representam a produtividade da nova máquina, e com isso formam o quadro 6 onde 6 valores de VPL são mostrados. Neste ponto ainda é possível que se faça uma nova análise das variáveis, sendo representada pela ligação entre os passos (6) e (2).

A partir deste ponto não é recomendada uma nova alteração das variáveis pois implicaria em uma mudança muito significativa nos próximos passos, o que demandaria um tempo excessivo e uma provável perda de interesse na análise do risco que é o objetivo principal da metodologia proposta. Não pretende-se com isso eliminar possíveis ajustes nos dados elaborados pelos jogadores, o retorno aos passos anteriores não é proibido contudo não é recomendado pelo motivo já exposto.

A árvore de decisão é então elaborada no passo (7). As probabilidades de ocorrência dos eventos, já interpretado e entendido pelos jogadores no passo (1), são retiradas da notícia do jornal (8) e repassadas para a estrutura da árvore de decisão. Neste momento os jogadores têm uma visualização gráfica do processo de tomada de decisão em que eles estão envolvidos.

O próximo passo, (9), é estruturar o SEP através da *Shell* SPIRIT. A elaboração das regras segue o que foi descrito no item 5.5.4 e a inserção das variáveis e das regras segue o que está escrito no manual do usuário do SPIRIT, que está disponível no próprio programa. Ele está traduzido e é apresentado no anexo I. Desta maneira é possível não só entender a aplicação da metodologia mas de que maneira o SPIRIT processa as informações. É claro que para o âmbito deste trabalho não serão abordadas questões técnicas de programação, mas fica a título de possível aprofundamento para aqueles que se mostrarem interessados no conhecimento desta *Shell*.

Na análise dos resultados (10) os jogadores podem verificar a alternativa economicamente mais viável através do valor da utilidade e da probabilidade de ocorrência de cada alternativa. Por fim é tomada a decisão baseada nos resultados obtidos (11).

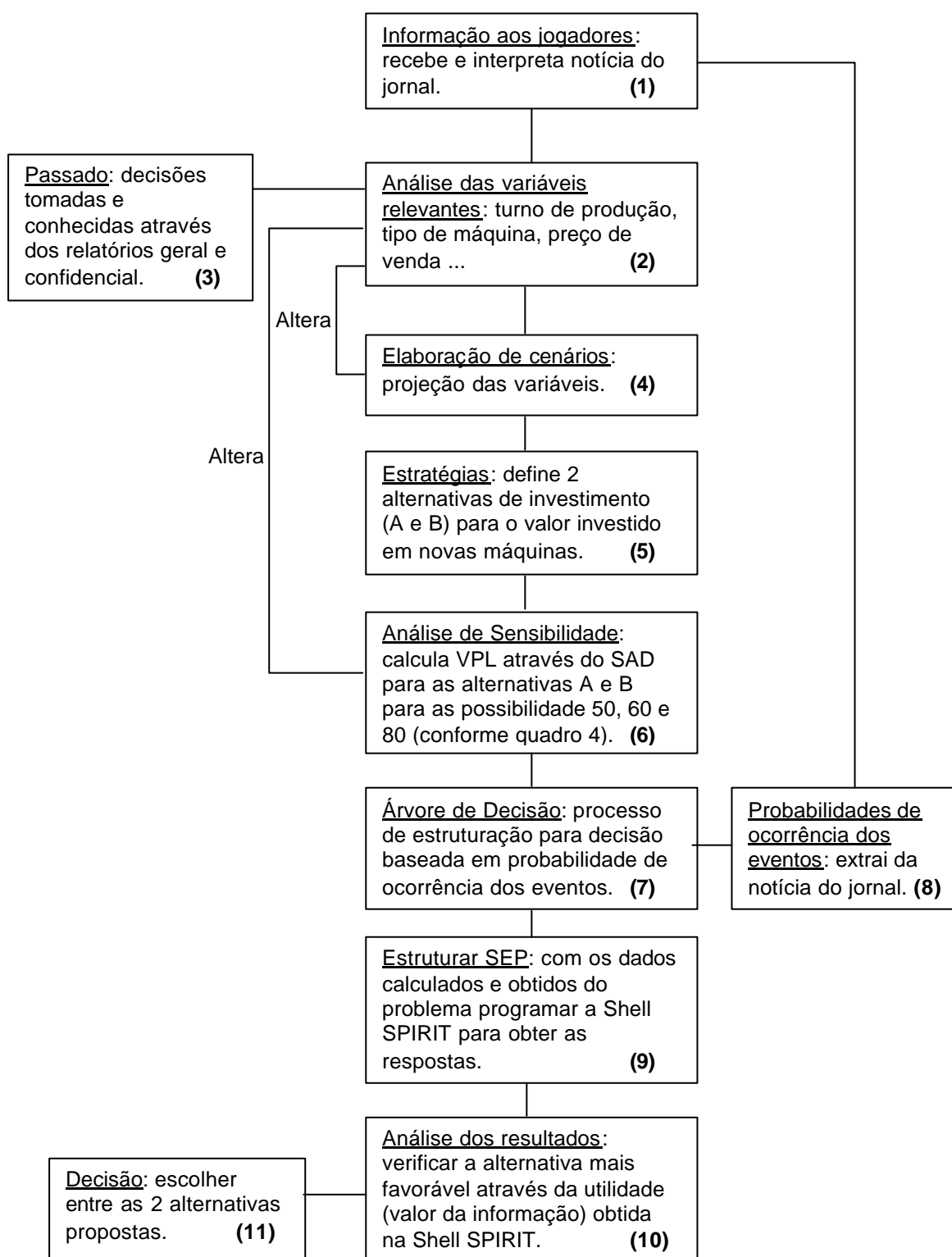


Figura 12 – fluxograma geral da aplicação da metodologia de tomada de decisão sob risco. Fonte: elaborada pelo autor.

## 5.6. Considerações Finais

A situação de risco e incerteza foi desenvolvida através da modelagem matemática das variáveis envolvidas no jogo e a modelagem matemática das variáveis probabilísticas de decisão. A proposta da solução do problema se deu através da metodologia de decisão dos jogadores, caracterizando assim o modelo como um todo para a situação “novas máquinas”.

Na modelagem das variáveis do jogo foram abordadas somente aquelas que afetaram os resultados, sendo que as restantes permanecem com a mesma formulação encontradas no manual. Esta primeira etapa tem por objetivo esclarecer as alterações que a situação proposta causa nas demais variáveis. É nesta fase que determinou-se o nível de complexidade do modelo, tomando o cuidado para não simplificar a situação a tal ponto que deixasse de representar uma situação de risco no jogo, e assim desestimular os jogadores. O ponto chave desta etapa foi a determinação das diversas configurações que poderiam ocorrer considerando a existência das máquinas atuais e das novas máquinas.

As variáveis probabilísticas de decisão foram modeladas para a situação “novas máquinas”, cuja apresentação aos jogadores se dá através da notícia do jornal, encontrada no apêndice. É a partir desta etapa que os jogadores percebem a situação de risco e incerteza. Procurou-se definir as probabilidades de ocorrência de tal maneira que a situação proposta não apresentasse uma resposta óbvia para a solução do problema.

A última etapa apresenta os passos para a solução do problema e foi baseada no método de avaliação de projetos seqüenciais apresentado na fundamentação teórica. O apoio computacional foi desenvolvido para esta metodologia através de Sistema de Apoio à Decisão (SAD) desenvolvido em planilha eletrônica, SAD-VPL, que fornecem os dados de entrada para o uso do sistema especialista desenvolvido através da *Shell* SPIRIT que fornece os dados de saída, possibilitando a análise da melhor alternativa.

O uso do método de avaliação de projetos seqüenciais na metodologia proposta deve-se ao fato da possibilidade do uso da *Shell* SPIRIT para o tratamento da incerteza e obtenção da variável utilidade representada pelos valores de VPL fornecidos através dos SAD, mensurando o ganho ou a perda da escolha.

## 6. APLICAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo será apresentada a aplicação do módulo através de dados obtidos de um jogo aplicado no PPGEF da UFSM. Na seqüência será realizada uma análise dos resultados obtidos.

Também serão apresentados outros usos da *Shell* SPIRIT para o GI-EPS com o objetivo de proporcionar ao jogador, através da aplicação destes SEP, um primeiro contato com o SPIRIT.

### 6.1. Obtenção dos Dados

Os dados apresentados no item a seguir foram extraídos da decisão de uma empresa simulada no jogo de empresas GI-EPS. Este jogo foi aplicado em uma turma de mestrado do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Maria no primeiro semestre letivo do ano de 2004. Estes dados são referentes às decisões da empresa 2 para o período 4.

Inicialmente foram propostas três situações diferentes para a aplicação da metodologia proposta. Estas situações referem-se às probabilidades de acontecimento dos eventos em questões, cujos valores variam conforme amplitude apresentada nos quadros 3 e 4.

Além destas situações, uma quarta situação foi proposta. Isso se deve ao fato de que as três situações anteriormente descritas representam uma estratégia agressiva de investimento em imobilizado. Logo, um aumento de produção da empresa com um conseqüente aumento de ganhos de escala. A quarta situação representa uma estratégia conservadora de investimento, não dando ênfase à escala de produção.

A seguir são apresentados os valores que serão utilizados no cálculo do VPL.

Situações 1, 2 e 3:

Investimento = 950.000

Turno de produção = 20% de hora extra

Média de preço de venda do produto = 19,39



A média de preço de venda do produto foi realizada para os preços praticados em 7 regiões.

Situação 4:

Investimento = 300.000

Turno de produção = normal

Média de preço de venda do produto = 20,00

## 6.2. Aplicação do Módulo e Análise dos Resultados

Os cálculos efetuados pelo SAD-VPL, elaborado em Excel, bem como a definição de cada variável que compõem a planilha foram detalhados no item 5.5.1 e 5.5.2. A estruturação do SEP através da *Shell* SPIRIT foi detalhada no item 5.5.4.

A seguir serão apresentadas as aplicações das quatro situações propostas e a análise de cada uma delas.

### ➤ Situação 1

Os valores dos quadros 7 e 8 são propostos pelo animador através de notícia veiculado no jornal do jogo (anexo I).

A seguir o jogador calcula o VPL de cada alternativa observando as variáveis de decisão da empresa e as variáveis de cenário. Estas últimas são extraídas das notícias ou regras do jogo.

O quadro 6 apresenta os valores calculados. Para a elaboração deste quadro foi calculado o VPL para 6 combinações possíveis entre o valor total do investimento em imobilizado e o valor possível para o custo de investimento para cada unidade produzida. A alternativa "A" tem o valor duas vezes o valor da alternativa "B" que foi obtida da decisão da empresa 2. Neste primeiro momento o jogador já pode lançar mão da técnica de análise de sensibilidade para observar o efeito das decisões nos resultados do VPL.

A informação segundo notícia do jornal custará UM 100.000, então do quadro 6 será subtraído dos valores de VPL o custo relativo a compra da informação, o que irá gerar mais seis valores além destes já calculados. Os doze valores relativos ao VPL serão utilizados no sistema especialista de tomada de decisão da compra da informação.

Alternativa	Resultados possíveis		
	50 UM / produto acabado	60 UM / produto acabado	80 UM / produto acabado
A	2.084.054	1.439.550	633.921
B	1.042.027	719.775	316.961

Quadro 6 – VPL para cada combinação do custo de investimento em novas máquinas e as alternativas propostas. Cálculos realizados no SAD-VPL.

A partir dos valores de probabilidade dos quadros 7 e 8, o SEP pode ser estruturado na *Shell* SPIRIT. Este sistema é apresentado nas figuras a seguir, para cada instanciamento realizado.

	50 UM / produto acabado	60 UM / produto acabado	80 UM / produto acabado
t + 1	35%	35%	30%

Quadro 7 – Probabilidade de ocorrência do custo de investimento das novas máquinas para o período “t + 1”, sendo “t” o período de decisão (situação 1).

Resultados previstos	Resultados reais		
	50	60	80
50	70%	10%	20%
60	15%	80%	20%
80	15%	10%	60%

Quadro 8 – Probabilidade das previsões e dos respectivos resultados reais (situação 1).

Ao rodar o sistema o jogador pode obter os valores esperados do VPL para várias combinações de instanciamento dos atributos das variáveis. A seguir são apresentados três combinações de instanciamento para as variáveis do sistema e os valores da variável utilidade.

A figura 13 mostra o instanciamento realizado no sistema para a situação em que não há informação adicional. Neste caso a variável “Compra\_informação” assume automaticamente o atributo “não”. O decisor saberia somente que as probabilidades de acontecimento são aquelas apresentadas no quadro 7. Não haveria outra informação sobre a situação proposta.

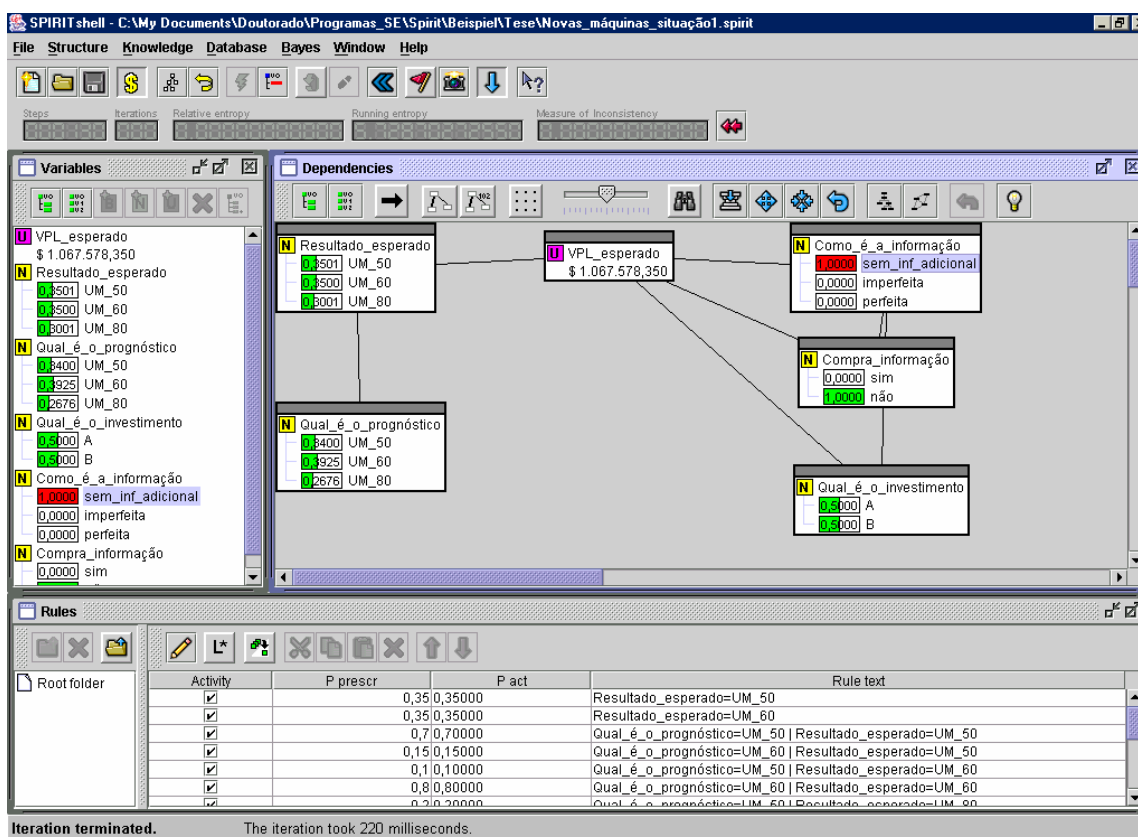


Figura 13 – instanciamento do atributo “sem\_inf\_adicional” para a variável “Como\_é\_a\_informação” (situação 1).

Os valores da variável utilidade, representada pelos valores de VPL, são obtidos quando a variável “Qual\_é\_o\_investimento” é instanciada.

A – VPL\_esperado = 1.423.437,699

B – VPL\_esperado = 711.719

A alternativa escolhida é a “A” por apresentar o maior valor esperado sem informação adicional. Nesta situação o decisor possui somente as probabilidades do quadro 7 e tomaria a decisão baseada nestes valores e os VPLs.

As diferenças entre os valores para o VPL do quadro 6, que são calculados pelo método determinístico, e os VPL\_esperados dados pelo sistema são 32% menor quando o resultado possível for 50\_UM / produto acabado, 1% menor quando o resultado possível for 60\_UM / produto acabado e 124% maior quando o resultado possível for 80\_UM / produto acabado.

Na figura 14 é mostrado o instanciamento do sistema quando a informação é comprada. Neste caso a variável “Compra\_informação” deve assumir o atributo “sim”.

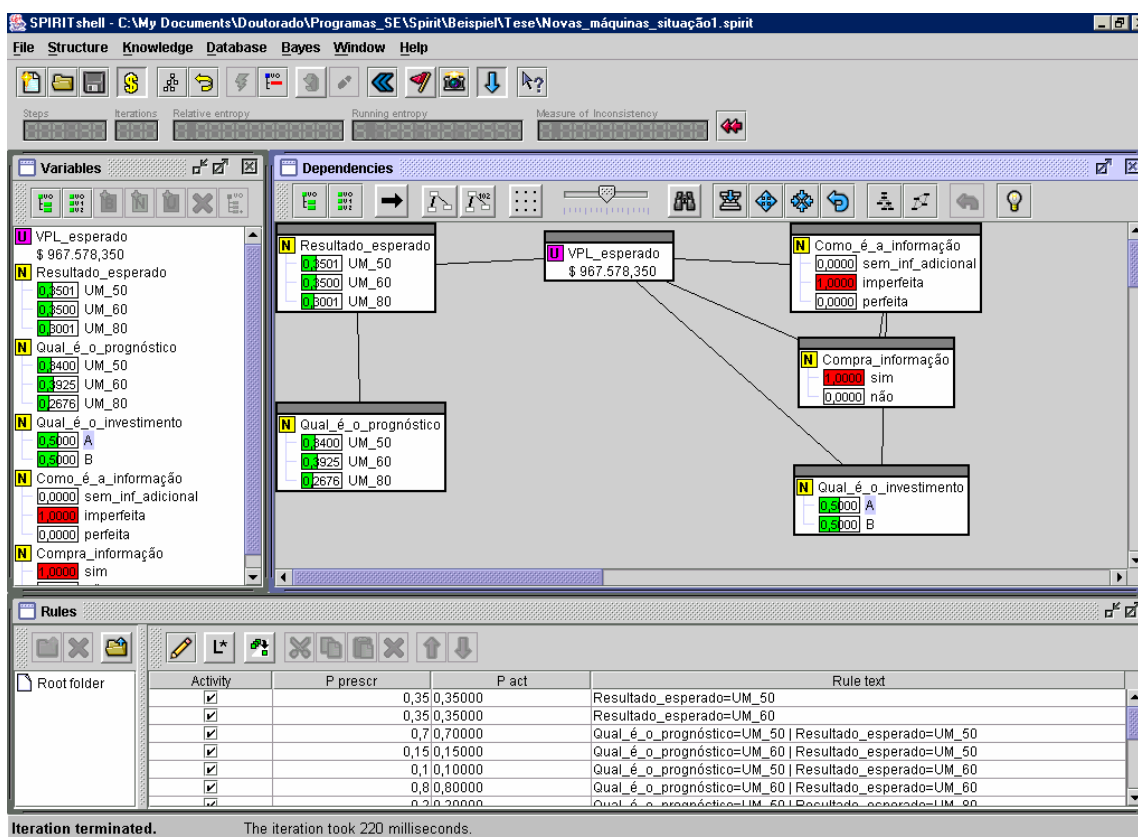


Figura 14 – instanciamento de atributos para as variáveis “Como\_é\_a\_informação” e “Compra\_informação”.

Neste caso é necessário elaborar dois quadros. O quadro 9 indica os valores de “VPL\_esperado” para cada atributo instanciado na variável “Qual\_é\_o\_prognóstico”, visto que há compra da informação e esta é imperfeita. O quadro 10 complementa a situação pois mostra a probabilidade de acontecimento do resultado real, representado pela variável “Resultado\_esperado”, já que o consultor fez uma previsão sujeita a erro.

Qual_é_o_investimento	Qual_é_o_prognóstico		
	50 UM / produto acabado	60 UM / produto acabado	80 UM / produto acabado
A	1.661.802,176	1.302.604,063	923.935,944
B	780.901,176	601.302,108	411.968,308

Quadro 9 – VPL para instanciamento das variáveis “Como\_é\_a\_informação”, “Compra\_da\_informação”, “Qual\_é\_o\_investimento” e “Qual\_é\_o\_prognóstico” (situação 1).

Qual_é_o_prognóstico	Resultado_esperado		
	UM_50	UM_60	UM_80
UM_50	0,7206	0,1030	0,1765
UM_60	0,1338	0,7134	0,1529
UM_80	0,1963	0,1309	0,6729

Quadro 10 – Probabilidade do “Resultado\_esperado” para o instanciamento da variável “Qual\_é\_o\_prognóstico”.

Nesta situação o decisor escolhe a alternativa novamente baseada no maior valor esperado para o VPL. Observando o quadro 9 verifica-se que a alternativa “A” será escolhida em qualquer das três possibilidades, ou seja, UM 50, UM 60 ou UM 80. Escolhendo a alternativa “A” o decisor poderá ganhar mesmo que a previsão seja de ocorrência da pior situação.

O sistema indica que a compra da informação é vantajosa, pois não há prejuízo mesmo que a pior situação ocorra, ou seja, a máquina não apresente as melhorias anunciadas. A previsão indicará o que a empresa deverá fazer, investir mais ou menos conforme as expectativas do mercado indicadas pelo consultor que vende a informação.

A redução do risco do investimento está refletida na obtenção de maiores lucros no caso de boas perspectivas mas, principalmente, na redução de possíveis perdas caso as perspectivas não forem tão boas. Em geral é esta situação que o investidor deseja prever, pois se houver prejuízo pode ocorrer o comprometimento do equilíbrio econômico e financeiro da empresa.

As diferenças entre os valores para o VPL do quadro 6, que são calculados pelo método determinístico, e os VPL\_esperados dados pelo sistema e apresentados no quadro 9 estão entre 20% e 25% menor quando o resultado possível for 50\_UM / produto acabado, entre 9% e 16% menor quando o resultado possível for 60\_UM / produto acabado e entre 30% e 45% maior quando o resultado possível for 80\_UM / produto acabado.

No último caso, a figura 15 apresenta o instanciamento quando a informação é perfeita. Na ocorrência desta situação, o investimento “A” é escolhido pois apresenta o maior valor.

O quadro 11 apresenta os valores do “VPL\_esperado” para o instanciamento dos atributos da variável “Resultado\_esperado”, visto que neste caso a variável “Como\_é\_a\_informação” é instanciada no atributo “perfeita”. Ou seja, resta saber se

a “Compra\_informação” foi feita ou não. No caso do quadro 11 os valores de VPL são para a compra da informação.

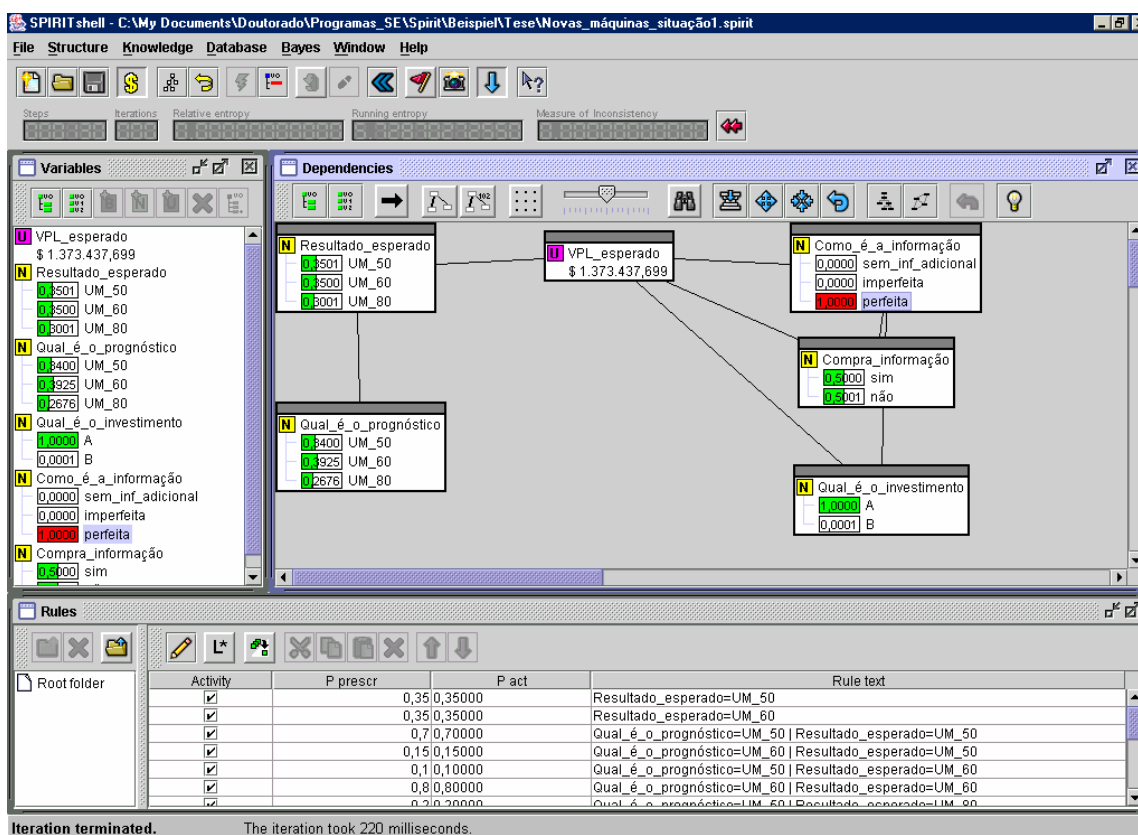


Figura 15 – instanciamento do atributo “perfeita” para a variável “Como\_é\_a\_informação”.

Compra_informação	Resultado_esperado		
	UM_50	UM_60	UM_80
sim	1.984.054	1.339.550	533.921
não	2.084.054	1.439.550	633.921

Quadro 11 – “VPL\_esperado” para a combinação do “Resultado\_esperado” e “Compra\_informação” (situação 1).

Do ponto de vista da análise econômica esta situação é determinística, ou seja, o decisor assume que sabe exatamente o que irá acontecer no futuro. Em situações reais este tipo de análise é trivial pois não há análise do risco ao qual as variáveis estão sujeitas.

### ➤ Situação 2

Os valores dos quadros 12 e 13 são propostos pelo animador através de notícia veiculada no jornal do jogo (anexo I). Os valores das probabilidades são

diferentes. Contudo, os valores de VPL são iguais aos da situação 1. O quadro 6 apresenta os valores calculados. O restante da situação 2 é igual à situação 1.

A partir dos valores de probabilidade dos quadros 12 e 13, o SEP pode ser estruturado na *Shell* SPIRIT. As figuras do sistema são iguais as apresentadas na situação 1, modificando os valores da variável utilidade “VPL\_esperado”. Por isso, os valores serão apresentados e analisados sem mostrar as figuras do SEP realizados no SPIRIT.

	50 UM / produto acabado	60 UM / produto acabado	80 UM / produto acabado
t + 1	32,5%	32,5%	35%

Quadro 12 – Probabilidade de ocorrência do custo de investimento das novas máquinas para o período “t + 1”, sendo “t” o período de decisão (situação 2).

Resultados previstos	Resultados reais		
	50	60	80
50	75%	7,5%	17,5%
60	12,5%	85%	17,5%
80	12,5%	7,5%	65%

Quadro 13 – Probabilidade das previsões e dos respectivos resultados reais (situação 2).

Quando não há informação adicional os valores da variável utilidade, representada pelos valores de VPL, são obtidos quando a variável “Qual\_é\_o\_investimento” é instanciada.

$$A - \text{VPL\_esperado} = 1.367.043,649$$

$$B - \text{VPL\_esperado} = 683.522,00$$

Observa-se que em ambas as alternativas o VPL decresce, pois a probabilidade de acontecimento cresce para a máquina do tipo UM 80 e esta possui o menor valor de VPL. O decisor escolhe a alternativa “A”.

As diferenças entre os valores para o VPL do quadro 6, que são calculados pelo método determinístico, e os VPL\_esperados dados pelo sistema são 34% menor quando o resultado possível for 50\_UM / produto acabado, 0,5% menor quando o resultado possível for 60\_UM / produto acabado e 115% maior quando o resultado possível for 80\_UM / produto acabado.

Para a informação imperfeita, os quadros 14 e 15 apresentam os resultados de VPL esperado e probabilidade de acontecimento do resultado real, respectivamente.

Qual_é_o_investimento	Qual_é_o_prognóstico		
	50 UM / produto acabado	60 UM / produto acabado	80 UM / produto acabado
A	1.666.694,056	1.278.295,649	802.464.111
B	783.347,121	589.147,906	351.232,444

Quadro 14 – VPL para instanciamento das variáveis “Como\_é\_a\_informação”, “Compra\_da\_informação”, “Qual\_é\_o\_investimento” e “Qual\_é\_o\_prognóstico” (situação 2).

Qual_é_o_prognóstico	Resultado_esperado		
	UM_50	UM_60	UM_80
UM_50	0,7401	0,1075	0,1389
UM_60	0,0741	0,7306	0,0834
UM_80	0,1860	0,1620	0,7778

Quadro 15 – Probabilidade do “Resultado\_esperado” para o instanciamento da variável “Qual\_é\_o\_prognóstico” (situação 2).

Nesta situação é possível verificar o aumento do VPL, tanto para alternativa “A” quanto a alternativa “B”, quando a máquina é do tipo UM 50. Para os tipos de máquina UM 60 e UM 80 o VPL decresce. O decisor ainda escolhe a alternativa “A”.

As diferenças entre os valores para o VPL do quadro 6, que são calculados pelo método determinístico, e os VPL\_esperados dados pelo sistema e apresentados no quadro 14 estão entre 20% e 25% menor quando o resultado possível for 50\_UM / produto acabado, entre 11% e 18% menor quando o resultado possível for 60\_UM / produto acabado e entre 11% e 26% maior quando o resultado possível for 80\_UM / produto acabado.

Quando a variável “Como\_é\_a\_informação” é instanciado no atributo “perfeita” os valores do quadro 11 da situação 1 são os mesmos da situação 2. Neste caso a decisão é igual àquela já tomada.

### ➤ Situação 3

Os quadros 16 e 17 são propostos pelo animador, e os valores representam o extremo dos valores propostos na faixa de variação possível para as probabilidades indicada nos quadros 3 e 4. Os valores das probabilidades são diferentes. Contudo, os valores de VPL são iguais aos da situação 1. O quadro 7 apresenta os valores calculados. O restante da situação 3 é igual à situação 1.



A partir dos valores de probabilidade dos quadros 16 e 17, o SEP pode ser estruturado na *Shell* SPIRIT. Novamente as figuras do sistema são iguais as apresentadas na situação 1, modificando os valores da variável utilidade “VPL\_esperado”. Por isso, os valores serão apresentados e analisados sem apresentar as figuras do SEP realizados no SPIRIT.

	50 UM / produto acabado	60 UM / produto acabado	80 UM / produto acabado
t + 1	30%	30%	40%

Quadro 16 – Probabilidade de ocorrência do custo de investimento das novas máquinas para o período “ t + 1 ”, sendo “ t ” o período de decisão (situação 3).

Resultados previstos	Resultados reais		
	50	60	80
50	80%	5%	15%
60	10%	90%	15%
80	10%	5%	70%

Quadro 17 – Probabilidade das previsões e dos respectivos resultados reais (situação 3).

Quando não há informação adicional os valores da variável utilidade, representada pelos valores de VPL, são obtidos quando a variável “Qual\_é\_o\_investimento” é instanciada.

$$A - \text{VPL\_esperado} = 1.310.649,60$$

$$B - \text{VPL\_esperado} = 655.325,00$$

Os valores do VPL esperado novamente diminuem. Isso se deve ao aumento da probabilidade de ocorrência da máquina do tipo UM 80. O decisor ainda escolhe a alternativa “A”. Observa-se que modificando as probabilidades de acontecimento das situações de risco, o animador do jogo pode propor diferentes combinações ao jogador.

As diferenças entre os valores para o VPL do quadro 6, que são calculados pelo método determinístico, e os VPL\_esperados dados pelo sistema são 37% menor quando o resultado possível for 50\_UM / produto acabado, 0,9% menor quando o resultado possível for 60\_UM / produto acabado e 106% maior quando o resultado possível for 80\_UM / produto acabado.

Para a informação imperfeita, os quadros 18 e 19 apresentam os resultados de VPL esperado e probabilidade de acontecimento do resultado real, respectivamente.

Qual_é_o_investimento	Qual_é_o_prognóstico		
	50 UM / produto acabado	60 UM / produto acabado	80 UM / produto acabado
A	1.677.147,524	1.258.987,166	704.962,308
B	788.573,857	579.493,666	302.481,585

Quadro 18 – VPL para instanciamento das variáveis “Como\_é\_a\_informação”, “Compra\_da\_informação”, “Qual\_é\_o\_investimento” e “Qual\_é\_o\_prognóstico” (situação 3).

Qual_é_o_prognóstico	Resultado_esperado		
	UM_50	UM_60	UM_80
UM_50	0,7620	0,0834	0,0924
UM_60	0,0477	0,7500	0,0462
UM_80	0,1905	0,1667	0,8616

Quadro 19 – Probabilidade do “Resultado\_esperado” para o instanciamento da variável “Qual\_é\_o\_prognóstico” (situação 3).

O VPL continua aumentado para a máquina tipo UM 50 e diminuindo para as máquinas tipo UM 60 e UM 80. O decisor permanece escolhendo a alternativa “A”.

As diferenças entre os valores para o VPL do quadro 6, que são calculados pelo método determinístico, e os VPL\_esperados dados pelo sistema e apresentados no quadro 18 estão entre 19% e 24% menor quando o resultado possível for 50\_UM / produto acabado, entre 12% e 20% menor quando o resultado possível for 60\_UM / produto acabado e entre 4% e 11% maior quando o resultado possível for 80\_UM / produto acabado.

Quando a variável “Como\_é\_a\_informação” é instanciado no atributo “perfeita” os valores do quadro 11 da situação 1 são os mesmos da situação 3. A decisão é a mesma do que aquelas das situações 1 e 2.

#### ➤ Situação 4

Para a elaboração do quadro 20 foi calculado o VPL para 6 combinações possíveis entre o valor total do investimento em imobilizado e o valor possível para o custo de investimento para cada unidade produzida. A alternativa “A” tem o valor duas vezes o valor da alternativa “B” que foi obtida da decisão da empresa 2.

A informação segundo notícia do jornal custará UM 100.000, então do quadro 20 será subtraído dos valores de VPL o custo relativo a compra da informação, o que irá gerar mais seis valores além destes já calculados. Os doze valores relativos ao VPL serão utilizados no sistema especialista de tomada de decisão da compra da informação.

Alternativa	Resultados possíveis		
	50 UM / produto acabado	60 UM / produto acabado	80 UM / produto acabado
A	506.059	327.876	105.146
B	253.030	163.938	52.573

Quadro 20 – VPL para cada combinação do custo de investimento em novas máquinas e as alternativas propostas. Cálculos realizados no SAD-VPL (situação 4).

Serão usados os valores das probabilidades da situação 3, quadros 16 e 17. O SEP é estruturado a partir destes valores na *Shell* SPIRIT. Novamente as figuras do sistema são iguais as apresentadas na situação 1, modificando os valores da variável utilidade “VPL\_esperado”. Por isso, os valores serão apresentados e analisados sem apresentar as figuras do SEP realizados no SPIRIT.

Quando não há informação adicional os valores da variável utilidade, representada pelos valores de VPL, são obtidos quando a variável “Qual\_é\_o\_investimento” é instanciada.

$$A - \text{VPL\_esperado} = 323.421,05$$

$$B - \text{VPL\_esperado} = 161.710,70$$

Nesta situação nota-se uma diminuição significativa do valor do VPL esperado, indicando que para valores de investimento em máquinas menores a análise deverá ser criteriosa na decisão de comprar a informação ou não.

As diferenças entre os valores para o VPL do quadro 20, que são calculados pelo método determinístico, e os VPL\_esperados dados pelo sistema são 36% menor quando o resultado possível for 50\_UM / produto acabado, 1% menor quando o resultado possível for 60\_UM / produto acabado e 207% maior quando o resultado possível for 80\_UM / produto acabado.

Para a informação imperfeita, os quadros 21 e 22 apresentam os resultados de VPL esperado e probabilidade de acontecimento do resultado real, respectivamente.

Qual_é_o_investimento	Qual_é_o_prognóstico		
	50 UM / produto acabado	60 UM / produto acabado	80 UM / produto acabado
A	344.280,058	218.290,063	73.449,733
B	122.140,438	59.145,076	-13.275,067

Quadro 21 – VPL para instanciamento das variáveis “Como\_é\_a\_informação”, “Compra\_da\_informação”, “Qual\_é\_o\_investimento” e “Qual\_é\_o\_prognóstico” (situação 4).

Qual_é_o_prognóstico	Resultado_esperado		
	UM_50	UM_60	UM_80
UM_50	0,8176	0,0887	0,1334
UM_60	0,0511	0,7975	0,0667
UM_80	0,1314	0,1140	0,8000

Quadro 22 – Probabilidade do “Resultado\_esperado” para o instanciamento da variável “Qual\_é\_o\_prognóstico” (situação 4).

O quadro 21 indica que a alternativa “A” será escolhida em qualquer das três possibilidades, ou seja, UM 50, UM 60 ou UM 80. Escolhendo a alternativa “A” o decisor poderá ganhar mesmo que a previsão seja de ocorrência da pior situação.

As diferenças entre os valores para o VPL do quadro 20, que são calculados pelo método determinístico, e os VPL\_esperados dados pelo sistema e apresentados no quadro 21 estão entre 32% e 51% menor quando o resultado possível for 50\_UM / produto acabado, entre 33% e 64% menor quando o resultado possível for 60\_UM / produto acabado e entre 30% e 125% maior quando o resultado possível for 80\_UM / produto acabado.

O quadro 23 apresenta os valores do “VPL\_esperado” para o instanciamento dos atributos da variável “Resultado\_esperado”, visto que neste caso a variável “Como\_é\_a\_informação” é instanciada no atributo “perfeita”. Ou seja, resta saber se a “Compra\_informação” foi feita ou não.

Compra_informação	Resultado_esperado		
	UM_50	UM_60	UM_80
sim	406.059	227.876	5.146
não	506.059	327.876	105.146

Quadro 23 – “VPL\_esperado” para a combinação do “Resultado\_esperado” e “Compra\_informação” (situação 4).

Novamente se está diante de uma situação determinística, não há risco na análise, pois o decisor sabe exatamente o que irá acontecer.

Nas situações propostas procurou-se analisar qual o impacto da compra da informação em função da estratégia definida para o investimento em imobilizado. O que se percebe é que quanto menor o valor do investimento inicial maior deverá ser o cuidado no momento desta análise. O decisor poderá analisar o impacto de suas escolhas conforme os valores esperados para o VPL. Decidir investir mais ou menos em novas máquinas conforme as expectativas de acontecimento de cada situação.

### **6.3. Outras Aplicações da Shell SPIRIT para o GI-EPS**

O SEP estruturado na Shell SPIRIT para a metodologia proposta, cuja aplicação e análise dos resultados está item 6.2, faz uso da variável utilidade além das variáveis nominais para apoiar a decisão de compra da informação. Este sistema mostra-se mais complexo do que aqueles que apresentam somente variáveis nominais para a decisão, pois o entendimento do conceito de utilidade é fundamental para uma análise correta dos dados de entrada e dos dados de saída.

A fim de proporcionar ao jogador um contato gradual com os SEP, é sugerido que aplicações menos complexas sejam aplicadas ao longo do jogo. A seguir duas propostas serão apresentadas.

O apoio à decisão para o GI-EPS foi proposto por Kopittke et alli (1996) com o SPIRIT 1. Este sistema foi reestruturado para o SPIRIT 3.

O segundo sistema refere-se a uma situação já proposta no GI-EPS, o caso da greve no porto. Este SEP foi estruturado no SPIRIT 3. A situação de venda de pesquisa de mercado é a terceira proposta de desenvolvimento de SEP como sistema de apoio à decisão em situação de risco. A seguir cada um dos três será detalhado. O apêndice V mostra também o uso da variável utilidade na análise de investimento usando o SPIRIT.

#### **6.3.1. Apoio à Decisão**

Este sistema serve para avaliar decisões relativas à propaganda, preço e produção. Possui oito variáveis nominais, que serão descritas no quadro 24, e vinte e duas regras.

Nesta situação tem-se como cenário um período anterior à sazonalidade, o mercado está indiferente e o produto foi recentemente lançado. Segundo decisões anteriores o nível de propaganda é médio e o estoque de produto acabado é nenhum. Os atributos de cada variável estão instanciados segundo a descrição acima. É possível observar através da indicação em vermelho de cada variável.

Para se tomar as decisões é necessário observar as probabilidades de acontecimento para cada atributo das variáveis de decisão. São as probabilidades que indicam a possível decisão em função da situação apresentada. A propaganda

deve aumentar, pois em 79,45% dos casos é o que ocorre. O preço também deve aumentar, com 80,17% de probabilidade. E por último a produção também deve aumentar, muito ou pouco, pois as chances são as mesmas, 45,41% para ambos os atributos.

O sistema apóia a tomada de decisão, indicando os caminhos mais prováveis para cada situação apresentada e suas diversas possibilidades de combinações dos atributos das variáveis.

Variável	Atributos	Descrição
1. Decisão_Propaganda	aumenta mantém diminui	Variável de decisão.
2. Decisão_Preço	aumenta mantém diminui	Variável de decisão.
3. Decisão_Produção	diminui mantém aumenta_pouco aumenta_muito	Variável de decisão.
4. Nível_de_Propaganda	alto médio baixo	Variável que depende da decisão tomada nos períodos anteriores.
5. Estoque_Produto_Acabado	nenhum trinta_dias um_período dois_períodos muitos_períodos	Variável que depende da decisão tomada nos períodos anteriores.
6. Ciclo_de_Vida	lançamento ascensão maturidade	Variável de cenário. Depende do andamento do jogo e das informações do jornal.
7. Pesquisa_de_Mercado	pessimista indiferente otimista	Variável de cenário. Depende das informações do jornal.
8. Período	antes_sazonalidade sazonalidade após_sazonalidade entre_sazonalidade	Variável de cenário. Depende do andamento do jogo.

Quadro 24 – variáveis e atributos do SEP de apoio à decisão com a descrição de cada uma delas.

Na figura 16 é apresentada uma situação onde o jogador irá decidir o que fazer em relação às variáveis propaganda, preço e produção. A partir do cenário e das decisões tomadas nos períodos anteriores, é possível chegar à decisão através do instanciamento das variáveis do sistema.

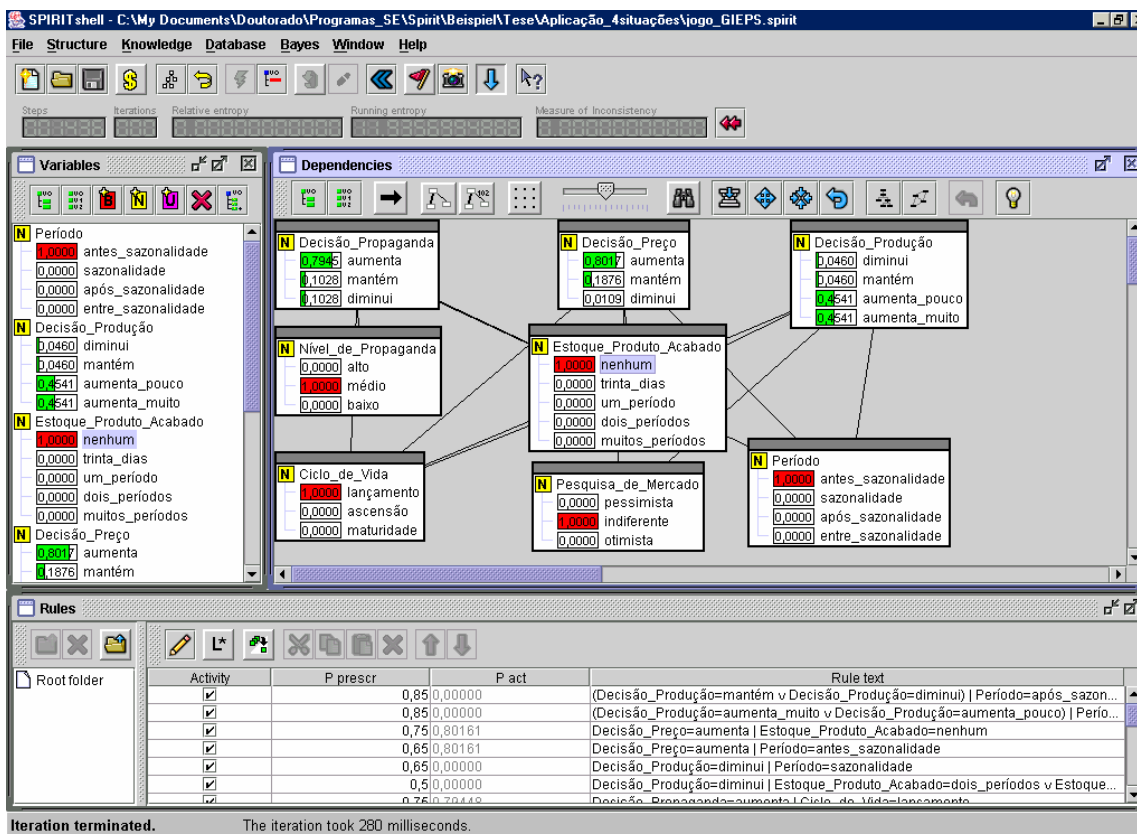


Figura 16 – instanciamento do SEP de apoio à decisão para o jogo GI-EPS.

### 6.3.2. O Caso da Greve no Porto

Esta situação é proposta no jogo através de uma notícia veiculada no jornal, onde pode ocorrer greve no porto, com 40% de chance, ou não, com 60% de chance. Caso ocorra a greve o preço do insumo sobe para UM 1,70 e caso não ocorra o preço cai para UM 0,50. O preço normal do insumo é UM 1,15. A informação da ocorrência ou não da greve no porto é vendida ao preço de UM 100.000 e o jogador deverá decidir se compra esta informação ou não.

O quadro 25 apresenta os valores de lucro ou prejuízo caso a greve não ocorra ou ocorra, respectivamente. A título de aplicação do sistema, três diferentes decisões relativas às quantidades de insumos a serem compradas foram analisadas. Os dados foram extraídos de uma jogada da turma de mestrado do PPGEP da UFSM. A quantidade comprada foi de 400.000 unidades, na segunda alternativa a compra foi de 800.000 e na terceira foi de 2.000.000.

O lucro foi calculado em função da diferença entre o preço normal e o preço caso a greve não ocorra, ou seja, UM 0,65. Da mesma maneira, o prejuízo foi calculado pela diferença entre o preço normal e o preço caso a greve ocorra. A multiplicação dos valores unitários pelas quantidades compradas em cada alternativa fornece os valores do quadro 25.

Alternativa (quantidade comprada)	Prejuízo (em UM)	Lucro (em UM)
400.000	- 220.000	260.000
800.000	- 440.000	520.000
2.000.000	- 1.100.000	1.300.000

Quadro 25 – prejuízo ou lucro em função de ocorrência ou não da greve para cada alternativa da quantidade de compra de insumos.

O sistema quatro variáveis nominais, uma variável utilidade, que são apresentadas no quadro 26, e oito regras.

Variável	Atributos	Descrição
1. Greve_no_porto	ocorre não ocorre	Variável de risco que pode ser certa caso o decisor compre a informação.
2. Compra_de_insumos	A_400000 B_800000 C_2000000	Variável de decisão atrelada à compra da informação.
3. Como_é_a_informação	sem_inf_adicional informação_perfeita	Variável de cenário que depende da notícia veiculada no jornal.
4. Compra_informação	sim não	Variável de decisão.
5. Lucro_esperado	12 atributos numéricos	Variável utilidade que fornece o valor esperado da decisão tomada. 6 valores do quadro 25 6 valores do quadro 25 menos o valor da informação, UM 100.000.

Quadro 26 – variáveis e atributos do SEP “caso greve no porto” com a descrição de cada uma delas.

Agora o sistema pode ser instanciado conforme a decisão do jogador. Se for decidido por não comprar a informação o valor esperado é de UM 181.333,33. Neste caso é instanciado o atributo “não” da variável “Compra\_informação”. Observa-se que a variável “Como\_é\_a\_informação” assume o atributo “sem\_inf\_adicional”. Com isso, corre o risco de investir um valor alto na compra de insumos e ocorrer greve, o que acarretará um prejuízo elevado. Ou investir um valor baixo na compra de insumos e não ocorrer greve, deixando de obter lucro. Neste caso o decisor jogará com a sorte! A figura 17 mostra o instanciamento realizado no sistema.



A outra situação é a opção de compra da informação. Agora, o valor esperado com a compra da informação é de UM 81.333,33, indicado pela variável utilidade “Lucro\_esperado” e o instanciamento do atributo “sim” para a variável “Compra\_informação”. Neste caso a informação é perfeita, como mostra o atributo da variável “Como\_é\_a\_informação”. O decisor compra a informação e ainda assim continua obtendo lucro, mostrado pela variável utilidade. Ele pode assim traçar uma estratégia para a compra de insumos e aumentar o lucro caso a greve não ocorra ou diminuir o prejuízo caso ela ocorra. O valor esperado informa desta maneira que vale a pena pagar pela informação e não depender da sorte para decidir o que fazer diante da ameaça apresentada para a jogada. Nesta situação o decisor faz o instanciamento das variáveis “Greve\_no\_porto” e “Compra\_de\_insumos” conforme a informação que ele comprou. A figura 18 mostra o instanciamento das variáveis.

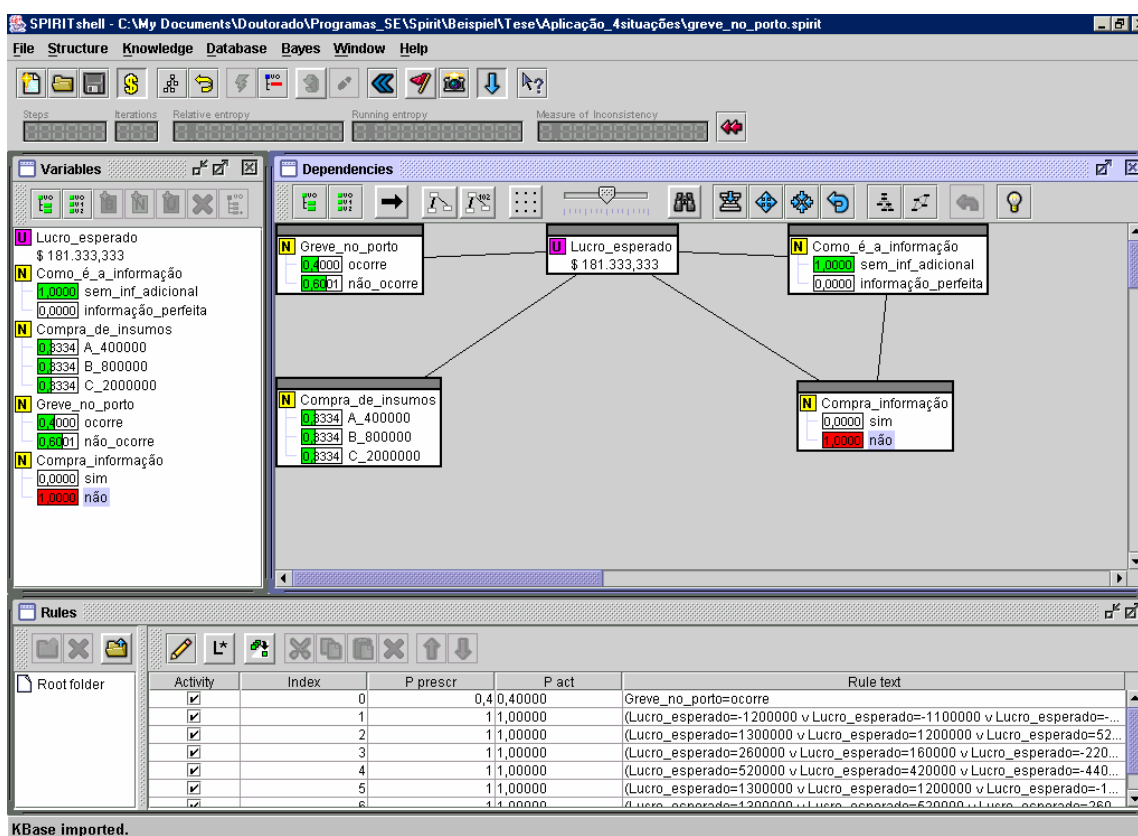


Figura 17 – instanciamento do SEP “caso greve no porto” para o jogo GI-EPS, sem a compra da informação.

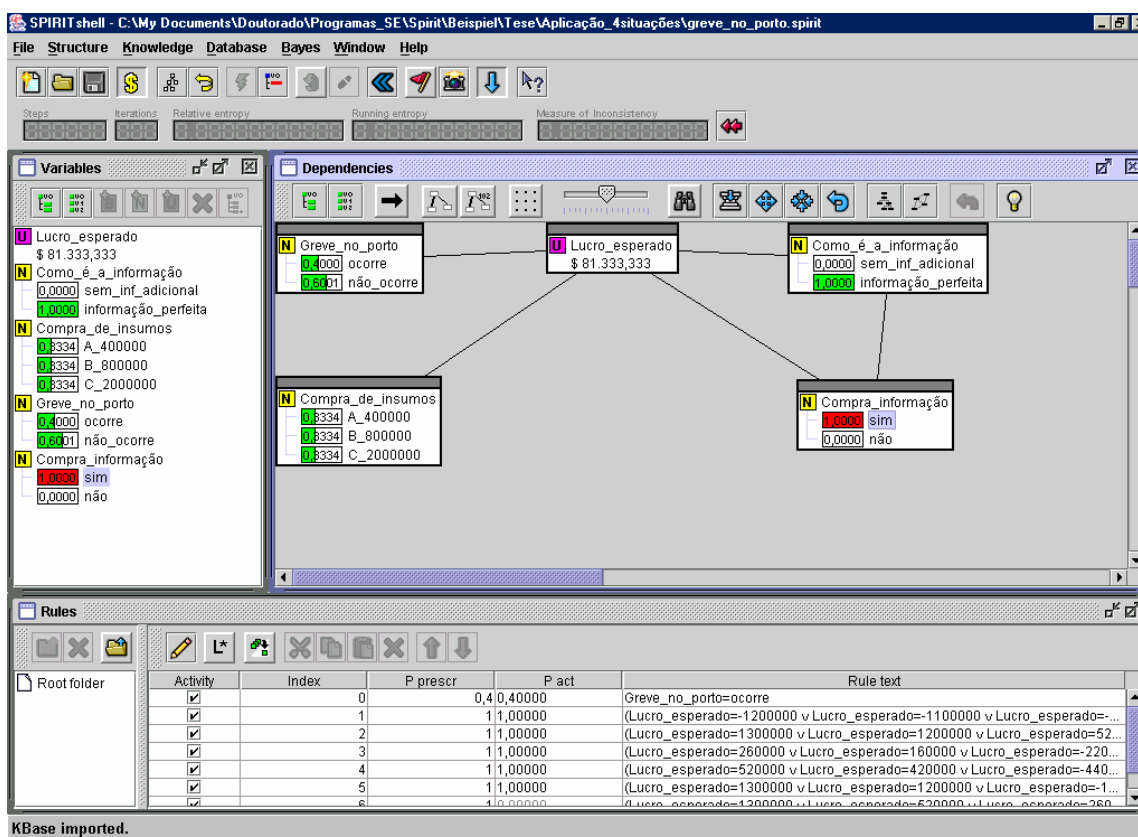


Figura 18 – instanciamento do SEP “caso greve no porto” para o jogo GI-EPS, com a compra da informação.

### 6.3.3 Pesquisa de Mercado

Durante a realização do jogo o decisor se depara com várias situações de incerteza. Estimar a demanda para o próximo período é uma delas, e pelo que se tem observado em várias situações em que o jogo foi aplicado, é a que causa a maior angústia aos decisores. Por isso, uma pesquisa de mercado é oferecida com o objetivo de fornecer informações sobre o comportamento da demanda no próximo período. A situação está descrita a seguir.

A consultoria de pesquisa de mercado é oferecida ao preço de UM 100.000. Não se sabe ao certo o comportamento da demanda, somente que ela tem 60% de chances de aumentar e 40% de chances de diminuir do atual valor. O quadro 28 representa uma situação hipotética no jogo com valores de preços e propaganda arredondados. As outras variáveis não foram consideradas pois admite-se simplificações a fim de facilitar o entendimento do sistema de apoio à decisão. Considera-se, por exemplo, que o estoque de produto acabado é suficiente para

atender a demanda, logo questões relativas à produção não foram levadas em conta. Também as decisões financeiras e dados da conjuntura econômica não foram considerados. Somente as três variáveis do quadro 27 tiveram os seus valores alterados para obter as combinações que geraram os resultados de lucro esperado para o período.

Os cálculos de lucro esperado foram obtidos através de um SIG (Sistema de Informações Gerenciais) elaborado em planilha eletrônica e fornecido aos participantes do jogo (Mecheln, 2003).

Região	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Demanda (em unid.)</b>	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	15.000
<b>Preço (em UM)</b>	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	28,00
<b>Propaganda (em unid.)</b>	5	5	5	5	5	5	5	5

Quadro 27 – situação no período para a decisão de compra de pesquisa de mercado.

As variáveis escolhidas geram 36 situações distintas pois o preço e a propaganda podem aumentar, manter ou diminuir em UM 2 e 1 unidade, respectivamente, a demanda pode aumentar ou diminuir em 20% e a informação pode ser comprada ou não através de consultoria. A partir destas combinações é gerado o quadro 28 de lucro esperado sem a compra da pesquisa de mercado.

	Demanda = aumenta	Demanda = diminui
Preço = aumenta e propaganda = aumenta	<b>546.725</b>	<b>290.806</b>
Preço = aumenta e propaganda = mantém	<b>558.414</b>	<b>302.495</b>
Preço = aumenta e propaganda = diminui	<b>570.102</b>	<b>314.183</b>
Preço = diminui e propaganda = aumenta	<b>353.617</b>	<b>162.068</b>
Preço = diminui e propaganda = mantém	<b>365.306</b>	<b>173.756</b>
Preço = diminui e propaganda = diminui	<b>376.994</b>	<b>185.444</b>
Preço = mantém e propaganda = aumenta	<b>450.171</b>	<b>226.437</b>
Preço = mantém e propaganda = mantém	<b>461.860</b>	<b>238.125</b>
Preço = mantém e propaganda = diminui	<b>473.548</b>	<b>249.814</b>

Quadro 28 – valores de lucro esperado para 9 combinações de preço e propaganda em função da variação de demanda esperada (sem compra de pesquisa de mercado).

Quando é comprada a consultoria de pesquisa de mercado os valores do quadro 28 são subtraídos de UM 100.000.

O sistema desenvolvido na *Shell* SPIRIT possui 5 variáveis nominais, 1 variável utilidade e 16 regras. O quadro 29 apresenta as variáveis, seus respectivos atributos e uma descrição do que representam.

Variável	Atributos	Descrição
1. Demanda_esperada	aumenta diminui	Variável de risco.
2. Prognóstico_demanda	aumenta diminui	Variável que depende da compra da informação.
3. Pesquisa_de_mercado	compra não_compra	Variável de decisão.
4. Decisão_preço	aumenta mantém diminui	Variável de decisão.
5. Decisão_propaganda	aumenta mantém diminui	Variável de decisão
6. Lucro_esperado	36 atributos numéricos	Variável utilidade que fornece o valor esperado da decisão tomada. 18 valores do quadro 29 18 valores do quadro 29 menos o valor da informação, UM 100.000.

Quadro 29 – variáveis e atributos do SEP “pesquisa de mercado” com a descrição de cada uma delas.

The screenshot shows the SPIRIT shell interface for the 'pesquisa de mercado' SEP. The main window displays the following components:

- Variables Panel:** Lists six variables with their attributes and values:
  - Demanda\_esperada:** aumenta (0,6001), diminui (0,4000)
  - Prognóstico\_demanda:** aumenta (0,6001), diminui (0,4000)
  - Pesquisa\_de\_mercado:** compra (1,0000), não\_compra (0,0000)
  - Decisão\_preço:** aumenta (0,0000), mantém (0,0000), diminui (1,0000)
  - Decisão\_propaganda:** aumenta (1,0000), mantém (0,0000), diminui (0,0000)
  - Lucro\_esperado:** \$ 176.997,400
- Dependencies Panel:** Shows a network of nodes representing the variables and their relationships. The nodes are: Demanda\_esperada, Prognóstico\_demanda, Pesquisa\_de\_mercado, Decisão\_preço, Decisão\_propaganda, and Lucro\_esperado. Lines connect the nodes to show dependencies.
- Rules Panel:** Displays a table of rules with their probabilities and actions:
 

Activity	P prescr	P act	Rule text
<input checked="" type="checkbox"/>	0,60,60000		Demanda_esperada=aumenta
<input checked="" type="checkbox"/>	0,80,80000		Prognóstico_demanda=aumenta   Demanda_esperada=aumenta
<input checked="" type="checkbox"/>	0,30,30000		Prognóstico_demanda=aumenta   Demanda_esperada=diminui
<input checked="" type="checkbox"/>	11,100000		(Lucro_esperado=473548 v Lucro_esperado=373548 v Lucro_esperado=461860 v ...
<input checked="" type="checkbox"/>	11,100000		(Lucro_esperado=249814 v Lucro_esperado=149814 v Lucro_esperado=238125 v ...
<input checked="" type="checkbox"/>	11,100000		(Lucro_esperado=446725 v Lucro_esperado=458414 v Lucro_esperado=470102 v ...
<input checked="" type="checkbox"/>	10,00000		(Lucro_esperado=546725 v Lucro_esperado=558414 v Lucro_esperado=570102 v ...

Figura 19 – instanciamento do SEP “pesquisa de mercado” para o jogo GI-EPS.

O sistema pode ser consultado para diversas combinações de decisão. A título de ilustração será considerado o caso mais desfavorável. Neste exemplo tem-se o instanciamento do atributo “compra” para a variável “Pesquisa\_de\_mercado”, do atributo “diminui” para a variável “Decisão\_preço” e do atributo “aumenta” para a variável “Decisão\_propaganda”. Mesmo assim o resultado é positivo de UM 176.997,40 como mostra a variável utilidade “Lucro\_esperado” na figura 19.

Considerando que o prognóstico seja ainda mais desfavorável, ou seja, a consultoria indica, após a compra da informação, que a variação da demanda será de 20% menor do que o nível atual. Esta situação é indicada pelo instanciamento da variável “Prognóstico\_demanda” para o atributo “diminui”. Observa-se que neste caso o lucro esperado permanece positivo, com UM 119.532,70, indicado na figura 20 pela variável utilidade.

Neste exemplo é possível constatar que o sistema apresenta ao decisor subsídios para uma decisão racional, pois apesar de uma situação extremamente desfavorável, é indicado que vale a pena pagar pela informação e obter lucro.

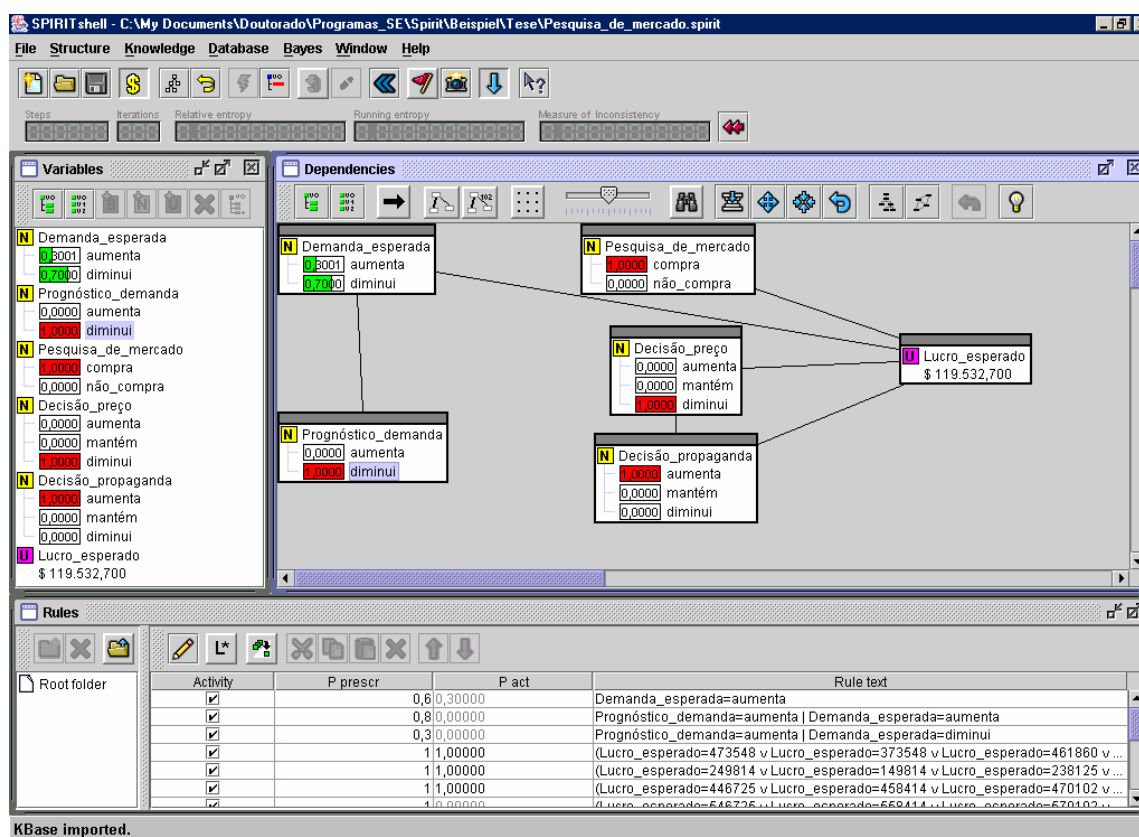


Figura 20 – instanciamento do SEP “pesquisa de mercado” para o jogo GI-EPS, com a compra da informação.

#### **6.4 Considerações Finais**

Neste capítulo foi realizada a aplicação do modelo desenvolvido. Quatro situações foram propostas para testa-lo. As três primeiras foram extraídas de decisões de uma empresa do jogo GI-EPS. A quarta situação foi proposta para testar o modelo com um valor de investimento menor que o encontrado nas três primeiras situações.

As aplicações foram realizadas e os resultados obtidos foram analisados.

Por fim, outros três sistemas especialistas mais simples foram apresentados, com o objetivo de dar ao jogador subsídios para a manipulação do modelo proposto nesta tese que faz uso da variável utilidade e que tem um maior grau de complexidade.

A seguir será apresentada a conclusão desta tese.

## 7. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Neste capítulo será apresentada a conclusão da tese e as recomendações para trabalhos futuros.

### 7.1. Conclusão

A análise de investimentos pode tornar-se cada vez mais complexa a medida que o decisor resolve aprofundar-se nas variáveis que compõem um estudo de viabilidade econômica. Contudo, quando se aborda os métodos determinísticos de análise o problema torna-se trivial. O reconhecimento de que as condições futuras de um projeto de investimento não são perfeitamente conhecidas, torna o problema ainda mais complexo. Sob esta ótica, os métodos probabilísticos se aproximam mais da realidade de análise, pois consideram o risco como um item fundamental.

Visto que tanto os métodos determinísticos quanto os probabilísticos, apesar das limitações impostas a cada um, tornam o problema complexo, utilizou-se dos jogos de empresas como arcabouço teórico para a aplicação do risco na análise de investimentos e assim propor um modelo que se aproxime da realidade, mas proporcionando a possibilidade de estudo das decisões tomadas. Para tanto vários passos foram dados em direção ao objetivo desta tese.

Foram mostrados os métodos determinísticos de análise, suas aplicações e desenvolvimentos. Apesar da fundamentação teórica relativamente simples, várias restrições práticas são impostas. Além disso, eles não consideram a probabilidade de ocorrência dos valores calculados. A fim de avançar no estudo e considerar a variável risco nos investimentos, os métodos probabilísticos foram apresentados.

A abordagem dos SEP, cuja aplicação se deu através da *Shell* SPIRIT, mostrou-se como um moderno enfoque na avaliação do risco, possibilitando ao decisor uma tomada de decisão mais consciente e até mesmo mais coerente com o seu perfil, ou seja, mais conservador ou mais ousado. Apesar de complexa a abordagem revelou-se eficiente na busca da redução do risco na decisão, pois o modelo permite a identificação da estratégia a ser adotada para a compra da informação. No caso

específico, investir mais ou menos em novas máquinas conforme os resultados do VPL esperado para cada situação passível de ocorrência.

O modelo proposto atingiu o objetivo pois proporciona ao jogador do GI-EPS situações mais próximas da realidade da tomada de decisões, ilustrando a Engenharia Econômica através de Jogos de Empresas com a estruturação de SEP utilizando a *Shell* SPIRIT. A metodologia proposta para a aplicação do SEP na solução do problema, complementa a abordagem probabilística.

O ambiente do jogo GI-EPS mostra-se adequado para a aplicação do modelo proposto, pois proporciona a simulação de períodos futuros e suas decisões, bem como as incertezas envolvidas. Assim, o GI-EPS ganha um módulo, o GI-EPS-AR, que se implementado sistematiza a análise de investimentos sob risco dando ao jogador mais uma ferramenta para o desenvolvimento das habilidades gerenciais.

As diferenças encontradas entre os valores de VPL quando calculado pelo método determinístico e com a aplicação do SEP estruturado através da *Shell* SPIRIT são significativas, dependendo do “resultado possível” obtido tal como foi demonstrado nas quatro situações em que o sistema foi aplicado. Isso demonstra que o decisor ganha com o modelo proposto, pois desta maneira é possível perceber o quanto pode-se deixar de ganhar em função da não consideração da variável risco na análise.

As outras aplicações, “Apoio à Decisão”, “O Caso da Greve no Porto” e “Pesquisa de Mercado”, auxiliam no uso e entendimento gradativo da *Shell* SPIRIT até culminar com o uso do modelo proposto o qual possui um nível de complexidade maior.

## **7.2. Recomendações**

A inclusão de outras variáveis no SEP elaborado na *Shell* SPIRIT enriqueceriam o modelo. As variáveis “lucro líquido” e “caixa”, representando respectivamente o lucro líquido do período e o valor monetário em caixa no período, forneceriam duas variáveis utilidade adicionais. Com isso, os jogadores poderiam analisar o retorno e a movimentação financeira no período considerado para a decisão e não somente com o VPL esperado que representa uma projeção de longo prazo.



A aplicação de SEP também pode ser implementada em várias outras situações no jogo. Duas já foram propostas no item 6.3. Outra proposta é relativa à avaliação de demanda de mercado para o produto, com a venda de pesquisa para a empresa interessada. Essa situação representaria uma importante ferramenta para a análise de estratégia de vendas e propaganda no jogo.

O GI-EPS é um jogo que simula uma indústria, portanto o módulo GI-EPS-AR enfoca a análise de investimento de um bem de capital. Novos avanços podem ser realizados com o objetivo de aplicar o SPIRIT em outras situações passíveis de risco, tal como o mercado de ações.

Outros jogos poderiam ser desenvolvidos e até mesmo outros módulos enfocando situações específicas dentro do GI-EPS, cujo objetivo estaria centrado na análise de investimentos sob risco.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHUJA, André. **Utility Estimation and Preference Aggregation under Uncertainty by Maximum Entropy Inference.** , Coimbra, Portugal: Proc. 15<sup>th</sup> Mini-EURO Conference “Managing Uncertainty in Decision Support Models” (MUDSM), September 22-24, 2004.
- ARANTES JÚNIOR, Assis. **Um método para avaliação de concessões de rodovias sob a ótica da iniciativa privada.** Florianópolis: UFSC, 150 p. Dissertação – Mestrado em Engenharia Civil, 2002.
- BALDWIN-MORGAN, Amelia Annette; STONE, Mary Frances. **A Matrix Model of Expert Systems Impacts.** Expert Systems With Applications, V. 9, n. 4, p. 599-608, 1995.
- BATAREKH, Aïda; PREECE, Alun D.; BENNETT, Anne; GROGONO, Peter. **Specifying an Expert System.** Expert Systems With Applications, V. 2, p. 285-303, 1991.
- BEYNON, Malcon; COSKER, Darren; MARSHALL, David. **An expert system for multi-criteria decision making using Dempster Shafer theory.** Expert Systems With Applications, V. 20, p. 357-367, 2001.
- BREALEY, Richard A.; MYERS, Stewart C.. **Princípios de finanças empresariais.** Tradução de Maria do Carmo Figueira. 5. ed., S.P.: MacGraw-Hill, 1998, 998 p.
- BUARQUE, Cristovam. **Avaliação econômica de projetos.** 12. ed., R.J.: Ed. Campus, 1984, 266 p.
- CARDEÑOSA, Jesús; JUÁREZ, Carlos; PASTOR, Guillermo. **An intelligent system for problem analysis in organizations.** Expert Systems With Applications, V. 15, p. 223-233, 1998.
- CASAROTTO FILHO, Nelson; KOPITTKKE, Bruno Hartmut. **Análise de investimentos: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão, estratégia empresarial.** 9. ed.; S.P.: Atlas S/A, 2000. 458 p.
- CASEY, Cathal; MURPHY, Ciaran. **Expert Systems in Marketing: An Application for Pricing New Products.** Expert Systems With Applications, V. 7, n. 4, p. 545-552, 1994.
- CHEN, Yen-Liang; HSU, Chang-Ling; CHOU, Shih-Chieh. **Constructing a multi-valued and multi-labeled decision tree.** Expert Systems With Applications, V. 25, p. 199-209, 2003.
- CHORAFAS, Dimitris N.. **Applying expert systems in business.** USA: McGraw-Hill Inc., 1987. 232 p.

- CHORAFAS, Dimitris. **Sistemas especialistas: aplicações comerciais**. Tradução: Mirian Fonseca Diniz; Revisão Técnica: Nizam Omar. São Paulo: McGraw-Hill, 1988, 254 p.
- CLARK, Robert A.; GJERDE, Kathy A. Paulson; SKINNER, Deborah. **The effects of interdisciplinary instruction on simulation performance**. *Simulation and Gaming*, V. 34, n. 1, p. 150-163, 2003.
- DOWNES, John; GOODMAN, Jordan Elliot. **Dicionário de termos financeiros e de investimento**. Tradução de Ana Rocha Tradutores Associados. 3. ed., S.P.: Nobel, 1993, 650 p.
- ENSSLIN, Leonardo. **Análise de investimentos**. UFSC: Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, 1977, 180 p.
- ESCHENBACH, Ted G.; GIMPEL, Robert J.. **Stochastic sensitivity analysis**. *The Engineering Economist*, V. 35, n. 4, p. 305-321, 1990.
- FAHRMEIR, Ludwig; KÜNSTLER, Rita; PIGEOT, Iris; TUTZ, Gerhard. **Statistik: der Weg zur Datenanalyse**. Berlin: Springer, 1997. 594 p.
- FEINSTEIN, Andrew Hale; CANNON, Hugh M.. **A hermeneutical approach to external validation of simulation models**. *Simulation and Gaming*, V. 34, n. 2, p. 186-197, 2003.
- FERNANDES, Paulo Henrique Lemelle. **Conceitos básicos de cadeias de Markov [on line]**. Porto Alegre, PUC-RS, 1999. De: <http://www.inf.pucrs.br/~paulof/courses/ad/markov0.html>
- FORSYTH, Richard (edited by). **Expert Systems: principles and case studies**. London: Chapman and Hall, Ltd, 1984, 231 p.
- GARRIS, Rosemary; AHLERS, Robert; DRISKELL, James E.. **Games, motivation, and learning: A research and practice model**. *Simulation and Gaming*, V. 33, n. 4, p. 441-467, 2002.
- GASLENE, Alain; FENSTERSEIFER, Jaime E.; LAMB, Roberto. **Decisões de investimentos da empresa**. 1. ed., S.P.: Atlas S/A, 1999, 295 p.
- GITMAN, Lawrence J.. **Princípios de administração financeira**. 7. ed., S.P.: Ed. Habra Ltda, 1997, 841 p.
- GOLD, Steven C.; PRAY, Thomas F.. **Historical review of algorithm development for computerized business simulations**. *Simulation and Gaming*, V. 32, n. 1, p. 66-84, 2001.
- GOOSEN, Kenneth R.; JENSEN, Ron; WELLS, Robert. **Purpose and learning benefits of simulations: a design and development perspective**. *Simulation and Gaming*, V. 32, n. 1, p. 21-39, 2001.

- GOYAL, Anil K.; TIEN, James M.; VOSS, Pieter A.. **Integrating uncertainty considerations in learning engineering economy.** The Engineering Economist, V. 42, n. 3, p. 249-257, 1997.
- HATMAN, Joseph C.. **Suggestions for teaching engineering economy at the undergraduate level.** The Engineering Economist, V. 44, n. 1, p. 110-128, 1999.
- HERATH, Hemantha S. B.; PARK, Chan S.. **Real options valuation and its relationship to Bayesian decision-making methods.** The Engineering Economist, V. 46, n. 1, p. 1-32, 2001.
- HERTZ, David Bendel. **The Knowledge Engineering Basis of Expert Systems.** Expert Systems With Applications, V. 1, p. 79-84, 1990.
- HILLMER, Douglas; LA SALLE, Anita J.; MEDSKER, Larry; WELSH, Greg. **A risk-identification tool for managers planning expert system applications.** Expert Systems With Applications, V. 4, p. 247-252, 1992.
- HO, Simom S. M.; PIKE, Richard, H.. **Organizational characteristic influencing the use of risk analysis in strategic capital investments.** The Engineering Economist, V. 43, n. 3, p. 247-268, 1998.
- HOLLNAGEL, Erik. **The Pragmatic and the Academic View on Expert Systems.** Expert Systems With Applications, V. 3, p. 179-185, 1991.
- HOROWITZ, Ira. **Engineering economy: an economist's perspective.** AIIE Transactions, V. 8, n. 4, p.430-437, 1976.
- JENSEN, Finn V.. **An introduction to Bayesian networks.** London: UCL Press, University College London, 1996. 178 p.
- KASSAI, José Roberto et alli. **Retorno de investimento: abordagem matemática e contábil do lucro empresarial.** 1. ed., S.P.: Atlas S/A, 1999, 242 p.
- KERN-ISBERNE, Gabriele; RÖDDER, Wilhelm. **Belief Revision and Information Fusion on Optimum Entropy.** [International Journal of Intelligent Systems](#), 837-857, 2004.
- KERN-ISBERNE, Gabriele; RÖDDER, Wilhelm. **Fusing Probabilistic Information on Maximum Entropy.** Springer, Berlin/Heidelberg: Proc. German Conference on Artificial Intelligence (KI 2003) Sep. 15-18, 407-420, 2003.
- KIRA, Dennis; KUSY, Martin; RAKITA, Ian. **The effect of project risk on capital rationing under uncertainty.** The Engineering Economist, V. 45, n. 1, p. 36-55, 2000.
- KOPITTKE, B. H.; DETTMER, A. L.; HERMENEGILDO, J. L. S.. **Jogo de empresas GI-EPS – manual do jogador.** UFSC: Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, Florianópolis, 2000, 45 p.

- KOPITTKE, B. H.; DETTMER, A. L.; HERMENEGILDO, J. L. S.; GERBER, J. Z.; VON MECHELN, P. J.. **Jogo de empresas GI-EPS – manual do animador**. UFSC: Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, 2002, 151 p.
- KOPITTKE, B. H.; GARTNER, I. R.; DETTMER, A. L.. **Um sistema inteligente de apoio à decisão baseado em inferência probabilística**. In: XVI ENEGEP, Piracicaba – SP. Anais do ENEGEP, 1996.
- KULMANN, Friedhelm. **Wissen und Information in Konditionalen Modellen – Zur Entscheidungsvorbereitung im Anfrage- und Auftragsmanagement**. Dissertation. FerUniversität, Hagen, Deutschland, 2001.
- LEVINE, Robert I.; DRANG, Diane E.; EDELSON, Barry. **Inteligência artificial e sistemas especialistas**. Tradução: Maria Cláudia Santos Ribeiro Ratto; Revisão Técnica: José Carlos Damski. São Paulo: McGraw-Hill, 1988, 264 p.
- LIEBOWITZ, Jay. **An introduction to expert systems**. California: Mitchell Publishing, Inc, 1988, 182 p.
- MANNARINO, Remo. **Introdução à engenharia econômica**. 1. ed., R.J.: Ed. Campus, 1991 198 p.
- MARTIN, Brenda; SUBRAMANIAN, Girish H.; YARVERBAUM, Gayle J.. **Benefits from expert systems: an exploratory investigation**. Expert Systems With Applications, V. 11, n. 1, p. 53-58, 1996.
- MASER, Siegfried. **Fundamentos de teoria geral da comunicação: uma introdução a seus métodos e conceitos fundamentais**. Traduzido por Leônidas Hegenberg. S.P.: EPU, EDUSP, 1975. 241 p.
- McMGEE, James; PRUSAK, Laurence. **Gerenciamento estratégico da informação: aumente a competitividade e a eficiência de sua empresa utilizando a informação como uma ferramenta estratégica**. 4. ed., R.J.: Campus, 1994, 244 p.
- MECHELN, Pedro José von. **Jogo de empresas, ambiente interativo e agentes computacionais**. Florianópolis: UFSC, 114 p. Tese – Doutorado em Engenharia de Produção, 2003.
- MILLER, Luke T.; PARK, Chan S.. **Decision making under uncertainty – real options to the rescue?** The Engineering Economist, V. 47, n. 2, p. 105-150, 2002.
- MÜLLER-MERBACH, Heiner. **Operations Research – Methoden und Modelle der Optimalplanung**. 10. Nachdruck, Berlin: Mercedes-Druck, 1992. 565 p.
- NEEDY, Kim Lascola; NACHTMANN, Heather; LAVELLE, Jerome P.; ESCHENBACH, Ted G.. **An empirical analysis of engineering economy pedagogy**. The Engineering Economist, V. 45, n. 1, p. 74-92, 2000.

- NURMINEN, Jukka K.; KARONEN, Olli; HÄTÖNEN, Kimmo. **What makes expert systems survive over 10 years – empirical evaluation of several engineering applications.** Expert Systems With Applications, V. 24, p. 199-211, 2003.
- PARK, Chan S.; HERATH, Hemantha S. B.. **Exploiting uncertainty – investment opportunities as real options: a new way of thinking in engineering economics.** The Engineering Economist, V. 45, n. 1, p. 1-36, 2000.
- PEARL, Judea. **Probabilistic reasoning in intelligent systems: networks of plausible inference.** 2. ed., San Mateo, Califórnia: Morgan Kaufmann Publishers, 1988. 552 p.
- PINDYCK, Robert S.; RUBINFELD, Daniel L.. **Microeconomia.** Tradução de Pedro Catenda. 1. ed., S.P.: Makron Books, 1994, 968 p.
- RAYNOR, Michael E.. **Diversification as real options and the implications on firm-specific risk and performance.** The Engineering Economist, V. 47, n. 4, p. 371-389, 2002.
- REUCHER, Elmar. **Modellbildung bei Unsicherheit und Ungewissheit in Konditionalen Strukturen.** Tese de doutorado. Hagen: FernUniversiät, 2002. 207 p.
- RÖDDER, Wilhelm. **Analyst: Computergestützte Kreditwürdigkeitsprüfung.** Hagerer Universitätsreden, 25. p. 241-259, 1999.
- RÖDDER, Wilhelm. **Conditional Logic and the Principle of Entropy.** [Artificial Intelligence](#), 83-106, 2000
- RÖDDER, Wilhelm; KERN-ISBERNER, Gabriele. **Léa Sombé und entropie-optimale Informationsverarbeitung mit der Expertensystem-Shell SPIRIT.** OR Spektrum, V. 19, p. 41-46, 1997.
- RÖDDER, Wilhelm; KULMANN, Friedhelm; KOPITTKÉ, Bruno Hartmut. **Operations Research Wissensbasierte Entscheidungsunterstützung mit SPIRIT.** FerUniversität, Hagen, Deutschland, 1997, 84 p.
- RÖDDER, Wilhelm; REUCHER, Elmar. **Wissen und Folgern aus relevanter Information. [on line].** 2000/2001. De: [http://www.fernuni-hagen.de/BWLOR/spirit/sp\\_lit.htm](http://www.fernuni-hagen.de/BWLOR/spirit/sp_lit.htm)
- RÖDDER, Wilhelm; XU, Longgui. **Entropiegesteuerte Inferenz und Inkonsistenz.** Proc. Artificial Intelligence and Statistics 99, 3-6 Januar, Fort Lauderdale, Florida, p. 272-277, 1999.
- RUBEN, Brent D.. **Simulations, Games, and Experience-Based Learning: The Quest for a New Paradigm for Teaching and Learning.** Simulation and Gaming, V. 30, n. 4, p. 498-505, 1999.

- SAMANEZ, Carlos Partricio. **Matemática financeira: aplicações à análise de investimentos**. 2. ed., S.P.: Makron Books, 1999, 320 p.
- SILVA, Edna Lúcia da. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação – 3. ed. ver. atual**. Florianópolis: Laboratório de Ensino à Distância da UFSC, 2001, 121 p.
- SMITH, Robert P.. **Risk management in undergraduate engineering economics education**. The Engineering Economist, V. 44, n. 2, p. 202-207, 1999.
- SOARES, José F.; FARIAS, Alfredo A.; CESAR, Cibele C.. **Introdução à estatística**. R.J.: Livros Técnicos e Científicos S/A, 1991. 376 p.
- STYLIANOU, Anthony C.; SMITH, Robert D.; MADEY, Gregory R.. **An Empirical Model for the Evaluation and Selection of Expert System Shells**. Expert Systems With Applications, V. 8, n. 1, p. 143-155, 1995.
- SUCAR, Luis Enrique; MARTÍNEZ-ARROYO, Mirian. **Interactive structural learning of Bayesian networks**. Expert Systems With Applications, V. 15, p. 325-332, 1998.
- THUESEN, G. J.; FABRYCKY, W. J.. **Engineering economy**. 8. ed., New Jersey: Prentice Hall, 1993, 717 p.
- TURBAN, Efraim; TRIPPI, Robert. **Integrating Expert Systems and Operations Research: A Conceptual Framework**. Expert Systems With Applications, V. 1, p. 335-343, 1990.
- WANG, Lin; PORTER, Alan L.; CUNNINGHAM, Scott. **Expert Systems: Present and Future**. Expert Systems With Applications, V. 3, p. 383-396, 1991.

## APÊNDICE I – A NOTÍCIA DO JORNAL

Um fabricante de máquinas anuncia que uma nova tecnologia ainda em desenvolvimento pode reduzir o valor do investimento em imobilizado ( VI ) para até 50 UM / produto, mantendo a mesma produtividade ( P ) da máquina. Este valor é uma expectativa e para que ele se confirme são necessários ajustes no processo de produção.

O fabricante está propondo uma parceria no desenvolvimento tecnológico das máquinas que custará à indústria parceira UM 20.000, pago à vista. Em contrapartida oferece exclusividade no fornecimento das mesmas durante um período após atingir o " VI " ideal, cujo valor exato depende de análise aprofundada.

O desenvolvimento inclui análise e reformulação do processo produtivo, instalação e ajustes das novas máquinas, balanceamento de toda a linha de produção, além do fornecimento de peças de reposição durante este período.

Uma revista especializada em máquinas e processos de produção publicou um artigo onde faz uma previsão a respeito desta nova tecnologia, os resultados estão no quadro abaixo:

	VI = 50 UM / produto acabado	VI = 60 UM / produto acabado	VI = 80 UM / produto acabado
t +1	30%	30%	40%

t = próximo período de decisão

“Não há a garantia da redução do " VI " já no próximo período e nem mesmo sabe-se quando será atingido, há até mesmo a possibilidade de que o valor ótimo proposto não seja atingido, pois a experiência tem mostrado que nem sempre as novas tecnologias cumprem o prometido”, diz o consultor.

O editor de tecnologia do jornal afirma que “a revista já realizou várias análises deste tipo e portanto tem experiência no assunto. Contudo, nem sempre acertou as previsões” afirma o editor e mostra um levantamento histórico a respeito das previsões já realizadas pela revista.

Probabilidade das previsões e dos respectivos resultados reais:



Resultados previstos	Resultados reais		
	bom	médio	ruim
bom	70%	10%	20%
médio	15%	80%	20%
ruim	15%	10%	60%

A leitura é a seguinte: se o resultado real é médio, a revista previu um resultado bom em 10% dos casos, um resultado médio em 80% dos casos e um resultado ruim em 10% dos casos.

Será considerado que o resultado bom é VI = 50, médio é VI = 60 e ruim é VI = 80.



## APÊNDICE III – SEP DESENVOLVIDO NA SHELL SPIRIT

The screenshot displays the SPIRIT shell interface with the following components:

- Variables Panel:** Lists variables and their states:
  - VPL\_esperado: \$1.119.043,187
  - Resultado\_esperado: 0,500 UM\_50, 0,500 UM\_60, 0,000 UM\_80
  - Qual\_é\_o\_prognóstico: 0,200 UM\_50, 0,225 UM\_60, 0,575 UM\_80
  - Qual\_é\_o\_investimento: 0,750 A, 0,250 B
  - Como\_é\_a\_informação: 0,500 sem\_inf\_adicional, 0,500 imperfeita, 0,000 perfeita
  - Compra\_informação: 0,750 sim, 0,250 não
- Dependencies Panel:** Shows a Bayesian network diagram with nodes for Resultado\_esperado, Qual\_é\_o\_prognóstico, VPL\_esperado, Como\_é\_a\_informação, Compra\_informação, and Qual\_é\_o\_investimento.
- Rules Panel:** Contains a table of rules with the following data:

Activity	P prestr	P fact	Rule text
<input checked="" type="checkbox"/>		0,350,35000	Resultado_esperado=UM_50
<input checked="" type="checkbox"/>		0,350,35000	Resultado_esperado=UM_80
<input checked="" type="checkbox"/>		0,70,70000	Qual_é_o_prognóstico=UM_50   Resultado_esperado=UM_50
<input checked="" type="checkbox"/>		0,150,15000	Qual_é_o_prognóstico=UM_80   Resultado_esperado=UM_50
<input checked="" type="checkbox"/>		0,10,10000	Qual_é_o_prognóstico=UM_50   Resultado_esperado=UM_60
<input checked="" type="checkbox"/>		0,90,80000	Qual_é_o_prognóstico=UM_80   Resultado_esperado=UM_60
<input checked="" type="checkbox"/>		0,70,70000	Qual_é_o_prognóstico=UM_50   Resultado_esperado=UM_80

## APÊNDICE IV – REGRAS NO SPIRIT

The screenshot displays the SPIRIT shell interface. The main window is titled 'SPIRIT shell - C:\Meus documentos\Denis\5ª série\Novas\_nôçasat\_estrutura\501.spirit'. The 'Rules' window is open, showing a list of rules with their activation probabilities and logical conditions.

Ativação	P. pr.	Rule text
<input checked="" type="checkbox"/>	0,25	Resultado_esperado=UM_50
<input checked="" type="checkbox"/>	0,35	Resultado_esperado=UM_60
<input checked="" type="checkbox"/>	0,7	Qual_ê_o_prognóstico=UM_50   Resultado_esperado=UM_50
<input checked="" type="checkbox"/>	0,15	Qual_ê_o_prognóstico=UM_60   Resultado_esperado=UM_60
<input checked="" type="checkbox"/>	0,1	Qual_ê_o_prognóstico=UM_50   Resultado_esperado=UM_60
<input checked="" type="checkbox"/>	0,8	Qual_ê_o_prognóstico=UM_60   Resultado_esperado=UM_60
<input checked="" type="checkbox"/>	0,2	Qual_ê_o_prognóstico=UM_50   Resultado_esperado=UM_80
<input checked="" type="checkbox"/>	0,2	Qual_ê_o_prognóstico=UM_60   Resultado_esperado=UM_80
<input checked="" type="checkbox"/>	1	(VPL_esperado=2084054 v VPL_esperado=1984054 v VPL_esperado=1042027 v VPL_esperado=942027)   Resultado_esperado=UM_50
<input checked="" type="checkbox"/>	1	(VPL_esperado=1439550 v VPL_esperado=1339550 v VPL_esperado=719775 v VPL_esperado=619775)   Resultado_esperado=UM_60
<input checked="" type="checkbox"/>	1	(VPL_esperado=633921 v VPL_esperado=533921 v VPL_esperado=316961 v VPL_esperado=216961)   Resultado_esperado=UM_80
<input checked="" type="checkbox"/>	1	(VPL_esperado=2084054 v VPL_esperado=1984054 v VPL_esperado=1439550 v VPL_esperado=1339550 v VPL_esperado=633921 v VPL_esperado=533921)   Resultado_esperado=UM_50
<input checked="" type="checkbox"/>	1	(VPL_esperado=1042027 v VPL_esperado=942027 v VPL_esperado=719775 v VPL_esperado=619775 v VPL_esperado=316961 v VPL_esperado=216961)   Resultado_esperado=UM_60
<input checked="" type="checkbox"/>	1	(VPL_esperado=1984054 v VPL_esperado=1339550 v VPL_esperado=942027 v VPL_esperado=619775 v VPL_esperado=533921 v VPL_esperado=433921)   Resultado_esperado=UM_80
<input checked="" type="checkbox"/>	1	(VPL_esperado=2084054 v VPL_esperado=1439550 v VPL_esperado=1042027 v VPL_esperado=719775 v VPL_esperado=633921 v VPL_esperado=533921)   Resultado_esperado=UM_50
<input checked="" type="checkbox"/>	1	Qual_ê_o_investimento=A   Como_ê_a_informação_perfeita

## APÊNDICE V – A DECISÃO DE INVESTIR CONSIDERANDO A AQUISIÇÃO DE INFORMAÇÃO ADICIONAL

Denis Rasquin Rabenschlag, M. Eng.  
Doutorando da Universidade Federal de Santa Catarina  
Caixa Postal 476 – CEP 88010-970  
Trindade – Florianópolis – SC  
denis@ct.ufsm.br  
(48) 331-7047

Bruno Hartmut Kopittke, Dr.  
Professor da Universidade Federal de Santa Catarina  
Caixa Postal 476 – CEP 88010-970  
Trindade – Florianópolis – SC  
bruno@deps.ufsc.br  
(48) 331-7047

### 1. Introdução

É usual referir-se ao mundo dos negócios em termos de sociedades do conhecimento ou da informação. Ao conhecimento e à informação são atribuídos valores altos, altíssimos. Eles seriam fundamentais ou imprescindíveis. Estas considerações entretanto, se tornam vazias quando se quer saber até quanto se pode investir para obter determinada informação. Para responder a uma questão específica necessita-se de ferramentas adequadas e neste caso são poucos os exemplos na literatura de análise de investimentos ou marketing que tratam da questão. A área de marketing foi lembrada porque as numerosas pesquisas normalmente são feitas para obter informações específicas. Então é justo fazer a pergunta: Vale a pena fazer esta pesquisa?

Já nos anos 70 Raifa [4] respondeu a esta questão afirmando que o valor da informação depende do seu impacto sobre a decisão. Para avaliar o valor de uma informação é necessário explicitar o que se faria caso a informação estivesse disponível e naturalmente também qual seria a decisão caso não se dispusesse da informação. Só assim é possível quantificar o valor da informação pela melhora da decisão. Este aspecto é abordado em [ 3 ], [ 7 ], [ 9 ] e [ 10 ].

Como este exercício sobre o futuro requer um raciocínio estratégico e não operacional ele raramente é feito de maneira conseqüente. Esta é a conclusão que se chegou depois de aplicar um jogo de empresas que envolve a compra de informações estratégicas. Por mais de 15 anos este jogo [ 2 ] foi aplicado nos ambientes mais diversos. Nele os jogadores aos quais era oferecida uma informação estratégica normalmente ignoravam a oferta e se concentravam nas decisões operacionais de rotina. Os poucos que adquiririam a informação não sabiam exatamente o que fazer com ela. O sucesso da literatura sobre estratégia empresarial e quebra de paradigmas reforça este argumento.

O propósito deste artigo é mostrar que há novas formas de modelar problemas envolvendo a quantificação do valor da informação mesmo naqueles casos em que a informação a ser adquirida é imperfeita. Isto será feito através de um exemplo extraído de um livro de Análise de Investimentos. A solução proposta neste artigo

envolve a utilização de uma shell de um sistema especialista probabilístico chamada SPIRIT [ 8 ]. As vantagens da utilização deste sistema advém do cálculo automatizado das probabilidades condicionais necessárias para a determinação do valor de informações imperfeitas e do fato de não ser necessário conhecer o conjunto completo das probabilidades envolvendo os atributos das variáveis do sistema criado.

## 2. A Shell SPIRIT

Sistemas Especialistas são programas que têm a capacidade de adquirir e processar conhecimentos a partir das informações obtidas de um especialista, ou mesmo através de dados históricos, em uma determinada área. Quando consultados, estes programas fornecem apoio ao usuário disponibilizando os conhecimentos e as informações correspondentes. As suas vantagens estão ligadas ao fato de poderem ser facilmente reproduzidos e serem objetivos [ 9 ].

Um Sistema Especialista é denominado probabilístico (SEP), quando a base de conhecimento pode ser representada por uma distribuição de probabilidades, normalmente hiperdimensional.

O SPIRIT, desenvolvido na FernUniversität de Hagen na Alemanha, é uma interface de desenvolvimento de SEP para construção e aplicação de uma base de conhecimento sobre conjuntos de variáveis discretas (com seus atributos), cuja sigla incorpora suas principais características:

**Symmetrical:** a inferência pode ser realizada nos dois sentidos: da premissa para a conclusão e vice-versa;

**Probabilistic:** os prognósticos tomam como base a distribuição marginal de probabilidades;

**Intentional:** a probabilidade dos fatos e regras que formam a estrutura de dependências entre as variáveis podem ser modificadas através de observações no mundo real;

**Reasoning:** envolve raciocínio lógico;

**Inference Networks:** a inferência é efetivada a partir da transformação de um grafo numa árvore de decisão;

**Transition:** as variáveis e suas relações podem estar em contínua mudança, e de acordo com um processo denominado *Instanciamento de Variáveis*, é informado o estado em que se encontra um determinado atributo de uma ou mais variáveis.

## 3. O problema de análise de investimento

O problema proposto foi retirado de Casarotto e Kopittke [ 1 ], onde se encontra também sua solução pelo método tradicional da árvore de decisões.

Seja uma empresa que estuda a possibilidade de investir numa exploração de carvão. A empresa poderá investir uma quantia elevada A, uma quantia baixa B ou poderá desistir de participar. O resultado deste negócio poderá ser bom, médio ou ruim, sendo que as probabilidades destas ocorrências valem 25%, 45% e 30%, respectivamente.

Com base em dados de explorações anteriores nas mesmas terras, foi feito um cálculo dos lucros possíveis. Os resultados estão na tabela 1.

Tabela 1: Previsão de lucros (UM)

Soma Investida	Resultados possíveis		
	Bom	Médio	Ruim
A	760.000	280.000	-570.000
B	400.000	250.000	-200.000

Para reduzir a incerteza sobre as previsões de ganhos pode-se utilizar os serviços de um consultor, o qual solicita um honorário de UM 20.000,00. Este não prevê os resultados com certeza, mas pode-se ver pela tabela 2 as probabilidades dos acertos de seus prognósticos.

Tabela 2: P (Prognóstico | Resultado)

Prognóstico	Resultados possíveis		
	Bom	Médio	Ruim
Bom	0,72	0,08	0,09
Médio	0,18	0,85	0,23
Ruim	0,10	0,07	0,68
	1,00	1,00	1,00

A leitura desta tabela deve ser feita da seguinte maneira: se o resultado real é bom, o consultor previu: um resultado bom em 72% dos casos, um resultado médio em 18% dos casos e um resultado ruim em 10% dos casos.

#### 4. Criação e análise do SEP

O sistema foi criado com quatro variáveis nominais e uma variável utilidade, sendo que esta última representa o lucro esperado considerando-se as opções de comprar a informação ou não. A variável utilidade representa então o lucro da empresa para cada uma das combinações entre as variáveis. O quadro 1 apresenta as variáveis, seus atributos e descrições.

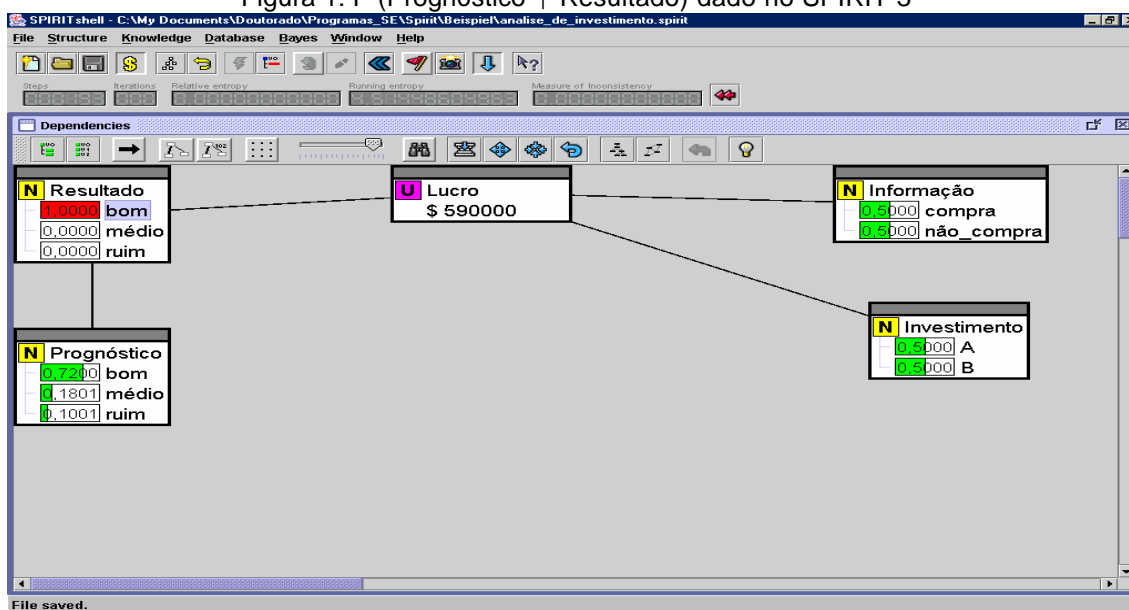
Quadro 1 – variáveis e atributos do SEP de apoio à decisão com a descrição de cada uma delas.

Variável	Atributos	Descrição
1. Resultado	bom médio ruim	Variável nominal. É o resultado que efetivamente ocorreu.
2. Prognóstico	bom médio ruim	Variável nominal. É o prognóstico realizado pelo especialista que vendeu a informação.
3. Informação	compra não_compra	Variável nominal. É uma variável de decisão, comprar ou não a informação
4. Investimento	A B	Variável nominal. É uma variável de decisão, investir na alternativa A ou B.
5. Lucro	possui 12 atributos numéricos	Variável utilidade. Apresenta os resultados de lucro para cada uma das 12 combinações possíveis (ver tabela 7).

Após a definição das variáveis, as mesmas são inseridas no sistema com os seus respectivos atributos. Na seqüência, as regras são elaboradas, o sistema estruturado com a criação das ligações (LEGs – Local Event Groups) entre as variáveis e finalmente ocorre a propagação através da estrutura criada. Agora o sistema está pronto para ser consultado. A figura 1 mostra uma janela da *Shell* SPIRIT com o SEP proposto.

Maiores informações dos procedimentos operacionais para construir o SEP podem ser obtidas no manual digital do SPIRIT que pode ser acessado no menu *Help* submenu *User's Guide*.

Figura 1: P (Prognóstico | Resultado) dado no SPIRIT 3



Na figura 1 é possível observar as probabilidades do “Prognóstico” da tabela 2 para “Resultado = bom”. Pode-se obter qualquer uma das probabilidades do “Prognóstico” através do instanciamento da variável “Resultado”.

As probabilidades a priori para os resultados bom, médio e ruim estão na tabela 3. A figura 2 foi obtida a partir do enunciado do problema. Nela é possível observar os valores na variável “Resultado”.

Tabela 3: P (Resultado)

Resultado		
Bom	Médio	Ruim
0,25	0,45	0,30

As probabilidades condicionais são obtidas por simples propagação pelo teorema de Bayes. Os valores estão na tabela 4 que pode ser lida assim: se o resultado previsto pelo especialista foi bom então a probabilidade do resultado ser realmente bom é de 74,04%.

Na figura 3 observam-se as probabilidades de acontecimento do “Resultado” para o “Prognóstico = bom”. Qualquer uma das probabilidades possíveis podem ser obtidas através do instanciamento da variável “Prognóstico”.



Na figura 4 estão mostradas todas as alternativas como árvore de decisão, os ramos para “Prognóstico = médio” e “Prognóstico = ruim” coincidem com o ramo para “Prognóstico = bom”.

Figura 2: P (Resultado) dado no SPIRIT 3

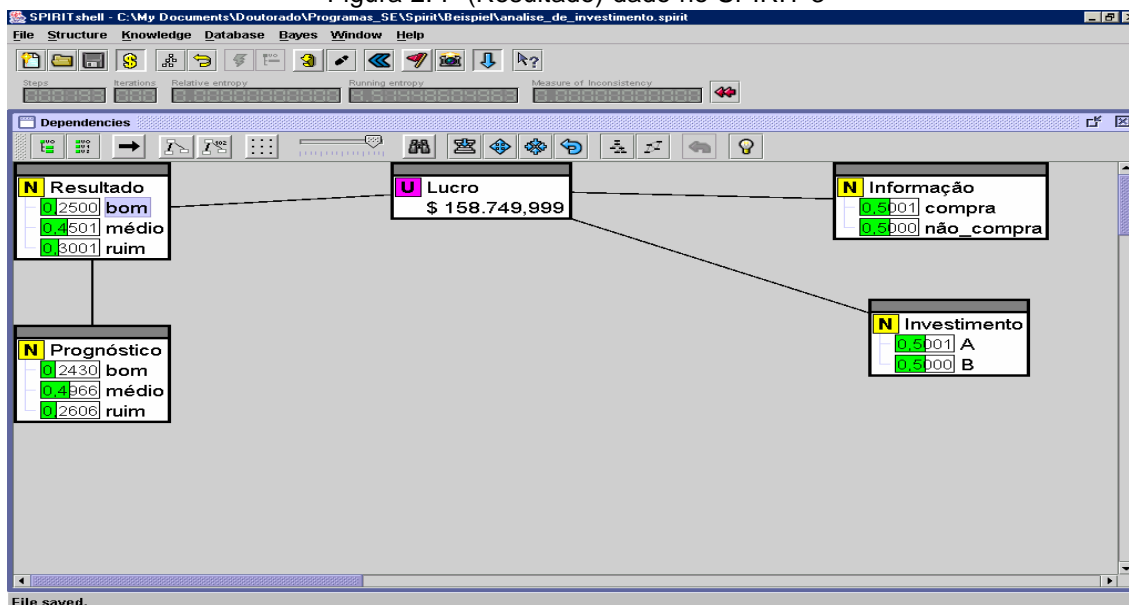
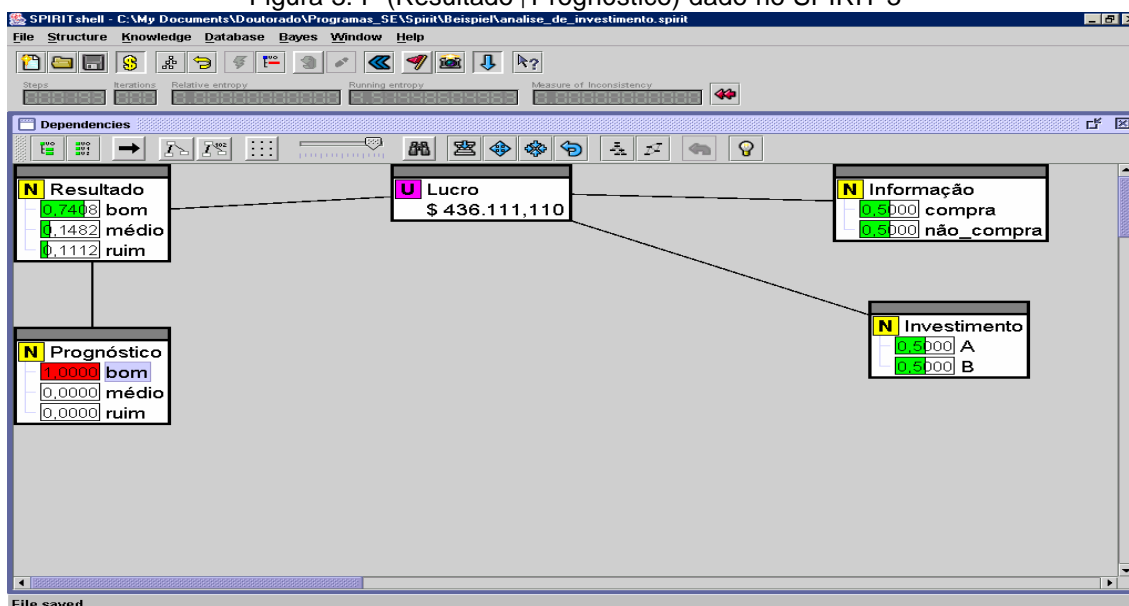


Tabela 4: P (Resultado | Prognóstico)

Prognóstico	Resultados possíveis		
	Bom	Médio	Ruim
Bom	0,7407	0,0906	0,0960
Médio	0,1481	0,7704	0,1209
Ruim	0,1111	0,1390	0,7831
	1,00	1,00	1,00

Figura 3: P (Resultado | Prognóstico) dado no SPIRIT 3



## 5. A árvore de decisão do problema

A partir da árvore de decisão pode-se calcular a probabilidade de ocorrência de cada evento. Assim, no ramo da informação “sim”, se o Prognóstico é “bom”, o Investimento é “A” e o Resultado é “bom” (Lucro = 760.000), o cálculo é  $0,25 \times 0,72 = 0,18$ . Observe que para o Investimento “B” o resultado é o mesmo.

Sendo “R” e “P” os resultados reais e previstos com os índices “b”, “m” e “r” correspondendo a bom, médio e ruim, respectivamente, tem-se:

$$P(Pb) = 0,25 \times 0,72 + 0,45 \times 0,08 + 0,30 \times 0,09 = 0,2430$$

$$P(Pm) = 0,25 \times 0,18 + 0,45 \times 0,85 + 0,30 \times 0,23 = 0,4965$$

$$P(Pr) = 0,25 \times 0,10 + 0,45 \times 0,07 + 0,30 \times 0,68 = 0,2605$$

As probabilidades condicionais são obtidas pelo teorema de Bayes:

$$P(Rb/Pb) = 0,18 / 0,243 = 0,7407$$

$$P(Rm/Pb) = 0,036 / 0,243 = 0,1481$$

$$P(Rr/Pb) = 0,027 / 0,243 = 0,1111$$

$$P(Rb/Pm) = 0,045 / 0,4965 = 0,0906$$

$$P(Rm/Pm) = 0,3825 / 0,4965 = 0,7704$$

$$P(Rr/Pm) = 0,069 / 0,4965 = 0,1390$$

$$P(Rb/Pr) = 0,025 / 0,2605 = 0,0960$$

$$P(Rm/Pr) = 0,0315 / 0,2605 = 0,1209$$

$$P(Rr/Pr) = 0,204 / 0,2605 = 0,7831$$

Na figura 1 são mostradas todas as alternativas como árvore de decisão, os ramos para “Prognóstico = médio” e “Prognóstico = ruim” coincidem com o ramo para “Prognóstico = bom” e não foram representados na figura.

Os nós quadrados representam as decisões a serem tomadas e os nós redondos representam os eventos aleatórios, as incertezas. O objetivo é escolher aquela alternativa que proporciona o maior valor esperado, sendo possível ao decisor visualizar os riscos, as opções e as vantagens financeiras das diversas alternativas possíveis.

Se “Informação = compra”, ou seja, foi decidido comprar a informação, então o “Prognóstico” pode ser bom, médio ou ruim, conforme a previsão do especialista para o evento aleatório. Supondo que o especialista previu “Prognóstico = bom”, então o decisor deverá escolher entre os investimentos A e B conforme o valor esperado para cada um. O último nó representa o resultado real que acontecerá com uma expectativa de lucro para cada possibilidade de acontecimento, ou seja, bom, médio ou ruim.

A tabela 5 apresenta as probabilidades da variável “Resultado” para as combinações das variáveis “Informação”, “Prognóstico” e “Investimento”. No SPIRIT\_INVEST estas combinações são obtidas através do instanciamento dos atributos de cada uma das 3 variáveis e os valores das probabilidades obtidos na variável “Resultado”. Nesta tabela o símbolo “^” representa o conector “e”.

A tabela 6 apresenta as probabilidades da variável “Prognóstico” para a compra ou não da informação. No SPIRIT\_INVEST deve-se instanciar a variável “Informação” e obter os valores das probabilidades na variável “Prognóstico”.

Tabela 5: P (Resultado | Informação  $\wedge$  Prognóstico  $\wedge$  Investimento)

Informação	Prognóstico	Investimento	Resultado	P (Resultado  $\frac{1}{2}$ Prognóstico)
compra	bom	A	bom	0,74074
compra	bom	A	médio	0,14815
compra	bom	A	ruim	0,11111
compra	bom	B	bom	0,74074
compra	bom	B	médio	0,14815
compra	bom	B	ruim	0,11111
compra	médio	A	bom	0,09063
compra	médio	A	médio	0,77039
compra	médio	A	ruim	0,13897
compra	médio	B	bom	0,09063
compra	médio	B	médio	0,77039
compra	médio	B	ruim	0,13897
compra	ruim	A	bom	0,09597
compra	ruim	A	médio	0,12092
compra	ruim	A	ruim	0,78311
compra	ruim	B	bom	0,09597
compra	ruim	B	médio	0,12092
compra	ruim	B	ruim	0,78311
não_compra	x	A	bom	0,25
não_compra	x	A	médio	0,45
não_compra	x	A	ruim	0,30
não_compra	x	B	bom	0,25
não_compra	x	B	médio	0,45
não_compra	x	B	ruim	0,30

Tabela 6: P (Prognóstico | Informação)

Informação	Prognóstico	P (Prognóstico   Informação)
compra	Bom	0,2430
compra	Médio	0,4965
compra	Ruim	0,2605
não_compra	Bom	0,2430
não_compra	Médio	0,4965
não_compra	Ruim	0,2605

A árvore de decisão na figura 4 torna possível obter com estas informações, da direita para a esquerda, uma determinação retro da decisão ótima. Se estivermos no nó ■ da figura 4, estamos frente a pergunta se o investimento A ou o B deve ser feito, calcula-se:

$$0,74074 \times 760.000 + 0,14815 \times 280.000 - 0,11111 \times 570.000 \cong 541.000 \text{ para a alternativa A}$$

$$0,74074 \times 400.000 + 0,14815 \times 250.000 - 0,11111 \times 200.000 \cong 311.000 \text{ para a alternativa B}$$

A decisão racional beneficia o investimento A supondo-se que o consultor fosse utilizado e este prognosticasse um bom resultado.

A figura 5 contém todas as informações para uma decisão com utilidade ótima.

O desenrolar no tempo das decisões reais acontece na ordem inversa ao processo de solução:

1. Primeiramente deve-se decidir se um consultor deve ser contratado ou não, para fazer um prognóstico (Variável de decisão);
2. Então obtém-se o resultado do prognóstico (Variável aleatória);
3. Deve-se decidir sobre o investimento (Variável de decisão);
4. Finalmente, será constatado se o investimento deu um bom, médio ou mau resultado (Variável aleatória).

Figura 4: Árvore de decisão das alternativas

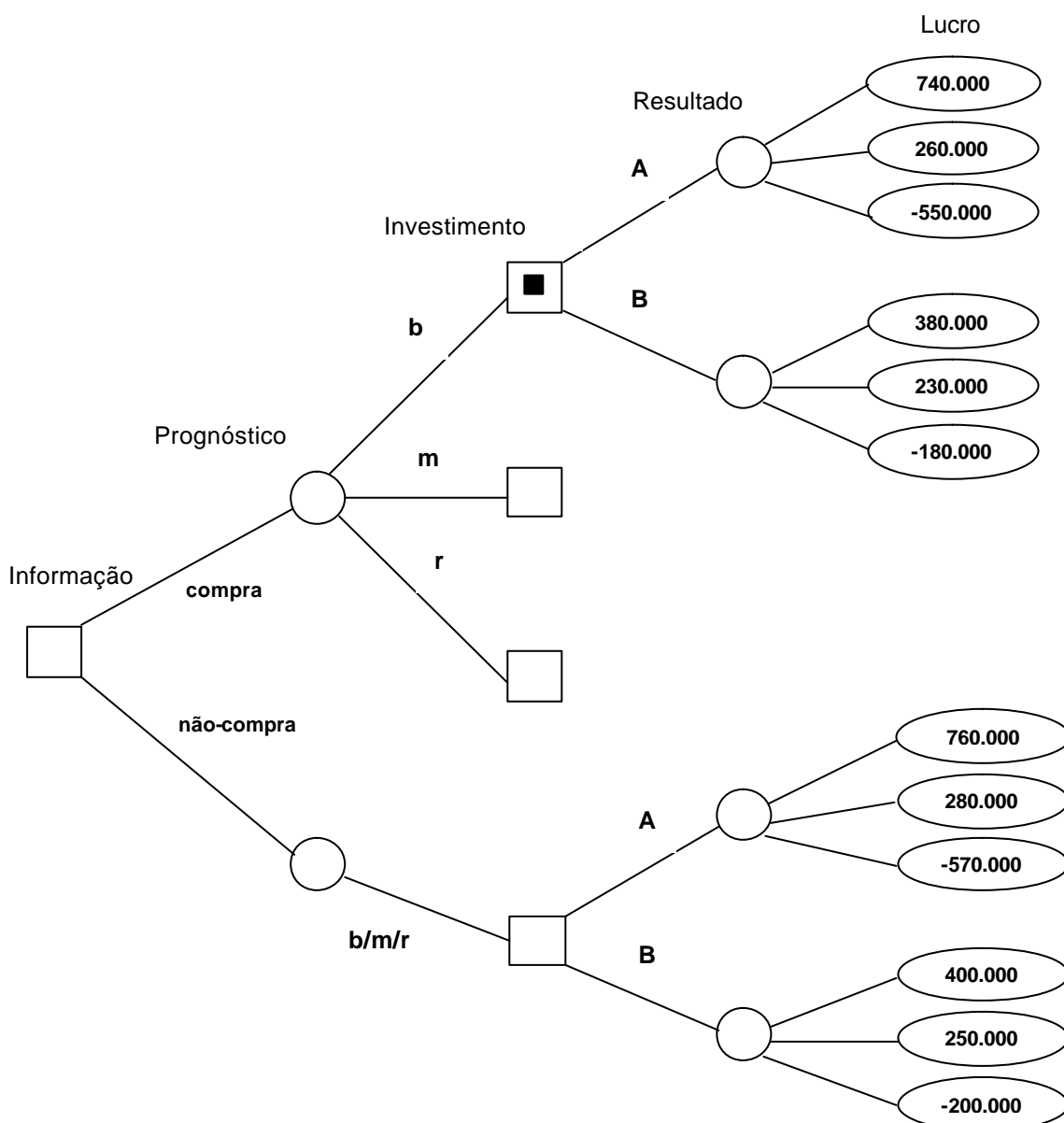
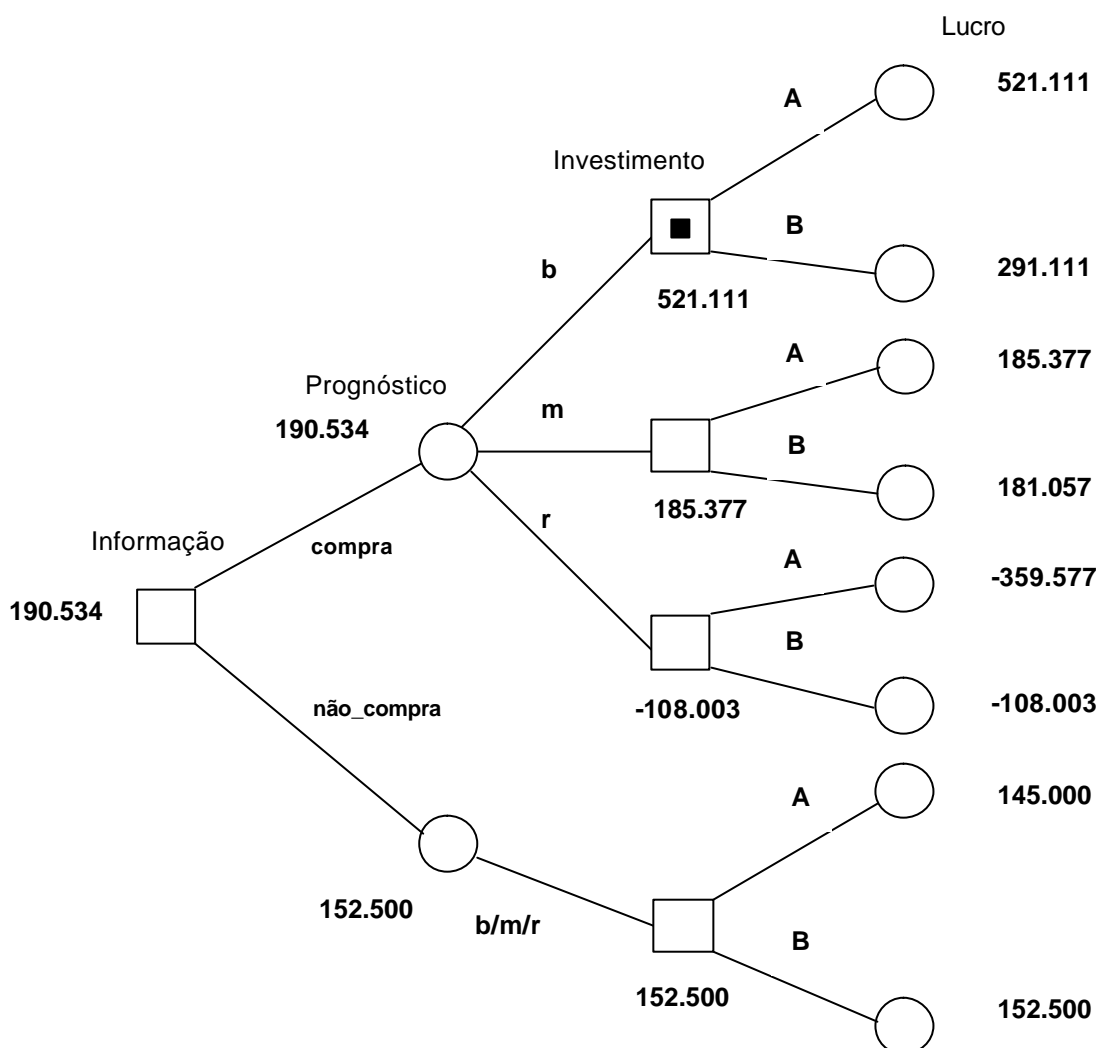


Figura 5: Determinação das decisões parciais ótimas (de traz para a frente)



## 6. Aplicação da Shell SPIRIT ao problema de análise de investimentos

A seguir serão apresentadas todas as variáveis e regras necessárias para a modelagem do problema de decisão com SPIRIT 3 e mostrar alguns resultados do trabalho com o sistema.

Este sistema possui 4 variáveis nominais que são “Resultado”, “Prognóstico”, “Informação” e “Investimento”, e 1 variável utilidade que é “Lucro”. Cada variável possui atributos que serão relacionados a seguir juntamente com as regras e fatos.

<b>Resultado = bom / médio / ruim</b>
---------------------------------------

A variável “Resultado” dá informação sobre o resultado do negócio, isto é, o lucro. Ela apresenta os atributos “bom”, “médio” e “ruim”. Estes têm as probabilidades a priori de (0,25 / 0,45 / 0,30), declarando-os como fatos no SPIRIT:

- 0. [0,25] Resultado = bom
- 1. [0,45] Resultado = médio

### Prognóstico = bom / médio / ruim

A variável “Prognóstico”, corresponde à estimativa do consultor sobre o resultado. Ela apresenta igualmente os atributos “bom”, “médio” e “ruim” e está ligada através das seguintes probabilidades condicionais com a variável “Resultado” (ver tabela 2).

- 2. [0,72] Prognóstico = bom | Resultado = bom
- 3. [0,18] Prognóstico = médio | Resultado = bom
- 4. [0,08] Prognóstico = bom | Resultado = médio
- 5. [0,85] Prognóstico = médio | Resultado = médio
- 6. [0,09] Prognóstico = bom | Resultado = ruim
- 7. [0,23] Prognóstico = médio | Resultado = ruim

### Informação = compra / não compra

O prognóstico sobre o resultado do negócio não está em geral a disposição. Esta informação é obtida apenas comprando-a. O decisor decide em cada caso a compra de informação. As despesas são calculadas em UM 20.000,00.

### Investimento = A / B

A variável de decisão “Investimento” com os atributos A e B declara qual o investimento deveria ser efetivado.

### Lucro = ...

A variável utilidade “Lucro” toma agora valores para as diferentes alternativas. Ao todo, doze diferentes atributos da utilidade são distinguidos na combinação das variáveis “Resultado”, “Alternativa” e “Informação”. Os valores estão na tabela 7. As combinações entre as três variáveis estão abreviadas. Por exemplo, **Resultado = bom**  $\hat{\cup}$  **Investimento = A**  $\hat{\cup}$  **Informação = compra** está representado como **Re=b\_Inv=A\_Inf=nc**.

Tabela 7: Combinação das variáveis “Resultado”, “Alternativa” e “Informação” e os respectivos valores da variável utilidade “Lucro”

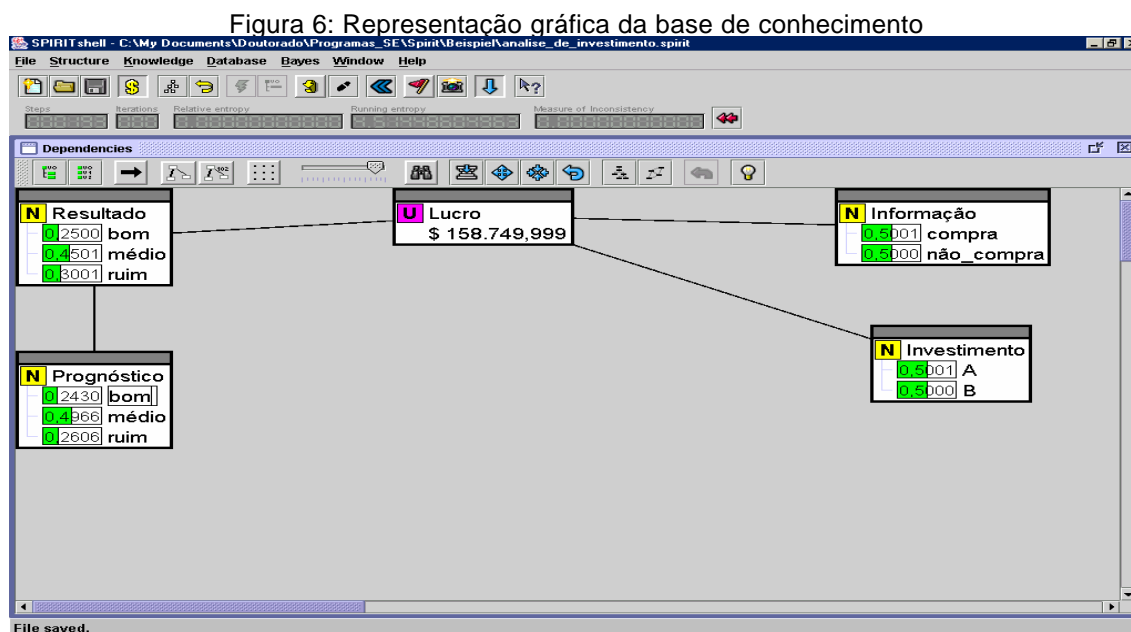
<b>Re=b_Inv=A_Inf=c</b>	<b>Re=m_Inv=A_Inf=c</b>	<b>Re=r_Inv=A_Inf=c</b>
740.000	260.000	-590.000
<b>Re=b_Inv=B_Inf=c</b>	<b>Re=m_Inv=B_Inf=c</b>	<b>Re=r_Inv=B_Inf=c</b>
380.000	230.000	-220.000
<b>Re=b_Inv=A_Inf=nc</b>	<b>Re=m_Inv=A_Inf=nc</b>	<b>Re=r_Inv=A_Inf=nc</b>
760.000	280.000	-570.000
<b>Re=b_Inv=B_Inf=nc</b>	<b>Re=m_Inv=B_Inf=nc</b>	<b>Re=r_Inv=B_Inf=nc</b>
400.000	250.000	-200.000

Faltam as regras para fornecer a utilidade, representada pela variável “Lucro”, correspondente do resultado da análise do investimento. O conjunto de regras será por isso aumentado de 7 para 14.

8. [1] (Lucro = 760000 ∨ Lucro = 740000 ∨ Lucro = 400000 ∨ Lucro = 380000) | Resultado = bom
9. [1] (Lucro = 280000 ∨ Lucro = 260000 ∨ Lucro = 250000 ∨ Lucro = 230000) | Resultado = médio
10. [1] (Lucro = -570000 ∨ Lucro = -590000 ∨ Lucro = -200000 ∨ Lucro = -220000) | Resultado = ruim
11. [1] (Lucro = 760000 ∨ Lucro = 740000 ∨ Lucro = 280000 ∨ Lucro = 260000 ∨ Lucro = -570000 ∨ Lucro = -590000) | Investimento = A
12. [1] (Lucro = 400000 ∨ Lucro = 380000 ∨ Lucro = 250000 ∨ Lucro = 230000 ∨ Lucro = -200000 ∨ Lucro = -220000) | Investimento = B
13. [1] (Lucro = 740000 ∨ Lucro = 380000 ∨ Lucro = 260000 ∨ Lucro = 230000 ∨ Lucro = -590000 ∨ Lucro = -220000) | Informação = compra
14. [1] (Lucro = 760000 ∨ Lucro = 400000 ∨ Lucro = 280000 ∨ Lucro = 250000 ∨ Lucro = -570000 ∨ Lucro = -200000) | Informação = não\_compra

## 7. Análise dos resultados

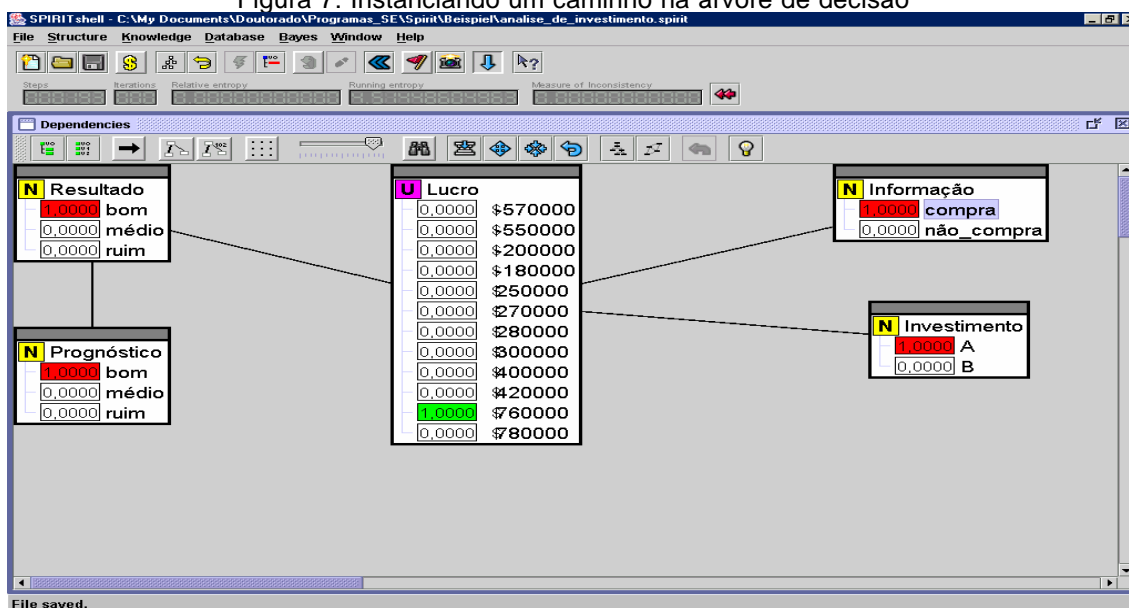
Definidas as variáveis e elaboradas as regras, tem-se o grafo de dependências que é mostrado na figura 6.



Se agora instanciamos de acordo com o caminho superior da figura 4, o atributo correto se torna “Resultado = bom” e “Investimento = A” e “Informação =

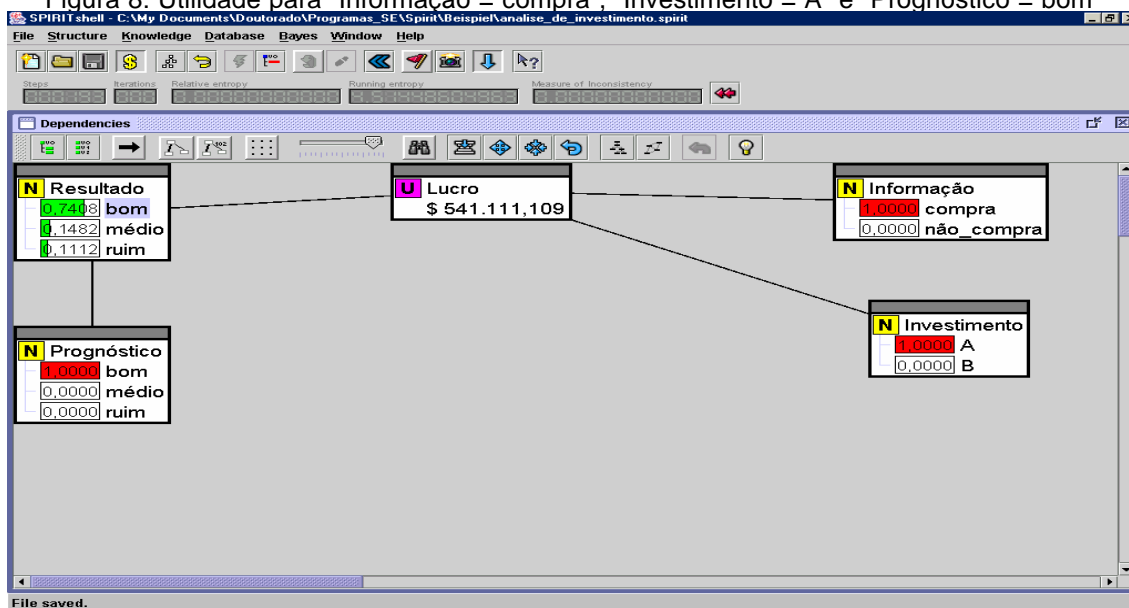
compra” e “Prognóstico = bom” com o valor associado da variável utilidade “Lucro” de 760.000. A figura 7 apresenta o resultado.

Figura 7: Instanciando um caminho na árvore de decisão



A utilidade esperada para a variável “Resultado” decide-se através do instanciamento. Deixa-se livre apenas esta variável e obtém-se o valor da alternativa associada. Por exemplo, a figura 8 apresenta o lucro esperado após o prognóstico de um consultor que prediz um bom resultado. Isto é, 541.110.

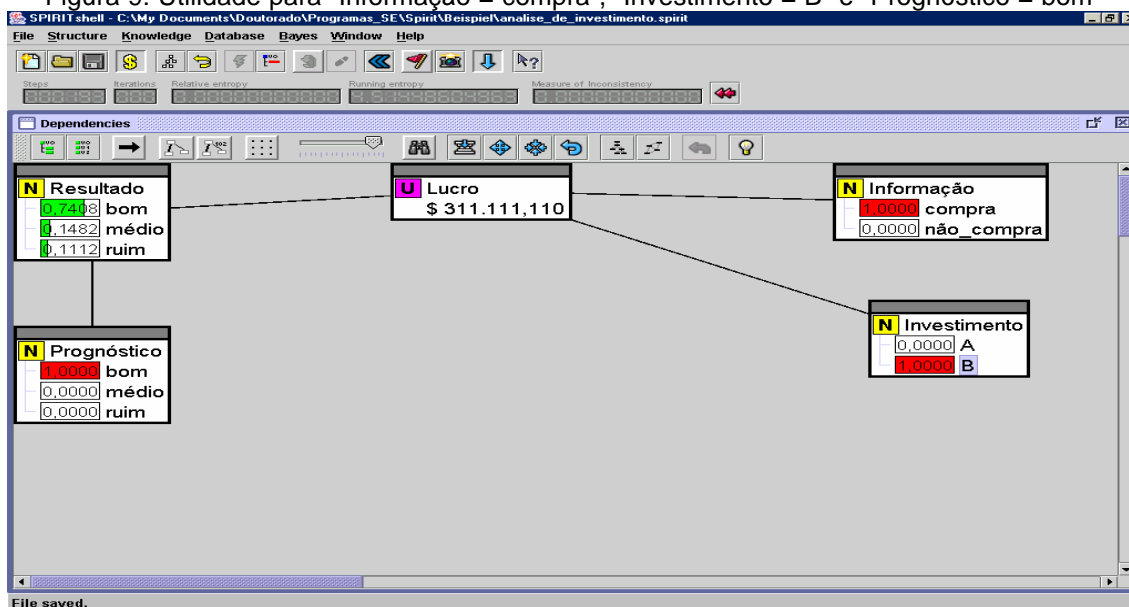
Figura 8: Utilidade para “Informação = compra”, “Investimento = A” e “Prognóstico = bom”



A figura 9 apresenta o valor para a alternativa de investimento B (311.110). O máximo de ambos os valores anota-se depois no nó “Investimento” (figura 5).



Figura 9: Utilidade para “Informação = compra”, “Investimento = B” e “Prognóstico = bom”



## 8. Conclusões

O uso da shell SPIRIT na construção de sistemas especialistas para a resolução de problemas de análise de investimentos mostrou-se versátil e adequado, pois possibilitou a busca rápida de respostas para um problema baseado em diversas variáveis interrelacionadas que sem a utilização do sistema se tornaria um processo demorado e mais suscetível a erros em função das várias combinações possíveis.

O sistema especialista criado permite também que um analista com pouca experiência na área, obtenha os resultados sem efetuar cálculos complexos, possibilitando que o mesmo concentre-se na análise dos resultados sem se preocupar com a parte operacional dos cálculos do problema.

Por fim, como método proposto, a utilização da árvore de decisão no auxílio para a criação do sistema especialista através da shell SPIRIT, permite ampla variedade de aplicações a problemas específicos, tal como em [ 5 ], podendo ser repetido para outras situações semelhantes de análise de investimentos.

## 9. Referências bibliográficas

- [1] CASAROTTO, Nelson; KOPITCKE, Bruno H.. **Análise de investimentos**. São Paulo: Atlas S/A, 2000.
- [2] KOPITCKE, Bruno Hartmut; DETTMER, Armando Luiz; HERMENEGILDO, Jorge L. S.. **Jogo de empresas GI-EPS – manual do jogador**. UFSC: Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, Florianópolis, 2000, 45 p.
- [3] RABENSCHLAG, Denis Rasquin. **Um modelo matemático para abordar o risco com ilustrações em jogos de empresas**. Florianópolis: UFSC, 179 p. Tese – Doutorado em Engenharia de Produção, 2005.
- [4] RAIFFA, Howard. **Decision Analysis: Introduction Lectures on Choice under Uncertainty**. Nova York: McGraw-Hill, 1968.

- [5] RÖDDER, Wilhelm. **Analyst: Computergestützte Kreditwürdigkeits-prüfung.** Hagerer Universitätsreden, 25. p. 241-259, 1999.
- [6] RÖDDER, Wilhelm. **Conditional Logic and the Principle of Entropy.** [Artificial Intelligence](#), 83-106, 2000
- [7] RÖDDER, Wilhelm; KERN-ISBERNER, Gabriele. **Léa Sombé und entropie-optimale Informationsverarbeitung mit der Expertensystem-Shell SPIRIT.** OR Spektrum, V. 19, p. 41-46, 1997.
- [8] RÖDDER, Wilhelm; KULMANN, Friedhelm; KOPITCKE, Bruno Hartmut. **Operations Research – Wissensbasierte Entscheidungsunterstützung mit Spirit.** Hagen: FernUniversität, 1997, 84 p.
- [9] RÖDDER, Wilhelm; MEYER, Carl H.. **Coherent Knowledge Processing at Maximum Entropy by SPIRIT.** Proceedings of the 12 th Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence. São Francisco, California: ed. Eric Horvitz, Finn Jensen, Morgan Kaufman Publishers, 470-476, 1996.
- [10] RÖDDER, Wilhelm; REUCHER, Elmar. **Wissen und Folgern aus relevanter Information. [on line].** 2000/2001. De: [http://www.fernuni-hagen.de/BWLOR/spirit/sp\\_lit.htm](http://www.fernuni-hagen.de/BWLOR/spirit/sp_lit.htm)
- [11] RÖDDER, Wilhelm; XU, Longgui. **Entropiegesteuerte Inferenz und Inkonsistenz.** Proc. Artificial Intelligence and Statistics 99, 3-6 Januar, Fort Lauderdale, Florida, p. 272-277, 1999.

## ANEXO I – DEMONSTRAÇÃO DO TEOREMA DE BAYES

Tem-se uma partição de um espaço amostral “E” em um número finito de eventos  $A_i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ), se os  $A_i$  são disjuntivos dois a dois, isto é,  $A_i \cap A_j = \emptyset$  para  $i \neq j$  e os eventos “A” são exaustivos, ou seja, sua união exaure, ou esgota todo o espaço amostral “E”.

O diagrama da figura 21 exibe uma partição do espaço amostral “E”.

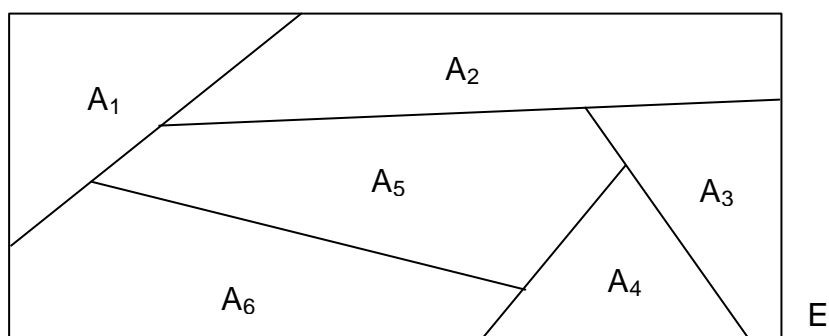


Figura 21 – partição do espaço amostral “E”. Fonte: adaptado de Soares et alii, 1991, p.55.

Considerando “B” um evento arbitrário de “E”, com  $P(B) > 0$ , como representado na figura 22.

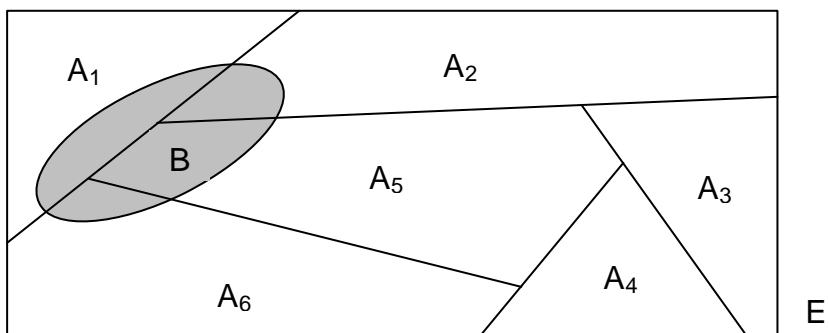


Figura 22 – partição do espaço amostral “E” para um evento “B”. Fonte: adaptado de Soares et alii, 1991, p.56.

É possível obter cada probabilidade particular  $P(A_k|B)$  pela aplicação direta da expressão da probabilidade condicional<sup>9</sup>, ou seja:

$$P(A_k|B) = \frac{P(A_k \cap B)}{P(B)}, \quad (1)$$

Considerando ainda a regra do produto<sup>10</sup> e a lei da probabilidade total<sup>11</sup>, obtém-se o chamado “Teorema de Bayes”:

$$P(A_k|B) = \frac{P(A_k).P(B|A_k)}{\sum_{i=1}^n P(A_i).P(B|A_i)} \quad (2)$$

Segundo Bekman & Neto (1980, p.14) “a importância do Teorema de Bayes se revela quando consideramos as probabilidades  $P(A_i)$  como sendo representativas de certo estado inicial da informação, que se modifica tão logo chegue a nosso conhecimento a ocorrência do evento B”. Isso quer dizer que a informação altera o conhecimento a respeito das probabilidades de ocorrência dos eventos  $A_k$ , com isso resultando os valores  $P(A_k|B)$  que podem ser calculados através da expressão 2.

Fahrmeir et alii, (1997, p.210) complementa afirmando que no contexto do Teorema de Bayes as probabilidades  $P(A_k)$  e  $P(A_k|B)$  são indicadas também como probabilidades *a-priori* e *a-posteriori*, respectivamente, ou seja  $P(A_k)$  é a entrada de  $A_k$  antes do conhecimento do acontecimento B e  $P(A_k|B)$  é a entrada desse acontecimento depois do conhecimento de B foi avaliado.

É possível generalizar a expressão do Teorema de Bayes permitindo obter, por exemplo,  $P(A_k|BC)$  a partir dos valores de  $P(A_i|B)$  e  $P(C|A_iB)$ , possibilitando com isso rever novamente as probabilidades dos eventos  $A_k$  tão logo se saiba a ocorrência de outro evento, no caso “C”.

<sup>9</sup>  $P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)}, P(B) > 0$

<sup>10</sup>  $P(B) = P(B|A_1).P(A_1) + P(B|A_2).P(A_2) + \dots + P(B|A_k).P(A_k)$

<sup>11</sup>  $P(B) = \sum_{i=1}^k P(B|A_i).P(A_i)$

Então, Bekman & Neto (1980, p.14) concluem que “o processo de aperfeiçoamento de nosso conhecimento, ou seja, a inferência estatística, pode assumir características dinâmicas renovando-se continuamente”.

No próximo item serão abordadas as redes causais, conceito utilizado em SEP cuja base teórica está amparada no Teorema de Bayes, e por este motivo diz-se que a abordagem é Bayesiana.

## ANEXO II – MANUAL DO SPIRIT VERSÃO 3

### Os passos para a modelagem no Spirit 3.


#### Prefácio

Este manual é uma tradução do menu “Help” do Spirit com o acréscimo de informações explicativas.


Ele foi elaborado a partir da última versão do Spirit. Se outras versões anteriores do Spirit 3 forem utilizadas, algumas informações adicionais aparecerão neste manual e não constarão do menu “Help” destas versões mais antigas.

#### The Main Menu

##### 1. File Menu:

1.1 **New**  : cria uma nova base de conhecimento.

1.2 **Open**  : abre um arquivo existente do Spirit.

1.3 **Save**  : salva a base de conhecimento em formato de um arquivo Spirit.

1.4 **Save as:** salva a atual base de conhecimento com um novo nome para o arquivo.

1.5 **Print Rules:** imprime as regras elaboradas.

1.6 **Options:** abre a janela “Options”.

As seguintes opções de configurações são possíveis (Ver “The Options Dialog” para explicação detalhada):

- **Termination of interaction:** determina a maneira como a interação terminará e pode ser “**Manually by user**” (manual), “**If deviation below threshold**” (segundo definição do “threshold” no campo correspondente) e “**If log(alpha 0) below threshold B**” (segundo definição do “threshold B” no campo correspondente).
- **Threshold:** um valor deve ser definido. Ver “The Options Dialog”.
- **Threshold A: log (a0):** um valor deve ser definido. O valor default (acionado no botão ao lado) é 6. Ver “The Options Dialog”.
- **Threshold B: log (a0, k+1):** um valor deve ser definido. Ver “The Options Dialog”.
- **Reinit after rebuild:** definição encontra-se no item “The Options Dialog”.


- **Automatic propagation on evidence assignments:** ver “The Options Dialog”.
- **Evaluation of passive rules:** ver “The Options Dialog”.
- **Number of digits:** define um valor para o número de dígitos da probabilidade ativa (“P act” na janela das regras). Ver “The Options Dialog”.
- **Default directory:** especifica o diretório que é selecionado se “Save as...” do “File Menu” é escolhido.
- **Currency:** seleciona a unidade monetária para a variável utilidade.

1.7 **Look and feel:** muda a aparência da interface.

1.8 **Exit:** abandona o programa.

## 2. Struture Menu:



2.1 **Optimal Rebuild**  : constrói a estrutura dos LEGs. O comando executa todas as quatro estruturas de algoritmos mostradas abaixo para minimizar o tamanho da estrutura total (número de configurações).

2.2 **Maximum Cardinality Search:** constrói a estrutura dos LEGs usando a heurística Max CS.

2.3 **Minimum Clique Fill-In:** constrói a estrutura dos LEGs usando a heurística Min CF.


2.4 **Minimum Clique Size:** constrói a estrutura dos LEGs usando a heurística Min CS.

2.5 **Minimum Clique Weight:** constrói a estrutura dos LEGs usando a heurística Min CW

OBS.: o manual não explica estas heurísticas de construção dos LEGs.

## 3. Konwlegde Menu




3.1 **Reset**  : reseta a distribuição uniforme.

3.2 **Save knowledge to buffer:** salva um determinado conhecimento na memória temporária, recebe um nome especificado pelo programa, que é composto do dia da semana (em inglês), do mês (em inglês), o horário de realização e um código específico. Este nome aparece nas opções “Restore knowledge from buffer” e “Delete buffer”.


3.3 **Restore knowledge from buffer:** restaura o conhecimento salvo na memória temporária.

3.4 **Delete buffer:** deleta a memória temporária salva.



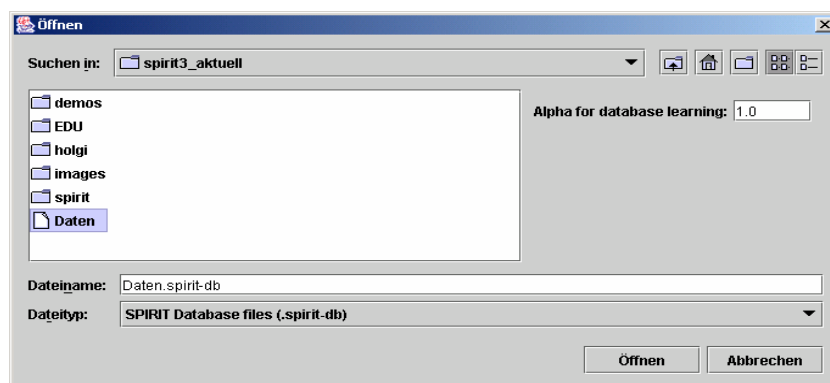
3.5 **Restore from previous iteration**  : é um comando semelhante ao “Restore knowledge from buffer”, é normalmente usado para restaurar o conhecimento imediatamente antes de uma contradição.

**3.6 Compute total utility:** computa a utilidade total, a qual é definida pela soma de todas as variáveis utilidade. A utilidade total aparece na barra inferior da janela, à esquerda, “Total utility = ....”.

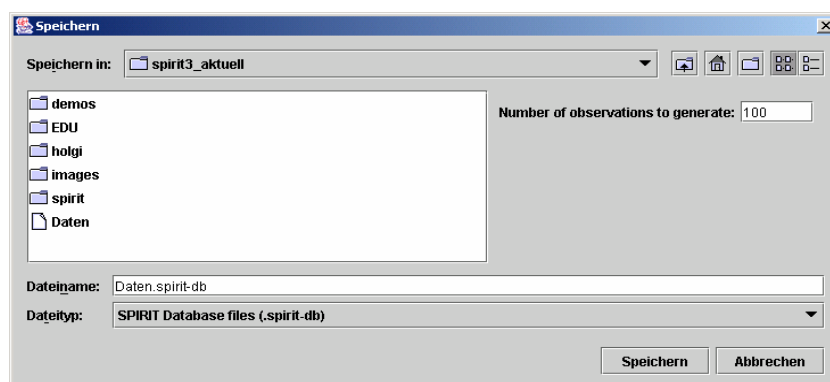
**3.7 Assign actual probabilities**  : reescreve as probabilidades prescritas de todas as regras ativas com a atual probabilidade na distribuição. Pede uma confirmação antes de efetuar a tarefa (“This will overwrite the prescribed probabilities of all rules with the current probabilities in the distribution. Are you sure?”).

## 4. Database Menu

**4.1 Learn database...:** aprende a partir de uma base de dados escrita.



**4.2 Generate database...:** gera uma base de dados a partir do modelo.



OBS.: a base de dados pode ser obtida de observações dos resultados das variáveis, e pode ser digitada em planilha eletrônica.



## 5. Bayes Menu

- 5.1 **Import Bayes (BIF or NET)...**: importa um arquivo Bayes. Esta versão está habilitada para ler os dois mais populares tipos de arquivos: o arquivo BIF (Bayes Interchange Format) e Hugin Network Format. As variáveis e regras desse arquivo são adicionadas a base de conhecimento corrente.
- 5.2 **Export Bayes (NET)...**: exporta a base de conhecimento corrente como arquivo NET. O Spirit está habilitado a interagir com outros sistemas especialistas Bayesianos, como Hugin.
- 5.3 **Convert to Bayes**: converte a base de conhecimento corrente em uma rede Bayesiana. Deve-se ter atenção com este comando pois o programa salva como regras para rede Bayesiana e não tem como voltar atrás na ação. Neste caso o artifício é salvar a base de conhecimento antes, executar a ação e sair do programa sem salvar novamente.
- 5.4 **Bayesian init**: se a base de conhecimento corrente é uma rede Bayesiana, este comando pode ser usado para “aprender” as regras rapidamente.

## 6. Window Menu












- 6.1 **Show rules window**: maximiza a janela de regras.
- 6.2 **New rule editor**: abre a janela de edição de regras.
- 6.3 **Premise probability editor**: mostra o editor de probabilidade das premissas.
- 6.4 **New variables window**: abre uma nova janela de variáveis.
- 6.5 **New dependencies window**: abre uma nova janela de dependências.
- 6.6 **New LEG structure window**: abre uma nova janela de estrutura dos LEGs.
- 6.7 **New function window**: abre uma nova janela de funções.
- 6.8 **Arrange all**: organiza todas as janelas abertas em um layout conveniente.




## 7. Help Menu

- 7.1 **User's Guide**: mostra em uma janela o manual do usuário do Spirit.
- 7.2 **Memory usage**: mostra a memória corrente utilizada, na barra inferior da janela, à esquerda.
- 7.3 **About...**: mostra uma janela com informações a respeito da versão do Spirit.


## The Tool Bar



- a. **File/New**  : cria uma nova base de conhecimento.
- b. **File/Open**  : abre um arquivo existente do Spirit.
- c. **File/Save**  : salva a base de conhecimento no formato de um arquivo Spirit.
- d. **Show utilities**  : mostra os valores da utilidade.
- e. **Structure/Optimal Rebuild**  : constrói a estrutura dos LEGs. O comando executa todas as quatro estruturas de algoritmos já mostradas para minimizar o tamanho da estrutura total (número de configurações).
- f. **Knowledge/Reset**  : reseta a distribuição uniforme.
- g. **Propagate**  : este botão só está disponível se a opção de propagação automática está desabilitada no menu “File/Options”.
- h. **Reset evidence**  : remove todas as evidências.
- i. **Start iteration**  : inicia e pára a iteração. Este botão pode ser ativado e desativado manualmente ou automaticamente quando a mínima entropia for encontrada.
- j. **Step iteration**  : realiza a iteração passo a passo.
- k. **Knowledge / Restore from previous iteration**  : é um comando semelhante ao “Restore knowledge from buffer”, é normalmente usado para restaurar o conhecimento imediatamente antes de uma contradição.

- l. **Inconsistency Elimination Mode**  : troca entre a iteração normal (default) e o “Inconsistency Elimination Mode”. Se ativado, um algoritmo de propagação diferente será usado para a iteração seguinte ou ações passo a passo.
- m. **Knowledge / Assign actual probabilites**  : ver “Knowledge Menu” (item 3 acima).
- n. **Show status display**  : permite ver o display na barra de ferramentas. Se ativado (default), a barra de ferramentas é expandida com uma segunda fila, contendo vários valores de interesse durante o processo de iteração. Um único display de valor pode ser habilitado ou desabilitado com um clique sobre ele – o desempenho do processo de iteração é grandemente melhorado, se todos os displays estão apagados. O botão na extrema direita (duas setas vermelhas) serve para resetar todos os valores do display.

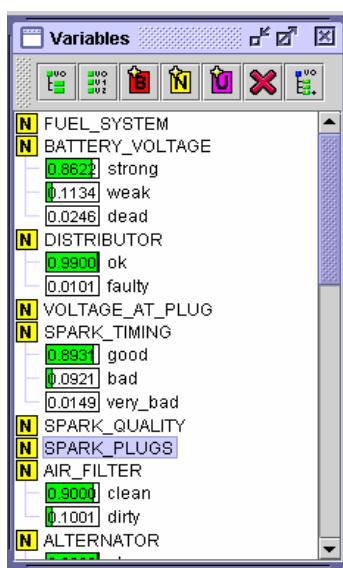



- o. **Context-sensitive help**  : vai para o modo de ajuda sensitiva, o qual é indicado com um outro cursor, é possível clicar em um componente da interface do usuário e ir para a página de ajuda.


## The Windows


### 1. Variables Window


As variáveis podem ser “booleanas” (botão vermelho), “nominais” (botão amarelo) ou “numéricas” (botão rosa). As variáveis booleanas possuem as realizações “sim” e “não”, as nominais possuem realizações definidas pelo usuário (por exemplo: sexo masculino ou feminino, ou cor vermelha, azul, amarela e verde), e são quantas forem necessárias. As variáveis numéricas possuem realizações em forma de números. Estas variáveis são as variáveis utilidade.




1.1 **Expand all**  : expande todas as variáveis, revelando os seus valores.

1.2 **Collapse all**  : fecha os nós, ocultando os seus valores.

1.3 **Add Boolean**  : cria uma nova variável booleana com um nome “default” e acrescenta ao final da lista.

1.4 **Add Nominal**  : cria uma nova variável nominal com um nome “default” e dois valores iniciais e acrescenta ao final da lista.

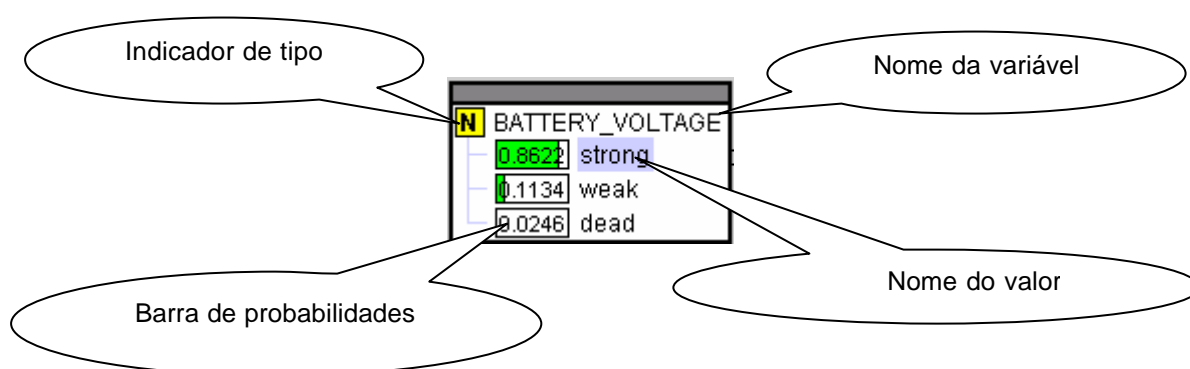
1.5 **Add Number**  : cria uma nova variável numérica com um nome “default” e dois valores iniciais e acrescenta ao final da lista

1.6 **Delete**  : deleta uma variável criada.

1.7 **Add value**  : adiciona um valor para a variável selecionada.

### Operations on Variables

A janela windows, a janela de dependências e a janela da estrutura dos LEGs compartilham algumas funcionalidades das variáveis.

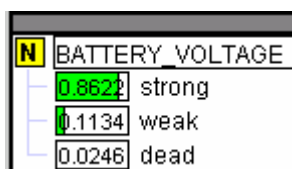


### Expandindo e comprimindo os valores do display

Um duplo clique no nome da variável mostrará ou ocultará os valores.

### Renomeando variáveis e valores

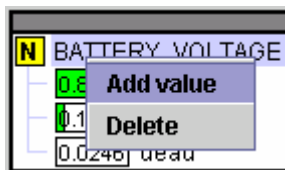
Um clique em uma variável selecionada ou em um nome do valor permite renomeá-lo. Digita-se o novo nome e se tecla-se “enter” quando estiver pronto. Tenha certeza que o nome dado é único entre as outras variáveis. Os valores das variáveis booleanas não podem ser renomeados.



Value	Type
0.862	strong
0.1134	weak
0.0246	dead

### Adicionando valores e deletando variáveis

Um clique no botão direito do mouse quando o cursor está sobre uma variável, abre um menu suspenso o qual apresenta as seguintes opções de entrada:

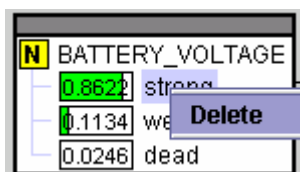


**Acrescenta valor:** acrescenta um novo valor para o nome “default” da variável. O valor pode ser mais tarde renomeado. O comando de adição não está habilitado para as variáveis booleanas visto que estas variáveis podem assumir somente dois valores definidos, 0 e 1.

**Delete:** deleta a variável e todas as regras mencionadas para a variável. Cuidado com este comando pois ele não pede uma confirmação da ação.

### Deletando valores


Um clique no botão direito em cima de um valor abre o seguinte menu suspenso:

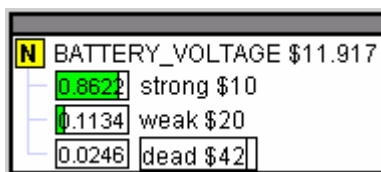


**Delete:** deleta o valor da variável selecionada e todas as regras dela dependentes. Esta opção não está habilitada para as variáveis booleanas e para variáveis com somente dois valores.

### Utilidade e valor esperado

É possível designar a utilidade para valores de variáveis simples. Este é um valor numérico usado para computar valores esperados e a utilidade total. A utilidade somente pode ser designada para variáveis booleanas e numéricas – as variáveis numéricas já tem as suas utilidades implícitas para os seus valores considerados. As utilidades são geralmente utilizadas para análise de custos.

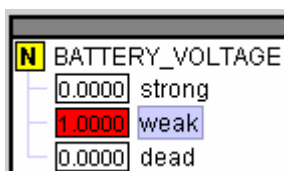
As utilidades não são mostradas como “default”. Somente se o botão  está habilitado na barra de ferramentas, as utilidades individuais são mostradas atrás dos valores, separadas do nome através de um símbolo \$ ou €. O valor esperado da variável corrente é mostrado atrás do nome da variável. No seguinte exemplo, utilidades 10, 20 e 42, respectivamente, são consideradas para as variáveis dadas. A variável utilidade é definida como a soma das utilidades ponderadas com as suas probabilidades correntes. Utilidades individuais podem ser mudadas apenas renomeando os seus valores.



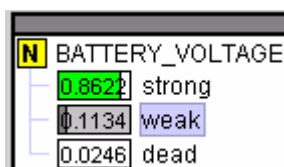
### Fixando uma evidência

Fixando uma evidência para o valor de uma variável significa assumir a esta probabilidade como certeza. Com a fixação da evidência do valor  $x$  da variável  $V$ , um fato implícito é adicionado e aprendido na base do conhecimento, indicando que  $V = x$  com a probabilidade prescrita de 1.

Uma evidência é considerada com um clique na barra de probabilidade. A barra aparecerá em vermelho, com a probabilidade igual a 1.

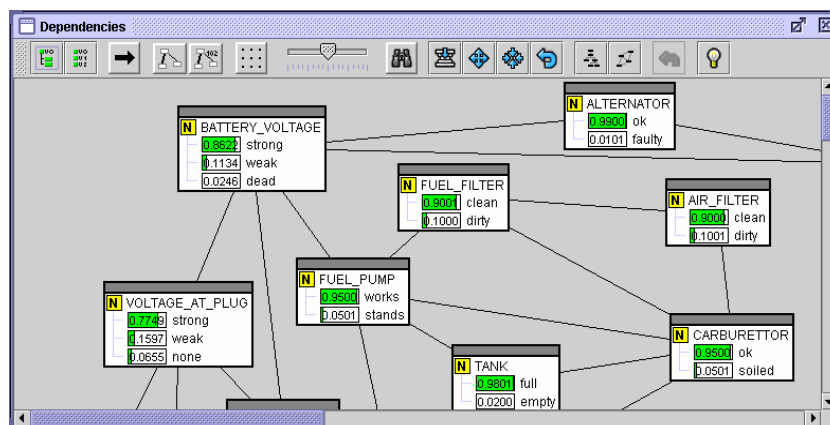


Se “Automatic propagation on evidence assignments” está desabilitado na “Options Dialog”, a evidência não é imediatamente propagada para a distribuição. Neste caso, a barra de probabilidade do valor evidenciado é mostrada em cinza.



## 2. Dependências Window

A janela de dependências é uma das janelas standart e edita a base de conhecimento. Ela fornece uma visão gráfica das variáveis e suas relações. A janela principal consiste em um gráfico e uma barra de botões. Os nós do gráfico representam as variáveis e seus respectivos valores, e as linhas representam as dependências expressas no grupo de regras.



A janela de dependências compartilha algumas funcionalidades com as outras janelas, tal como a janela variáveis (“Variables Window”) e a janela estrutura dos LEGs (“LEG Structure Window”). Esta funcionalidade é descrita em operações de variáveis (“Operations on Variables”), descritas no item “Variables Window”.

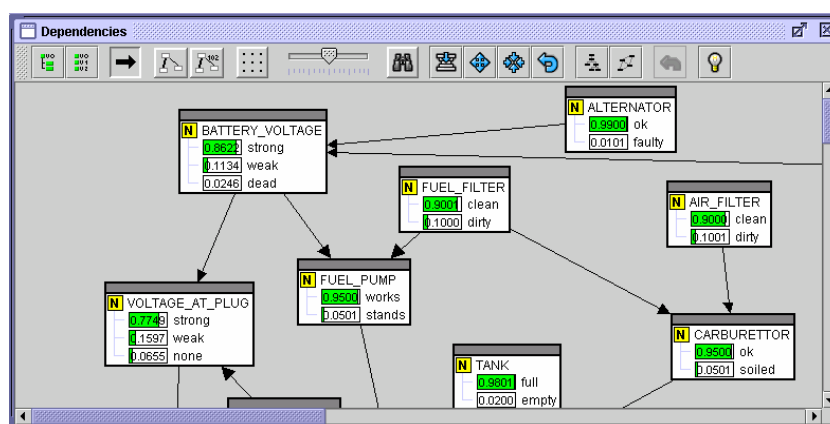
Comandos adicionais, tal como processo de zoom e operações de layout são descritos em operações de gráficos (“Operations on Graph”), descritas no final deste item.

## Graph modes



Usando o botão , o gráfico pode ser alterado entre dois modos:


- **não direcionado:** dois nodos são conectados, se eles aparecem em pelos menos uma regra comum.
- **direcionado:** um traço não direcionado entre dois nós significa que ambos aparecem em uma conclusão em uma regra comum. Uma seta do nó “A” para o nó “B” significa que “A” pode ser achado na premissa de uma regra cuja conclusão contém “B”.



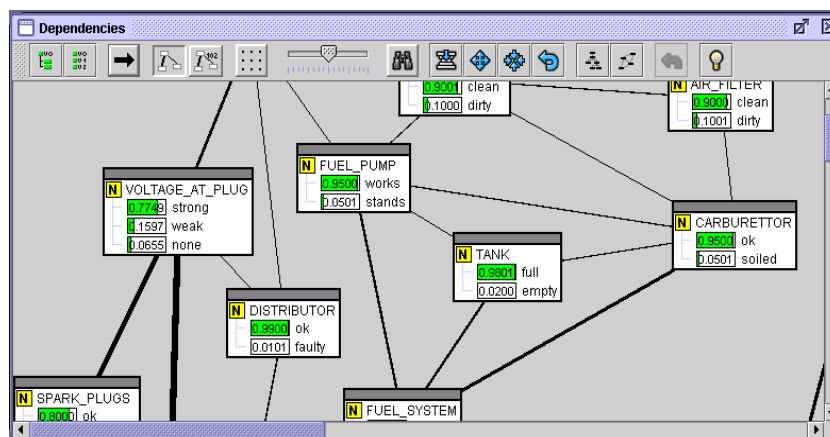



## Graph edge ticknesses

É possível calcular e marcar as linhas entre as variáveis, fornecendo informações do quão forte são as relações entre dois nós adjacentes. Para iniciar o

processo de marcação das linhas, clique uma vez no botão .

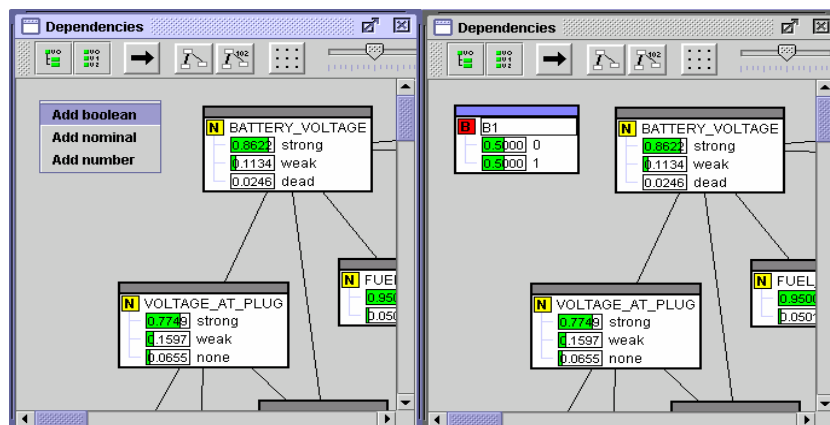
A mensagem “Computing ticknesses” aparece na barra de status (no canto esquerdo inferior) pois o cálculo está sendo realizado. Este processo pode ser parado com um segundo clique no botão.



Se o botão  é habilitado, as linhas são decoradas com os números que indicam a relação entre dois nós.


## Adding variables


Um clique no botão direito em uma região vazia da janela possibilita a visualização de um menu suspenso com os comandos para adicionar novas variáveis (imagem a esquerda). Dependendo do tipo selecionado, a variável com o nome “default” é imediatamente criada no lugar da posição do mouse (imagem a direita). E então é possível nomear as variáveis e seus valores (ver “Operations on Variables”).



## Expanding und collapsing nodes

A barra de ferramentas acima do gráfico contém os seguintes botões:

2.1 **Expand all**  : expande todas as variáveis, revelando os seus valores.

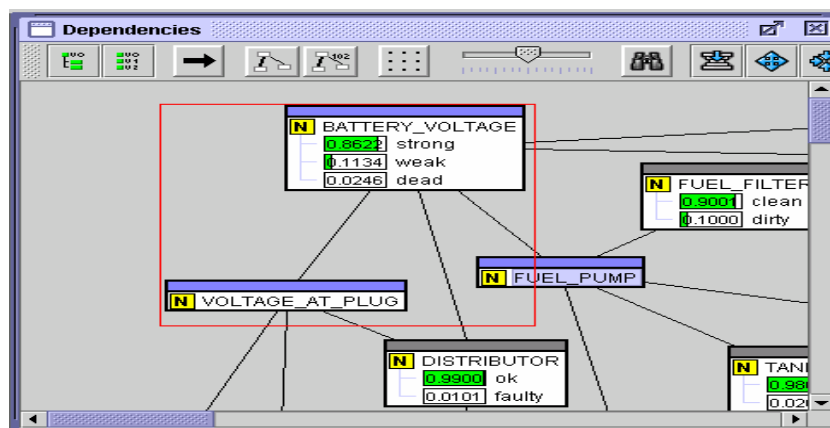
2.2 **Collapse all**  : fecha os nós, ocultando os seus valores.

2.3 **The Grid**  : limita a posição dos nós.


## Operations on Graph

### Arrastando nós


Os nós podem ser movidos através do simples movimento do mouse pela área da janela quando o nó é selecionado. É possível que mais de um nó seja movido simultaneamente. Primeiro deve-se fazer um retângulo com o mouse e selecionar os nós desejados (ver imagem abaixo) e então movê-los conforme desejado.





### Zoom


A visualização do gráfico pode ser alterada através do comando  na barra de ferramentas.

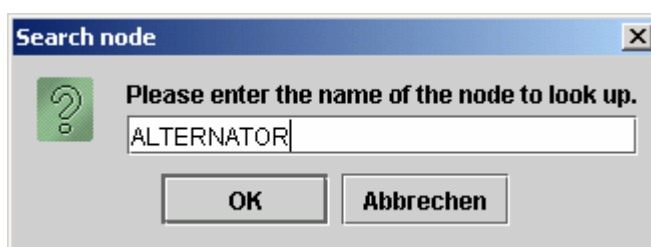


**Tree layout**  : realiza um algoritmo de layout do tipo árvore para o gráfico.

**Spring layout**  : realiza um algoritmo de layout para o gráfico. Esta operação pode demorar bastante tempo.

**Undo graph layout**  : desmancha o comando do layout realizado.

**Search node**  : é um menu suspenso, o qual permite a entrada de uma palavra chave procurada. O nó do termo específico procurado será selecionado. É possível usar o símbolo \* para abreviar palavras longas.



### 3. Rules Window

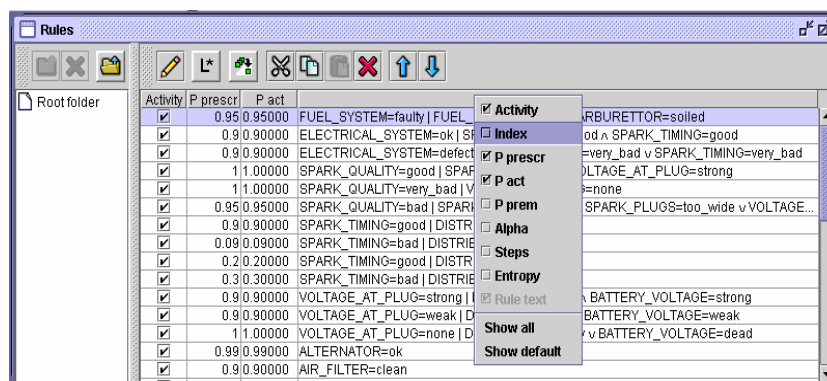
A janela de regras mostra as regras da base de conhecimento. Ela não pode ser fechada, somente minimizada. A janela consiste em tres regiões: a barra de ferramentas que contém botões, uma área pasta (folder) e uma tabela contendo as regras.

Esta janela é ativada a partir da janela "Rule" através do botão "Rule editor" localizado na extrema esquerda superior.

Activity	P prescr	P act	Rule text
<input checked="" type="checkbox"/>	0.95	0.95000	FUEL_SYSTEM=faulty   FUEL_PUMP=stands v CARBURETTOR=soiled
<input checked="" type="checkbox"/>	0.9	0.90000	ELECTRICAL_SYSTEM=ok   SPARK_QUALITY=good ^ SPARK_TIMING=good
<input checked="" type="checkbox"/>	0.9	0.90000	ELECTRICAL_SYSTEM=defect   SPARK_QUALITY=very_bad v SPARK_TIMING=very_bad
<input checked="" type="checkbox"/>	1	1.00000	SPARK_QUALITY=good   SPARK_PLUGS=ok ^ VOLTAGE_AT_PLUG=strong
<input checked="" type="checkbox"/>	1	1.00000	SPARK_QUALITY=very_bad   VOLTAGE_AT_PLUG=none
<input checked="" type="checkbox"/>	0.85	0.95000	SPARK_QUALITY=bad   SPARK_PLUGS=fouled v SPARK_PLUGS=too_wide v VOLTAGE...
<input checked="" type="checkbox"/>	0.9	0.90000	SPARK_TIMING=good   DISTRIBUTOR=ok
<input checked="" type="checkbox"/>	0.09	0.09000	SPARK_TIMING=bad   DISTRIBUTOR=ok
<input checked="" type="checkbox"/>	0.2	0.20000	SPARK_TIMING=good   DISTRIBUTOR=faulty
<input checked="" type="checkbox"/>	0.3	0.30000	SPARK_TIMING=bad   DISTRIBUTOR=faulty
<input checked="" type="checkbox"/>	0.9	0.90000	VOLTAGE_AT_PLUG=strong   DISTRIBUTOR=ok ^ BATTERY_VOLTAGE=strong
<input checked="" type="checkbox"/>	0.9	0.90000	VOLTAGE_AT_PLUG=weak   DISTRIBUTOR=ok ^ BATTERY_VOLTAGE=weak
<input checked="" type="checkbox"/>	1	1.00000	VOLTAGE_AT_PLUG=none   DISTRIBUTOR=faulty v BATTERY_VOLTAGE=dead
<input checked="" type="checkbox"/>	0.99	0.99000	ALTERNATOR=ok

## The Rules Table

As colunas da tabela podem ser selecionadas através de um clique na barra de legendas com o botão direito do mouse. Um menu suspenso apresenta as colunas disponíveis, listadas abaixo:



**Activity:** um sinal indica qual a regra está ativa, qual pode ser ativada ou passiva. Veja a secção “Rule Activity” para maiores detalhes.

**Index:** cada regra tem um único expoente. O expoente é um valor positivo, indicando a posição da regra na lista completa de regras. A primeira regra tem expoente “0”, a segunda “1”, e assim sucessivamente. Se a regra é deletada, o expoente é fixado para a próxima regra.

**Ppresc:** a probabilidade prescrita da regra. É um valor que varia de [0...1] o qual pode ser alterado com um duplo clique na célula.

**Pact:** a probabilidade corrente em uma distribuição. Se Pact é igual a Ppresc, a regra é considerada válida e o valor no display é preto, cinza em caso contrário.

**Pprem:** a probabilidade corrente da premissa da regra. Este valor é indefinido para fatos.

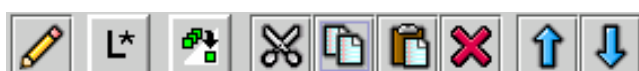
**Alpha:** a regra alpha.


**Steps:** o número de passos do aprendizado.


**Entropy:** a soma da entropia relativa.


**Rule text:** a expressão pode ser editada com um duplo clique na célula.

## The Tool Bar




**Rule Editor**  : abre um novo editor de regras.

**Show rules in normal form (L\*)**  : as regras podem ser mostradas como entradas (default) ou em formato normal.


**Filter rules**  : se habilitado, somente essas regras são mostradas, as quais contêm a variável selecionada corrente ou valor.


**Cut rule**  : recorta a regra selecionada para a área de transferência.

**Copy rule**  : copia a regra selecionada para a área de transferência.

**Paste rule**  : insere a regra da área de transferência para a posição corrente ou folder.

**Delete rule**  : deleta a regra selecionada.

**Move rule up**  : move a regra selecionada para cima.


**Move rule down**  : move a regra selecionada para baixo.


### Rule folders


Uma pasta de regras é um grupo organizacional de regras. Pastas podem ser criadas e rearranjadas com o uso da parte da esquerda da janela de regras. Por exemplo, um usuário pode criar uma pasta com regras que normalmente não são consideradas na iteração. Desta maneira, é possível definir um conjunto de regras perguntas.

Cada base de conhecimento tem pelo menos uma pasta, a pasta origem. Uma ou mais pastas podem aninhar-se dentro de outra pasta. A hierarquia da pasta resultado pode ser vista em uma árvore. O nome da pasta pode ser modificado com duplo clique.

Importante: para a iteração somente essas regras são utilizadas, as quais são ambas ativas e mostra na tabela na janela de regras.

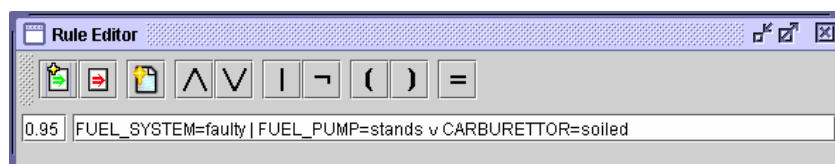
**New folder**  : cria uma nova sub-pasta na pasta selecionada.


**Delete folder**  : deleta a pasta corrente e acrescenta todas as regras contidas dentro para a pasta principal.


**Include subfolders**  : se este botão está habilitado, a tabela de regras (e desta maneira a iteração) também repetidamente contém todas as regras das pastas secundárias da pasta selecionada.

#### 4. The Rule Editor


O editor de regras permite entrar novas regras e editar as regras existentes e suas probabilidades. O editor de regras pode ser aberto com a chamada do comando menu “Window/New rule editor”, ou com o clique no botão “Rule Editor” na janela regras.





**Botão Add rule**  : adiciona a regra no final da lista de regras.

**Botão Replace rule**  : repete a regra selecionada corrente com uma editada.

**Botão clear**  : limpa o campo de entrada.

**Botão and (\*)**  : insere um símbolo “e” (conjunção) atrás do cursor. Equivalente a tecla: \*.


**Botão or (+)**  : insere um símbolo “ou” (disjunção) atrás do cursor. Equivalente a tecla: +.

**Botão condicional**  : insere um símbolo condicional atrás do cursor.

**Botão not**  : insere um símbolo “não” (negação) atrás do cursor. Equivalente a tecla: !

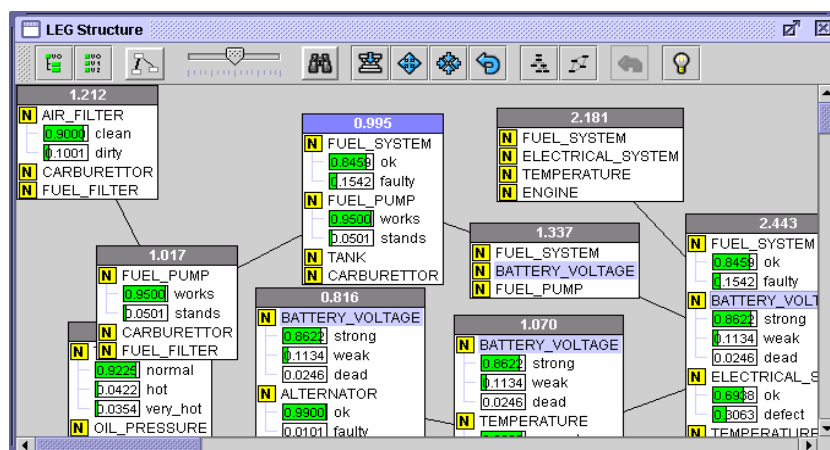
Botão  : insere um parênteses de abertura atrás do cursor.

Botão  : insere um parênteses de fechamento atrás do cursor.

Botão  : insere um “igual” atrás do cursor.

## 5. The LEG Structure Window

Usuários avançados podem querer visualizar a estrutura LEG da base de conhecimento nesta janela. Ela pode ser aberta pelo menu “Window”. Esta mostra um gráfico com os nós dos LEGs existentes. Dois LEGs são conectados, se eles compartilham pelo menos uma variável.

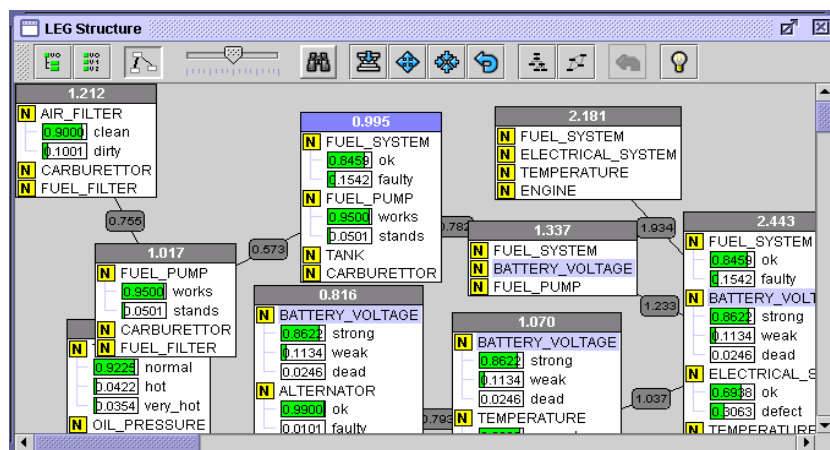


A janela da estrutura do LEG compartilha algumas funcionalidades com as outras variáveis mostradas na janela, isto é a janela variáveis e a janela dependências. Esta funcionalidade é descrita segundo as operações nos gráficos.

### Graph edge widths


A largura de uma ligação pode ser mostrada com o botão “Show edge widths”. A ligação é definida como a entropia entre os dois LEGs adjacentes.






## Expanding and collapsing nodes

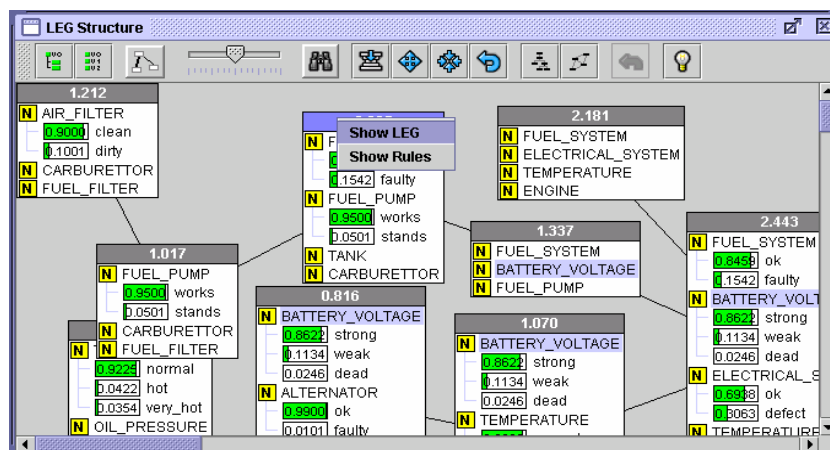
A barra de ferramentas acima do gráfico contém os seguintes botões:

**Expand all**  : expande todas as variáveis mostrando os seus valores.

**Collapse all**  : contrai os nós ocultando os seus valores.

## Getting more information on a LEG

Com um clique no título de um nó LEG, o seguinte menu suspenso aparece:



**Show LEG:** abre uma nova janela LEG para o LEG.

**Show Rules:** abre uma janela com a tabela de todas as regras designadas para o LEG.

## 6. The LEG Window

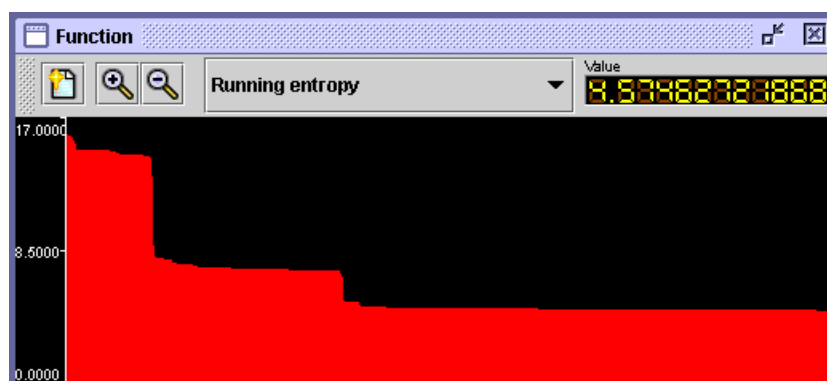
Cada LEG da estrutura corrente pode ser visualizado em sua própria janela, no menu suspenso na janela de estrutura do LEG. A janela contém uma tabela com uma coluna índice, uma coluna para cada uma das variáveis no LEG e uma coluna probabilidade.

#	FUEL_SYS...	FUEL_PUMP	TANK	CARBURE...	P
0	ok	works	full	ok	0.8410202
1	faulty	works	full	ok	0.0442643
2	ok	stands	full	ok	0.0023127
3	faulty	stands	full	ok	0.0436177
4	ok	works	empty	ok	0.0000000
5	faulty	works	empty	ok	0.0176398
6	ok	stands	empty	ok	0.0000000
7	faulty	stands	empty	ok	0.0011457
8	ok	works	full	soiled	0.0023976
9	faulty	works	full	soiled	0.0435349
10	ok	stands	full	soiled	0.0001437
11	faulty	stands	full	soiled	0.0027093
12	ok	works	empty	soiled	0.0000000
13	faulty	works	empty	soiled	0.0011435
14	ok	stands	empty	soiled	0.0000000
15	faulty	stands	empty	soiled	0.0000712

O principal conteúdo desta janela pode ser achado na coluna probabilidade a qual mostra um baixo nível de informação na probabilidade corrente de cada configuração simples.

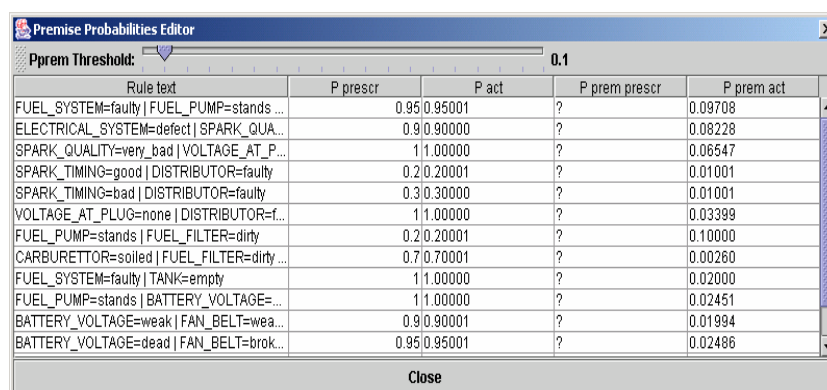
## 7. The Function Window

A janela função pode ser usada para mostrar a evolução dos parâmetros de uma simples iteração ao mesmo tempo que a informação roda. A janela função pode ser aberta a qualquer tempo através do comando menu "Window/New function window".



## 8. The Premise Probability Editor

Esta caixa de diálogo pode ser aberta pelo menu comando “Window/Premise probability editor”. O propósito é visualizar e permitir a edição das probabilidades prescritas das premissas condicionais.



Rule text	P presc	P act	P prem presc	P prem act
FUEL_SYSTEM=faulty   FUEL_PUMP=stands ...	0.95	0.95001	?	0.09708
ELECTRICAL_SYSTEM=defect   SPARK_QUA...	0.9	0.90000	?	0.08228
SPARK_QUALITY=very_bad   VOLTAGE_AT_P...	1	1.00000	?	0.06547
SPARK_TIMING=good   DISTRIBUTOR=faulty	0.2	0.20001	?	0.01001
SPARK_TIMING=bad   DISTRIBUTOR=faulty	0.3	0.30000	?	0.01001
VOLTAGE_AT_PLUG=none   DISTRIBUTOR=f...	1	1.00000	?	0.03399
FUEL_PUMP=stands   FUEL_FILTER=dirty	0.2	0.20001	?	0.10000
CARBURETTOR=soiled   FUEL_FILTER=dirty ...	0.7	0.70001	?	0.00260
FUEL_SYSTEM=faulty   TANK=empty	1	1.00000	?	0.02000
FUEL_PUMP=stands   BATTERY_VOLTAGE=...	1	1.00000	?	0.02451
BATTERY_VOLTAGE=weak   FAN_BELT=wea...	0.9	0.90001	?	0.01994
BATTERY_VOLTAGE=dead   FAN_BELT=brok...	0.95	0.95001	?	0.02486

A janela consiste em uma tabela e uma barra de ferramentas, contendo um deslizador. A lista tabela é uma seleção das condicionais da base de conhecimento. Para cada uma delas, são mostradas as seguintes informações:

**Rule text:** a representação textual da regra.

**P presc:** a probabilidade prescrita da regra.

**P act:** a probabilidade corrente da regra.

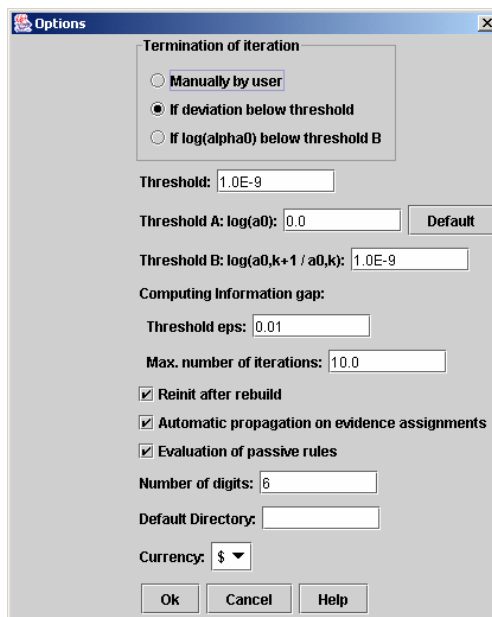
**P prem presc:** a probabilidade prescrita da premissa da regra (se especificada). Uma entrada nesta coluna indica a existência de um fato igual para a regra da premissa e mostra a probabilidade. É possível entrar novos valores, desta maneira trocando a probabilidade prescrita do fato associado. Para editar entradas, clique na célula, entre o novo valor e teclre “enter”. O fato associado pode ser deletado deixando a célula em branco e teclando “enter”.

**P prem act:** a probabilidade corrente da premissa da regra.

O deslizador acima da tabela especifica um limite, filtrando as regras. Somente estas condicionais são mostradas, a probabilidade da premissa corrente as quais são abaixo do limite.

## 9. The Options Dialog

As opções de diálogo, as quais podem ser abertas pelo menu “File”, permitem especificar cenários para a base do conhecimento corrente. Estas configurações já foram explicadas no primeiro item do manual (“The Mail Menu”).



### Termination of Iteration

Especifica os critérios os quais determinam quando um processo de iteração deve parar. Uma destas opções abaixo devem ser seleccionadas:

1. **Manually by user:** a iteração pára se o usuário clica no botão “start/stop”.
2. **If deviation below threshold:** a iteração é interrompida automaticamente, se uma iteração completa causou um desvio menor que o limite especificado.
3. **If log(alpha0) below threshold B:** a iteração é interrompida automaticamente, se log (alpha 0) está abaixo do valor especificado como limite B.

### Threshold

O limite para as 2 opções acima.

### Threshold A

Este valor é somente utilizado se o critério 3 é ativado e se é maior que 0. É especificado um limite para a detecção de contradições. Se log (alpha 0) excede o limite A, uma contradição no cenário das regras é assumida e a iteração é interrompida com uma mensagem de erro. O propósito desta opção é evitar sub-fluxos numéricos em iterações que convergem muito lentamente. Um valor “default” apropriado para este parâmetro pode ser computado usando o botão “Default” no lado direito do campo de entrada.

### Threshold B

O limite especificando os critérios de terminação para as 3 opções acima.

### Reinit after rebuild

Determina se um reinício deve ser realizado após cada reconstrução.

Ativado: os alphas correntes são usados para refixar as últimas probabilidades válidas na distribuição.

Desativado: cada ação de reconstrução leva a distribuição uniforme.

**Automatic propagation on evidence assignments**

Determina se as tarefas evidentes nos valores das variáveis são imediatamente calculadas ou não.

Ativado (default): cada clique na barra de probabilidade dos valores causa uma imediata troca na distribuição. Isto pode tornar lenta a iteração, se as múltiplas variáveis são assinaladas ao mesmo tempo.

Desativado: clique na barra de probabilidade dos valores somente muda a cor. Para executar a computação, o botão “Propagate” deve ser clicado na barra de ferramentas. Se a base de conhecimento tem uma grande estrutura LEG, este é o caminho rápido para adicionar ou remover muitas tarefas evidentes imediatamente.

**Evaluation of passive rules**

Especifica se as probabilidades correntes e as probabilidades das premissas das regras passivas podem também ser avaliadas na janela de regras. Desde o cálculo das regras passivas pode necessitar de um complexo rearranjo de operações entre as estruturas dos LEGs, esta opção é usualmente desativada.

Ativado: regras passivas são avaliadas.

Desativado (default): regras passivas não são avaliadas.

**Number of digits**

Especifica o número de dígitos para mostrar a probabilidade das regras atuais e a probabilidade da premissa na janela de regras.

**Default Directory**

Especifica o diretório que é selecionado se “Save as...” do “File Menu” é escolhido.

**Currency**

Seleciona a unidade monetária para a variável utilidade.